

STF A27996 - Åpen

Rapport

Hvordan defineres "worst credible process fire"?

Kunnskapsutviklingsprosjekt for Petroleumstilsynet

Forfatter(e)

Stein Hauge, Ragnar Wighus (SP Fire Research), Åsa Snilstveit Hoem, Are Wendelborg Brandt (SP Fire Research) og Lars Bodsberg



Rapport

Hvordan defineres "worst credible process fire"?

Kunnskapsutviklingsprosjekt for Petroleumstilsynet

EMNEORD:Olje og gass
Risiko
Brann**VERSJON**

Endelig

DATO

2017-02-08

FORFATTER(E)Stein Hauge, Ragnar Wighus (SP Fire Research), Åsa Snilstveit Hoem, Are Wendelborg
Brandt (SP Fire Research) og Lars Bodsberg**OPPDRAGSGIVER(E)**

Petroleumstilsynet

OPPDRAGSGIVERS REF.

Bente Hallan/Jorun Bjørvik

PROSJEKTNR

102013841

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

40 inkludert vedlegg

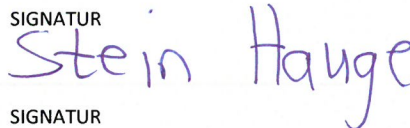
SAMMENDRAG

Det er i denne rapporten gjort en kartlegging og vurdering av hvordan petroleumsnæringen definerer og anvender begrepet "Worst Credible Process Fire" (WCPF). Begrepet brukes ved utforming av innretninger for å sikre at disse er robuste når det gjelder å motstå branner med opphav i prosessområdet.

Rapporten er basert på en gjennomgang og strukturering av brann- og risikoanalyser fra syv produksjonsinnretninger. Tre av de syv innretningene er relativt nylig satt i drift, mens de øvrige fire er planlagt å starte opp innen få år.

UTARBEIDET AV

Stein Hauge

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Knut Øien

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Stian Antonsen

SIGNATUR**RAPPORTNR**

STF A27996

ISBN

9788214061925

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
Utkast	2016-12-05	Utkast til rapport for Ptil kommentarer
Endelig	2017-02-08	Endelig rapport

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag / konklusjoner	4
2	Introduksjon.....	7
2.1	Bakgrunn	7
2.2	Formål	7
2.3	Aktiviteter og tema	7
2.4	Framgangsmåte og gjennomføring.....	8
2.5	Avgrensninger	8
2.6	Forkortelser / definisjoner	9
3	Dimensjonerende branner, designbranner og WCPF.....	11
3.1	Hovedsikkerhetsfunksjoner, dimensjonerende branner og designbranner	11
3.2	Worst credible process fire - WCPF	12
4	Gjennomgang og systematisering av mottatt dokumentasjon	14
4.1	Hvordan er "worst credible process fire" definert?.....	14
4.2	Hvilke faktorer påvirker valg av varmelast?.....	19
4.3	Hvilke regelverkskrav, standarder og interne krav gjelder?	21
4.4	Hvordan følges kravene opp ved modifikasjoner på innretninger?	23
4.5	Hvordan er eskalering ut av området definert?	24
4.6	Krediteres PSD ventiler ved definisjon av WCPF?.....	27
5	Vurdering av dagens praksis og regelverk	29
5.1	Regelverkskrav, relevante standarder og interne krav	29
5.2	Industriens praksis og forståelse av sentrale forhold for å definere WCPF.....	31
5.3	Graden av robusthet knyttet til dagens praksis for å definere designbranner	32
5.4	Hvor realistisk er varmelastene som benyttes i dagens brannberegninger?	34
	Referanser	36

BILAG/VEDLEGG

Appendix A	Diskusjon av framgangsmåte for å beregne varmelaster
------------	--

1 Sammendrag / konklusjoner

Det er i denne rapporten gjort en kartlegging og vurdering av hvordan petroleumsnæringen definerer og anvender begrepet "Worst Credible Process Fire" (WCPF). En slik brann kan tolkes som den verste brannen fra et enkelt prosess-segment når nødavstengningsventiler, trykkavløstingsventiler og relevante sikkerhetssystemer fungerer som forutsatt. Effekten av brannvann og prosessavstengningsventiler skal ikke krediteres ved definisjon av WCPF. Ved design for en slik brann skal en dessuten ta høyde for mulig intern eskalering innenfor området.

Hvordan WCPF defineres legger viktige føringer for utforming av en innretning med tanke på krav til å forhindre spredning av en brann og å opprettholde strukturell integritet; herunder behov for passiv brannbeskyttelse av utstyr og beskyttelse av bærestruktur, inkludert krav til brannvegger. Det er derfor interessant å vurdere hvorvidt industrien har en entydig praksis for å definere WCPF, om dagens praksis er i henhold til intensjonene i regelverket, og om regelverk, standarder og praksis kan forbedres.

