

Tennsannsynlighet offshore



MASTEROPPGAVE VED DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET
MASTER I RISIKOSTYRING , OFFSHORE SIKKERHET

Sissel Khorasani

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Masteroppgave i Risikostyring, offshore sikkerhet

Vårsemesteret, 2011

Åpen

Forfatter:

Sissel Khorasani

.....
(signatur forfatter)

Fagansvarlig: **Professor Terje Aven, UIS**

Veileder(e): **Rai Kanchan, Aibel**

Tittel på masteroppgaven: **Tennsannsynlighet offshore**

Engelsk tittel: **Ignition probability Offshore**

Studiepoeng: **30**

Emneord:

OLF- tenmodell

JIP- tenmodell

Tennsannsynlighet

Tennintensitet

Eksponeringsannsynlighet

Sidetall: **111**

Stavanger, **16. juni 2011**

dato/år

FORORD

Denne masteroppgaven markerer siste del av min mastergrad ved Universitetet i Stavanger, der jeg har studert master innen risikostyring, offshore sikkerhet. Oppgaven er skrevet i samarbeid med bedriften Aibel.

Arbeidet med oppgaven har vært en lærerik prosess. Det har vært interessant å få et innblikk i den komplekse og utfordrende oppgaven det er å beregne tennsannsynligheten offshore.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til de som har bidratt til at jeg har kunnet gjennomføre denne oppgaven:

- Ingar Fossan i Scandpower som har tatt seg tid til å svare på mine spørsmål.
- Terje Aven for positive og raske tilbakemeldinger.
- Rai Kanchan i Aibel for støtten.

Jeg vil også takke min tålmodige mann som har tatt seg av våre 5 blomster når det har røynet på, og som har stått ved min side i opp og nedturer.

Takker våre 5 barn som har vært forståelsesfulle når en travel mamma har måttet lese dag og natt. Uten dem hadde hverken viljen eller motivasjonen vært til stede.

Ønsker til slutt å takke min mor som har gitt meg fullpensjon i sitt hus i travle helger.

Sammendrag

I hovedsak vil de mest anvendelige modellene for å beregne tennsannsynligheten på offshore installasjoner være JIP- og OLF- modellene. JIP- modellen har siden 1997 gått gjennom flere revisjoner hvilket har gitt opphav til OLF- modellen. Oppgaven har i sin hovedsak intensjoner om å klargjøre forskjellen i tennintensiteten mellom de ovennevnte modellene. Tennintensiteten for begge modellene viser seg å være lett å beregne, mens eksponeringssannsynligheten viser en mer kompleksitet med flere avanserte simuleringer som blant annet er avhenging av forskjellige variabler og antatte målinger. I oppgaven får vi et nærmere innblikk på disse to begrepene. Tennsannsynligheten er produktet av tennintensiteten og eksponeringssannsynligheten. Tennintensiteten er lett å beregne da denne ikke tar hensyn til en bestemt modell uten noen spesifikke krav og retningslinjer. Det er flere standardiserte krav som gir retningslinjer for hvordan eksponeringssannsynligheten skal beregnes, og som er direkte knyttet til NORSOK Z-013 standarden, mens NORSOK S-001 og ATEX-direktivet inngår som indirekte retningslinjer. NORSOK Z-013 standarden inneholder krav i forbindelse med beregning av lekkasjer, gassspredning, ventilering og eksplosjoner, mens NORSOK S-001 og ATEX- direktivet er forbundet med design av sikkerhetsfunksjoner, barrierer og tennkildekontroll. Felles for begge modellen er at anlegget må følge kravene i NORSOK S-001 og ATEX -direktivet for at disse skal kunne brukes.

En viktig forutsetning for å benytte OLF- og JIP- tennintensitet og eksponeringssannsynlighet er en fordypende kunnskap om tenninger, som ved brennbare gasser, tennkilder, gasspredning, ventilering og eksplosjoner.

JIP- og OLF- tennintensitets og eksponeringsmodellene består av flere viktige parametere som P_{if} , P_{iso} og justeringsfaktorene for bemanning, alder og teknologi. I modelleringen skilles det også mellom kontinuerlige og diskrete tennkilder. Det er også viktig å inkludere alle tennkilder som kan utgjøre en fare for tenning. Varmt arbeid utgjør for eksempel en stor del av tennkildene ved vedlikehold og konstruksjonsaktiviteter, mens varme flater, utstyr, flare og lynnedslag er de dominerende tennkildene ved normal produksjon, boring, oppstart og testing.

Regneark er tatt i bruk for å demonstrere viktige forskjeller i tennintensiteten mellom OLF- og JIP- tennmodellene for noen typiske offshore moduler. I JIP-modellen er antall pumper og kompressorer inkludert i regnearket og en P_{iso} verdi for hver av tennkildekategoriene. Dette er ikke tilfellet i OLF-modellen der tennintensiteten ikke er basert på antall utstyr, men modulvolumet. Modellen har også en generell P_{iso} verdi for dette modulvolumet. Det er tatt med 6 tilfeller for å belyse tennintensitetsforskjellene mellom modellene der modulvolumene og P_{iso} verdien er like store i begge modellene, men med en P_{iso} verdi for hver av kategoriene i JIP-modellen. Samtidig ble antall pumper og kompressorer endret i JIP- modellen. Muligheten som JIP- modellen gir til å endre antall pumper og kompressorer førte til endringer i tennintensiteten mellom modellene.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	3
Sammendrag.....	4
Innholdsfortegnelse.....	5,6
1 INNLEDNING.....	7
1.1 Bakgrunn.....	7,8
1.2 Formål.....	8
1.3 Begrensninger.....	8,9
1.4 Innhold.....	9
1.5 Forkortelser.....	10,11
2 JIP- og OLF- tenmodellene.....	12
2.1 Introduksjon av JIP- og OLF- tenmodellene.....	12
2.2 Revidering av OLF- modellen.....	12,13,14,15
2.3 Bruk av QRA.....	16
3 Teori om tenning.....	17
3.1 Brennbar gass.....	17,18,19,20
3.2 Tennkilder.....	20,21,22,23,24,25
3.3 Lekkasjer.....	25,26,27
3.4 Eksplosjoner og branner.....	28
3.4.1 Eksplosjoner.....	28,29,30,31,32,33,34
3.4.2 Branner.....	34,35
3.4.3 Barrierer ved eksplosjon og brann.....	35,36,37
3.5 Gasspredning.....	38,39
3.6 Ventilering.....	39
4 Viktige tennkilder og parametere i JIP- og OLF- tennintensitets og eksponeringsmodellene.....	39

4.1 Kontinuerlige og diskrete tennkilder.....	39,41
4.2 Forsinket og øyeblikkelig tenning.....	41,42
4.3 P_{if} – tennkilder i et område.....	42
4.4 P_{iso} – effekten av tennkildeisolering.....	42,43
4.5 Anbefalte parametere.....	43
4.6 Justeringsfaktorer.....	43,44,45,46
4.7 Datakilder.....	46
5 Krav knytte til JIP- og OLF- eksponeringsmodellene.....	47
5.1 NORSOK Z-013, krav i forbindelse med lekkasjer.....	47
5.2 NORSOK Z-013, krav i forbindelse med eksplosjoner og branner.....	47,48
5.3 NORSOK Z-013, krav i forbindelse med ventilering.....	48,49
5.4 NORSOK S-001 og ATEX- krav knyttet indirekte til OLF- og JIP- eksponeringsmodellene.....	49
5.4.1 NORSOK S-001, tennkildekontroll.....	49- 56
5.4.2 ATEX- direktivet.....	56- 63
6 Sammenlikning av tennintensitetene mellom JIP- og OLF- modellene.....	63-107
7 Diskusjon.....	108
8 Konklusjon.....	109,110
9 Referanser.....	111,112

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Plattformene på den norske sokkelen begynner etter hvert å bli eldre. Dette kan føre til at tennsannsynligheten øker. I perioden 1996 – 2002 har det i alt vært 228 store hydrokarbonlekkasjer fra både faste og flytende innretninger på norsk sokkel. Ingen av disse lekkasjene ble antent, men siden antall lekkasjer er høye øker også sannsynligheten for antenning og store ulykker [1].

Snorre A plattformen har hatt flere lekkasjehendelser. 12.november 2008 ble produksjonen stoppet på grunn av lekkasje i fakkelsystemet [2]. Produksjonen ble også stoppet 12. januar 2011 da en lekkasje oppstod i forbindelse med stenging av en ventil. Gassen ble avstengt etter ca. 1 time [3]. Bare fem dager etter forrige lekkasje, 17. januar 2011, oppstod det en ny lekkasje i forbindelse med arbeidet på dreneringssystemet. Lekkasjen ble stoppet etter en halv time. Mannskapet ble plassert i livbåter og myndighetene ble varslet [4].

På Gullfaks B, 4.desember 2010 skjedde det også en gasslekkasje der 730kg. gass lekket ut. Det var menneskelig svikt som førte til lekkasjen. Under en vedlikeholdsoperasjon ble feil ventil åpnet og førte til gasslekkasje. Operatøren på stedet prøvde å stoppe lekkasjen, men det førte til at nødsystemet ble satt ut av spill. Dersom operatøren ikke hadde prøvd å stoppe lekkasjen ville et automatisk nødsystem blitt satt i gang og lekkasjen ville stoppet i løpet av noen minutter. Petroleumstilsynet har ved en nær oppfølging av flere oljeselskaper bekreftet at vedlikeholdsarbeidet er for dårlig [5].

Felles med disse ulykkene som her er nevnt er at lekkasjen ikke ble antent. Dersom lekkasjen hadde blitt antent kunne det ført til eksplosjoner og branner og tap av flere menneskeliv. Det skjedde med Piper Alpha ulykken der 167 menneskeliv gikk tapt.

På den britiske sektoren i Nordsjøen ble produksjonsplattformen Piper Alpha utsatt for en av de alvorligste ulykkene i petroleumsvirksomhetens historie. I 1998, 6. juli ble en gasslekkasje antent og den påfølgende eksplosjonen førte til brudd på store gassrør som førte til av flere tonn med gass strømmet ut. Gassen ble antent og førte til store eksplosjoner og branner. Barrierer for slukking og kjøling var ikke tilgjengelig. Nesten hele plattformen sank under vann og 167 mennesker omkom. Bildet under viser hva som var igjen av plattformen.



Bilde 1: Rester fra Piper Alpha ulykken [6].

Forebyggende arbeid med tanke på å hindre eksplosjoner og branner på norsk sokkel er en meget viktig og grunnleggende oppgave. Tennsansynlighetsberegninger er sentrale element når det gjelder slikt arbeid. Her vil OLF- og JIP- modellene danne grunnlaget for hvordan tennsansynlighetsberegninger skal utføres.

1.2 Formålet med oppgaven

Formålet med oppgaven er å beskrive viktige parametere i OLF- og JIP- tennintensitet og eksponeringsmodellene og hvilke retningslinjer og grunnleggende krav som må følges for å lage eksponeringsmodellene i henhold til NORSOK- standarder og ATEX-direktivet. Videre er målet å demonstrere viktige forskjeller mellom JIP- og OLF- tennintensitetsmodellene gjennom regneeksempler for noen typiske offshore prosessmoduler.

1.3 Begrensninger i oppgaven

Når sannsynligheten for tenning skal beregnes brukes det to modeller, tennintensitetsmodellen og eksponeringsmodellen. Uttrykket for tennsannsynlighet er gitt som:

Sannsynlighet for tenning = tennintensitet · sannsynlighet for eksponering

Denne oppgaven er begrenset til tennintensitetsmodellen. For å beregne tennsannsynligheten må det lages en eksponeringsmodell som må tilfredstille kravene i NORSOK-standard Z-013, vedlegg G. Det er en komplisert oppgave som byr på flere utfordringer der blant annet flere simuleringer, som for eksempel FLACS- og CFD- simuleringer er nødvendig for å beregne den

transiente gassutviklingen.

I JIP- modellen regner man eksplisitt for væske- og - gasslekkasjer hver for seg, hvor tennintensiteten er gjennomsnittsverdien av disse to. Denne oppgaven er begrenset til gasslekkasjer. I OLF-modellen skiller man ikke mellom gasslekkasjer og væskelekkasjer ved beregning av tennintensiteten . Dermed vil ikke det sanne bildet komme helt frem, men vil allikevel illustrere viktige forskjeller mellom JIP- og OLF- tennintensitetsmodellene som er en del av oppgavens formål.

1.4 Innhold

Innholdet i oppgaven er strukturert etter hovedkapitler. Der kapitel 2 presenterer JIP- og OLF- tennmodellene som brukes for å beregne tennsannsynligheten offshore. I dette kapitlet presenteres også kvantitativ risikoanalyse for å uttrykke risikoen for at tenning skal oppstå. Kapittel 3 inneholder teori om tenning hvor lekkasjer, eksplosjoner og branner er inkludert. Presentasjon av gassspredning og ventilering er også tatt med fordi dette er viktige faktorer i forbindelse med tenning. I kapittel 4 presenteres viktige parametere i OLF- og JIP- tennintensitet og eksponeringsmodellene. I kapittel 5 presenteres krav knyttet til JIP- og OLF- eksponeringsmodellene. Dette kapitlet inneholder også krav som indirekte er knyttet til disse 2 modellene. I kapittel 6 utføres en sammenlikning i tennintensiteten mellom JIP- og OLF- modellene ved bruk av regneark. Kap.7 inneholder en diskusjon. I kapittel 8 vil oppgavens konklusjon bli fremlagt.

1.5 Forkortelser

OLF	Oljeindustriens Landsforening
JIP	Felles/joint industri prosjekt
QRA	Kvantitativ risikoanalyse
FLACS	Flame Accelerator Software
ASAP	Simmulerings-program
PSA	Petroleum safety authority
ESD	Emergency Shut Down
ATEX	Atmosphere Explosives directive
EU	European Union
EN	European norm
CE	Community European
PLS	Progressive Limit State
EMS	Emergency Shuth Down system
F&G	Brann og gasspåvisnings-system
CFD	Computational Fluid Dynamics, - Simuleringsprogram
HMI	Human Machine Interface
TTS	Teknisk tilstands sikkerhet
WOAD	Worldwide Offshore Accident - Database
NPD	Det norske petroleumsdirektoratet
HSE	Health and Safety Executive

APS	Aktiveringsmekanisme
EC	Nødkommunikasjons-system
CCR	Central Control Room
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning (Ventilerings-utløp)
CORD	Coordinated operations and maintenance offshore-research & development

2 JIP- og OLF- tennmodellene

2.1 Introduksjon av JIP- og OLF- tennmodellene

Det norske offshoremiljøet tar i bruk JIP- og OLF -modellene for å beregne tennsannsynligheten på offshore installasjoner. JIP- modellen ble utviklet som et felles industriprosjekt (JIP) med deltakelse av risikoanalyse-selskaper og oljeselskaper for å beregne tennsannsynligheten. Modellen er blitt brukt siden 1997. JIP- modellen ble revidert av OLF(oljeindustriens landsforening) i 2005 og kalles for OLF- modellen. Det som skiller dem mest er tennintensiteten som uttrykker sannsynlighet for tenning gitt at tennkilden er eksponert for gass. Uttrykket for tennsannsynlighet er gitt som:

$$\textit{Tennsannsynligheten} = \textit{Tennintensiteten} \cdot \textit{Sannsynlighet for eksponering}$$

Eksponerings-sannsynligheten uttrykker sannsynligheten for at tennkilden eksponeres for gass. OLF- og JIP- modellene har forskjellige metoder for å beregne tennintensiteten. Det stilles ikke krav til å følge retningslinjer for utførelse av tennintensitetsmodellen og den er forholdsvis lett å beregne ved bruk av regneark. Tiden er ikke direkte inkludert i tennintensitetsmodellen, men indirekte i P_{iso} parameteren og diskrete tennkilder. Parameteren P_{iso} (som styrer hvor stor del av tennkilden som kobles ut ved gassdeteksjon) i tennintensitetsmodellen er avhengig av tidsforløpet i eksponeringsmodellen i form av gassdeteksjon og tiden er indirekte inkludert i den grunnleggende intensiteten for diskrete tennkilder i JIP- modellen. I eksponeringsmodellene er tiden direkte inkludert fordi her utføres blant annet en vurdering av den transiente gasskyen per tidsenhet. Eksponeringsmodellen er også sammensatt og mer komplisert enn tennintensitetsmodellen, og det er nødvendig å følge retningslinjer som står i NORSOK- standard ,vedlegg G, for å lage en slik modell. Dette er en krevende oppgave hvor flere års erfaring basert på en grunnleggende forståelse av flere kompliserte prosesser er nødvendig. Modellen involverer blant annet CFD- og FLACS- simulering for beregning av den transiente gassutviklingen / gasseksponeringen [7].

2.2 Revidering av OLF-modellen

Siden 1997 har utviklingen på norsk sokkel medført til et sterkt behov for en revidering av JIP- modellen. Revideringen kom i 2004 hvor OLF tok initiativet for et slikt arbeid der tenningsmekanismer og tenningssannsynlighetstall gjennomgås på nytt basert på nye statistiske data og kunnskaper.

Som hovedsak vil understående punkter synliggjøre behovet for en ny revidering av JIP- modellen.

- En mer systematisk og økende registrering av data om lekkasjer og tenninger
- En formidabel teknologisk utvikling med betydelig strengere krav til utstyr.
- CFD- modellering av gasspredningsfenomener har blitt vanlig i risikoanalyse etter 1997, som gir en bedre beskrivelse av gasskyutviklingen sammenliknet med den tidligere forenklete modellen.

OLF' s initiativ til revidering av tennmodellene resulterte i fase 1 og 2. Fase 3 er påbegynt, men er ikke ferdig.

12.1 Fase 1

Fase 1 består av en styrket og en forbedret forståelse av tennmekanismene. Resultatet fra fase 1 arbeidet førte til en økt forståelse av forskjellige tennmekanismer slik at man fikk et bedre grunnlag for å påvirke sannsynligheten for antenne. Fase 1 arbeidsgruppen konkluderte med at det var nødvendig med en oppdatering av databasen og at det var behov for mer relevant data i forbindelse med antente hydrokarbonlekkasjer, og fase 2 var nødvendig.

12.2 Fase 2

Arbeidet med fase to er basert på resultater fra fase 1. Kunnskapen fra fase 1 er blitt brukt til å utvikle forbedrede risikoanalysemodeller. I fase 2 ble blant annet tennintensitetsmodellen laget. Hovedmålet med oppdateringen var å utvikle en bedre modell over tennsannsynligheten av hydrokarbonlekkasjer på offshore plattformer. I den forbindelse var følgende punkter sentrale:

- Å få mer kontroll på effekten som tennkildeisolering, P_{iso} , har på tennsannsynligheten. Det var da behov for å vite mer om antallet av de forskjellige utstyrstypene og relativ tennintensitet knyttet til disse. Det var viktig å få en bedre forståelse av hva som kunne føre til tenning med forskjellige verktøytyper og aktiviteter. Alle aktiviteter som representerer en tennkilde bør modelleres separat, som gir en modell for hver utstyrstype. Hver modell vil da reflektere over om barrierene er gode nok, opplæring og sikkerhetskultur osv. for hvert verktøy. Sannsynlighet for tenning må også gjenspeile den aktive brukstiden. Men det var mye arbeid å finne pålitelige tall på aktiv brukstid for forskjellige verktøy. Det var begrensninger av ressurser som fører til problemer med å gjennomføre dette. En detaljert målsetning med å modellere tenninger med elektrisk utstyr var å øke nøyaktighetsnivået ved beregning av tennsannsynligheten. Dette vil gi et totalt risikobilde som er mer i samsvar med de virkelige forholdene som nevnes under:

- Utvikle en modell som så langt det er mulig gjenspeiler og kvantifisere målinger som har en innvirkning på tennsannsynligheten.
- En modell som skal inneholde de siste erfaringene i nordsjøen i forbindelse med gasslekkasjer og antenner.
- Modellen skal gi opplysende kunnskap om tennmekanismer og de siste undersøkelser innenfor for eksempel sveisehabitat.

Safetec (bedrift som leverer konsulenttenester innenfor beredskap og sikkerhetsstyring) kom med forslag til hva som burde utføres i fase to for å få en mer detaljert modellering av tenninger i forbindelse med utstyr slik at man får et risikobilde som er mer i samsvar med virkeligheten. I CORD programmet, som ble etablert av SINTEF (som er en forskningsorganisasjon) i 1997, blir stadig aktuelle prosjekter satt på dagsordenen innenfor blant annet vedlikeholdsarbeid, sikkerhetskritiske utstyr og undersøkelse og utvikling innenfor offshore miljøet. I forbindelse med dette programmet gikk Safetec i samarbeid med et selskap som var involvert i vedlikehold og utvikling av roterende utstyr for offshore industrien. Dette selskapet er autorisert til å reparere og godkjenne EX-utstyr (EX-utstyr kap. 5.4.2). Industripartnere bidro også med data basert på erfaringer i forbindelse med feilmekanismer og sannsynligheten for forskjellige feil i forbindelse med forskjellige EX- klasser.

I CORD prosjektet fant man ut at det ville være vanskelig å finne nøyaktige verdier for feilrater basert på erfarte feilhendelser. Det ble foreslått å sette opp en grov klassifisering av mulige feilrater. Det var mange medlemmer i CORD som mente at en slik klassifisering vil være mindre spesifisert og var mye basert på udokumenterte ingeniørbedømmelser. En klassifisering ble dermed ikke tatt med i CORD hovedrapporten. Men det ble enighet om at følgende minimumskravet til faktorer bør tas med for hver EX- klasse:

- Beskrivelse av beskyttelsesprinsippet
- Mulige feilmekanismer
- Klassifisert tenning, kontinuerlig eller diskret
- Beskrivelse av feilkilden.
- Vurdering av hvor lenge en utstysfeil vil være en fare for tenning etter at utstyret er nedstengt (shut -down)

- Feilraten sammenliknet med andre EX- klasser(Der feilrater vil beregnes dersom kvaliteten på data er gode nok.)

12.3 Fase 3

I det siste har det vært flere lekkasjer på den norske sokkel uten at disse har medført antenninger. Slike lekkasjer vil uten tvil medføre alvorlige utfall med fatale konsekvenser. Et sentralt punkt i fase 3 er å studere disse hendelsene med henblikk på forebyggende tiltak.

P_{iso} er en viktig parameter som er knyttet til usikkerhet, og som krever en større forståelse. Denne parameteren vil også vær en viktig del av fase 3 revideringen[7].

Fase 3 er en videreføring av fase 2 knyttet til et detaljert studie av utstyr. Det finnes ikke statistikker eller underlag til å hevde at fordelene med en mer detaljert modell vil føre til en bedre sannsynlighetsberegning. Likevel vil et detaljert studie av utstyr gi kunnskaper som vil være nyttige i prosessen med å velge og plassere utstyr. En detaljert studie vil også øke kunnskapen om styrker og svakheter knyttet til de forskjellige klassene. En komplett oppdatering av OLF- modellen i forbindelse med elektrisk utstyr vil inneholde følgende punkter:

- Bruke systematisert informasjon, bøker, vitenskapelige tidsskrifter, internett osv., for å få en oversikt over feilmekanismene i forbindelse med de forskjellige EX- klassene og som er en videreføring av fase 2.
- Oppdatering av OLF- modellen der det legges vekt på å behandle de valgte EX- klassene separat. En oppdatering vil kreve en økt kunnskap om feilmekanismene og tennkriske feilrater
- Oppdatering der det legges vekt på en mer detaljert geometrisk fremstilling. Dette vil kreve en grundig undersøkelse av hvordan gasspredning og feilmekanismer samhandler og forårsake antenning [21].

2.3 Bruk av QRA

QRA, kvantitativ risikoanalyse, hjelper til med å kontrollere og redusere tennsannsynligheten, og brukes i begge modellene.

Bruken av QRA- studier i Offshore industrien startet for mer enn 30 år siden. QRA brukes over hele verden av designere og operatører i offshore industrien som en viktig veiledning med tanke på reduksjon av risikoer som er knyttet til eksplosjoner og branner [8].