Denne rapporten er basert på en gjennomgang og strukturering av mottatt dokumentasjon i form av brann- og risikoanalyser fra syv produksjonsinnretninger. Tre av de syv innretningene er relativt nylig satt i drift, mens de øvrige fire er planlagt å starte opp innen få år. Det har dessuten vært dialog med oppdragsgiver og utvalgt teknisk personell hos selskapene i løpet av prosjektgjennomføringen. Hovedresultater fra gjennomgang og vurdering av mottatt dokumentasjon er oppsummert under.

Begrepet "Worst Credible Process Fire" er foreløpig bare delvis implementert i petroleumsindustrien

Intensjonen om at en innretning skal designes for å unngå spredning av en brann fra et hvert prosess-segment til andre områder, har lenge eksistert i regelverket og ble ytterligere presisert i 2015. WCPF som begrep er imidlertid forholdsvis nytt. Kun ett av de utvalgte selskapene har innarbeidet WCPF begrepet i sine relevante kravdokumenter. Det er i denne sammenheng verdt å merke seg at enkelte av de utvalgte prosjektene delvis ble gjennomført før diskusjonen om WCPF startet i industrien. Det pågår for tiden arbeid i regi av NORSOK hvor man forsøker å konkretisere og tydeliggjøre dette begrepet.

WCPF er ikke tilstrekkelig entydig definert i regelverk og standarder

Det blir av industrien pekt på at WCPF ikke er entydig definert hverken i dagens regelverk eller i tilhørende standarder/retningslinjer. Dette underbygges av vår dokumentgjennomgang som viser at det er uklarhet med hensyn til hvordan den mest omfattende brannen en skal designe for eksakt skal defineres, med påfølgende mulighet for ulik praksis.

Dagens definisjon og fortolkning av WCPF gir industrien visse utfordringer

I enkelte tilfeller kan en designbrann, slik WCPF begrepet i dag fortolkes, få varigheter som langt overskrider to timer. Dette gir industrien praktiske utfordringer, siden deler av dagens brannbeskyttelse (for eksempel gjennomføringer), kun er sertifisert for hydrokarbonbranner med varighet inntil to timer. Det kan i slike tilfeller være hensiktsmessig å åpne opp for muligheten til å vurdere konsekvensene av slike langvarige branner.

Bruk av verktøy for å modellere branner synes å være rimelig standardisert i industrien

Dokumentgjennomgangen viser at mange av de samme verktøyene benyttes på de ulike prosjektene. Generelt har QRA leverandør – som i vårt utvalg er representert ved tre ulike selskap – sine egne verktøy for å gjennomføre den store kvantitative risikoanalysen. I tillegg benyttes det spesialprogrammer for å gjøre brannsimuleringer og strukturresponsberegninger som i stor grad er felles for de ulike prosjektene.

Det kan være krevende å operere med både designbranner og dimensjonerende branner

Dimensjonerende branner og brannlaster framkommer vanligvis som et resultat av en risikoanalyse med utgangspunkt i akseptkriterier knyttet til tap av hovedsikkerhetsfunksjoner (" 10^{-4} kriteriet"). Det er vanlig praksis at den kvantitative risikoanalysen tar kreditt for alle implementerte risikoreduserende systemer. De branner innretningen skal motstå, dvs. de verste designbrannene, skal som et minimum inkludere de dimensjonerende brannene. For å robustgjøre designet stiller i tillegg regelverket noen mer "deterministiske" krav til utforming av systemer og krav til spesielle scenarioer eller laster som en innretning skal motstå. WCPF er et eksempel på sistnevnte, hvor en spesifiserer hvordan brannen skal defineres og hvilke risikoreduserende systemer som kan eller ikke kan tas kreditt for.

Dette betyr at modellering og beregninger som gjøres i risikoanalysen for å definere dimensjonerende branner ikke helt vil samsvare med de beregninger som ligger til grunn ved definisjon av WCPF, for eksempel i forhold til hvilke risikoreduserende systemer som kan hensynstas. Vi ser gjennom vår dokumentgjennomgang at en slik todelt praksis medfører en del begrepsforvirring og misforståelser knyttet til forskjellen på for eksempel dimensjonerende ulykkeslaster og designulykkeslaster.