QRA innebærer simuleringsmetoder, teoretisk modellering og mer formelle metoder som feiltre analyser og hendelsestreanalyser:

- Feiltreanalyser: Siden 1970 årene har feiltreanalyse metoden vært utbredt og er i dag en av de mest brukte risikoanalysemetodene. Denne metoden brukes ikke bare i olje-industrien, men også i de fleste andre industrier. Et feiltre er et diagram som viser forbindelsen mellom systemfeil som er en spesiell uønsket hendelse og komponentfeil til systemet som utgjør den direkte årsaken til topphendelsen. Den uønskede hendelse utgjør topphendelsen av treet og de forskjellige komponentfeilene utgjør hovedhendelsene av treet. Analysene utføres ved at man stiller følgende to spørsmål: 1) Hvordan kan dette skje, eller 2) hva er årsaken til denne hendelsen. Når vi har kommet ned til det ønskede detaljnivået stopper vi. Fordelene med dette feiltreet er at det inkluderer både hardware feil og menneskelige feil som gir oss en realistisk fremstilling av trinnene som leder til en farehendelse. Feiltreanalyser passer best for analyser av komplekse system [9].
- Hendelsestreanalyser er brukt for å studere konsekvensene av starthendelsen. Metoden viser et bilde av mulige hendelsesscenarium. Analysen utføres ved at man stiller en del spørsmål hvor svaret er enten ja eller nei og man skiller de beste scenarium og de verste scenarium.
- Statistisk simuleringsanalyse.

FLACS- og CFD-simulering er kjente simuleringer i forbindelse med offshorevirksomhet for å kunne forutsi gasssekspløsjoner og gasspredninger [10].

3 Teori om tenning

3.1 Brennbar gass

Brennbarhet

Ved bruk av JIP- og OLF- modellene må viktige forkunnskaper om tenning innføres for å kunne utføre nyttige sannsynlighetsberegninger. Denne kunnskapen innebærer blant annet forhold som må være tilstede for at en brensel- og luftblanding skal være brennbar.

Forbrenning av brennbar brensel- og luftblanding vil forekomme dersom sammensetningen av blandingen er innenfor det brennbare området og dersom forholdene ligger til rette for antenning. Følgende karakteristikk forekommer i forbindelse med brennbarhet:

- Øvre og nedre brennbare grense.
En brensel- og luftblanding vil bare brenne dersom brenselkonsentrasjonen er mellom den øvre (UFL) eller nedre (LFL) brennbare grensen. Denne grensen er bestemt ut fra eksperimenter, og i luft er den avhengig av temperaturen og trykket. Hydrogen har et bredt brennbart område som betyr at det lett dannes en brennbar sky av hydrogen i luft. For propan og metan er det brennbare området smalere, men her kan det forekomme at tennkilden kan "sitte å vente" til skyen antennes og eksploderer. Det brennbare området vil bli bredere når starttemperaturen øker. De brennbare grensene er påvirket av følgende faktorer:
 1. Konsentrasjonen av oksygen
 2. Andre gasser enn oksygen
 3. Inert gasskonsentrasjon
 4. Størrelsen på utstyret
 5. Retningen på flammeutbredelsen
 6. Trykk
 7. Temperatur
 8. Turbulens
 9. Blanding av de foregående punktene

- Flash punktet til et stoff er den temperaturen som damptrykket i luft, ved likevektsforhold, er lik den nedre brennbare grensen for stoffet.
- Selvantennelsestemperatur er den laveste temperaturen som et stoff vil antenne på.
- Tennenergien er den energien som kreves for å antenne en brennbar blanding [12].
- MIT er den temperaturen som er nødvendig for å antenne en eksplosiv atmosfære. Disse MIT verdiene anses for å være konservative fordi de er oppnådd under svært optimale laboratoriebetingelser.
- MIE(minimum ignition energy) er et mål på hvor følsom en eksplosiv damp eller gassky er til elektrisk gnisttenning, og MIE er den minste energien som er nødvendig for å antenne.

For å tenne en gassky kreves det en tennkilde som har nok styrke. Minimum tennenergien er avhengig av brenselkonsentrasjonen og hva slags type brensel som er til stede. En svak tennkilde vil “sitte å vente” til gasskyen har fått den rette sammensetningen før den antennes.

MIE blir brukt til å vurdere sannsynligheten for tenning og dermed også behovet for tiltak. Det er vanskelig å finne nøyaktige verdier for tennsannsynligheten fordi tenningene ofte er små og skjer over kort tid.

De fleste hydrokarboner har en lav MIE på ca. 0.25mJ

Tabell 1 viser MIE til brennbare damper i luft og oksygen ved 25 °C og 1 atm.

	Minimum tennenergi (mJ)	
Brennbart	Luft	Oksygen
Hydrokarboner		
Metan	0,30	0,003
Etan	0,26	0,002
Propan	0,26	0,002
Butan	0,26	0,009
Heksan	0,29	0,006
Acetylen	0,017	0,0002
Etylen	0,07	0,001
Propylen	0,28	NA
Cyclopropan	0,18	0,001
Bensen	0,22	NA
Halogenerte hydrokarboner		
Butyl klorid	0,33	0,007(88°C)
Metylen klorid	133(88°C)	0,124(88°C)
Etylen klorid	2.37	0,011(88°C)
Metyl kloroform		0,92(88°C)
Trikloroetylen	295(88°C)	18.0(88°C)
Andre brennbarheter		
Acetaldehyd	0,38	NA
Aceton	1.15	0.0024
Ammoniakk	>1.0	NA
Karbon disulfid	0,15	NA
Etylen eter	0,20	0.0013
Etylenoksid	0,062	NA
Hydrogen	0,017	0.0012
Metanol	0,077	NA
Propylenoksid	0,14	NA
	0,14	NA

Tabell 1: MIE til brennbare damper i luft og oksygen [15].

Tabellen viser at MIE verdien til de mest brennbare er mellom 0.1 og 0.3mJ I luft. Acetylen, hydrogen og karbon-disulfid har mye lavere verdier enn dette, mens ammoniakk og halogenerte hydrokarboner har mye høyere verdier. MIE verdiene i oksygen er en god del mindre enn i luft. Disse er også veldig sensitiv mot trykk.

MIE er avhengig av kjemisk sammensetning, konsentrasjon, trykk og temperatur. Med økende temperatur vil MIE minke med en faktor på 2 for en temperaturendring på 100 °C.

De gjeldene kravene om lav tennenergi av brennbare dampblandinger er viktige ettersom gnister eller lysbuer fra elektrisk utstyr har mye større energier enn MIE. Til og med gnistenergien fra statisk elektrisitet er større enn MIE, og når gnistenergien er høyere enn MIE så er det sannsynlighet for tenning [16].

3.2 Tennkilder

I OLF- og JIP- tennsannsynlighetsmodellene er det viktig å inkludere alle tennkildene som kan utgjøre en farer for tenning.

Følgende tennkilder kan forekomme på en offshore plattform:

- Varmt arbeid som sveising, skjæring og sliping er kilde til antenning. Hvorvidt en varm overflate vil kunne antenne en eksplosiv atmosfære er avhengig av både tennkilden (størrelsen, areal, orientering og temperatur) og den eksplosive atmosfærens tilstand (konsentrasjon, konveksjon og turbulens.)

Dersom antall timer varmt arbeid blir redusert vil det redusere tennsannsynligheten, reduserer eksplosjonstrykket og dermed redusert sannsynlighet for en sterk eksplosjon [22]

- Antenning forårsaket av turbiner og forbrenningsmotorer/varm overflate.

I risikoanalyse av offshore innretninger er turbiner vurdert til å være en av de viktigste antenningskildene. Dette gjelder spesielt for store gasskyer. I 2006 på britisk sokkel oppstod det en gasseksplosjon. På grunn av store lekkasjer fra en gasskjøler dannet det seg en gassky som var 7 tonn. Denne skyen ble antent da gassen ble sugd inn i turbinen. Eksplosjonen førte ikke til betydelige skader. Forebyggende tiltak vil blant annet være å plassere turbiner i egnet avstand fra karbonførende system [23].

Overflater til elektrisk utstyr eller deler som er utsatt for en eksplosiv atmosfære, kan starte en kjemisk reaksjon dersom overflatetemperaturen overstiger en viss grense. Dette er avhengig av overflateformen, arealet, materialet og flytforholdene som retning og fart, av den omringende atmosfæren [24]. Mye av prosessutstyrene opererer ved høye temperaturer. Vanligvis er utstyret dekket/isolert, men allikevel kan noen overflater være kilde til antenning.

Temperaturen til den varme overflaten som for eksempel rørledninger skal ikke overstige temperaturen til brennbart stoff som kan være tilstede ved lekkasjer.

For overflater som fort blir avkjølt kan en antenning unngås fordi eksponeringstiden er mye mindre sammenliknet med antenningstiden.

Dersom arealet til den varme overflaten er liten, det vil si mindre enn 100mm², vil tenntemperaturen øke betydelig.

Det er blitt utført eksperimenter for å bestemme tenntemperaturen for forskjellige geometrier ved å bruke en propan- og luftblanding i en 50 liter eksplosjonsboks, tabell 8 viser resultatene fra eksperimentene.

Geometrien	Gasskonsentrasjon, Vol%	Tenn-temperatur
Vertikal flate	4.5	1056
Vertikal flate med ujevnheter	5.7	790
Horisontalt rør	7.2	790

Tabell 8: Tenntemperaturen for forskjellige geometrier

Tabellen viser at vertikale flater gir den høyeste tenntemperaturen, mens vertikale ujevne flater og horisontale rør gir begge betydelig lavere tenntemperatur.

Tenntemperaturen varierer også med den kjemiske sammensetningen til gassen(brenselet). Det viser seg at tenntemperaturen blir redusert med økende lengde på molekylkjedene [22].

- Elektrostatisk utladning og gnister. Elektrostatisk gnister oppstår mellom ledende materialer som er blitt oppladet på grunn av elektrostatisk oppladning. Et eksempel på dette er et oljefat av metall som er plassert på et isolerende underlag. Metallet blir fylt med en væske som bringer med seg ladning og kan føre til en elektrisk oppladning av metallet. Ved jording av oljefattet vil den elektrostatisk oppladningen av metallet bli ledet bort.

Statisk elektrisitet er en viktig tennkilde i prosessanlegg. Det har vært mange tilsynelatende mystiske eksplosjoner der årsaken til slutt er blitt sporet til statisk elektrisitet. Dannelse av elektriske ladninger forekommer først og fremst når to ulike materialer kommer sammen eller blir separert fra hverandre. Dette forekommer ved fast stoff og fast stoff-, væske og væske- eller fast stoff og væske overflater.

Statisk elektriske gnister kan forekomme ved

1. Brenselsoperasjoner
2. Fylling av beholdere, tanker og fartøy.
3. Høy fluidfart
4. Shot blasting
5. Steam cleaning [25].

Elektrostatiske utladninger på grunn av ukontrollert elektrostatisk oppladning er en tennkilde som kan gi antennelse av en eksplosiv atmosfære. Denne utladningen vil da skje fra en oppladet ikke-ledende overflate med lav ledningsevne. Dette kan for eksempel være en oljebelagt overflate eller en plastbeholder.

Det finnes forskjellige typer elektrostatiske utladninger som karonautladninger, børsteutladninger, koniske utladninger og propagerende børsteutladninger. Det er ofte vanskelig å finne ut om slike utladninger vil føre til antennelse.

- Koronautladningen har et lavt energiinnhold, der $E < 0,025\text{mJ}$, og kan bare antenne gasser med veldig lav tennenergi. Gasser med lav tennenergi er blant annet hydrogen og acetylen, de kan ikke antenne propan og metan.
 - Børsteutladningen har et høyere energi-innhold ($E < 1\text{-}3\text{mJ}$) og vil kunne antenne metan og propan
 - Propagerende børsteutladninger har et høyt energiinnhold der $E = 1\text{-}3\text{Joule}$. Disse utladningene har nok energi til å antenne en støvsky
 - Koniske utladninger er kun aktuelt for pulver. Da kan det oppstå koniske utladninger som kan ha et høyt energiinnhold og kunne antenne brennbare støvskyer [21].
- Feil i elektrisk utstyr. Elektrisk utstyr som behandler brennbare materialer har en områdeklassifisering som gjør at det er liten sannsynlighet for at det blir en tennkilde fra hverken elektriske utladninger eller varme overflater. I noen tilfeller kan feil i elektrisk utstyr være en tennkilde, som for eksempel brudd i en kabel og arcing(lysbuegnist) i den ioniserte luften, og starte en antenning

- Feil i roterende utstyr.

Roterende utstyr som pumper og kompressorer kan gå varm og dette varmepunktet kan være en tennkilde. Sannsynligheten for at disse enhetene vil være en tennkilde er ofte basert på feilrater fra OREDA(Offshore Reliability Data) og en antakelse om hvor stor del av disse som har med lagerfeil å gjøre, som kan føre til varmegang og dermed være tennkilde. En slik lagerfeil forekommer sjelden [12].

- Flamme / åpen ild. Flamme tyder på at det forekommer en kjemisk reaksjon som er eksoterm og er en veldig effektiv tennkilde. Ifølge ATEX-direktivet er åpne flammer ikke tillatt for noen av de tre utstyrskategoriene (utstyrskategori, s. 58) [11].

- Mekanisk produserte tennkilder.

Mekanisk produserte tennkilder oppstår på grunn av kollisjon eller friksjon mellom to faste legemer. Dette kan skje dersom for eksempelet fremmedlegemer kolliderer med en roterende gjenstand. Om dette vil føre til at gnister vil bli antent er avhengig av hvilket materiale som kommer i kontakt med hverandre, kollisjonsfarten, kontakttid og kontaktkraft. Det er en del tvil om hvorvidt mekaniske produserte gnister vil kunne antenne forskjellige eksplosive atmosfærer som gass og damp.

- Adiabatisk kompresjon

Tenning på grunn av adiabatisk kompresjon skjer ofte i forbindelse med trykkluftsystemer og dersom initialtrykket er høyt. En antennelse skjer ofte ved at en ventil åpnes fort slik at en trykkbølge forplanter seg gjennom rørsystemet. Når denne trykkbølgen for eksempel treffer en innsnevring kan det dannes reflekterte trykkbølger. Når disse treffer andre trykkbølger kan det oppstå en trykkøkning og temperaturøkning, som igjen kan føre til selvantennelse. I noen tilfeller kan trykket bli så høyt at rørene blir sprengt i stykker slik at det blir dannet prosjektiler og kan føre til antennelse av gasslekkasjer.

- Tilstedeværelse av personell.

Tilstedeværelse av personell vil ikke i og for seg føre til antennelse, men personell kan være involvert i aktiviteter som kan føre til tenning. Tenning kan skyldes følgende:

- Statisk elektrisitet

- Bruk av utrygge utstyr
- Uautorisert varmt arbeid
- Fallende gjenstander
- Drift av utstyr som er defekte
- Udekket varm overflate som skyldes vedlikehold
- Elektriske gnister fra utstyr som blir reparert

Tilstedeværelse av personell er innført som en egen klasse av tennkilder. Slike tenninger er knyttet til aktiviteter med unntak av varmt arbeid. Dette kan være i relasjon til operasjoner av utstyr eller verktøy som ikke blir regnet som varmt arbeid, eller statisk elektrisitet.

Antenning som skyldes drift av utstyr er i stor grad forbundet med at personell er tilstede. Start- og stoppoperasjoner av maskineri gir en økt risiko for antenning og skjer oftere dersom mye personell er til stede.

Tabell 9 viser hvor stor del av tenningene som skyldes tilstedeværelse av personell

Tenn-kilde	Andel av tenning som skyldes tilstedeværelse av personell
Elektrisk utstyr	0,1
Roterende maskineri	0,05
Andre utstyr	0,40
Andre tenn-kilder	0,40

Tabell 9 : Andel av tenning som skyldes tilstedeværelse av personell

For andre utstyr og tennkilder er sannsynligheten for tenning forårsaket av personell relativt høy. En sannsynlighet på 0,4 er blitt brukt [22].

- Ultral lyd kan absorberes av utstyr slik at det blir varmt og kan føre til antenning i sjeldne tilfeller. Ultrasonisk stråling med en frekvens som er høyere enn 10MHz er ikke tillatt.
- Lynnedslag er en kraftig tennkilde for antenning av brennbare gasser.

Lynnedslagene kan også ha så høy energi at det kan skade utstyr og kan føre til gassutslipp

- Ioniseringsstråling kan bli absorbert av utstyr slik at det blir varmt og føre til antenning. Denne strålingen kan også gi spaltning av vann som kan medføre en eksplosiv atmosfære av hydrogen og oksygen. Dette forekommer sjelden.
- Elektromagnetiske bølger, radiobølger og laserstråler kan alle bli absorbert av utstyr slik at det blir varmt, og en sjelden gang føre til antenning. Lyskilder er eksempel på utstyr som kan gi slik stråling [21].
- Selvttenning.
Selvttenning kan føre til lekkasjer og er derfor uavhengig av ytre tennkilder i en modul. Selvttenning kan skyldes frigitt energi fra et sprengt rør eller på grunn av gnister som følge av at et objekt treffer utstyr som inneholder hydrokarboner med høy trykkenergi [26].

3.3 Lekkasjer

Definisjoner på lekkasjer

Oljelekkasjer defineres som lekkasjer fra oljeførende systemer som:

- Råolje i strømningsrør fra brønnhode til manifold
- Råolje fra manifold til separator
- Alle oljestrømmene fra de forskjellige separatorene

Gasslekkasje defineres som lekkasjer fra systemer som fører ren gass, eventuelt olje/gass, med høyt gassinhold som ikke kommer inn under definisjonen av oljelekkasjer.

Årsaker til lekkasjer

Årsaken til lekkasje kan deles opp i to kategorier:

1. Lekkasje forårsaket av komponentfeil

Feil ved komponentene kan være brudd eller delvis brudd av rør eller fartøy, lekkasjer fra

flenser, og ventiler. Årsaken til lekkasjen kan være:

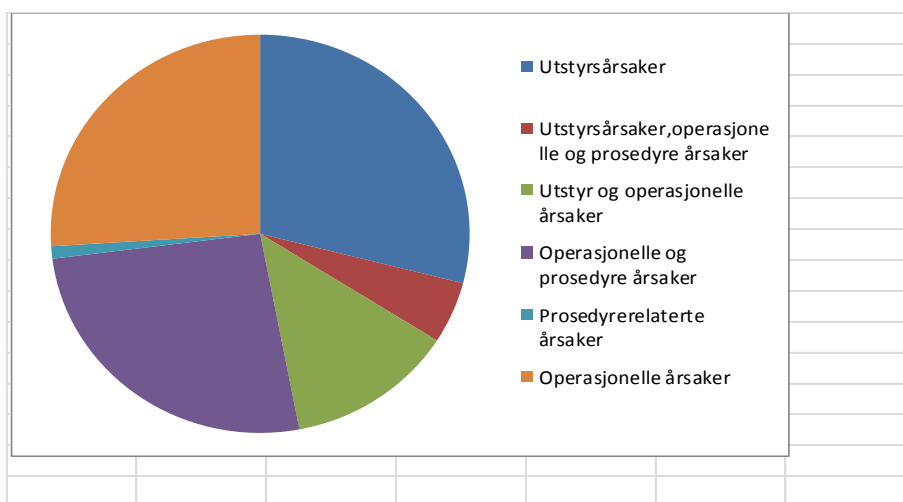
- Ytre påvirkninger
- Defekt materiale
- Konstruksjonsfeil
- Utmattelse
- Korrosjon
- Dårlig vedlikehold
- Kombinasjoner av disse faktorene.

2. Lekkasje på grunn av feiloperasjoner

Lekkasje i forbindelse med feiloperasjoner kan være:

- Feilutførelse av dren og avløp
- Ventiler som er plassert i feil stilling etter vedlikeholdsarbeid og testing
- Overfylling og overtrykk forårsaket av overdreven ventilering eller væskeoverflyt [12].

Sektordiagram 1 viser årsakene til lekkasjene fra 2001-2005. Det største bidraget til lekkasjer er operasjonelle feil og “left open”(prosedyreårsaker). Operasjonelle feil kan være at ventilene er åpnet på en feil måte eller at de manuelle oppgavene ikke er utført etter riktig prosedyrer. “Left open” kan være at det er blitt glemt å lukke en åpen ventil etter inspeksjon eller vedlikehold.



Sektordiagram 1: Årsaker til lekkasjer fra 2001-2005 [10].

Lekkasjefrekvensen

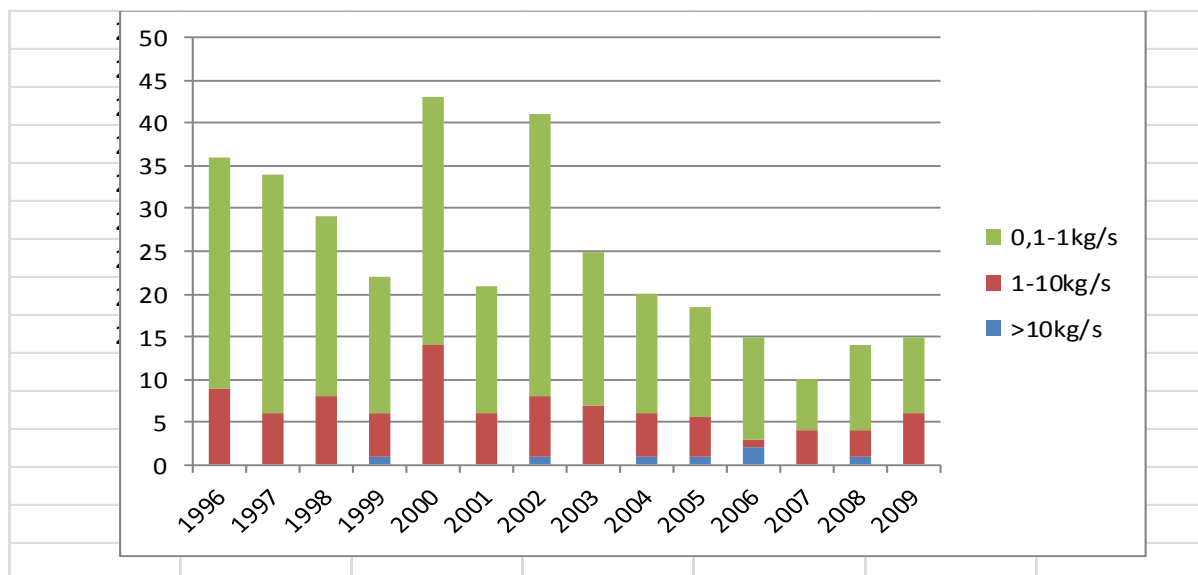
Lekkasjefrekvensen uttrykker antall lekkasjer over en tidsperiode.

En ofte brukt klassifisering av lekkasjefrekvensen er:

- Store lekkasjer (>10kg/s)
- Middels lekkasjer (1-10kg/s)
- Små lekkasjer (0,1-1kg/s)

Antall lekkasjer fra 1996 til 2008

PSA har utarbeidet kvantitativ data av hydrokarbonlekkasjer fra den norske kontinentalsokkelen. Histogram 1 viser lekkasjefrekvensen av hydrokarboner i prosessområdet som er over 0,1 kg/s i perioden 1996 – 2008



Histogram 1: Antall lekkasjer fra 1996-2008

Figuren viser at det er en nedgang i antall lekkasjer fra 1996 til 1999, og deretter er det en del variasjoner. Fra 2002 til 2007 er det en klar nedgang, men en del variasjoner for lekkasjer over 10 kg/s. I 2006 gikk antall lekkasjer større en 1 kg/s ned, men to av lekkasjene var større enn 10 kg/s. I 2009 var det ingen lekkasjer som var større enn 10 kg/s, men antall lekkasjer (6 lekkasjer) over 1 kg/s var det høyeste etter 2003(7 lekkasjer) [13].

3.4 Eksplosjoner og branner

3.4.1 Eksplosjoner

Definisjon på eksplosjoner

Gasseksplosjoner kan forekomme inni prosessutstyr eller rørledninger, i bygninger eller i offshore moduler, i åpne prosessområder eller i åpne områder.

Konsekvensene av en gasseksplosjon er avhengig av hvordan miljøet er der som gasskyen oppholder seg eller sprer seg i.

En eksplosjon er en forbrenning av en mikset gassky, som består av brensel og luft eller brensel og oksider, som forårsaker en rask økning av trykket.

Det er tre ting som må være tilstede for at en eksplosjon skal finne sted:

- Oksygen i nærliggende luft
- Tenn-kilder
- Brennbart stoff som gass, damp, støv eller væske [17].

Kategorisering av eksplosjoner

Eksplosjoner kan klassifiseres slik:

- Lukkede/indre gasseksplosjoner inni tanker, rørledninger, kanaler, tunneller, avløp og kloakksystem, lukkede rom og undergrunnsinstallasjoner.
- Delvis lukkede gasseksplosjoner i rom, bygninger eller i offshoremoduler
- Åpne gasseksplosjoner i prosessområde og andre åpne områder.

I en lukket gasseksplosjon trenger ikke forbrenningsprosessen å være rask for å forårsake alvorlig oppbygging av trykk. I en lukket/delvis lukket eksplosjon vil en trykkbølge (luftbølge som er satt i bevegelse av en eksplosjon) bli påvirket av utstyret i rommet. Men det er mulig å plassere utstyr og andre hindringer slik at maksimum overtrykk blir redusert.

Tiltak som kan utføres for å redusere maks overtrykk:

1. Plassere utstyr og ventilasjonsområdene på en slik måte at antenningskilden vil være mellom det største utstyret og ventileringsområdet.
2. Det største utstyret burde plasseres så langt som mulig bort i fra ventileringsområdet.
3. Den lange siden av utstyret bør være parallell med ventileringsretningen
4. Skarpe former er verre enn runde former
5. En økning av tverrsnittet av utstyret i ventileringsretningen vil gi en økning av overtrykket.

En delvis lukket gasseksplasjon vil forekomme når brensel tilfeldigvis blir sluppet ut inni bygningen som er delvis åpen. Bygningen vil "holde inne" eksplosjonen og eksplosjonstrykket kan bare bli sluppet ut gjennom eksplosjonsventilasjon i området. Disse ventilasjonsområdene kan være åpne områder i veggen eller vegger som åpner fort ved lavt overtrykk. I et delvis lukket område med hindringer, som prosessutstyr og rørledninger, kan flammehastigheten øke til flere hundre meter per sekund under en gasseksplasjon. En ubrent gass presses foran flammen og det dannes et turbulent felt. Når flammen kommer inn i dette feltet vil brennraten få en voldsom økning som igjen vil øke flytfarten og turbulensen foran flammen. Ventilering av ubrent gass foran flammen kan gi et lavere eksplosjonstrykk, spesielt hvis ventileringen styrer flyten bort i fra hindringer. Flammeakselerasjonen forårsaket av turbulens vil øke eksplosjonstrykket, mens ventilering vil redusere trykket. Det er en balanse mellom disse to forholdene som styrer trykkoppbyggingen.

Konsekvens og effekt av gasseksplasjon

Konsekvensene av en gasseksplasjon er avhengig av følgende:

- Type brensel og oksider.
- Størrelsen og brenselkonsentrasjonen av den brennbare skyen
- Beliggenheten av tennpunktet
- Styrken av tennkilden
- Størrelsen, beliggenheten og type ventileringsområder
- Beliggenhet og størrelse på utstyr

- Lindrende systemer

Gasseksplosjoner kan være ekstremt sensitive til forandringer i disse faktorene. Vurdering med hensyn til konsekvenser av slike gasseksplosjoner vil derfor være vanskelig.

Ekspløsjonsstyrken kan variere fra noen millibar til mange bar overtrykk. Eksplosjonen kan få følgende effekt på konstruksjoner:

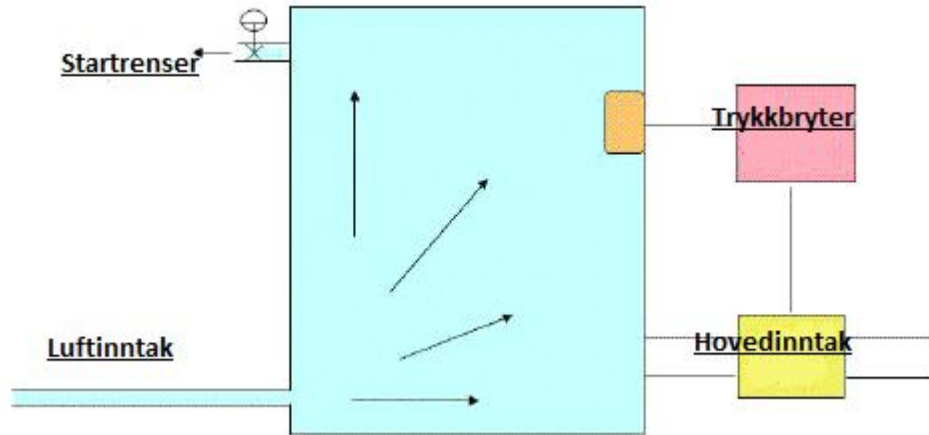
- Katastrofale brudd
- Alvorlige skader som kan resultere i en påfølgende brann
- Små eller ingen strukturelle feil, men kan gi alvorlige feil med sikkerhetssystemet og som dermed hindre kontroll av en påfølgende brann.
- Skader på prosessutstyr som umiddelbart vil føre til en forverring av ulykken.

Barrierer for å hindre eksplosjoner

Utstyr blir delt inn i forskjellige EX-klasser basert på tennfarene de representerer og hver klasse har forskjellige beskyttelsesteknikker for å hindre eksplosjoner. Målet med eksplosjonsbeskyttelse er å hindre at gassen kommer inn til utstyret slik at ikke gnister fra utstyret vil antenne gassen og føre til eksplosjoner og branner. Segregering, mekanisk utforming, energibegrensningsteknikk, kapsling og spesielle løsninger er noen av teknikkene som blir tatt i bruk.

Segregering

Segregering er en teknikk som går ut på å skille gassen fra utstyret ved å dyppe utstyret i olje, innkapsle det, eller plassere det i spesielle skap som overtrykkes med ren luft. Figur 4 viser hovedprinsippet for en segregering.



Figur 4: Hovedprinsippene for en segregering

Følgende EX- utstyr har en slik beskyttelsesteknikk.

EX-p- beskyttelse innebærer en slik segregering, der eksplosive gasser blir holdt borte ved hjelp av overtrykk i kapslingen. Ren luft blir tilført kapslingen fra egen tilførsel. Trykkvakter overvåker overtrykket som blir styrt av egne ventiler. Området på innsiden av kapslingen blir definert som sikkert. Fordelen med denne teknikken er at store volum kan beskyttes, og det er lite begrensninger på utstyret som blir kapslet inne. Spesielt er det nyttig på oljeplattformer hvor store utstysrom kan beskyttes. Ulemper med teknikken er at det trengs ren luft og det er forbundet med høye kostnader. Dersom det viser seg at overtrykket forsvinner er det viktig at det elektriske utstyret blir slått av. Kapslingen må også gjennomstrømmes med ren luft før utstyret blir satt på igjen.

EX-o- beskyttelse er en teknikk som går ut på å senke utstyret(som kan gi gnister, lysbuer eller høy temperatur) ned i olje for at gassen skal holde seg borte. Utstyret må monteres fast der som det skal virke. Metoden brukes på store bryterpaneler eller transformatorer, men er ellers ikke så mye brukt.

EX-q : For å holde gassen borte fylles utstyret(som kan gi gnister, lysbuer eller høy temperatur,) med sand. Q'en i Ex-q betegnes som "quartz" som brukes for å fortrenge gassen. Glasskuler eller silicaperler brukes mest som fyllingsmedium. Teknikken blir brukt i lysarmaturer og VDU- enheter.

EX-m- innkapsling : En spesiell kapsling der alt elektrisk materiell som kan gi opphav til gnistdannelse ligger innstøpt i en slags masse for at gassen ikke skal komme inn til utstyret. Metoden blir ofte brukt i sammen med andre beskyttelsesmetoder som f.eks. EX-e og EX -i.

Mekanisk utforming

Mekanisk utforming er en metode som brukes for å hindre at overflatene blir varme og at det dannes gnister. Dette utføres ved hjelp av en mekanisk utforming av utstyret.

EX- e -utstyr har en slik mekanisk utforming der utstyret er konstruert slik at det er større sikkerhet i form av større avstand mellom ledere og isolasjon og dermed ikke gir noen gnistdannelse. Det er viktig at ikke temperaturen på det innvendige utstyret overstiger den gitte temperaturklassen (temperaturklasser s.59). Det er krav om bruk av EX-e -godkjente nipler, dreneringsplugg og rekkeklemmer. Kabler må være produsert etter gitte standarder, må festes godt og ha gode strekkavlastninger. Metoden blir brukt for motorer, koblingsbokser, rekkeklemmer og varmeelementer.

For EX- n-utstyr er en slik metode kun brukt i sone 2, og blir delt inn i grupper basert på hvilken metode som blir brukt for å oppnå beskyttelsen som er ønsket. Følgende gruppering brukes:

- nA- utstyr som ikke gir gnister
- nC- utstyr som gir gnister, men som er beskyttet
- nR- utstyr som er innkapslet
- nL- begrenser energien i utstyret
- nP- en enkel overtrykkløsning.

Energibegrensningsteknikk

Denne teknikken går ut på å redusere energien i det elektriske utstyret, og kunne redusere evnen som de elektriske kretsene har til å lagre energi.

EX- i-beskyttelse innebærer en begrensning i tilført og lagret energi slik at energien ikke vil kunne overstige det som er nødvendig for å kunne antenne en eksplosiv blanding. Utstyret er konstruert slik at selv om det oppstår en kortslutning vil ikke energien i de elektriske kretsene danne gnister. For å få til en slik konstruksjon må utstyret kobles sammen med en strøm spenningsreducerende barriere i sikkert område. For å bekrefte at løsningen er egensikkert er det viktig at det utføres en godkjenning av hele kretsen. Fordelen med et slikt egensikkert utstyr er at det er mulig å utføre vedlikeholdsarbeid mens det er i drift, og det er den eneste beskyttelsesmetoden som kan brukes i sone 0. For alle typer instrumentering er denne metoden foretrukket i Nordsjøen.

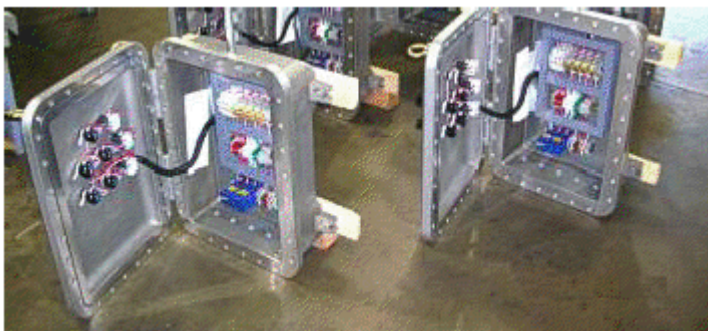
Kapsling

Teknikken bygger på innkapsling av utstyr i spesialkonstruerte bokser der elektrisk utstyr som isolatorer blir plassert. En slik kapsling finnes også for mindre utstyr som trykknapper, alarmhorn, lys og meldepunkter osv.

Kapslingen skal tåle en innvendig eksplosjon uten at atmosfæren rundt blir antent. Ved hjelp av tynne flammespalter blir bare trykket sluppet ut.

Koblingsboksene er store og tunge, og trenger årlig vedlikehold av flammespaltene

Bilde 3 viser hvordan slike koblingsbokser ser ut.



Bilde 3; av koblingsbokser.

EX- d,eksplosjonssikkert.

Utstyret blir plassert i trykksterke kapslinger som er laget slik at det tåler en innvendig eksplosjon uten at atmosfæren rundt blir antent. Kapslingen består blant annet av tynne flammespalter som ved en eksplosjon slipper ut trykket uten at flammen slippes ut. For å sikre at flammespaltene er funksjonsdyktige er det viktig at kapslingen jevnlig blir vedlikeholdt. For hvert utstyr som skal stå inne i boksen må kapslingen sertifiseres. EX- d- sertifiserte nipler og armerte kabler må også brukes.

Spesialløsninger

EX- s- utstyr er også en løsning som bør nevnes selv om det ikke hører til noen av gruppene som er nevnt, men som allikevel gir en eksplosjonsbeskyttelse. Som et eksempel kan nevnes en spesiell løsning for gassfyllleanlegg for propan, der det er umulig å hindre en gasslekkasje fra fyllingen. For å sikre det, blir det laget en kontrollert gasslekkasje i rommet for å holde gasskonsentrasjonen over den øvre eksplosjonsgrensen. Dette gjør at gassen blir for “fet“ og ikke vil antenne [33].

Svekkelse av barrierer

Ved beskyttelse ved hjelp av isolering av utstyret er det alltid en sannsynlighet for at barrieren ikke holder mål. Dette kan skyldes korrosjon, skitt, ødelagt innkapsling, eller en innkapsling som ikke er riktig montert. Når utstyret blir vedlikeholdt hender det at beskyttelsesutstyret ikke er riktig installert på tross av strenge krav og retningslinjer. Dette antas å være de mest alvorlige bekymringene med EX-d, EX-m, EX-p-utstyr.

Sannsynligheten for at utstyr med feil er til stede, er redusert hvis det er lett å oppdage om beskyttelsen ikke er effektiv. For EX- p- utstyr, kan et alarmsystem bli aktivert i tilfeller der overtrykket er tapt, eller ved at strømmen automatisk blir slått av. Med EX- m og EX- d- beskyttelse kan det noen ganger være vanskelig å oppdage en beskyttelsesfeil.

Trygge apparater som Ia er mest foretrukket og anvendelig i områder hvor brennbare blandinger hele tiden er til stede. Sannsynlighet for å antenne gassutslipp hos denne type utstyr er minimalisert. Likevel ser det ut som en uheldig jording kan bidra til en overopphetning ved at strømmen blir ført gjennom apparatet. Denne ulempen finner vi hos Ia og Ib apparater.

Sannsynlighet for antennelsen økes jo flere feil som forekommer hos slike apparater. Her vil få feil aksepteres hos noen apparater uten at disse skal kunne bidra til antening, mens antennelsen vil være unngåelig hos andre apparater med samme antall feil. Ib apparater og Ia apparater vil henholdsvis representere slike definisjoner [21].

3.4.2 Branner

Branner forekommer ofte etter en gassekspløsjon. En gassekspløsjon i en modul vil ofte bli etterfulgt av alvorlige branner.

Det er to kilder til brann:

1. Kilden til lekkasjen som førte til dannelse av den eksplosive skyen
2. Nye kilder til utslipp som skyldes at utstyr eller rør er blitt skadet av den første eksplosjonen.

For å unngå nye utslipp er det viktig at rør, utsyr og støttestrukturen er laget slik at det tåler styrken fra en eksplosjon. En stor eksplosjon kan føre til at dekk eller vegger beveger seg eller blir ødelagt. Dersom rør er festet på slike bevegelige deler vil slike skader kunne bidra til ytterligere lekkasjer og påfølgende eksplosjoner. Kabler og kontrollinjer kan også få skader av slike bevegelser.

For å hindre at branner skal oppstå på grunn av eksplosjoner er følgende tiltak viktig:

- Rør og støttestrukturen må designes slik at dersom det skulle forekomme en skade av modulene vil det ikke føre til skade på rørsystemet.
- Unngå konstruksjoner som vil føre til at det oppstår flyvende deler ved en eksplosjon [18].

3.4.3 Barriere i forbindelse med eksplosjoner og branner

Eksplosjoner og branner som involverer brennbare gasser vil utgjøre en stor trussel i prosessindustrien. Slike eksplosjoner vil uten tvil medføre betydelig harm og skade i mange sammenhenger, med betydelig fare for menneskeliv og enorme kostnader. Derfor vil et solid og grunnleggende arbeid gjennomføres etter strenge krav og være vital og påkrevd. Slike protokollførte retlingslinjer med standardiserte sikkerhetsregler vil i sin tur redusere slike risikoer.

Dersom det ved en OLF- og JIP- tennsannsynlighetsanalyse viser seg at det er behov for å sette opp barrierer for å redusere branner og eksplosjoner kan følgende aktive og passive barrierer være nødvendig:

Tennkildekontroll

- Gassbeskyttelse
- ESD/isolering
- Varmt arbeid
- Elektrisk utstyr
- Områdeklassifisering

Kontrollere en eksplosjon

- Layout , redusere eksplosjonstrykket
- Blast walls og andre barrierer
- Eksplosjonsventilering

- Water deluge
- Automatisk eksplosjonsdemping

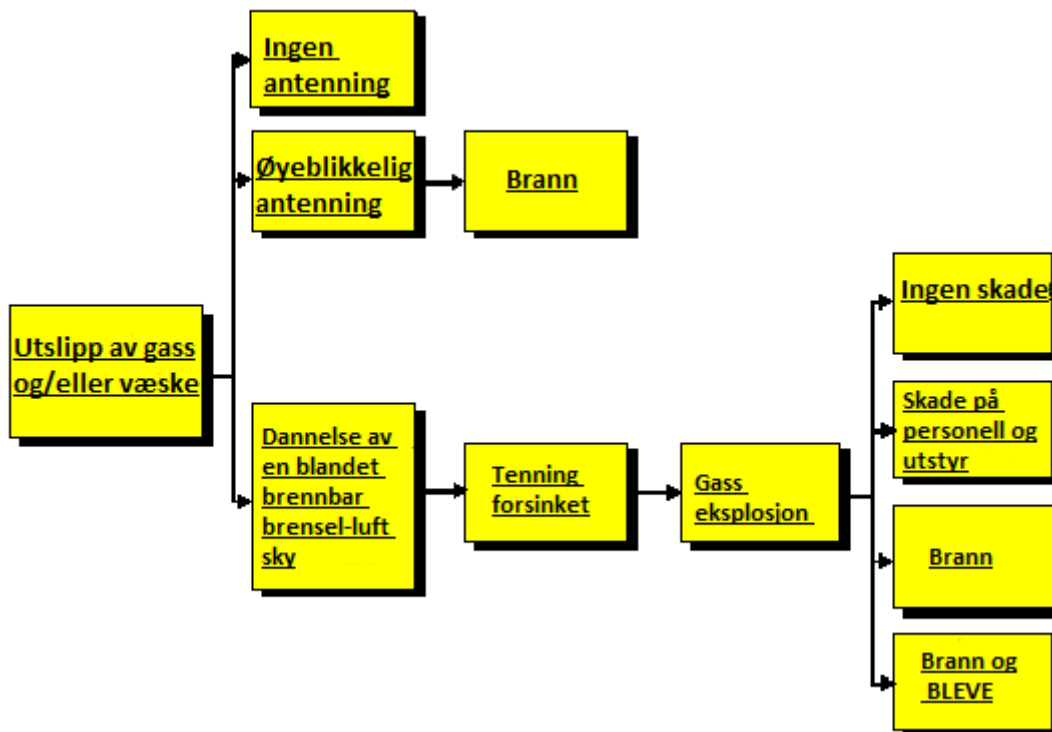
Forebygge lekkasjer

- Design
- Materialer
- Inspeksjon
- Vedlikehold
- Drift
- Prosessikkerhet

Begrense gasskyen

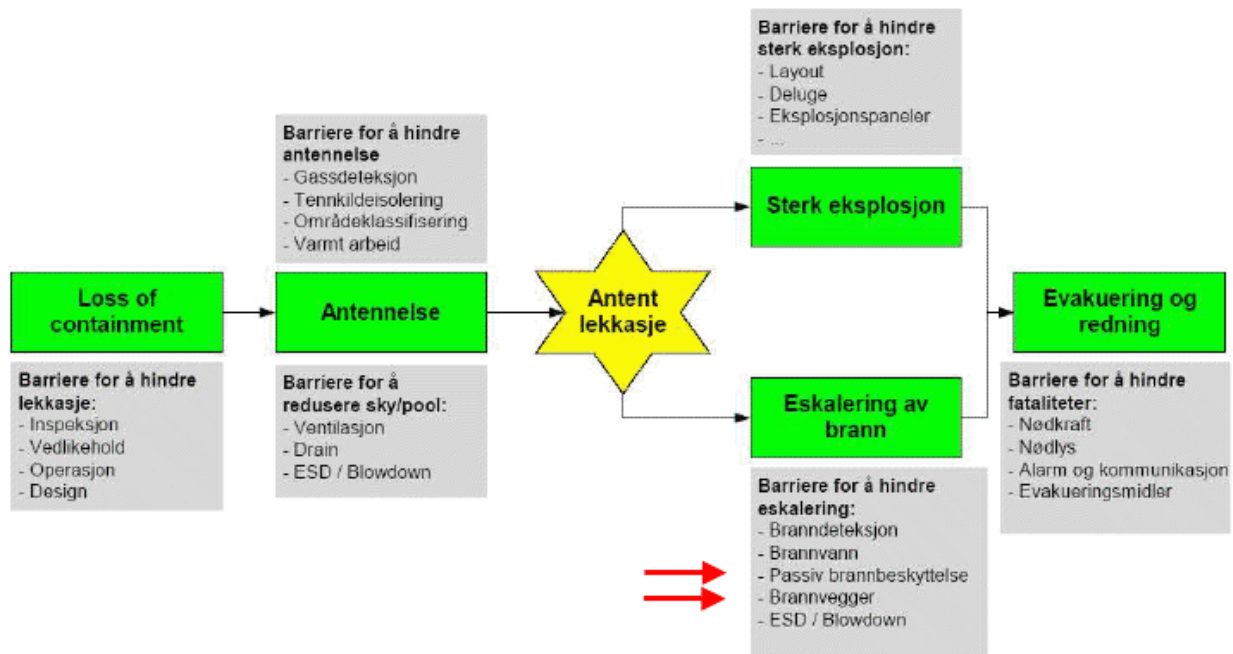
- Ventilering: God ventilering hindrer omfanget og spredningen av en eksplosiv atmosfære på grunn av gassutslipp. Dette reduserer tenn-sannsynligheten
- Gassbeskyttelse
- ESD
- Hindre trykkoppbygging
- Dreneringssystem[10]

Hendelsesforløpet fra lekkasje, spredning/blanding med luft, antennelse, selve eksplosjonene og til slutt hvilke følger eksplosjonen kan få kan skisseres ved hjelp av et hendelsestre slik figur 1 viser.



Figur 1: Lekkasjetre som viser en oversikt over hele hendelsesforløpet [19].

Deretter kan et mer detaljert hendelsestre, der barrierene er inkludert, settes opp slik figur 2 viser.



Figur 2: Detaljert hendelsestre der barrierer også er inkludert [20].

3.5 Gasspredning

Et av hovedfokusene i JIP- og OLF- eksponeringsmodellene er å beregne størrelsen på den brennbare skyen og gasspredningen rundt en offshore plattform. Skyutviklingen er transiente og en vurdering av denne skyen utføres i eksponeringsmodellen.

Sammensetningen av den lekkende gassen eller væsken spiller en viktig rolle med hensyn til reaktiviteten til eksplosjonen og hvor stor den brennbare skyen vil bli. Størrelsen til en gassky er ofte den viktigste parameteren når man skal finne faren med en gasslekkasje, for jo større skyen er jo større er lekkasjeraten. Størrelsen på en gassky er avhengig av:

- Lekkasjeraten
- Ventilasjonen
- Antenningstiden og beliggenheten

Jo større en brennbar gassky er jo større er tennsannsynligheten.

Eksponeringsmodellen for den transiente gasskystørrelsen møter en meget spennende utfordring hvor en kompleks, sammensatt og uklar prosess inngår i beregningen av tennsannsynligheten. Ønsket om å “ha skutt gullfuglen” gir interesse for utarbeidelse av en forbedret modell.

I forbindelse med gasskyspredning er det blitt utviklet matematiske modeller for å forutsi kompleksiteten av gass rundt en offshore plattform. Spredningen av gass og tennsannsynligheten kan beregnes ved hjelp av generiske modeller. Modellen CFD er utviklet på grunnlag av korrelasjoner av et begrenset antall Computational Fluid Dynamics(CFD) tilfeller. Derfor har modeller store begrensninger. Modellen gir også en ganske grov representasjon av gassspredningene. En matematisk modell og programmet XDIS er blitt utviklet for å kunne anta kompleksiteten av gass rundt en plattform. Ved hjelp av XDIS programmet kan man regne ut gasspredning. Programmet består av tre excel regneark : main sheet, windrose og ignition point [14].

FLACS-simulering er også et nyttig tredimensjonalt simuleringsverktøy for gasspredning for forskjellige brensel- og luftblandinger.