Det pekes også av industrien på at dagens praksis med å måtte regne både mot 10^{-4} kriteriet og dessuten analysere hvilke brannscenarier som skal legges til grunn for å definere WCPF, har kostnadskonsekvenser i form av behov for ekstra analyser. En kan argumentere med at dersom en designer for WCPF slik denne er definert, vil dette normalt være tilstrekkelig robust, og ytterligere beregninger og brannsimuleringer opp mot 10^{-4} kriteriet vil da gi begrenset sikkerhetsmessig gevinst. Det kan derfor være grunnlag for å vurdere om dagens analysepraksis kan forenkles. I denne sammenheng er det verdt å nevne et pågående prosjekt i regi av Norsk olje og gass; "Formålstjenlige risikoanalyser" /5/.

Enkelte sentrale forhold som definerer WCPF bør avklares av industrien

Under hvilke kriterier en brann skal antas å spre seg internt og ut av et område er sentralt når en definerer WCPF. Det er ulik praksis for å definere eskalering ut av området og det synes heller ikke være noe felles praksis for hvordan en antar at intern eskalering opptrer. Definisjonene av eskalering fra NORSOK Z-013 er ikke tilstrekkelig detaljert til å gi eksakte kriterier for når og hvordan eskalering kan antas å inntreffe. Heller ikke regelverket har en tydelig definisjon eller referanse på dette. Det er her behov for mer detaljerte retningslinjer og kriterier.

Ved definisjon av WCPF kan nødavstengningsventiler (ESD ventiler), men ikke prosessavstengningsventiler (PSD ventiler), antas å fungere som tiltenkt. Det er på dette området litt varierende praksis, noe som nok hovedsakelig kan forklares ved prosjektenes alder og industriens gradvis økende forståelse av intensjonen bak WCPF begrepet. Uansett, kan forskriftsteksten gjerne presisere at det kun er ESD ventiler som skal hensynstas ved definering av WCPF. Begrepet "seksjoneringsventiler" slik det benyttes i veiledning til §33 i Innretningsforskriften kan misforståes til at også PSD ventiler kan hensynstas.

Det kan stilles spørsmål ved om anvendte varmelaster reflekterer resultater fra nyeste forskning

Det er relativt få forskningsprosjekter, både nasjonalt og internasjonalt, som har blitt utført for å undersøke brannlaster i full skala med realistiske forhold som gjenspeiler et prosessanlegg. Vår erfaring fra en rekke eksperimenter med gass- og væskebranner i ulik skala antyder at de gjennomsnittlige varmelaster en opererer med i NORSOK S-001 ikke nødvendigvis reflekterer den kunnskap om branner som er framkommet

i flere store F&U program som industrien selv har deltatt i. Dette er videre utdypet i Appendix A i denne rapporten. Denne innsikten bør være av betydning for framtidige analyser og beregninger av brannlaster.

Generelt vil en i risiko- og brannanalyser vurdere et stort antall hendelsesforløp med tilhørende antagelser. I forhold til konsekvensene av en brann, er antatte varmelaster en sentral parameter. Det er her altså grunn til å spørre seg om anvendte varmelaster er tilstrekkelig konservative. Anvendte brannsimuleringsprogrammer er til en viss grad verifisert mot resultater fra eksperimenter, men det pekes på at disse resultatene ikke er basert på så store branner som kan oppstå i offshore moduler.

Kan en si at dagens praksis oppfyller regelverket?

Det er SINTEFs inntrykk at det gjøres et solid og omfattende arbeid i forhold til å modellere, simulere og analysere ulike brannscenarier. Det framgår fra risiko- og brannanalyser at det gjøres mange og detaljerte beregninger og at en rekke brannscenarier analyseres.

Det er i denne rapporten pekt på noe varierende praksis i forhold til å ta kreditt for PSD-ventiler ved definisjon og beregning av verste designbrann. Det er også påpekt at eskalering defineres og praktiseres ulikt.

En foreløpig konklusjon er derfor at dersom en ønsker en mer ensartet industripraksis i forhold til å definere WCPF, er det behov for en mer detaljert beskrivelse og flere avgrensninger i forhold til hva som skal være gjeldende antagelser. Dette vil også spare industrien for unødvendige og tidskrevende diskusjoner. I dag er ikke WCPF tilstrekkelig klart og entydig definert i regelverk og standarder, noe som også er bakgrunnen for at en i pågående oppdatering av NORSOK S-001 blant annet arbeider med en ny definisjon av WCPF.

2 Introduksjon

2.1 Bakgrunn

Petroleumstilsynet har gjennom tilsyn og spørsmål fra ulike aktører avdekket et behov for å kartlegge hvordan næringen definerer verste brann i prosessområdet som en innretning skal designes for ("Worst Credible Process Fire" - WCPF). For å gjennomføre dette har SINTEF fått i oppdrag å analysere relevant dokumentasjon fra seks operatører som representerer i alt syv nyere prosjekter og innretninger.