Programmet ASAP blir brukt for gasspredningsutregninger inni en modul. ASAP er sammensatt av mange statistiske modeller, fysiske modeller og geometriske modeller. ASAP regner ut ventilasjonsraten for naturlig ventilerte områder og basert på vindøknings data blir følgende punkter vurdert:

- ventilasjonsområdet

- trykkreduksjon gjennom åpningene og trykkoeffisienten rundt plattformen
- den gjennomsnittlige ventilasjonsraten
- vindretningen inni modulen

De utregnede ratene og hastighetene blir brukt til gasspredningsutregninger

3.6 Ventilering

Ventilering er en viktig faktor som inngår i OLF- og JIP- eksponeringsmodellene. Dette fordi ventileringforholdene har en betydelig påvirkning på spredningen av en gasslekkasje og på gasskyen som kommer fra denne lekkasjen. Det er blitt sagt at de “beste bygninger har ingen vegger”. Dette kan sies å være sant når det gjelder gasseksplosjonssikkerhet. For i en åpen bygning vil en naturlig ventilering øke gassspredningen og hvis en eksplosjon forekommer, vil trykket spre seg gjennom de åpne områdene. De fleste installasjoner har naturlig ventilering som medfører at spredningen av en gasslekkasje vil være veldig avhengig av vindstyrken og dens retning.

4. Viktige tennkilder og parametere i JIP- og OLF - tennintensitets og eksponeringsmodell

4.1 Kontinuerlige og diskrete tennkilder

JIP- og OLF- modellene skiller mellom øyeblikkelig og forsinket tenning, og mellom kontinuerlig og diskrete tennkilder og tar høyde for de tidsavhengige faktorene for tenning.

Diskrete tennkilder

JIP- og OLF- modellene anser tenning som en funksjon av størrelsen på den antenkelige gasskyen som gjelder for diskrete tennkilder. For diskrete tennkilder er tennintensiteten påvirket av tiden. Kildene forekommer som gnister nå og da og vil bare antenne dersom det er brennbar gass i det tidsrommet (tids-steg) det gnistrer. Når tennkilden først slår seg på er det viktig å vite hvor stor den brennbare skyen er. Diskrete tennkilder kan antenne en brennbar gassky når som helst og er knyttete til det totale volumet av brennbar gass og bidrar så lenge brennbar gass er til

stede.

Når en gassky er blitt sluppet ut i atmosfæren og den ikke er innenfor brennbarhetsgrensen eller hvis det ikke er noen tennkilde, vil gasskyen fortynnes og forsvinne [18].

I_a og I_b

Bidraget til tennsannsynligheten for diskrete tennkilder er uttrykt ved i_a og i_b . i_b blir brukt før isolering og i_a etter isolering. Denne parameteren er også relatert til en 3 minutters eksponeringstid.

En høy verdi av i_a gjør tennsannsynligheten mindre avhengig av størrelsen på skyen og mer avhengig av lekkasjevarigheten. Dette betyr at en høy verdi vil kunne forutsi relativt høyere tennsannsynligheter for små lekkasjer, som kanskje har en lengre varighet før påvisning sammenliknet med store lekkasjer. For store lekkasjer vil i_b ha liten innflytelse på tennsannsynligheten dersom effektiviteten til påvisning og isolasjon er tilstrekkelig. En relativt høy verdi gjør tennsannsynligheten mer avhengig av lekkasjevarigheten. Dette betyr at en høy verdi kan forutsi relativt høye tennsannsynligheter for små lekkasjer som er vanskelige å påvise på grunn av liten gassky og som kan ha lengre varighet før påvisning [21].

Kontinuerlig tennkilder

OLF- og JIP- modellene anser tenning som en funksjon av gasskyveksten for kontinuerlige tennkilder. Slike tennkilder vil antenne dersom de blir eksponert for gass. Dermed er en beregning av gasskyveksten viktig for tennsannsynlighetsberegninger av kontinuerlige tennkilder.

Kontinuerlige tennkilder er en kilde der tennintensiteten (sannsynligheten for tenning gitt eksponering av brennbar gass) ikke er påvirket av tiden, bare tilstedeværelse av en brennbar gass. Kontinuerlige tennkilder er "på" hele tiden og vil dermed gi antenning så snart den kommer i kontakt med brennbare gasser og dermed tenne den brennbare gasskyen så snart den når kilden. Når den brennbare gassen er i en "steady state" tilstand, eller er redusert i størrelse på grunn av at lekkasjen er stoppet, vil kontinuerlige tennkilder ikke bidra lenger [18].

Noen kontinuerlige tennkilder kan ha en tidsforsinkelse fra gasseksponering til antenning oppstår. Gassen trenger litt tid til å trenge igjennom en skadet EX- beskyttelse. Dette er tatt hensyn til ved å gi i_a en økt verdi [21].

Gruppering av diskrete og kontinuerlige tennkilder

De forskjellige tennkildene kan grupperes i kontinuerlige og diskrete tennkilder slik tabell 2 viser.

Kontinuerlige tennkilder	Diskrete tennkilder
Varm overflate	Elektromagnetisk utladning
Feil i roterende utstyr	Feil i roterende utstyr
Feil i elektrisk utstyr	Feil i elektrisk utstyr
Ultralyd	Tilstedeværelse av personell
Ionisert stråling	Lynnedslag
Elektromagnetisk stråling	Mekanisk produsert tennkilde
Spontan oppvarming	
Flamme/åpen ild	
Varmt arbeid	
Selvtenning	
Adiabatisk kompresjon	
Tilstedeværelse av personell	

Tabell 2: Gruppering av diskrete og kontinuerlige tennkilder

Feil i roterende og elektrisk utstyr kan være både kontinuerlig og diskret tennkilde, det kommer an på hva slags feil det er. Det samme gjelder for tilstedeværelse av personell som er avhengig av hva slags aktivitet de er involvert i.

4.2 Forsinket og øyeblikkelig tenning

I OLF- og JIP- modellene er det behov for en eksponeringsmodell for å beregne sannsynligheten for forsinket tenning, mens sannsynlighet for øyeblikkelig tenning er enklere og inkluderes i tennintensitetsmodellen.

Tenning kan skje øyeblikkelig eller kan bli forsinket med flere minutter.

Forsinket antenning

Forsinket tenning er mer komplisert da tiden er inkludert og gassen kan spres og antennes et annet sted enn der den kommer ut, og antenning er avhengig av størrelsen på gasskyen. Det er da behov for en tidsavhengig eksponeringsmodell.

Antenning er forsinket dersom det tar noen minutter eller opptil tretti minutter å antenne en lekkasje. En god simulering av gasspredning er dermed viktig. Derfor vil sannsynligheten for en sterk eksplosjon være størst i dette tilfellet pga. en forlenget oksidasjonsprosess [10].

Øyeblikkelig antenning

Tennsannsynlighet for øyeblikkelig tenning er enkel å beregne ved bruk av regneark og vil gi samme resultat for både JIP- og OLF- modellene. Bidraget fra øyeblikkelig tenning legges til i regnearket for tennintensiteten, og er en andel ved $t = 0$.

En antenning er oppfattet som øyeblikkelig dersom lekkasjen blir antent i løpet av det første sekundet etter at lekkasjen er oppstått. Og en eksplosjon er mindre sannsynlig i dette tilfellet fordi gasskyen ikke har fått tid til en optimal oksidasjonsprosess [10]. Dersom det forekommer en øyeblikkelig tenning, dvs. før blanding med luft eller oksidering har inntruffet, vil en brann oppstå. Den farligste situasjonen vil oppstå dersom en stor brennbar blanding av en brensel- og luftsky dannes og antennes. Øyeblikkelige tennkildesannsynlighet er forbundet med alle tenninger der det er en forbindelse mellom utslipp og tennmekanismer der tenningen ikke er avhengig av størrelsen på gasskyen [22].

4.3 Pif – tennkilder i et område

De potensielle tennkildene som er fordelt i et område er beskrevet ved hjelp av parameteren P_{if} . Parameteren består av både kontinuerlige og diskrete antennelseskilder. Den er relatert til et område på $1,500 \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ m}$ som er utsatt for 3 minutter brennbar gass uten isolering av tennkildene. Disse verdiene har en ønsket å bruke i et forsøke på å kalibrere modellen, slik at dersom et gitt volum er eksponert i en gitt tid, skal dette resultere i en gitt tennsannsynlighet. P_{if} parameteren måler tennsannsynligheten ut i fra både varighet og størrelse på skyen. Verdien som velges må være mest mulig i samsvar med erfaringsdata og tidligere tennmodeller.

4.4 Piso-effekten av tennkildeisolering

Effekten som tennkildeisolering har på tennsannsynligheten beregnes ved å bruke parameteren P_{iso} . Når $P_{iso} = 0$ betyr det at tennkildeisoleringen ikke har noen effekt på tennsannsynligheten. Dersom $P_{iso} = 1$ betyr det at tennkildeisolering effektivt stopper alle tennkilder i området.

Med en effektiv tennkildeisolering blir tennsannsynligheten for forsinket antenning redusert. Eksplosjonsrisikoen vil bli redusert fordi tenning av en stor gassky er mindre sannsynlig. En

effektiv tennkildeisolering vil gjøre tennsannsynligheten mindre avhengig av størrelsen på skyen, forutsatt at gasspåvisningssystemet er tilstrekkelig. Dersom tennkildeisolering på en effektiv måte reduserer tennsannsynligheten ved gasspåvisning, så vil ikke gasskyoppbygging etter isolering bidra til tennsannsynligheten.

4.5 Anbefalte parametere

Tabell 3 viser de grunnleggende/anbefalte parameterne som brukes ved modellering av tennsannsynligheten i en offshore modul. Disse parametere gir tennsannsynligheten og gjenspeiler de gjennomsnittlige Nordsjøforholdene i perioden 1992 – 2007.

P _{if} (Volum på 15,000 m ³ og 180 sekund eksponerings varighet)	0,075	Denne grunnleggende verdien gjenspeiler en sone 2 klassifisert prosessområde på en nordsjøplattform med en normal utstyrstandard og operatør aktiviteter (ikke varmt arbeid) Varmt arbeid behandles separat
i _b	0,5	
i _a	0,75	
P _{iso}	0,75	Denne grunnleggende verdien viser en omfattende isolering av elektrisk utstyr ved gasspåvisning som normalt finnes på nye plattformer. Et høyere tall, f.eks. 0,5, bør brukes for installasjoner der omfanget av isolasjon er usikkert. Et høyere tall er også relevant for gamle anlegg. Anlegg som er bygd før 1985 blir ansett som gamle

Tabell 3 : Anbefalte parametere

4.6 Justeringsfaktorer

Inkludert i JIP- og OLF-tenntensitetes og eksponeringsmodellene har man også justeringsfaktorer som brukes for å gjenspeile de virkelige forholdene på plattformen.

En del justeringer av de grunnleggende parametere i tenmodellene kreves for å kunne gjenspeile “better or worse” case. Der man i “better” case tar høyde for ny teknologi og godt vedlikehold. Det har vært en teknologisk utvikling og statistikker har vist en fallende trend i hyppigheten av ulykker som branner og eksplosjoner.

Rettlinjer for justering av modellparameterne er blant annet gitt for :

- Justering for alder og teknologi

- Justeringer for å gjenspeile bemanningsnivået.

Justeringer for alder og teknologi

Justeringsfaktorer for alder og teknologi kan være basert på ulykkesstatistikker. HSE database for hydrokarbonutslipp er blitt gjennomgått for å se om det er en sammenheng mellom alderen til installasjonen og sannsynligheten for antennelse. Alle hendelser er tatt med. Det viste seg at en mye høyere del av utslippene ble antent for plattformer som var mer enn 15 år gamle. Mulige forklaringer på dette kan være:

1. Ventilasjonsforholdene.
2. Mer varmt arbeid for gamle plattformer.
3. Gammel teknologi i bruk på gamle plattformer.
4. Aldring av utstyr
5. Flere personal til stede på gamle plattformer.

Basert på dette er følgende justeringsfaktorer brukt:

- Alle utslipp: $P_{ign}(\text{nye plattformer}) = 0.65 \cdot P_{ign}(\text{gamle plattformer})$
- Alle prosess utslipp : $P_{ign}(\text{nye plattformer}) = 0.39 \cdot P_{ign}(\text{gamle plattformer})$
- Prosessgass utslipp: $P_{ign}(\text{nye plattformer}) = 0.33 \cdot P_{ign}(\text{gamle plattformer})$

Ventilasjon og varmt arbeid behandles separat i tenningsmodelleringer og bør ikke inkluderes i justeringen i tennkildeintensiteten. Det er ingen klar sammenheng mellom observerte utslipp som er antent og type ventilasjon. At ventilasjonsforhold er en viktig årsak til forskjellen mellom antenning på nye og gamle plattformer blir ikke støttet av data. Det samme gjelder for varmt arbeid.

Nye plattformer har få antente hendelser enn gamle plattformer. Hovedgrunnen for dette er den teknologiske forbedringen av utstyr, og ikke aldringen av utstyret. Men noe reduksjon av utstyrets feilrate som skyldes at utstyret er nytt er rimelig å anta. Dette kan være feil som ikke er blitt påvirket av vedlikehold. Tabell 4 viser justeringsfaktorer for **aldring**:

	Gammel (> 15 år)	Ny (< 15 år)
Kontinuerlige og diskrete tennkilder	1.15	0,9

Tabell 4: Justeringsfaktor for aldring

Aldring kan betraktes som en kontinuerlig prosess og følgende korreksjonsfaktor skal reflektere dette:

$$P_{if} = K = 0,9 + 0,01 n, \text{ der } n = \text{alderen uttrykt i år.}$$

Det viktigste bidraget for å redusere tennsannsynligheten for hydrogenutslipp er trolig det teknologiske fremskrittet av utstyr. En ganske stor del av de registrerte tenningene skyldes dårlig utstyr som er installert på nye installasjoner.

Tabell 5 viser en anbefalt justeringsfaktor for **teknologi**:

	Før 1985	Etter 1985
Korreksjonsfaktor for P_{if}	1.2	0.75

Tabell 5: Justeringsfaktor for teknologi

Den totale justeringsfaktoren for aldring og teknologi finner man ved å multiplisere de to korreksjonsfaktorene.

Justeringer som gjenspeiler bemanningsnivået

P_{event} parameteren brukes i forbindelse med tenning som forekommer øyeblikkelig og som er knyttet til årsaken til lekkasjen, som for eksempel brudd på utstyr.

I perioder med sterk bemanning (det vil si mer enn 3 ganger normal bemanning) i forbindelse med vedlikehold og endringer er følgende justering av P_{event} anbefalt:

$$P_{event} \cdot 1.4 \quad (\text{brukes på alle lekkasjer})$$

For områder som ikke er normalt bemannet justeres P_{event} slik :

$$P_{event} \cdot 0.8$$

For en ny installasjon med en teknologi fra 1996 og veldig bra vedlikeholdsprosedyrer viser tabell 3 justeringsfaktor som blir brukt for fire av de viktigste tennkildene (baser på HSE database). Den totale korreksjonsfaktoren for hver tennkilde beregnes ved å multiplisere hver av korreksjonsfaktorene alder, bemanning og teknologi.

Tennkilde	Alder/aldring	Bemanning	Teknologi	Korreksjonsfaktor
Elektrisk utstyr	0,95	1.0	0,50	0,48
Roterende maskineri	0,95	1.0	0,85	0,81
Andre	0,95	1.0	0,85	0,81
Tilstedeværelse av personell	1.0	0,6	0,90	0,54

Tabell 6 : Anbefalte justeringsfaktorer for fire av de viktigste tennkildene

4.7 Datakilder

Data som brukes for å beregne tenn-sannsynlighet i den nåværende OLF tennmodellen er basert på flere kilder, og hvilke datakilder som velges er avhengig av hvilke parametere som skal beregnes.

Datakilder som brukes i JIP- og OLF- modellene vises i tabell 7.

Datakilder	Beregninger basert på datakilder
HSE	Generell tennsannsynlighet, inkludert antall antente og ikke-antente olje og gass utslipp. Tennkilder inkludert tilstedeværelse av personell Sannsynlighet for eksponering Finne intensiteten basert på lekkasjespredningsdata
WOAD	Årsaker til tenning og fordeling av tenn-kilder Tennkilder inkludert tilstedeværelse av personell
NPD	Sannsynlighet for eksponering
OLF	Sannsynlighet for eksponering
Operatører	Generell tenn-sannsynlighet, inkludert antall antente og ikke – antente olje og gass utslipp. Tennkilder inkludert tilstedeværelse av personell Sannsynlighet for eksponering
Plattformdata og ekspertvurderinger	Finne hva slags tenning, kontinuerlig eller diskret.

Tabell 7: Datakilder [21].

5 Krav knyttet til OLF- og JIP-eksponeringsmodellene

5.1 NORSOK Z-013, krav i forbindelse med lekkasjer

Lekkasjeraten er en viktig parameter som er inkludert i beregningen av tennsannsynligheten i OLF- og JIP- modellene. Det er spesielt i eksponeringsmodellen at lekkasjeraten blir brukt.

Beregning av lekkasjeraten er knyttet til størrelsen til den brennbare gasskyen som er et stort bidrag i tennsannsynlighetsberegningen. Det er viktig at modeller som brukes viser hvordan forskjellige lekkasjerater gir forskjellige skyutviklinger. Høy lekkasjerate kan gi stor brennbar sky, og større sannsynlighet for tenning. Dette kan være og starten på en alvorlig ulykkeshendelse. CFD- simulering og ballongmodellen blir ofte brukt for å beregne lekkasjeraten. I retningslinjene i NORSOK- standard Z-013, vedlegg G, som JIP- og OLF-eksponeringsmodellene må følge, må lekkasjeraten basert på trykket i systemet beregnes og klassifiseres i følgende små kategorier: 0.1-0.5; 0.5-1.0; 1-2; 2-4; 4-8; 8-16; 16-32; 32-64; 64-128; 128-256; 256-512; 512-1024; 1024-204. De øverste lekkasjeratene representerer høye startlekkasjerater og betegner ofte brudd på rør.

I en analyse må minst tre lekkasjepunkt i en modul vurderes, inkludert i disse må seks utløpsretninger og mulige spredninger være med. Det skal være minst ett senarium der sted for lekkasje med ventilasjonsretning er tatt med. Kunnskaper innenfor geometri, fysikk, vind og ventilasjonsretninger gjør det mulig å begrense antall scenarier som trenger simulering. Stoffer som damper fra en væskelekkasje skal modelleres likt som en gasslekkasje. Det er også viktig at de brennbare egenskapene til gassen diskuteres og dokumenteres [11].

5.2 NORSOK Z-013, krav i forbindelse med eksplosjoner og branner

JIP- og OLF-eksponeringsmodellene må følge NORSOK-standard Z-013 for å beregne faren for eksplosjoner og branner. I retningslinjene i NORSOK-standard Z-013 er det utført en del forenklinger ved modelleringen i forbindelse med problemer knyttet til ikke- homogene skyer, og bruker støkiometriske skyer i stedet. En simulering av eksplosjoner blir utført med slike skyer. Formålet med en slik forenkling er både å redusere antall simuleringer og gi et så godt bilde av eksplosjonstyrken som mulig. Hyppigheten av de forskjellige antente støkiometriske skyene og eksplosjonssimuleringene blir kombinert for å beregne eksplosjonsrisikoen. Da kan også styrken av designen beregnes. Tidsavhengig gasseksplosjonsovertrykk og overtrykkskraft skal brukes for å bestemme hvilken respons strukturen gir og hvilken sikkerhetsmargin sikkerhetskritiske utstyr har på en installasjon.

Tenning kan forekomme hvor som helst i en gassky og i følge NORSOK Z-013 er det påkrevd at

en eksplosjonssimulering må inneholde minst tre tennsteder som: sentrale tenninger, tenninger i enden/kanten av skyen og i mellomliggende forhold. En avansert CFD- simulering som FLACS bør brukes ved en simulering av eksplosjoner [11]. FLACS-simulering er et nyttig tredimensjonalt simuleringsverktøy for gasseksplosjoner og blir sett på som den beste simuleringen for å forutsi gasseksplosjoner i offshore moduler. FLACS er basert på de siste kunnskapene innen gasseksplosjonsforskning og gir den beste kvaliteten på resultatene som nå er tilgjengelig. FLACS gir kvantitativ informasjon som for eksempel trykktids kurver for en gitt eksplosjon, omrissplott og videoanimasjon av resultatene, som gjør at resultatene blir lett mottagelige. Det er også lett å forstå hovedresultatet fra en FLACS- simulering og er dermed et effektivt verktøy for å overføre kunnskap om gasseksplosjoner til dem som skal foreta avgjørelser.

I en eksplosjonssimuleringer vil det også være viktig at følgende punkter er inkludert:

- Beliggenheten til lekkasjekilden
- Retningen til gassjeten
- Flytraten til lekkasjen
- Vindretningen og farten
- Barrierer som skal begrense størrelsen og spredningen av skyen.

Opplysninger om vindforholdene innhentes fra aktuell databasen. Fra lekkasjestatistikker fås informasjon om hullstørrelsen slik at flytraten kan finnes. Fra geometriske vurderinger kan beliggenheten og retningen til lekkasjen finnes. Variasjoner av alle disse parametere gir dermed inputscenarium til en FLACS- simulering. Det må også utføres klassifisering for å begrense antall tilfeller[10]. Dersom eksplosjonen sprer seg utenfor modulen kan det dannes et ytre trykkfelt som kan føre til et stort trykk på ytre overflater på andre steder på plattformen. Det anbefales da å bruke FLACS Blastblock.

5.3 NORSOK Z-013, krav i forbindelse med ventilering

Ved bruk av CFD- ventilasjonssimulering er det påkrevd med minimum åtte vindretninger med 2-4 ventilasjonsforhold. Ved slike simuleringer er det lov å anta at ventilasjonsraten for en vindretning er proporsjonal med vindfarten. Denne proporsjonaliteten kan ikke brukes på lave vindhastigheter [11]. Det er også viktig å skape en sammenheng mellom gasskonsentrasjonen og forholdet mellom lekkasjeraten og ventilasjonsraten. CFD- modeller skal brukes ved spredningsberegninger. For en modul skal minst 10- 15 CFD- spredningsberegninger utføres. Det er ikke mulig å utføre en spredningssimulering for alle mulige kombinasjoner. Det er derfor

nødvendig at et sett med representative tilfeller blir valgt. Antall tilfeller bør begrenses til rundt 10. Dette er ganske lavt i forhold til den store mengden med variasjoner som er mulige. I detaljerte studier er det realistiske antallet rundt 30 – 45, men basert på erfaring vil en finne ut hvor mange som trengs for å etablere en representativ fordeling [10].

5.4 NORSOK S-001 og ATEX krav knyttet indirekte til OLF- og JIP-tennintensitets og eksponeringsmodellene

NORSOK S-001-standard og ATEX -direktivet er knyttet til design av sikkerhetsfunksjoner, barrierer og tennkildekontroll og er indirekte knyttet til OLF- og JIP- eksponeringsmodellene og tennintensitetsmodellene. Det er slik at anlegget må tilfredsstillere kravene i NORSOK S-001 og ATEX- direktivet for at JIP- eller OLF- modellene skal kunne benyttes.

5.4.1 NORSOK S-001, tennkildekontroll

Den norske petroleumsindustrien utviklet NORSOK- standard- S-001 for å sikre en tilfredsstillende sikkerhet, verdiskapning og kostnadseffektivitet for petroleumsindustrien der formålet er å utføre en tennkildekontrollen for å redusere sannsynligheten for antenning. En elektrisk isolering av utstyr er definert som utkobling av strømførende kabel, og en lokal utkobling anses ikke som en elektrisk isolasjon. Automatisk tennkildekontrollfunksjon utføres gjennom sikkerhetssystem som f.eks.:

- ESD
- Gasspåvisning
- Brannpåvisning
- Ventilering
- Nødstrøm og lyn

Det er viktig å utføre en tennkildekontroll som skal redusere sannsynligheten for tenning av brennbare gasser og væsker. Dersom en lekkasje har oppstått er det viktig at sannsynligheten for tenning blir redusert med bruk av tennkildekontroll og isolering. P_{iso} parameteren i OLF- og JIP-eksponerings og tennintensitetsmodellene viser effekten av en slik isolering. Tennkontroll og isolering kan utføres ved hjelp av design ved at man begrenser antall tennkilder så mye som mulig og har kontroll på plasseringen. Det er også viktig at tennkilden kobles ut så fort som mulig ved en lekkasje fordi det tar noe tid før varme flater ikke er mulige tennkilder lenger. Varmt arbeid utgjør 90 % av tennkildene ved vedlikehold og konstruksjonsaktiviteter. Dermed er en oppfølging av prosedyrer i forbindelse med varmt arbeidskontroll viktig. Varme flater, utstyr,

flare og lynnedslag er de dominerende tennkildene ved normal produksjon, boring, oppstart og testin, og en tennkildeisolering er viktig i slike tilfeller. Godt utført vedlikehold på utstyr gjør at sannsynligheten for at en skal få varmgang i pumper eller feil i EX- utstyr blir redusert. For å få kontroll på tennkilder har man følgende system:

- EX- utstyr
- Tennkildeisolering
- Prosedyrer, dvs. rutiner i forbindelse med personaktiviteter og arbeidsutførelse, og varmt-arbeidskontroll [27].

I NORSOK- standard- S-001 skal følgende krav til tennkildek kontroll følges:

Område- klassifisering I følge EU -reguleringene skal både elektriske og ikke elektriske utstyr som blir brukt i farlige områder sørge for et minimumskrav til eksplosjonsbeskyttelse. Her kommer også parameteren P_{iso} inn som viser om effekten av isolering/beskyttelse til fredstiller disse minimumskravene.

Både elektriske og ikke elektriske utstyr som er installert og brukt i farlige områder skal følge ATEX- kravene(direktiv 94/9/EC). Gruppe 1 utstyr (gruppering av utstyr s.54) skal frakobles ved en lav gasspåvisning hvor som helst på innretningen. Alle EX- utsyr i gruppe 2 skal være isolert ved bekreftet gasspåvisning.

Utsyr i ikke- eksplosjonsfarlige, ventilerte områder.

Elektriske og ikke elektriske utstyr installert i ufarlige, naturlige ventilerte områder skal minst oppfylle kravene for utstyr som skal brukes i sone 2. Dette er viktig for å sikre at utstyret ikke vil opptre som en tennkilde i et område der en eksplosiv gass kan komme inn i et normalt ufarlig område. Bruk av utstyr, som ikke er spesielt beskyttet med hensyn til å bli en potensiell tennkilde, skal gå gjennom spesielle sikkerhetsvurderinger med tanke på det verst tenkelige scenarium i forbindelse med dannelse av en eksplosiv gassky. I offshore industrien skal en dispensasjon for bruk av slikt ubeskyttet utstyr være basert på en sikkerhetsvurdering samt tiltak for å unngå en tennkilde ved påvisning av gass.

Sikkerhetsrelaterte utstyr som bør forbli operative etter gjennomføringen av en evakuering av en offshore installasjon, skal som et minimum overholde faresone 2 kravene. Det gjelder følgende utstyr :

- Nødlys

- Kommunikasjonsutstyr
- Flytende lys som navigasjonshjelp for livbåtområder og helikopterdekk
- Brannpumper

Temperaturen til varme overflater skal ikke overstige tenntemperaturen til brennbart stoff som kan være tilstede ved en lekkasje. Isolerende materiale skal dekke hele den varme overflaten. Det kreves en utfyllende beskyttelse for å hindre det brennbare stoffet til å trenge inn i det isolerende materialet.

Statisk elektrisitet

Gjenstander som kan tiltrekke seg elektrisk ladning skal være jordet. Utstyr som kan samle ladning som f.eks. fiberarmert plast skal blant annet følge ATEX- direktivet(94/9/EC). Dette er gjenstander som skal beskyttes mot elektriske ladninger som skyldes fysisk kontakt eller rask flyt av væske eller gass

Isolering av elektriske tennkilder

Potensielle elektriske tennkilder, utstyr og aktiviteter skal identifiseres og en strategi skal gjennomføres for frakobling eller isolering i tilfelle et gasslekkasjeuhell. Utstyr som ikke er eksplosjonsbeskyttet, kategoriseres i en av tre grupper avhengig av behovet for om utstyret trenger å være i drift i tilfelle en gasslekkasje skulle forekomme.

Gruppe 1 består av utstyr som ikke påvirker produksjonstilgjengeligheten eller sikkerhetsintegriteten. Slikt utstyr skal isoleres på en "lav" gassalarm hvor som helst på innretningen, eller ved signalet "bekreftet gass i farlig område".

Følgende utstyr hører til gruppe 1:

- Stikkontakt for sveising og stikkontakt for håndverktøy
- Luftdrevne verktøy
- Midlertidig elektrisk utstyr
- Elektriske oppvarmingselementer
- Varmt arbeid

Utstyr som ikke er eksplosjonsbeskyttet inkludert elektriske varmeelementer som er plassert i ufarlige mekaniske ventilerte områder skal isoleres på en enkelt gasspåvisningsalarm i HVAC inntak. Elektrisk utstyr utenom varmeelementer som er plassert inni rommene kan være i drift til

påvisning av bekreftet gass i HVAC inntak, forutsatt at sikkerhetsanalyser har dokumentert en tilstrekkelig lav tennsannsynlighet

Gruppe to består av elektrisk utstyr som må holdes i gang for å opprettholde produksjonen. Slikt utstyr må isoleres eller frakobles på signalet “ bekreftet gass i ufarlige områder”.

Følgende utstyr hører til gruppe 2:

- Generator
- Main power electrical distribution panels
- Dieselmaskiner
- Heaters
- Boilers
- Ventilasjonssystem
- Nødgeneratorer

Utstyr som ikke er beskyttet mot eksplosjon inne i mekaniske ventilerte rom må underlegges øyeblikkelig automatisk isolering ved bekreftet gasspåvisning i HVAC innløp. Utstyr som ikke er beskyttet mot eksplosjon og plassert inne i rom med dør/luft sperre vendt mot eller i nærheten av klassifiserte områder, skal utsettes for øyeblikkelig automatisk isolasjon. Denne isolasjonen vil forekomme som en bekreftet gasspåvisning i rommet på grunn av inntrengning via dør/luftsperrer eller ved samtidig tap av ventilasjonsstrøm og en enkel gassalarm i nærliggende område.

Gruppe 3 består av sikkerhetskritiske elektriske utstyr som må være i drift for å sikre en sikker flukt og evakuering og for å hindre en eskalering av ulykker. Dersom det skulle skje en alvorlig evakuerings situasjon må slikt utstyr være frakoblet og isolert med en tidsforsinkelse. Utstyr som hører til gruppe 3 er følgende:

- Un-interruptable power supplies (UPS)
- Brann og gass påvisnings system (F&G)
- Emergency shut- down systems (ESD)
- Process shut down systems (PSD)
- Public address systems (PA)

- Emergency communication systems (EC)

Utstyr som er påkrevd for å sikre olje eller gassbrønner i en nødsituasjon skal defineres i en nød stengning(shut-down) prosedyre. Det skal også opprettes en back-up prosedyre for manuell shut-down.

Sikkerhetskontrollenhetene, strømtilførselsenhetene og nød shut-down enheten skal ut i fra sikkerhetsvurderinger plasseres i beskyttede rom i boligkvarteret eller i nærheten av kontrollrommet. Dersom slikt utstyr ikke er riktig plassert er minimumskravet at det skal være egnet for bruk i sone 2 området. Dette vil normalt gjelde for alle utstyr som detektorer og utstyr som ligger inne i ikke farlige rom og boligkvarter.

I ikke-eksplosjonsfarlige områder er elektrisk utstyr vanligvis ikke eksplosjonsbeskyttet. Dersom utstyret blir utsatt for en brennbar gass vil det nødvendigvis ikke føre til en antennelse. Sannsynligheten for tenning er også avhengig av hva slags type utstyr og maskiner det er. Sikkerheten i ikke- farlige områder er avhengig av de tiltak/barrierer som er blitt gjort for å holde den brannfarlige gassen utenfor området.

Tenning er veldig sjelden dersom varmt arbeid utelukkes. Effektive prosedyrer for isolering av elektriske tennkilder er nok en viktig årsak til det lave antall hendelser. Isolasjonsfilosofien varierer mellom installasjoner og operatører.

Det er generelt tre nivåer av isolering som tabell 10 viser.

Nivå	Aktiveringsmekanismer	Virkning	Konsekvenser
1	Detektor eller manuelt	Isolering av ikke- kritiske utstyr i alle naturlig ventilerte områder og andre områder	Utstyr som ikke påvirker produksjonen eller sikkerheten ved shut-down (for eksempel varmt arbeid)
2	Påvisning inne i et ventilasjonssystemet eller manuelt	Isolering av viktig utsyr ved hjelp av ventilasjonssystem	Kan resultere i delvis eller full shut-down
3	Manuelt (APS)	Isolering av alle kritiske utstyr	Består av viktige sikkerhetsutstyr og vil føre til en shut-down.

Tabell 10 : Tre nivå av isolering

Konsekvensene av en shut- down kan variere fra installasjon til installasjon. Å starte på nytt kan være vanskelig eller en shut- down kan få betydelige økonomiske konsekvenser. Dermed vil noen operatører nøle med å stoppe kritiske utsyr. Sannsynligheten for tenning forårsaket av elektrisk utstyr vil være påvirket av de forskjellige isolasjonsfilosofiene.

Isolering av ikke- elektriske tenkilder

Ikke- elektriske utstyr skal følge eksplosjonsfarlige sonekrav som for elektrisk utstyr. Diesel eller gassdrevet utstyr skal stoppes øyeblikkelig dersom gass er påvist i ventilasjonsluftinntaket til en modul eller forbrenningskammeret. Dieselmotorer skal være utstyrt med gniststoppere i eksosrøret.

Utstyret som ikke er eksplosjonsbeskyttet skal stenges (shut- down) i samsvar med de pålagte isolasjonsgruppene og beliggenheten til utstyret.

Gruppe 1 - utstyr består av ikke-elektrisk utstyr hvor følgende punkter skal følges :

- Slike utstyr skal plasseres i et inngjerdet (enclosure) områder
- Utstyr som ikke er beskyttet mot eksplosjon og som har fått lov til å bli plassert i naturlig ventilerte områder skal stenges (shut -down) øyeblikkelig av en enkel lav gass alarm hvor som helst på installasjonen. Utstyr som ikke er eksplosjonsbeskyttet og som er plassert i et ikke-klassifisert mekanisk ventileringsområde skal isoleres ved gassalarmer eller påvist gass.
- Eksosrør og slanger skal være utstyrt med gnistbeskyttere

For gruppe 2 – utstyr består av viktige, ikke elektrisk utstyr som skal plasseres i inngjerdet område som enten er sikret ved dannelse av overtrykk eller at sannsynligheten for at en gassinntrengning er tilstrekkelig lav til å sikre en akseptabel lav risiko for eksplosjon. For gruppe to utstyr skal følgende punkter følges:

- Utstyr som ikke er beskyttet mot eksplosjon og som er plassert inne i mekaniske ventilerte rom skal utsettes for en øyeblikkelig automatisk isolering ved bekreftet gasspåvisning i HVAC innløp.
- Utstyr som ikke er beskyttet mot eksplosjon og som er plassert inne i rom med dør og luft sperrer og som grenser mot klassifiserte områder, eller er plassert i nærheten av det klassifiserte området, skal også isoleres/utlades automatisk ved bekreftede gasspåvisning på grunn av inntrengning via dør/luft sperre, eller ved tap av ventilasjonsstrøm, eller gassalarm i nærliggende område

Gruppe 3 utstyr består av sikkerhetskritiske utstyr som ikke er elektriske og heller ikke beskyttet mot eksplosjoner. Disse utstyrene skal følge kravene for brannpumper, de skal også utlades ved bekreftet gass påvisning i luft utløp etter en fastsatt tidsforsinkelse ved en alvorlig nødsituasjon.

Midlertidig utstyr

Plattformen skal designes slik at midlertidig utstyr blir nedstengt i overensstemmelse med tennkildegruppene. Gasspåvisning skal gi signal til F&G systemet(brann og gasspåvisningssystemet) og nødvendige tiltak skal settes i gang. Brannpåvisning og andre alarmer skal sendes til CCR(kontrollrom) og tiltak iverksettes, gjerne lokalt.

Kranoperasjoner

For å redusere sannsynligheten for tenning skal alle kranoperasjoner stoppes med en gang en brennbar gass er blitt påvist. Dersom kranene er i drift med et enkelt "lav gass"(single low gas) alarm i en hvilken som helst beliggenhet på installasjonen, skal kranfører umiddelbart ta kranen til en sikker posisjon, sikre lasten og utføre en manuell shut-down. Ved bekreftet gass påvisning i kranens ventilering/forbrenningsluftinntak skal en automatisk shut-down av kranen uten tidsforsinkelse(time delay) utføres. Tilstrekkelig midler for varsling og operative prosedyrer skal være tilgjengelige for kranføreren.

Dersom kranen ikke er i drift skal potensielle tennkilder i kranen være isolert/utladet automatisk ved en enkel "low gas" alarm hvor som helst på installasjonen. Dersom kranen er plassert i et ikke- risikabelt område skal eksternt utstyr generelt være godkjent for bruk i et risikabelt område sone 2, som et minimum. Det samme gjelder for interne /lokale utstyr hvis de er operative etter at hovedkranen er nedstengt(shut down) og isolert/utladet[28].

Sveiseoperasjoner

Habitat er et bærbart og oppblåsbart sveisekammer som plasseres på en offshore plattform for å isolere sveiseoperasjoner. Dette kammeret skaper en barriere mellom sveising og de brennbare forholdene på en plattform. Habitatets vegger utvides slik at det passer den tilgjengelige plassen på plattformen. Luften inne i habitatet er hele tiden fri for forurensninger utenfra og røyk som oppstår under sveising blir raskt ført ut til et ikke- brennbart område gjennom flammehemmende kanalsystemer. Dermed kan sveisere utføre jobben i et trygt lukket miljø uten å forårsake farlige tenn-situasjoner utenfor habitatet. Bilde 2 viser hvordan et habitat kan se ut [29].



Bilde2: habitat

Human Machine Interface(HMI) i Central Controll Room

HMI i sentralrommet er et system der operatøren samhandler med en maskin. HMI's viktigste funksjoner er å overvåke, føre tilsyn og kontrollere prosesser. HMI programvare gir prosesskunnskap og kontroll for å perfektionere prosesser som administreres. HMI omfatter VDU(operatør stasjoner) og en forenklet sikkerhetspanel som gir mulighet for en manuell aktivering av sikkerhetsbarrierer fra det sentrale kontrollrommet. Dette inkluderer også operatørmonitor og kontroll av tenn-kilder på en forsvarlig måte.

Drift, inspeksjon og vedlikehold

Alt utstyr som er potensielle tennkilder skal drives, kontrolleres og vedlikeholdes for å sikre at ethvert utstyr er i en forsvarlig tilstand til enhver tid. Et vedlikeholdsprogram som består av beskrivelser og instruksjoner for testing, inspeksjon og reparasjon skal være tilgjengelig. Sikkerhetskritiske funksjoner og komponenter skal testes regelmessig i følge aksepterte standarder for å bekrefte at angitt sikkerhetsnivå og feilrater er oppfylt [28].

5.4.2 ATEX(ATmospheres EXplosives) direktivet

Behovet for strengere ATEX krav ga grunnlaget for en oppdatering av JIP- og OLF- modellene. Dette har også gjort at P_{iso} parameteren i eksponeringsmodellene måtte "opp-justeres" for å oppnå en bedre effekt av isolering av utstyr for å tilfredstille de nye kravene i ATEX- direktivet.

ATEX- direktivet

I 2006 ble det bestemt at organisasjonene i EU må følge direktiver for å beskytte ansatte mot eksplosjonsfare i områder med en eksplosiv atmosfære. Det finnes to ATEX-direktiver, en for produsenten og en for brukeren av utstyret. I ATEX-direktiv 94/9/EC gjelder utstyr og sikkerhetssystemer beregnet for bruk i potensielt eksplosive atmosfærer. I ATEX 99/92/EC gjelder minimumskravet for å bedre sikkerhet og helse for arbeidstakere som er i potensiell fare for en eksplosiv atmosfære. Arbeidsgivere må klassifisere områder, der det er en fare for at en eksplosiv atmosfære kan dannes, inn i soner. Klassifiseringen gitt til en bestemt sone, beliggenhet og størrelse er avhengig av sannsynligheten for at en eksplosiv atmosfære oppstår og vedvarer. Områder som er klassifisert som soner skal merkes med EX- skilt ved inngangen til området. Ansatte som oppholder seg i slike områder må være utstyrt med klær som ikke danner en elektrostatisk utladning som kan antenne en eksplosiv atmosfære. Med EX- beskyttelse menes prosedyrer, teknikker og utstyr for å beskytte maskiner og installasjoner mot brann og eksplosjoner fra farlige gasser, damp og støv. Områder klassifiseres i følgende soner:

- 0,1,2 for gass-damp-tåke
- 21,21,22 for støv [30]

Områdeklassifisering

De forskjellige områdene på en plattform blir delt inn i 3 soner ut i fra sannsynligheten for at det vil forekomme en eksplosiv gass der eller ikke. Områder der det ikke er noen sannsynlighet for eksplosjoner kalles for u-klassifiserte områder. Elektrisk utstyr og ikke elektrisk utstyr, som er installert og brukt i områder der en eksplosiv gass atmosfære kan forekomme, skal være i samsvar med kravene som tilsvarer de fareklasseområdene som utstyret hører til under. Områdene blir delt inn i følgende soner:

- Sone 0

Den delen av fareområdet som en brennbar atmosfære er kontinuerlig tilstede eller tilstede over en lang periode.

- Sone 1

Den delen av fareområdet der det er sannsynlighet for at en brennbar atmosfære vil forekomme ved normal drift

- Sone 2

Den delen av fareområdet der det ikke er sannsynlighet for at en brennbar atmosfære vil

forekomme ved normal drift. Dersom det skulle forekomme vil det eksistere bare for en liten periode

- Ikke-fare område

Område som ikke faller inn under sonene som er nevnt over er ikke – fare områder.

Formålet med en slik klassifisering er å unngå tenning av utslipp både med viljestyrt og tilfeldig som kan forekomme i driften av utstyr som håndterer brennbare gasser, væsker og damp. Det er viktig å klare å redusere sannsynligheten for brennbar atmosfære og en kilde til tenning til et minimumsnivå ved hjelp av riktig design, konstruksjon, vedlikehold og drift av utstyret. Denne klassifiseringen er et supplement til risikovurderingsprosedyrene som også tar hensyn til effekten av eksplosjoner og brann og de kvantitative konsekvensene. Det er også viktig å ta hensyn til både teknisk risiko under normale driftsforhold og feiloperasjoner og risikoen under vedlikehold og reparasjonsarbeid. Mulige menneskelige feil må også tas med. En områdeklassifisering burde utføres før design og layout av utstyr er avsluttet for da er det mulig å gjøre store forbedringer for lite kostnader.[10]

Kategorisering av utstyr og verktøy

Utstyr og verktøy blir kategorisert i henhold til ATEX- direktivet. Direktiver og forskrifter klassifiserer utstyr for bruk i eksplosjonsfarlige områder inn i kategorier basert på hvor høyt sikkerhetsnivå mot å utgjøre en tennkilde de har. De blir oppdelt i følgende tre kategorier:

- Kategori 1: Utstyr som sikrer et svært høyt vernenivå

Utstyr i denne kategorien blir brukt der det konstant, gjennom lang tid eller ofte forekommer en eksplosiv atmosfære. Utstyr innenfor denne kategorien skal dersom det skulle forekomme en feil med utstyret være funksjonsdyktig i en eksplosiv atmosfære. Det skal bestå av verneinnretninger slik at dersom det skulle oppstå en feil eller to feil på verneinnretningene vil vernenivået som kreves fremdeles være sikret. Dersom utstyr består av en overflate som kan bli varm skal det sikres at den maksimale overflatetemperaturen ikke blir overskredet. I tillegg skal det også tas hensyn til temperaturstigningen på grunn av kjemiske reaksjoner.

- Kategori 2: Utstyr som sikrer et høyt vernenivå.

Utstyr i denne kategorien blir brukt der det er sannsynlig for at det forekommer en eksplosiv atmosfære. Utstyret skal være laget slik at tennkilder unngås, også i tilfeller der det ofte kan skje forstyrrelser eller funksjonsfeil ved utstyr. Delene til utstyret skal også være laget slik at overflatetemperaturen ikke blir større enn det som er tillatt.

Kategori 3: Utstyr som sikrer et normalt vernenivå.

Utstyr i denne kategorien blir brukt der faren for en eksplosiv atmosfære er lite sannsynlig. Men dersom det skulle forekomme er det bare sporadisk eller bare for en kort periode dersom det skulle forekomme. Slikt utstyr skal sikre det vernenivået som kreves ved normal drift, og det skal være laget slik at det sikrer at tennkilder ikke vil forekomme. Overflatetemperaturen må ved normal drift heller ikke overstige den maksimale overflatetemperaturen som er angitt. I noen tilfeller kan en slik overskridelse aksepteres dersom produsenten setter i gang/ tilføyer ekstra vernetiltak. Tabell 11 viser hvordan utstyr og verktøy blir delt inn i kategorier.

Utstyrskategori Direktiv 94/9/EC	Vernenivå	Områdeklassifisering Direktiv 99/92/EC
1 Høy sannsynlighet for eksplosiv atmosfære	Svært høyt vernenivå	Sone 0 (gass) Sone 20 (støv)
2 Sannsynlighet for eksplosiv atmosfære	Høyt vernenivå	Sone 1 (gass) Sone 21 (støv)
3 Lav sannsynlighet for eksplosiv atmosfære	Normalt vernenivå	Sone 2 (gass) Sone 22 (støv)

Tabell 11 : Kategorisering av utstyr og verktøy

Sone 0 og 20 skal ha kategori 1 merket utstyr, sone 1 og 21 skal ha kategori 2 merket utstyr og sone 2 og 22 skal ha kategori 3 merket utstyr. Sone 0 og 20 er de sonene som har høyest risiko for at en eksplosiv atmosfære er til stede.

Dette er soner som må beskyttes mot kilder til antennelse. Utstyr og sikkerhetssystemer som skal brukes i eksplosive atmosfærer må oppfylle kravene i direktivet [31].

Temperaturklasser

Brennbart stoff blir klassifisert ut i fra deres tenn-temperatur. Forskjellige eksplosjonsfarlige stoffer deles inni følgende eksplosjonsgrupper:

- IIA: Propan som har en høy tenn-energi
- IIB: Etylen som har en middels tenn-energi
- IIC: Hydrogen som har en lav tenn-energi

Forskjellige eksplosjonsfarlige stoffer blir delt inn i følgende temperaturklasser:

T-klasser	Vil ikke antenne ved temperaturer under følgende:
T 1	450 °C
T 2	300 °C
T 3	200 °C
T 4	135 °C
T 5	100 °C
T 6	85 °C

Tabell 12: Inndeling av eksplosjons-farlige stoffer i temperaturklasser.

Jo større T- nummer er jo lavere er tenn-temperaturen. Dersom utstyret skal installeres i fareområder som har temperaturklasse T5 eller T6 må det sikres godt så det ikke blir varmt.

EX- beskyttelse deles inn i følgende tre grupper basert på formålet med beskyttelsen:

1. Primær EX- beskyttelse som skal hindre at brennbart stoff er til stede og hindre eller begrense gasskonsentrasjonen osv.
2. Sekundær EX- beskyttelse som skal hindre antenning ved å unngå tennkilder og bruke EX- beskyttet utstyr
3. Tertiær EX- beskyttelse som skal begrense skadene dersom en eksplosjon skulle inntreffe[17]

Utstyr blir også kategorisert i klasser basert på hvor høy tennkilder de utgjør:

Klasse A : Denne klassen består av utstyr som er en effektiv tennkilde og som kan antenne en eksplosiv atmosfære, faste stoffer eller væske. Slikt utstyr kan avgi gnister, åpne flammer, lysbuer som kan antenne en eksplosiv atmosfære og kan ha en overflatetemperatur som er høyere enn tenntemperaturen for det mediet som overflaten kan utsettes for. Utstyret kan antenne en eksplosiv atmosfære dersom overflatetemperaturen er høyere enn 400 °C når utstyret er utsatt for gasser og HC damp. Og utstyret kan føre til antenning dersom overflatetemperaturen er høyere enn 200 °C når utstyret er utsatt for væsker og væsketåker.

Klasse B: Denne klassen består av utstyr som kan være en potensiell tennkilde, men utgjør bare en effektiv tennkilde dersom utstyret har feil eller er blitt feil brukt og som kan føre til antenning av en eksplosiv atmosfære, stoffer eller væsker. Dette utstyret har da en overflatetemperatur som er lavere enn 400 °C/200 °C og vil da ikke avgi gnister eller lysbuer fordi de har ikke nok energi til å antenne en atmosfære.

Klasse K – kaldt arbeid : Denne klassen består av utstyr som ikke anses som noen tennkilde og som er godkjent etter ATEX-direktivet. Utstyret kan brukes i klassifisert område uten noen form for restriksjoner [21].

Elektrisk utstyr i klassifiserte områder vil være EX- beskyttet og vil normalt ikke utgjøre en kilde til tenning. I slike områder kan en antenning bare forekomme dersom en feil oppstår. I ikke-fare områder forventes det ikke noen eksponering av gass. Målinger blir foretatt for å holde gassen borte og elektriske utstyr som man tror kan bidra til risiko blir slått av ved gasspåvisning i området. Følgende to forhold kan føre til feil ved elektriske utstyr.

- Gnister mellom ledende elektroder

Mangelfult utstyr kan gi gnister, for eksempel ved kortslutninger, og ha nok energi til å tenne en gass/luft blanding.

- Varme komponenter

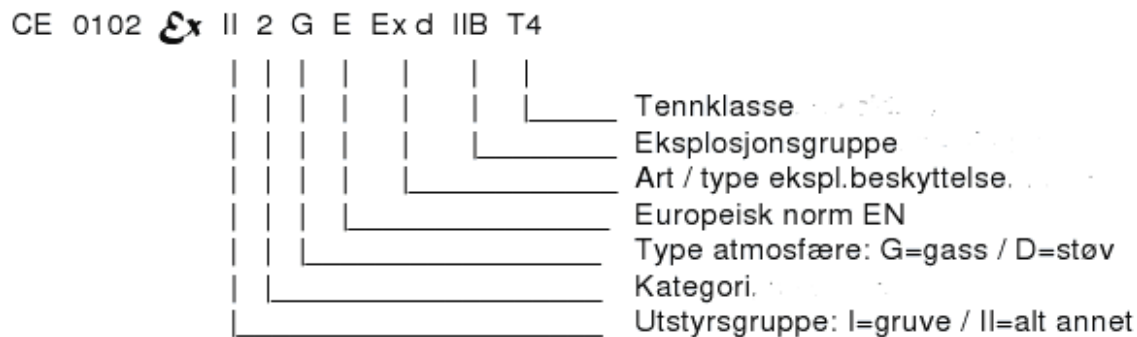
Feil av en eller flere komponenter kan føre til at utstyret kan bli varmt.

Beskrivelse av de forskjellige EX-klasse. Tabell 13 viser en oversikt over den nåværende kunnskapen som er tilgjengelig for forskjellige EX- klasser. Tabellen gir en beskrivelse av hver EX- klasse, hvilke soner de er tillat, hvilke type feil som kan oppstå, hvor utstyrene bli brukt og til slutt noen kommentarer.

Ex-klasse	Beskrivelse	Gyldig i følgende sone	Beskyttelsesmetoder	Hvilke type feil	Hvor de blir brukt	Kommentarer
Ex o	Oljeinntrengning	2	Isolering	Lekkasje som ikke oppdages kan svekke beskyttelsen	Transformatorer og koblingsutstyr	Det er dyrt å vedlikeholde. Dersom det er lekkasje kan det føre til risiko for brann.
Ex p	Overtrykk - sikring	1 og 2	Isolering	Er avhengig av en effektiv tetting og påvisning av mulig tap av gass	Brukes når andre systemer ikke er egnet, f.eks. kontrollrom og analyseinstrumenter	Det er lett å bruke og vedlikeholde, men det trengs ekstra måleapparater
Ex q	Pulvere og sandfylling	1 og 2	Isolering	Pålitelig når pulver er tilstede	Instrumentering, telefoner og kondensatorer osv.	Det er ingen risiko for brann ved lekkasje
Ex d	Flammesikret enclosure	1 og 2	Kontrollerer og kveler flammen	Sikkerhet er avhengig av korrekt installasjon og re-installasjon etter vedlikeholdsarbeid. På grunn av korrosjon eller overmaling etc. kan det forekomme flamme punkter som kan svekke beskyttelsen	Bryterutstyr, motorer, pumper og elektriske transportmidler	Et enkelt feilbeskyttelses-system. Vann-inntrengning i sprekker kan være et problem
Ex e	Økt sikkerhet	1 og 2	Raffinert/fin mekanisk design , gir ingen gnister	Sikkerhet er avhengig av korrekt installasjon og re-installasjon etter vedlikehold. Skitt og støv kan føre til problemer → dette kan gi økt motstand slik at temperaturen kan bli veldig høy	Brukes for kontrollpaneler og motorer osv. Det er en vanlig beskyttelsesmetode for koblingsbokser	Utstyret er lett i vekt
Ex ia/ib	Indre sikkerhet	0 for ia 1 og 2	Begrenset energi → ia er trygg med to feil og ib er trygg med en feil	Feil jording kan føre til høye strømmer eller spenninger i utstyret. Dersom utstyret blir brukt på en slik måte at gnister blir kontinuerlig sendt ut , er det brukt på en måte det ikke er godkjent for	Noen ganger er det ikke anvendelig på grunn av energibegrensninger.	
Ex n	Ikke- gnistninger	2	En konstruksjonsteknikk som er avhengig av at det er god kvalitet på materialer, design og montering for å kunne fjerne gnister og hot spots		Koblingsbokser, roterende maskiner og ved lyn	Dette utstyret brukes på elektriske apparater slik at det ved normal drift er det ikke i stand til å tenne på en omkringliggende gassatmosfære
Ex m	Innkapsling	1 og 2	Isolering	Ytre påvirkninger, korrosjon og feil installering er typer feil som er av bekymring	Brukes for små apparater som instrumentering og betjening , og for kontrollutstyr	Brukes ved små feil. Utstyret er dårlig tilgjengelig for vedlikehold

Tabell 13: Beskrivelse av hver EX- klassene.[22]

Figuren under viser eksempel på hvordan godkjent utstyr blir Ex- betegnet:



Figur 3 : EX betegnelse av godkjent utstyr.

CE står for “Community European”. CE merking av utstyr viser at det følger en europeisk standard/norm (EN) [32].

6 Sammenlikning av tennintensitetene mellom JIP- og OLF- modellene.

I denne oppgaven brukes regneark for å demonstrere forskjeller i tennintensiteten mellom JIP- og OLF- modellene.

Regnearket fra begge modellen viser at det er en klar forskjell mellom modelleringen av JIP- og OLF-modellene. I JIP- modellen er antall pumper og kompressorer inkludert i regnearket. Dette er ikke tilfellet i OLF- modellen der antall utstyr ikke er inkludert, men tennintensiteten er basert på modulvolumet. OLF skiller ikke på typer tennkilder, i stedet er det en generell tennintensitet for en offshore modul som eskalerer lineært med modulvolumet.

For å belyse forskjeller i tennintensiteten mellom OLF- og JIP- modellene er 6 tilfeller tatt med:

Tilfelle 1:

Modulvolumet holdes konstant lik 40.000m³ og $P_{iso}= 0,75$ i OLF- modellen.

I JIP- modellen er $P_{iso}= 0,75$ for hver av kategoriene og antall pumper og kompressorer varierer.

Tennintensiteten vil ikke endre seg for OLF- modellen når antall pumper eller

kompressorer endres i JIP- modellen. Regnearket for OLF- modellen vil dermed bare bli satt opp en gang for hvert modulvolum, mens i JIP- modellen vil regnearket /tenntensiteten endres ved endringer i antall pumper og kompressorer. Dermed vil regnearkene for hver endring i antall pumper og kompressorer satt opp.

Regnearket viser tre forskjellige tennintensitetsresultat for diskrete og kontinuerlige tennkilder: tennintensitet før alarm, etter alarm og etter NAS. I denne oppgaven velges å se på tennintensiteten etter nødavstengning (NAS). Det vil si etter utkobling av utstyr og nedstengning av potensielle tennkilder.

Tennintensitetsresultat fra OLF- modellen ved modulvolum 40.000m³, P_{iso}= 0,75 og 0 pumper og 0 kompressorer.

Input according to OLF-model

Input parameters

Module volume	40000	m3	Pif, ref	0,075
Module height	7	m2		
Module area	5714	m2		
ib	0,5			
ia	0,75			
Pif	5,00E-05	per m2		
Piso	0,75			
Reference duration	180	sec		

Correction factors

	Techno.	Manning	Age	Correction
Continuous	1	1	1,00	1
Discrete	1	1	1,00	1

Effect of detection

	Effect of alarm	Effect of ESD
Continuous	0	0,75
Discrete	0	0,75
Hot work	0	0,90

Leak dependent ignition

Time frame for leak dependent ignition (s) sec

Leak dependent sources

Small leak	0,05 %
Major leak	0,10 %
Large leak	1,00 %

Results (linked to Main sheet)

Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	1,00E-01	Before alarm	5,56E-04
After alarm	1,00E-01	After alarm	5,56E-04
After NAS	1,25E-02	After NAS	2,08E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40000m³, P_{iso}= 0,75 og 0 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities						Leak dependent sources					
Electrical equipment (area, m2)	5714,28571					Small	Medium	Major	Large		
Pump (no. of items)	0					1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02		
Compressor (no. of items)	0										
Other (area, m2)	5714,2857					Time frame for leak dependent ignition (s) 1 seconds					
Personnel (area, m2)	5714,28571										
	Basis intensity		Correction factors			Area or items	Effect of alarm				
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age		Correction	New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,75	1,00	0,25
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,75	1,00	0,25
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	5,44E-02	Before alarm	4,92E-04
After alarm	5,43E-02	After alarm	4,92E-04
After NAS	1,36E-02	After NAS	1,23E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40000m³, P_{iso}= 0,75 og 5 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources							
Electrical equipment (area, m2)	Area or items			Small	Medium	Major	Large				
Pump (no. of items)	5714,28571			1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02				
Compressor (no. of items)	5			Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1"/> seconds							
Other (area, m2)	0										
Personnel (area, m2)	5714,2857										
	Basis intensity		Correction factors			Area or	Effect of alarm				
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction	items	New, fraction shut down	Old opposite		
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,75	1,00	0,25
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,75	1,00	0,25
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)				
	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm		5,49E-02	Before alarm	4,93E-04
After alarm		5,48E-02	After alarm	4,93E-04
After NAS		1,37E-02	After NAS	1,23E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40000m³, P_{iso} = 0,75 og 0 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources				
Electrical equipment (area, m2)				Area or items				
Pump (no. of items)				5714,28571	Small	Medium	Major	Large
Compressor (no. of items)				0	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Other (area, m2)				5				
Personnel (area, m2)				5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1"/> 1 seconds			
				5714,28571				

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,75	1,00	0,25
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,75	1,00	0,25
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)			
Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	6,59E-02	Before alarm	5,18E-04
After alarm	6,58E-02	After alarm	5,18E-04
After NAS	1,64E-02	After NAS	1,29E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40000m³, P_{iso}= 0,75 og 5 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources				
Electrical equipment (area, m2)				Area or items	Small	Medium	Major	Large
Pump (no. of items)				5714,28571	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Compressor (no. of items)				5				
Other (area, m2)				5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1"/> 1 seconds			
Personnel (area, m2)				5714,28571				

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,75	1,00	0,25
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,75	1,00	0,25
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm		6,64E-02	Before alarm	5,19E-04
After alarm		6,63E-02	After alarm	5,19E-04
After NAS		1,66E-02	After NAS	1,30E-04

- **Tilfelle 2:**

Modulvolumet holdes konstant lik 20.000m³ og P_{iso}= 0,75 i OLF- modellen.

I JIP-modellen er P_{iso}= 0,75 for hver av kategoriene og antall pumper og kompressorer varierer.

Tennintensitetsresultat fra OLF- modellen ved modulvolum 20000m³ og P_{iso} =0,75

Input according to OLF-model

Input parameters

Module volume	20000	m3	Pif, ref	0,075
Module height	7	m2		
Module area	2857	m2		
ib	0,5			
ia	0,75			
Pif	5,00E-05	per m2		
Piso	0,75			
Reference duration	180	sec		

Correction factors

	Techno.	Manning	Age	Correction
Continuous	1	1	1,00	1
Discrete	1	1	1,00	1

Effect of detection

	Effect of alarm	Effect of ESD
Continuous	0	0,75
Discrete	0	0,75
Hot work	0	0,90

Leak dependent ignition

Time frame for leak dependent ignition (s) sec

Leak dependent sources

Small leak	0,05 %
Major leak	0,10 %
Large leak	1,00 %

Results (linked to Main sheet)

Continuous sources

Before alarm	5,00E-02
After alarm	5,00E-02
After NAS	6,25E-03

Discrete sources

Before alarm	2,78E-04
After alarm	2,78E-04
After NAS	1,04E-04

Tennintensitet fra JIP-modellen ved modulvolum 20000m³, P_{iso}= 0,75 med 0 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources							
Electrical equipment (area, m2)				Area or items	Small	Medium	Major	Large			
Pump (no. of items)				0	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02			
Compressor (no. of items)				0							
Other (area, m2)				5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1"/> seconds						
Personnel (area, m2)				2857,14286							
	Basis intensity		Correction factors				Area or	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction	items	New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,75	1,00	0,25
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,75	1,00	0,25
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)				
	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	3,47E-02		Before alarm	2,52E-04
After alarm	3,46E-02		After alarm	2,52E-04
After NAS	8,64E-03		After NAS	6,30E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 20000m³ , Piso = 0,75 og 5 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources							
Electrical equipment (area, m2)	Area or items			Small	Medium	Major	Large				
Pump (no. of items)	2857,14286			1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02				
Compressor (no. of items)	5			Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1"/> seconds							
Other (area, m2)	0										
Personnel (area, m2)	5714,2857										
	2857,14286										
	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,75	1,00	0,25
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,75	1,00	0,25
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	3,52E-02		Before alarm	2,53E-04
After alarm	3,51E-02		After alarm	2,53E-04
After NAS	8,76E-03		After NAS	6,33E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 20000m³, P_{iso}= 0,75 og 0 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources							
Electrical equipment (area, m2)				Area or items							
Pump (no. of items)				2857,14286	Small	Medium	Major	Large			
Compressor (no. of items)				0	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02			
Other (area, m2)				5	Time frame for leak dependent ignition (s)						
Personnel (area, m2)				5714,2857	1 seconds						
				2857,14286							
	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,75	1,00	0,25
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,75	1,00	0,25
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm		4,62E-02	Before alarm	2,77E-04
After alarm		4,61E-02	After alarm	2,77E-04
After NAS		1,15E-02	After NAS	6,94E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 20000m³, P_{iso}= 0,75 og 5 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources							
Electrical equipment (area, m2)				Area or items	Small	Medium	Major	Large			
Pump (no. of items)				2857,14286	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02			
Compressor (no. of items)				5							
Other (area, m2)				5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s) 1 seconds						
Personnel (area, m2)				2857,14286							
	Basis intensity		Correction factors			Area or items	Effect of alarm				
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age		Correction	New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,75	1,00	0,25
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,75	1,00	0,25
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,75	1,00	0,25
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,75	1,00	0,25
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm		4,67E-02	Before alarm	2,79E-04
After alarm		4,66E-02	After alarm	2,79E-04
After NAS		1,16E-02	After NAS	6,96E-05

Tilfelle 1 er oppsummert i tabell 14 :

Tabell 14:

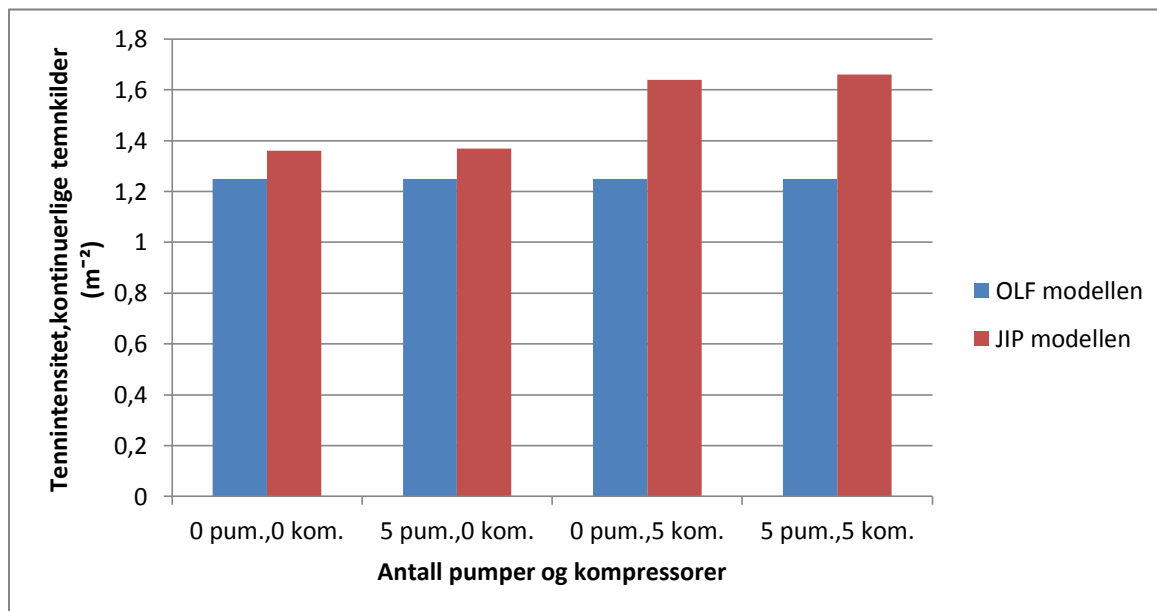
Modulvolum 40.000m³ og P_{iso} = 0,75			
0 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF-modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
1,25·10⁻²	2,08·10⁻⁴	1,36·10⁻²	1,23·10⁻⁴
5 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
1,25·10⁻²	2,08·10⁻⁴	1,37·10⁻²	1,23·10⁻⁴
0 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
1,25·10⁻²	2,08·10⁻⁴	1,64·10⁻²	1,29·10⁻⁴
5 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF-modellen		Tennintensitet JIP-modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
1,25·10⁻²	2,08·10⁻⁴	1,66·10⁻²	1,30·10⁻⁴

Tilfelle 2 er oppsummert i tabell 15 :

Modulvolum 20.000m³ og P_{iso} = 0,75			
0 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF-modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
6,25·10⁻³	1,04·10⁻⁴	8,64·10⁻³	6,3·10⁻⁵
5 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
6,25·10⁻³	1,04·10⁻⁴	8,76·10⁻³	6,33·10⁻⁵
0 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP-modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
6,25·10⁻³	1,04·10⁻⁴	1,15·10⁻²	6,94·10⁻⁵
5 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
6,25·10⁻³	1,04·10⁻⁴	1,16·10⁻²	6,96·10⁻⁵

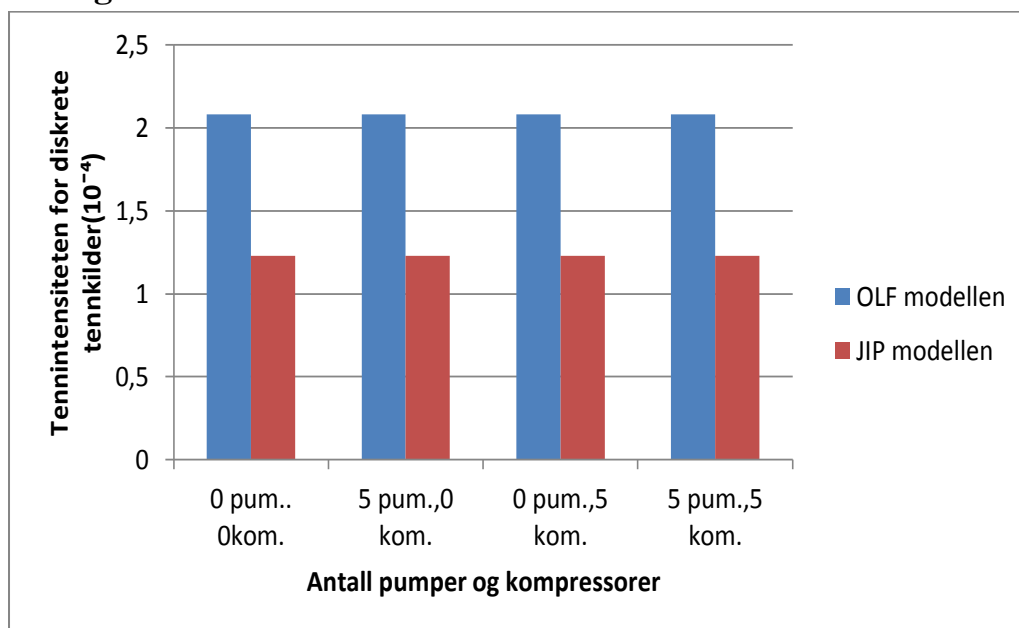
Resultatene vises også i histogram 2 : tennintensiteten for kontinuerlige tennkilder for OLF- og JIP-modellenene med modulvolum 40.000m³, P_{iso}= 0,75 og forskjellige antall pumper og kompressorer.

Histogram 2:



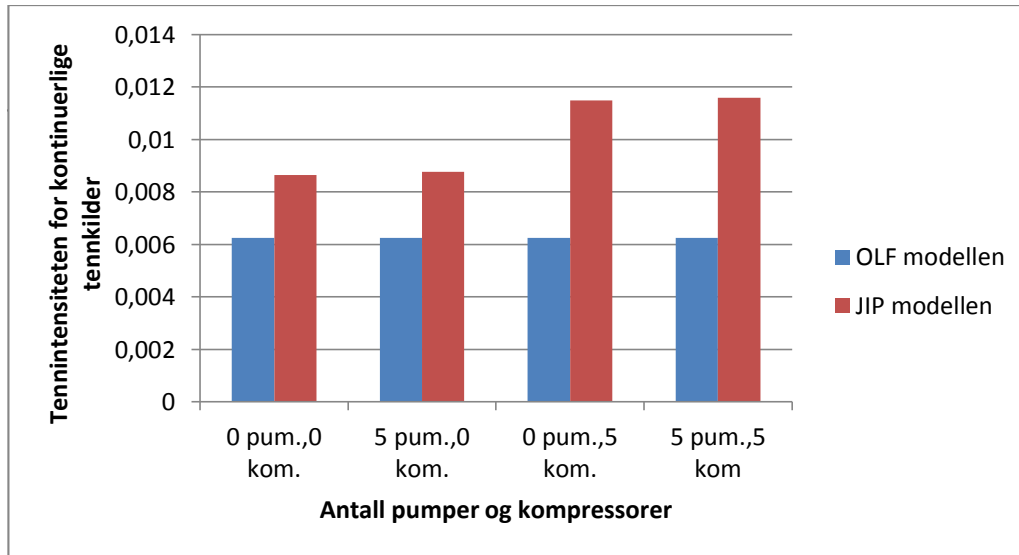
Resultatet vises også i histogram 3: tennintensiteten for diskrete tennkilder for OLF-og JIP-modellene med modulvolum $40.000m^3$, $P_{iso} = 0,75$ og forskjellige antall pumper og kompressorer.

Histogram 3:

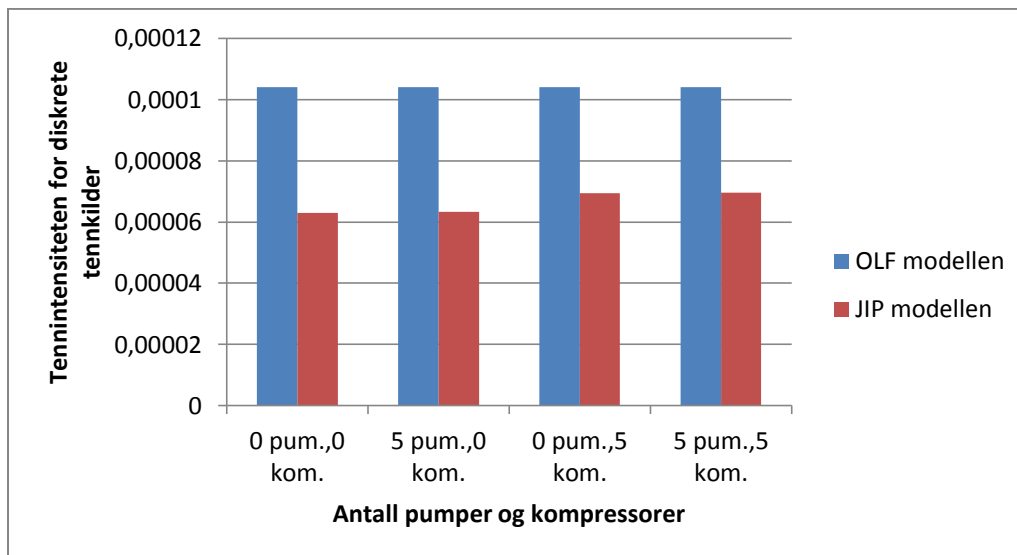


Histogram 4: tennintensitet for kontinuerlige tennkilder for OLF- og JIP-modellene med modulvolum 20.000m³, P_{iso}= 0,75 og forskjellige antall pumper.

Histogram 4:



Histogram 5: tennintensitet for diskrete tennkilder for OLF- og JIP-modellene med modulvolum 20.000m³, P_{iso}= 0,75 og forskjellige antall pumper og kompressorer. Histogram 5:



Tilfelle 3: Modulvolumet for begge modellen er 40.000m³ og P_{iso} = 0,9 i OLF modellen og for hver av kategoriene i JIP modellen. Samtidig endres antall pumper og kompressorer i JIP modellen

Tennintensitetsresultat fra OLF- modellen med modulvolum 40000m³, P_{iso}= 0,9

Input according to OLF-model

Input parameters

Module volume	40000	m3	Pif, ref	0,075
Module height	7	m2		
Module area	5714	m2		
ib	0,5			
ia	0,75			
Pif	5,00E-05	per m2		
Piso	0,9			
Reference duration	180	sec		

Correction factors

	Techno.	Manning	Age	Correction
Continuous	1	1	1,00	1
Discrete	1	1	1,00	1

Effect of detection

	Effect of alarm	Effect of ESD
Continuous	0	0,90
Discrete	0	0,90
Hot work	0	0,90

Leak dependent ignition

Time frame for leak dependent ignition (s) sec

Leak dependent sources

Small leak	0,05 %
Major leak	0,10 %
Large leak	1,00 %

Results (linked to Main sheet)

Continuous sources

Before alarm	1,00E-01
After alarm	1,00E-01
After NAS	5,00E-03

Discrete sources

Before alarm	5,56E-04
After alarm	5,56E-04
After NAS	8,33E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40000m³, Piso= 0.9 for hver kategori og 0 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities

Leak dependent sources

	Area or items	Small	Medium	Major	Large
Electrical equipment (area, m2)	5714,28571				
Pump (no. of items)	0	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Compressor (no. of items)	0				
Other (area, m2)	5714,28571	Time frame for leak dependent ignition (s) 1 seconds			
Personnel (area, m2)	5714,28571				

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,90	1,00	0,10
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,90	1,00	0,10
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

Continuous sources

Before alarm	5,44E-02
After alarm	5,43E-02
After NAS	5,43E-03

Discrete sources

Before alarm	4,92E-04
After alarm	4,92E-04
After NAS	4,92E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP-modellen ved modulvolum 40.000m³, Piso = 0,9 for hver kategori og 5 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities							Leak dependent sources				
Electrical equipment (area, m2)	5714,28571						Small	Medium	Major	Large	
Pump (no. of items)	5						1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02	
Compressor (no. of items)	0						Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1"/> seconds				
Other (area, m2)	5714,28571										
Personnel (area, m2)	5714,28571										
	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,90	1,00	0,10
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,90	1,00	0,10
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)				
	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm		5,49E-02	Before alarm	4,93E-04
After alarm		5,48E-02	After alarm	4,93E-04
After NAS		5,48E-03	After NAS	4,93E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40.000m³, Piso = 0,9 for hver kategori og 0 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources					
Electrical equipment (area, m2)				Area or items	5714,28571	Small	Medium	Major	Large
Pump (no. of items)					0	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Compressor (no. of items)					5				
Other (area, m2)					5714,28571	Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1"/> 1 seconds			
Personnel (area, m2)					5714,28571				

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,90	1,00	0,10
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,90	1,00	0,10
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)			
Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	6,59E-02	Before alarm	5,18E-04
After alarm	6,58E-02	After alarm	5,18E-04
After NAS	6,58E-03	After NAS	5,18E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40.000m³, P_{iso} = 0,9 for hver kategori og 5 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources							
Electrical equipment (area, m2)	Area or items			5714,28571	Small	Medium	Major	Large			
Pump (no. of items)				5	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02			
Compressor (no. of items)				5							
Other (area, m2)				5714,28571	Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1 seconds"/>						
Personnel (area, m2)				5714,28571							
	Basis intensity		Correction factors			Area or	Effect of alarm				
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction	items	New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,90	1,00	0,10
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,90	1,00	0,10
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	6,64E-02		Before alarm	5,19E-04
After alarm	6,63E-02		After alarm	5,19E-04
After NAS	6,63E-03		After NAS	5,19E-05

Tilfelle 4: Modulvolumet for begge modellen er 40.000m³ og P_{iso} = 0,5 i OLF- modellen og for hver av kategoriene i JIP- modellen. Samtidig endres antall pumper og kompressorer i JIP- modellen

Tennintensitetsresultat fra OLF- modellen med modulvolum på 40.000m³ og P_{iso} = 0,5 og 0 pumper og 0 kompressorer.

Input according to OLF-model

Input parameters

Module volume	40000	m3	Pif, ref	0,075
Module height	7	m2		
Module area	5714	m2		
ib	0,5			
ia	0,75			
Pif	5,00E-05	per m2		
Piso	0,5			
Reference duration	180	sec		

Correction factors

	Techno.	Manning	Age	Correction
Continuous	1	1	1,00	1
Discrete	1	1	1,00	1

Effect of detection

	Effect of alarm	Effect of ESD
Continuous	0	0,50
Discrete	0	0,50
Hot work	0	0,90

Leak dependent ignition

Time frame for leak dependent ignition (s) 1 sec

Leak dependent sources

Small leak	0,05 %
Major leak	0,10 %
Large leak	1,00 %

Results (linked to Main sheet)

Continuous sources

Before alarm	1,00E-01
After alarm	1,00E-01
After NAS	2,50E-02

Discrete sources

Before alarm	5,56E-04
After alarm	5,56E-04
After NAS	4,17E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40.000m³, Piso = 0,5 for hver kategori og 0 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources							
Electrical equipment (area, m2)				Area or items	Small	Medium	Major	Large			
Pump (no. of items)				5714,28571	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02			
Compressor (no. of items)				0							
Other (area, m2)				0							
Personnel (area, m2)				5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s) 1 seconds						
Personnel (area, m2)				5714,28571							
	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,50	1,00	0,50
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,50	1,00	0,50
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,50	1,00	0,50

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources	Discrete sources
Before alarm	5,44E-02	4,92E-04
After alarm	5,43E-02	4,92E-04
After NAS	2,71E-02	2,46E-04

**Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40.000m³, Piso = 0,5
for hver kategori og 5 pumper og 0 kompressorer**

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources				
Electrical equipment (area, m2)				Area or items	Small	Medium	Major	Large
Pump (no. of items)				5	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Compressor (no. of items)				0				
Other (area, m2)				5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1"/> seconds			
Personnel (area, m2)				5714,2857				

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,50	1,00	0,50
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,50	1,00	0,50
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,50	1,00	0,50

Results ignition intensities (linked to Main sheet)				
	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm		5,49E-02	Before alarm	4,93E-04
After alarm		5,48E-02	After alarm	4,93E-04
After NAS		2,74E-02	After NAS	2,47E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40.000m³, Piso = 0,5 for hver kategori og 0 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources							
Electrical equipment (area, m2)				Area or items	Small	Medium	Major	Large			
Pump (no. of items)				0	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02			
Compressor (no. of items)				5							
Other (area, m2)				5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1 seconds"/>						
Personnel (area, m2)				5714,28571							
	Basis intensity		Correction factors				Area or	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction	items	New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,50	1,00	0,50
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,50	1,00	0,50
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,50	1,00	0,50

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources	Discrete sources
Before alarm	6,59E-02	5,17E-04
After alarm	6,58E-02	5,17E-04
After NAS	3,29E-02	2,59E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 40.000m³, Piso = 0,5 for hver kategori og 5 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources			
		Area or items		Small	Medium	Major	Large
Electrical equipment (area, m2)		5714,28571		1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Pump (no. of items)		5					
Compressor (no. of items)		5					
Other (area, m2)		5714,2857		Time frame for leak dependent ignition (s) 1 seconds			
Personnel (area, m2)		5714,28571					

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,50	1,00	0,50
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,50	1,00	0,50
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,50	1,00	0,50

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources	Discrete sources
Before alarm	6,64E-02	5,19E-04
After alarm	6,63E-02	5,19E-04
After NAS	3,31E-02	2,59E-04

Tilfelle 5: Modulvolumet for begge modellen er 20.000m³ og P_{iso} = 0,9 i OLF- modellen og for hver av kategoriene i JIP- modellen. Samtidig endres antall pumper og kompressorer i JIP- modellen

**Tennintensitetsresultat fra OLF- modellen ved modulvolum 20.000m³,
P_{iso}= 0,9**

Input according to OLF-model

Input parameters

Module volume	20000	m3	Pif, ref	0,075
Module height	7	m2		
Module area	2857	m2		
ib	0,5			
ia	0,75			
Pif	5,00E-05	per m2		
Piso	0,9			
Reference duration	180	sec		

Correction factors

	Techno.	Manning	Age	Correction
Continuous	1	1	1,00	1
Discrete	1	1	1,00	1

Effect of detection

	Effect of alarm	Effect of ESD
Continuous	0	0,90
Discrete	0	0,90
Hot work	0	0,90

Leak dependent ignition

Time frame for leak dependent ignition (s) sec

Leak dependent sources

Small leak	0,05 %
Major leak	0,10 %
Large leak	1,00 %

Results (linked to Main sheet)

Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	5,00E-02	Before alarm	2,78E-04
After alarm	5,00E-02	After alarm	2,78E-04
After NAS	2,50E-03	After NAS	4,17E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 20.000m³, Piso = 0,9 for hver kategori og 0 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities						Leak dependent sources						
Electrical equipment (area, m2)	Area or items					2857,14286	Small	Medium	Major	Large		
Pump (no. of items)						0	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02		
Compressor (no. of items)						0						
Other (area, m2)						5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s)				1 seconds	
Personnel (area, m2)						2857,14286						
	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm				
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite		
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10	
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,90	1,00	0,10	
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,90	1,00	0,10	
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10	
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10	
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10	
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10	

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources	Discrete sources
Before alarm	3,47E-02	Before alarm 2,52E-04
After alarm	3,46E-02	After alarm 2,52E-04
After NAS	3,46E-03	After NAS 2,52E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP-modellen ved modulvolum 20.000m³, Piso = 0,9 for hver kategori og 5 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities		Leak dependent sources									
	Area or items	Small	Medium	Major	Large						
Electrical equipment (area, m2)	2857,14286	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02						
Pump (no. of items)	5										
Compressor (no. of items)	0										
Other (area, m2)	5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s) 1 seconds									
Personnel (area, m2)	2857,14286										
	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,90	1,00	0,10
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,90	1,00	0,10
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	3,52E-02	Before alarm	2,53E-04
After alarm	3,51E-02	After alarm	2,53E-04
After NAS	3,51E-03	After NAS	2,53E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 20.000m³, Piso = 0,9 for hver kategori og 0 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities

	Area or items
Electrical equipment (area, m2)	2857,14286
Pump (no. of items)	0
Compressor (no. of items)	5
Other (area, m2)	5714,2857
Personnel (area, m2)	2857,14286

Leak dependent sources

Small	Medium	Major	Large
1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02

Time frame for leak dependent ignition (s) seconds

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down	Old opposite		
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,90	1,00	0,10
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,90	1,00	0,10
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	4,62E-02	Before alarm	2,77E-04
After alarm	4,61E-02	After alarm	2,77E-04
After NAS	4,61E-03	After NAS	2,77E-05

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 20.000m³, P_{iso} = 0,9 for hver kategori og 5 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources			
Electrical equipment (area, m2)	Area or items			Small	Medium	Major	Large
Pump (no. of items)	2857,14286			1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Compressor (no. of items)	5						
Other (area, m2)	5714,2857			Time frame for leak dependent ignition (s) 1 seconds			
Personnel (area, m2)	2857,14286						

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,90	1,00	0,10
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,90	1,00	0,10
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,90	1,00	0,10
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,90	1,00	0,10
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,90	1,00	0,10

Results ignition intensities (linked to Main sheet)			
Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	4,67E-02	Before alarm	2,79E-04
After alarm	4,66E-02	After alarm	2,79E-04
After NAS	4,66E-03	After NAS	2,79E-05

Tilfelle 6: Modulvolumet for begge modellen er 20.000m³ og P_{iso} = 0,5 i OLF- modellen og for hver av kategoriene i JIP- modellen. Samtidig endres antall pumper og kompressorer i JIP- modellen.

Tennintensitetsresultat fra OLF- modellen ved modulvolum 20.000m³, Piso = 0,5

Input according to OLF-model

Input parameters

Module volume	20000	m3	Pif, ref	0,075
Module height	7	m2		
Module area	2857	m2		
ib	0,5			
ia	0,75			
Pif	5,00E-05	per m2		
Piso	0,5			
Reference duration	180	sec		

Correction factors

	Techno.	Manning	Age	Correction
Continuous	1	1	1,00	1
Discrete	1	1	1,00	1

Effect of detection

	Effect of alarm	Effect of ESD
Continuous	0	0,50
Discrete	0	0,50
Hot work	0	0,90

Leak dependent ignition

Time frame for leak dependent ignition (s) sec

Leak dependent sources

Small leak	0,05 %
Major leak	0,10 %
Large leak	1,00 %

Results (linked to Main sheet)

Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	5,00E-02	Before alarm	2,78E-04
After alarm	5,00E-02	After alarm	2,78E-04
After NAS	1,25E-02	After NAS	2,08E-04

**Tennintensitetsresultat fra JIP-modellen ved modulvolum 20.000m³, Piso = 0,5
for hver kategori og 0 pumper og 0 kompressorer**

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources			
Electrical equipment (area, m2)	Area or items			Small	Medium	Major	Large
Pump (no. of items)	2857,14286			1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Compressor (no. of items)	0						
Other (area, m2)	5714,2857			Time frame for leak dependent ignition (s) <input type="text" value="1"/> seconds			
Personnel (area, m2)	2857,14286						

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,50	1,00	0,50
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,50	1,00	0,50
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,50	1,00	0,50

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	3,47E-02		Before alarm	2,52E-04
After alarm	3,46E-02		After alarm	2,52E-04
After NAS	1,73E-02		After NAS	1,26E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 20.000m³, Piso = 0,5 for hver kategori og 5 pumper og 0 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources			
			Area or items				
Electrical equipment (area, m2)			2857,14286	Small	Medium	Major	Large
Pump (no. of items)			5	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Compressor (no. of items)			0				
Other (area, m2)			5714,2857	Time frame for leak dependent ignition (s)			
Personnel (area, m2)			2857,14286				1 seconds

	Basis intensity		Correction factors			Correction	Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age			New, fraction shut down	Old opposite		
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,50	1,00	0,50
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,50	1,00	0,50
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,50	1,00	0,50

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm		3,52E-02	Before alarm	2,53E-04
After alarm		3,51E-02	After alarm	2,53E-04
After NAS		1,75E-02	After NAS	1,27E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 20.000m³, Piso = 0,5 for hver kategori og 0 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities				Leak dependent sources							
Electrical equipment (area, m2)	Area or items			Small	Medium	Major	Large				
Pump (no. of items)	2857,14286			1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02				
Compressor (no. of items)	0			Time frame for leak dependent ignition (s)							
Other (area, m2)	5			1 seconds							
Personnel (area, m2)	5714,2857										
	2857,14286										
	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	0	0,00	0,50	1,00	0,50
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,50	1,00	0,50
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,50	1,00	0,50

Results ignition intensities (linked to Main sheet)			
Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm	4,62E-02	Before alarm	2,77E-04
After alarm	4,61E-02	After alarm	2,77E-04
After NAS	2,30E-02	After NAS	1,39E-04

Tennintensitetsresultat fra JIP- modellen ved modulvolum 20.000m³, Piso = 0,5 for hver kategori og 5 pumper og 5 kompressorer

Calculation of Ignition intensities							Leak dependent sources			
	Area or items						Small	Medium	Major	Large
Electrical equipment (area, m2)	2857,14286						1,0E-03	1,0E-03	1,0E-03	1,0E-02
Pump (no. of items)	5									
Compressor (no. of items)	5									
Other (area, m2)	5714,2857						Time frame for leak dependent ignition (s) 1 seconds			
Personnel (area, m2)	2857,14286									

	Basis intensity		Correction factors				Area or items	Effect of alarm			
	Continuous	Discrete	Techno.	Manning	Age	Correction		New, fraction shut down		Old opposite	
Electrical equipment	2,60E-06	2,70E-08	1	1	1,00	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Pump	9,60E-05	2,10E-07	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,50	1,00	0,50
Compressor	2,30E-03	5,10E-06	1	1	1,00	1,00	5	0,00	0,50	1,00	0,50
Other eq.	2,60E-06	2,10E-09	1	1	1,00	1,00	5714	0,00	0,50	1,00	0,50
Other	1,30E-06	1,70E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Personnel	3,00E-06	4,00E-08	1	1	1	1,00	2857	0,00	0,50	1,00	0,50
Hot work	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,50	1,00	0,50

Results ignition intensities (linked to Main sheet)

	Continuous sources		Discrete sources	
Before alarm		4,67E-02	Before alarm	2,79E-04
After alarm		4,66E-02	After alarm	2,79E-04
After NAS		2,33E-02	After NAS	1,39E-04

Tilfelle 3 er oppsummert i tabell 16.

Tabell 16:

Modulvolum 40.000m³ og Piso = 0,9			
0 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP-modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$5 \cdot 10^{-3}$	$8,33 \cdot 10^{-5}$	$5,43 \cdot 10^{-3}$	$4,92 \cdot 10^{-5}$
5 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$5 \cdot 10^{-3}$	$8,33 \cdot 10^{-5}$	$5,48 \cdot 10^{-3}$	$4,93 \cdot 10^{-5}$
0 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$5 \cdot 10^{-3}$	$8,33 \cdot 10^{-5}$	$6,58 \cdot 10^{-3}$	$5,18 \cdot 10^{-5}$
5 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$5 \cdot 10^{-3}$	$8,33 \cdot 10^{-5}$	$6,63 \cdot 10^{-3}$	$5,19 \cdot 10^{-5}$

Tilfelle 4 er oppsummert i tabell 17.

Tabell 17 :

Modulvolum 40.000m³ og Piso = 0,5			
0 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
2,5·10⁻²	4,17·10⁻⁴	2,71·10⁻²	2,46·10⁻⁴
5 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
2,5·10⁻²	4,17·10⁻⁴	2,74·10⁻²	2,47·10⁻⁴
0 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
2,5·10⁻²	4,17·10⁻⁴	3,29·10⁻²	2,59·10⁻⁴
5 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
2,5·10⁻²	4,17·10⁻⁴	3,31·10⁻²	2,59·10⁻⁴

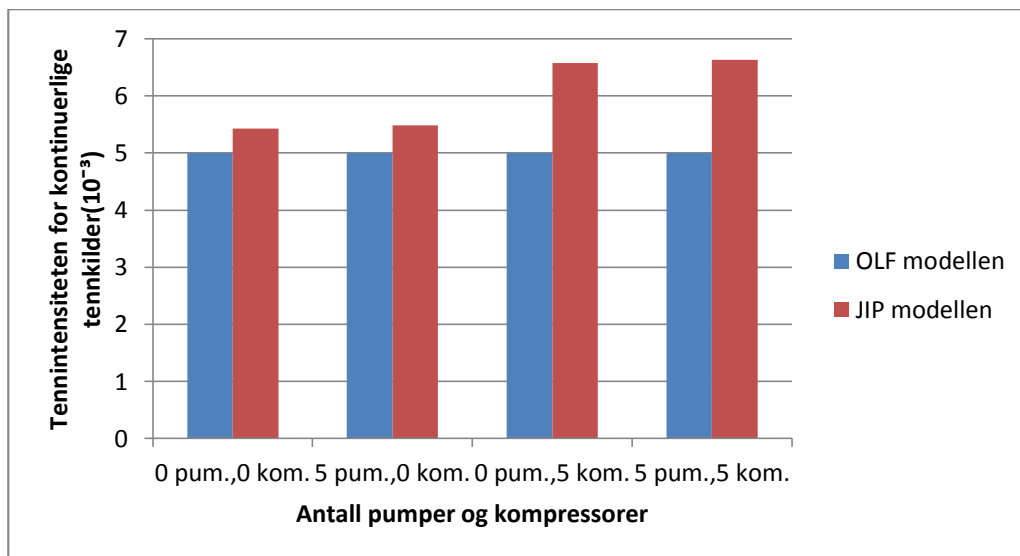
Tilfelle 5 og 6 er oppsummert i tabell 18.

Modulvolum 20.000m³ og Piso = 0,9			
0 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$	$3,46 \cdot 10^{-3}$	$2,52 \cdot 10^{-5}$
5 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$	$3,51 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-5}$
0 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$	$4,61 \cdot 10^{-3}$	$2,77 \cdot 10^{-5}$
5 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$	$4,66 \cdot 10^{-3}$	$2,79 \cdot 10^{-5}$
Modulvolum 20.000m³ og Piso = 0,5			
0 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$1,25 \cdot 10^{-2}$	$2,08 \cdot 10^{-4}$	$1,73 \cdot 10^{-2}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$
5 pumper og 0 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$1,25 \cdot 10^{-2}$	$2,08 \cdot 10^{-4}$	$1,75 \cdot 10^{-2}$	$1,27 \cdot 10^{-4}$
0 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$1,25 \cdot 10^{-2}$	$2,08 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,39 \cdot 10^{-4}$
5 pumper og 5 kompressorer			
Tennintensitet OLF- modellen		Tennintensitet JIP- modellen	
Kont.	Diskr.	Kont.	Diskr.
$1,25 \cdot 10^{-2}$	$2,08 \cdot 10^{-4}$	$2,33 \cdot 10^{-2}$	$1,39 \cdot 10^{-4}$

Resultatene vises også i histogrammene 6 til 13:

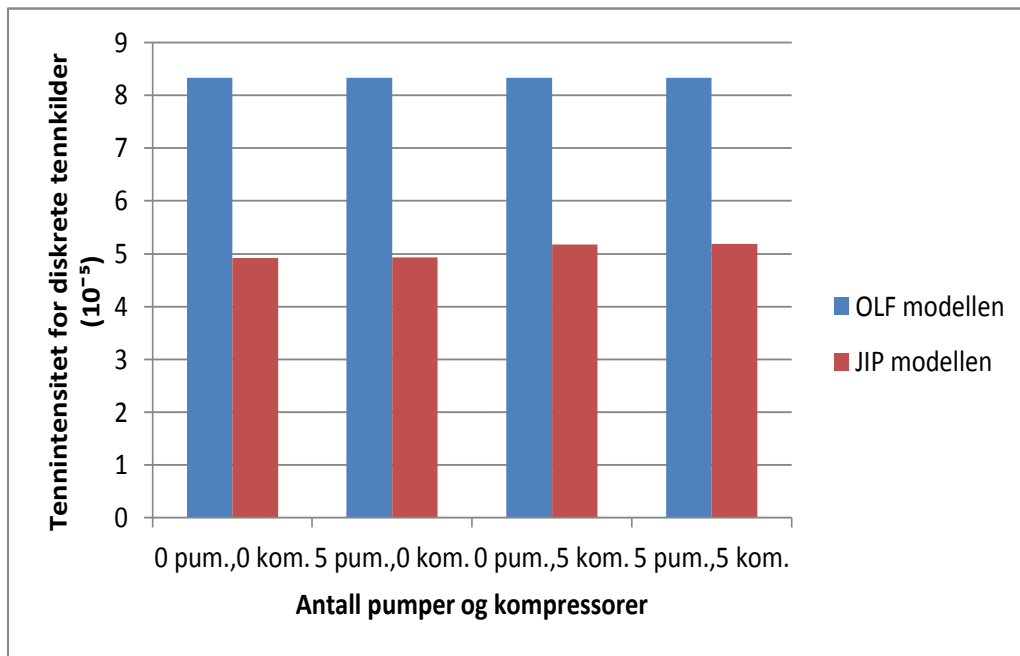
Histogram 6: tennintensiteten for kontinuerlige tennkilder for OLF- og JIP-modellene med modulvolum 40.000m^3 , $P_{\text{iso}} = 0,9$ og forskjellige antall pumper og kompressorer

Histogram 6:



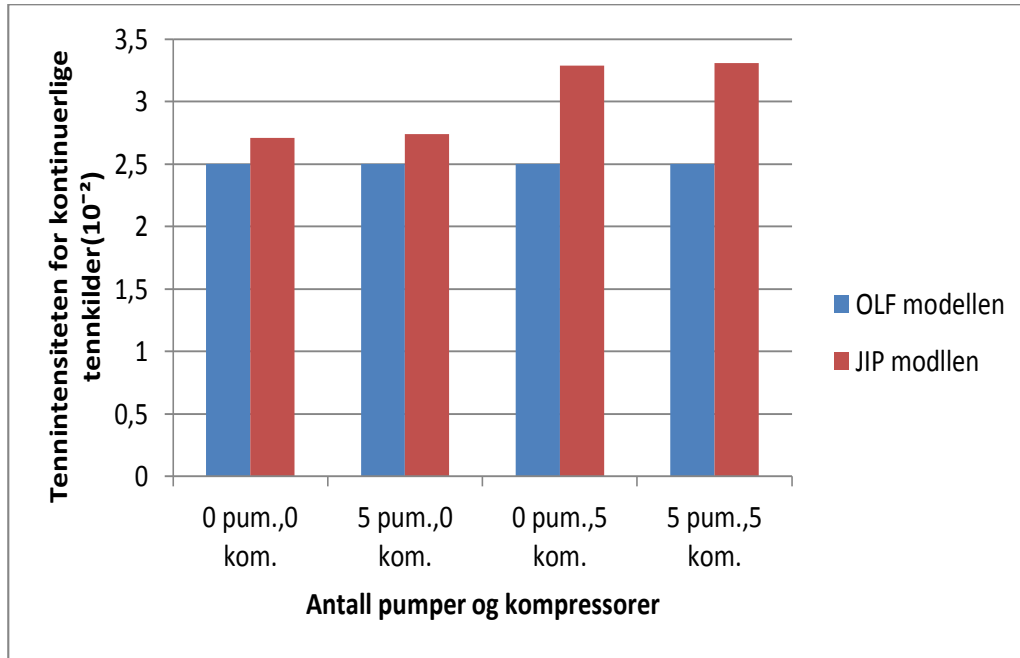
Histogram 7 tennintensiteten for diskrete tennkilder for OLF- og JIP-modellene med modulvolum 40.000m^3 , $P_{\text{iso}} = 0,9$ og forskjellige antall pumper og kompressorer

Histogram 7:



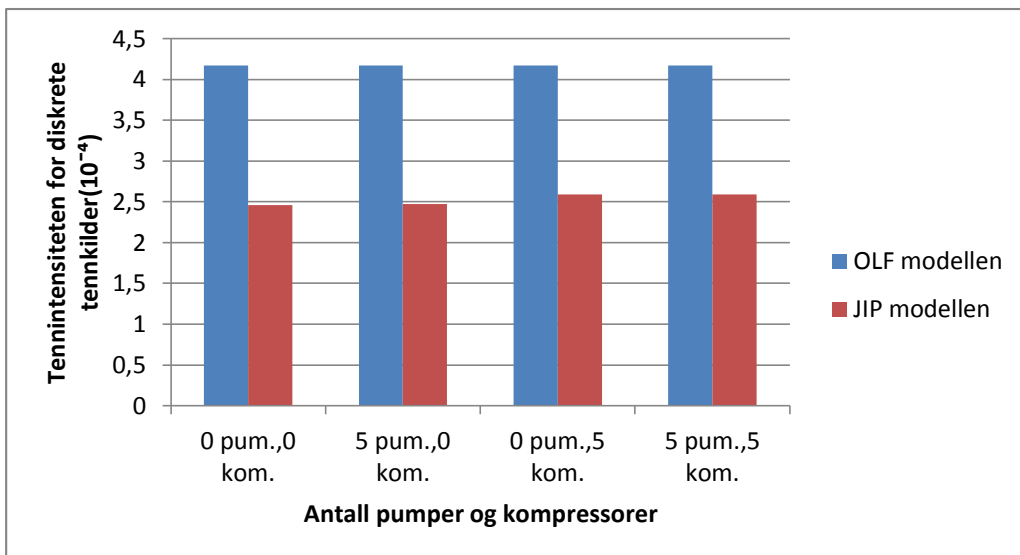
Histogram 8: tennintensiteten for kontinuerlige tennkilder for OLF- og JIP-modellene med modulvolum 40.000m^3 , $P_{\text{iso}} = 0,5$ og forskjellige antall pumper og kompressorer

Histogram 8:



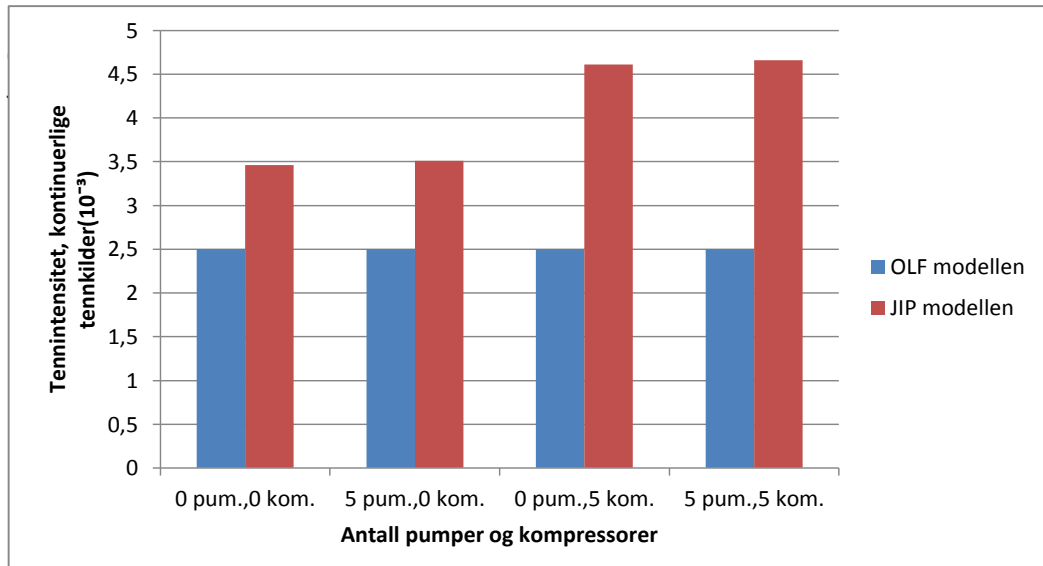
Histogram 9: tennintensiteten for diskrete tennkilder for OLF- og JIP-modellene med modulvolum 40.000m^3 , $P_{\text{iso}} = 0,5$ og forskjellige antall pumper og kompressor.

Histogram 9:



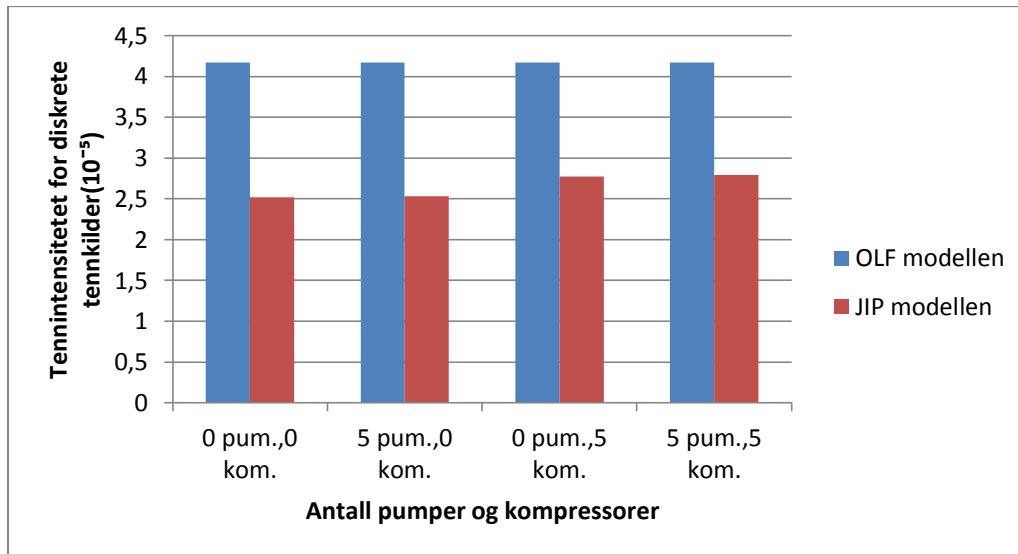
Histogram 10: tennintensiteten for kontinuerlige tennkilder for OLF- og JIP-modellen med modulvolum 20.000m³, P_{iso} = 0,9 og forskjellige antall pumper og kompressorer

Histogram 10:



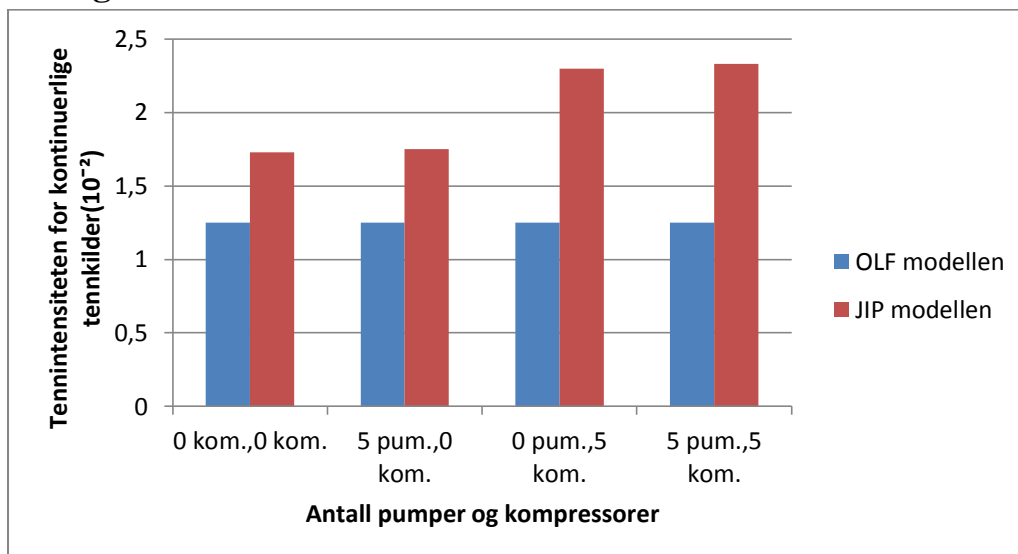
Histogram 11: tennintensiteten for diskrete tennkilder for OLF- og JIP-modellene med modulvolum 20.000m³, P_{iso} = 0,9 og forskjellige antall pumper og kompressorer

Histogram 11:



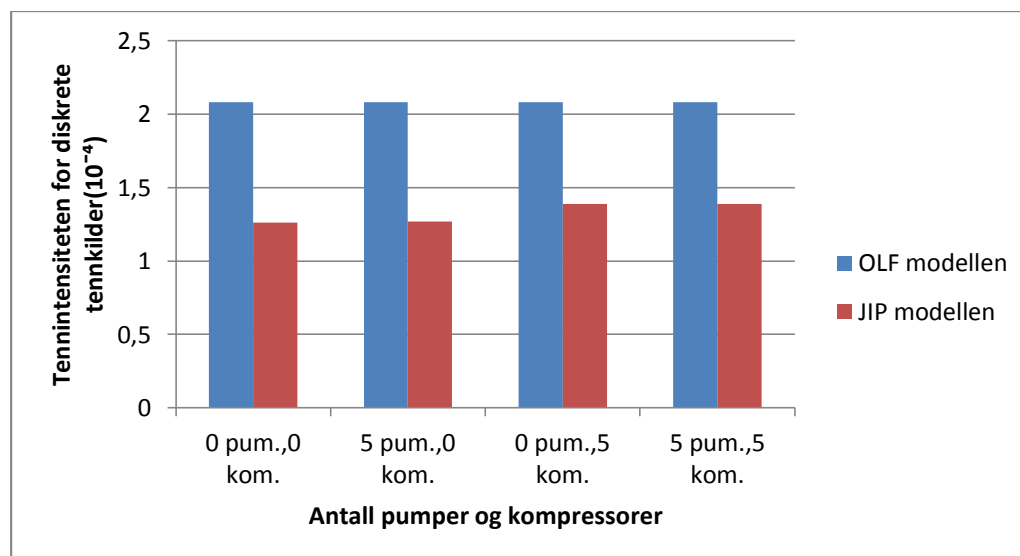
Histogram 12: tennintensiteten for kontinuerlige tennkilder for OLF- og JIP-modellene med modulvolum 20.000m^3 , $P_{\text{iso}} = 0,5$ og forskjellige antall pumper og kompressorer.

Histogram 12:



Histogram 13: tennintensiteten for diskrete tennkilder for OLF- og JIP-modellene med modulvolum 20.000m³, P_{iso} = 0,5 og forskjellige antall pumper og kompressorer

Histogram 13 :



7 Diskusjon

Strengt krav og retningslinjer må følges i forbindelse med ventilasjonsarbeid. Til tross for dette viser sektordiagram 1 at feil i forbindelse med slikt arbeid utgjør en vesentlig årsak til lekkasjer. Da kan man stille spørsmål om vedlikeholdsprogrammet, som består av en beskrivelse av instruksjoner for testing, inspeksjon og reparasjon, ikke er godt nok for utførelse av disse arbeidsoppgavene. Dette vil forhåpentligvis bli grundig gjennomgått i fase 3 revideringen av OLF rapporten i forbindelse med det høye antall lekkasjer de siste årene.

Å lage en eksponeringsmodell for den transiente gasskystørrelsen er en krevende prosess som byr på mange komplekse utfordringer ettersom det innebærer flere usikre elementer som inngår i denne modellen. Denne usikkerheten reiser spørsmålsteget knyttet til hvor stor påliteligheten man skal tilegne JIP- og OLF- eksponeringsmodellene.

I FLACS- eller CFD- gasspredningssimulering vil det ikke være mulig å inkludere alle mulige kombinasjoner, dermed vil en ved hjelp av erfaringer og klassifiseringer begrense antall utfall. Slike begrensninger fører til at man kan få mindre tiltro knyttet til resultatene fra JIP- og OLF- eksponeringsmodellene.

Shut-down prosessene kan i enkelte situasjoner blir svært kostbare hvilket i enkelte tilfeller vil føre til at økonomiske overveielser tas før sikkerhetstiltak finner sted. Dette vil være en ulempe som er knyttet til et slikt kostbart tiltak. Sannsynligheten for tenning forårsaket av elektrisk utstyr vil være påvirket av de forskjellige isolasjonsfilosofiene på plattformene. Man burde kanskje hatt strengere retningslinjer for shut-downprosedyrene for å hindre slike overveielser, fordi dette kan føre til redusert tenningssannsynligheten. Det nytter ikke å ha gode tenningssannsynlighetsmodeller dersom de ikke blir tatt hensyn til ved en kritisk situasjon.

8 Konklusjon

Basert på histogrammene har alle kontinuerlige tennkilder en høyere tennintensitet i JIP-modellen enn i OLF- modellen. Den største forskjellen i tennintensiteten forekommer med økende antall kompressorer, og minst forskjell med økende antall pumper. Det motsatte er tilfellet for diskrete tennkilder, her er tennintensiteten i OLF-modellen høyere enn i JIP-modellen. Den største forskjellen i tennintensiteten forekommer med økende antall pumper og minst forskjell med økende antall kompressorer.

Histogrammene viser også at i OLF- modellen øker tennintensiteten med økende modulvolum. I OLF- modellen betyr økt modulvolum økt antall tennkilder. Modellen skiller ikke på typer tennkilder, i stedet er det en generell tennintensitet for en offshore modul som eskalerer lineært med modulvolumet. I JIP- modellen øker tennintensiteten med økende antall pumper og kompressorer. Dette gjelder spesielt for kontinuerlige tennkilder. For diskrete tennkilder er det en mindre økning i tennintensiteten med økende pumper og kompressorer.

Forskjellen i egenskapene mellom modellene i form av antall utstyr som er inkludert i JIP-modellen og en spesifikk P_{iso} verdi per tennintensitets kategori fører til forskjellige resultater i tennintensiteten.

Eksponeringsmodellen vurderes lik for begge modellene, og utgjør begrensningen i oppgaven. Siden uttrykket for tennsannsynligheten er gitt som :

Tennsannsynligheten = Tennintensiteten · sannsynlighet for eksponering

vil tennsannsynligheten eskalere lineært med tennintensiteten som fører til at en liten forskjell i tennintensiteten mellom OLF- og JIP- modellene kan føre til stor forskjeller i tennsannsynlighetsresultatet. I JIP- modellen vil tennintensiteten bli høyere jo større antall pumper og kompressorer som er tilstede, mens tennintensiteten i OLF -modellen holder seg konstant med endringer i antall pumper og kompressorer. fordi her er tennintensiteten kun basert på modulvolumet. Dermed vil et stort antall utstyr føre til betydelige forskjeller i tennintensiteten mellom modellene, og dermed store forskjeller i tennsannsynligheten.

For samme modul kan den ene modellen gi høy tennintensitet, mens den andre gir lavere tennintensitet. En høy tennintensiteten i den ene modellen kan føre til at det settes i gang mer omfattende tiltak som for eksempel isolering av utstyr og som gjør at sannsynligheten for tenning blir redusert. En undervurdering av tennintensiteten kan i motsatt tilfelle føre til mindre tiltak for å redusere sannsynligheten for tenning. Dette kan få følger for tennsannsynligheten og tenning kan oppstå.

Det er forskjellig praksis hvilken modell, OLF- eller JIP- tenmodellene aktørene på norsk sokkel tar i bruk og risikostyringen på en plattform er avhengig av hvilken modell som velges. I

JIP-modellen er antall utstyr tatt med i tennintensitetsberegningen og det kan være logisk å tro at man da får en bedre beregning av tennsannsynligheten. Ett av de aktuelle punktene som vil være med i fase 3 revideringene er å lage en detaljert modell knyttet til forskjellige utstyrgrupper. Men det er også noen ulemper med en detaljert modell som nødvendigvis ikke vil forbedre beregningen av tennsannsynligheten. Eventuelle ulemper med en slik modell kan være følgende:

- Krever en nær kobling mellom modellering av gass-spredning og tennmekanismer knyttete til hvert utstyr. Dette kan kreve mye arbeid å få til.
- En mer detaljert geometrisk fremstilling innebærer mer arbeid innenfor QRA i forbindelse med modellbygging og utstyrstilling.
- Økt kompleksiteten som vil øke risikoen for feil i forbindelse med bruk av modellen.
- Flere detaljer vil utgjøre en mer sammensatt prosess med en kompleks dynamisk relasjoner mellom parametere hvilket gjør det vanskelig å beregne.

Bransjen med mange av de største aktørene ble enige om å gå bort fra JIP- modellen, fordi det ikke er statistikker eller underlag til å hevde at fordelene med en mer detaljert modell vil føre til en bedre sannsynlighetsberegning. Dermed kan man ikke hevde at JIP- tennintensitetsmodell, der antall utstyr er inkludert, gir en mer nøyaktig og bedre sannsynlighetsberegning enn OLF-modellen. Det er også en del usikkerheter knyttete til JIP modellene med hensyn til driftstid og telleregler for pumper som det ikke er tatt hensyn til i JIP modellen. På offshoreinstallasjoner er det mange forskjellige typer pumper. Små pumper som går på lavspenning og laveffekt og store oljeeksportpumper. Driftstiden for pumper varierer også, noen pumper brukes ikke kontinuerlig. Dette er forhold i modellen som det ikke er tatt hensyn til, men som påvirket resultatet for tennintensiteten og tennsannsynligheten.

På norsk sokkel har det ikke vært noen antente hendelser siden oljeproduksjonen startet i Nordsjøen. Dette gir ikke i seg selv en indikasjon på at modellen/modellene som brukes er gode. Som nevnt i begynnelsen av oppgaven, har det skjedd flere nestenulykker offshore, hvor tilfeldigheter har gjort at lekkasjer ikke ble antent. Tennmodellene er stadig under revisjon og gir en større forståelse av tennmekanismene som forhåpentligvis vil føre til bedre tennsannsynlighetsberegninger.

Referanser

1. <http://www.offshore.no/nyheter/sak.aspx?id=5863>
2. <http://www.aftenbladet.no/energi/olje/Snorre-A-stengt-ned-2568708.html>
3. <http://www.aftenbladet.no/energi/Produksjonen-i-gang-igjen-paa-Snorre-A-1814581.html>
4. <http://www.aftenbladet.no/energi/Ny-gasslekkasje-paa-Snorre-A-1816242.html>
5. <http://www.ptil.no/storulykke/petroleumstilsynet-ptil-ber-statoil-om-redegjoerelse-etter-gransking-av-gasslekkasje-paa-gullfaks-b-article7729-13.html>
6. http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/witness/july/6/newsid_3036000/3036510.stm
7. Ingar Fossan, e-mailkontakt
8. QRA Kvantitativ risikoanalyse
http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=no&sl=en&u=http://www.engr...
13.12.2010
9. Aven, Terje, Risk Analysis, Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities, 2008
10. Vinnem, J.E., Offshore Risk Assessment, Principle, Modelling and Applications QRA. Studies, 2nd Edition, 2007
11. NORSOK standard Z- 013, Risk and emergency preparedness analysis. Rev. 2, 2001-09-01
12. SINTEF rapport: Handbook for fire calculations and fire risk assessment in the process industry. 2003
13. Petroleumstilsynet, årsrapport 2008.
[www.ptil.no/getfile.php/PDF/ÅRSRAPPORT%202008%20\(2\).pdf](http://www.ptil.no/getfile.php/PDF/ÅRSRAPPORT%202008%20(2).pdf)
14. DNV, Rapport: JIP, XDIS- External dispersion and ignition model, user guidance. Rapport nr.96-3629, rev. nr. 04
15. Kutchta, J.M., Investigation of Fire and Explosion Accidents in the Chemical, Mining, and Fuel – Related Industries- A Manual, 1985
16. www.wji.de/MZE_st_e.html
17. http://www.ptil.no/getfile.php/PDF/RNNP%202009/RNNP_sammendragsrapport_2009.pdf
18. GEH, Rapport: Gas Explosion Handbook, version 1.2, 1993. Forfattere: Dag Bjerketvedt, Jan Roar Bakke, Kees van Wingerden

19. [www.tekna.no/ikbViewer/.../\(03\)%20Kees%20van%20Wingerden.pdf](http://www.tekna.no/ikbViewer/.../(03)%20Kees%20van%20Wingerden.pdf)
20. [www.tekna.no/arkiv/Kursrom/Brann.../\(18\)Ulf%20Danielsen.pdf](http://www.tekna.no/arkiv/Kursrom/Brann.../(18)Ulf%20Danielsen.pdf)
21. Scandpower A/S rapport: Ignition Modeling in Risk Analysis,2007
22. Scandpower A/S rapport: Modelling of Ignition Sources and Quantification of Ignition probabilities,1997.
23. www.npd.no/Global/Norsk/3%20.../Rapporter/.../Preventor_rapport.pdf
24. Groh Heinrich, Explosion Protection,2004
25. NORSOK STANDARD S-001 Teknisk sikkerhet
26. Barton John : Dust explosions; prevention and protection.
27. <http://www.ptil.no/getfile.php/z%20Konvertert/Helse,%20milj%C3%B8%20og%20sikkerhet/Hms-Aktuelt/Dokumenter/risikonivhovedrapport2002.pdf>
28. Eckhoff Rolf K., Explosion Hazards in the Process Industries,2005
29. <http://hot-hed.com/services/habitat.html>
30. http://en.wikipedia.org/wiki/ATEX_directive
31. http://www.dnv.no/tjenester/sertifisering/produktsertifisering/produktomrder/atex_ie...21.01.2011
32. www.dtc.no/files/.../EX-ATEX-kort-innf%C3%B8ring-2009.pdf
33. www.norex.no/exforum-vedlegg/Ex%20Beskyttelsesmetoder.pdf