2.2 Formål

I henhold til Petroleumstilsynets oppdragsbeskrivelse er formålet med prosjektet:

"Ptil har behov for å få utført en vurdering av brannfaglig ekspertise som kan fastslå hvordan den verste brannen i prosessområdet («worst credible process fire») defineres hos de ulike aktørene i næringen, og vurdere om dagens praksis tilfredsstiller regelverkskrav"

Med referanse til Innretningsforskriften § 33 Nødvastengingssystem, skal innretninger utformes for å unngå spredning av en prosessbrann. Veiledning til § 33 sier blant annet:

"Kravet til å isolere og seksjonalisere brannområdene på innretningen innebærer blant annet at det skal installeres et tilstrekkelig antall seksjoneringsventiler i prosessanlegget for å sikre at eventuell brannbelastning ved lekkasje i ethvert segment ikke medfører mulighet for en ukontrollert spredning og/eller eskalering i området hvor lekkasjen har inntruffet. De konkrete barriereelementer som skal ha nødvendig brannmotstand, bør avklares med utgangspunkt i hvert enkelt brannområde og relevante barrierefunksjoner. For å avklare varmelast per tidsenhet og hvilket omfang en brann vil ha, bør mulige initiale lekkasjerater som kan oppstå, legges til grunn, og det kan tas hensyn til system for trykkavlastning. For å gjøre designet robust bør lekkasjerater basert på konservative forutsetninger, legges til grunn. Det vil si initiale rater som medfører ugunstige kombinasjoner av varmelast, brannstørrelse og brannvarighet."

En detaljert oppskrift for hvordan "ugunstige kombinasjoner av varmelast, brannstørrelse og brannvarighet" skal defineres er ikke gitt av dagens regelverk og standarder. Det er med andre ord et visst rom for tolkning i forhold til hvor konservative antagelser som skal legges til grunn når en definerer hvilke branner som innretningen skal motstå. Formålet med dette prosjektet er derfor å hente inn og systematisere informasjon om hvordan "Worst credible Process Fire" defineres hos ulike aktører i næringen og vurdere om dagens praksis er i samsvar med intensjonene i regelverket.

2.3 Aktiviteter og tema

De to hovedaktivitetene i dette prosjektet har vært:

1. Gjennomgå og systematisere informasjon fra utvalgte "brannstudier", herunder;
 - Gjennomgå mottatt dokumentasjon og systematisere denne med fokus på de seks utvalgte temaene for diskusjon
 - Oppsummerer funn, likheter og forskjeller basert på denne dokumentgjennomgangen

2. Vurdere om dagens praksis tilfredsstiller regelverkskrav, herunder;
 - Identifisere relevante regelverkskrav
 - Vurdere om dagens praksis tilfredsstiller regelverkskrav
 - Oppsummere resultater og konklusjoner og hvorvidt dagens praksis og tilhørende regelverk kan ytterligere forbedres

Dette er dokumentert i henholdsvis kapittel 4 og kapittel 5.

De seks hovedtemaene som er diskutert i denne rapporten er:

1. Hvordan er verste designbrann (WCPF) definert?
 - a. Hvilke simuleringer utføres?
 - b. Hvilken metodikk benyttes i dag?
 - c. Brukes det ulike verktøy?
 - d. Varierer metodikken ved bruk av ulike leverandører?
2. Hvilke faktorer påvirker valg av varmelast?
3. Hvilke selskapsinterne og øvrige krav gjelder?
4. Hvordan følges kravene opp ved modifikasjoner på innretninger?
5. Hvordan har analysene definert eskalering ut av området?
6. Krediteres prosessavstengningsventiler (XV/PSD-ventiler) ved definisjon av WCPF?

2.4 Framgangsmåte og gjennomføring

For å kunne besvare temaene over ble det sendt ut likelydende brev til seks ulike operatører som representerer i alt syv nyere prosjekter og innretninger. Operatører og innretninger ble valgt ut av Petroleurstilsynet. Operatørene ble bedt om å gi konkrete svar på de seks hovedtemaene, samt oversende nødvendig dokumentasjon for å utdype og underbygge svarene.

Vi mottok svarbrev fra alle seks operatører med 38 tilhørende dokumenter (totalt i overkant av 8000 sider dokumentasjon). Typisk dokumentasjon var QRA studier, Design Accidental Load spesifikasjoner, passiv brannbeskyttelsesstudier, sikkerhetsstrategier og brannrespons- og strukturanalyser.

Denne rapporten er basert på en gjennomgang og strukturering av informasjon som prosjektgruppen har ansett som mest relevant. Det har dessuten vært dialog med oppdragsgiver og utvalgt teknisk personell hos selskapene gjennom prosjektgjennomføringen.

2.5 Avgrensninger

Siden fokus er på prosessbranner ble produksjonsinnretninger valgt ut. Tre av de syv innretningene er relativt nylig satt i produksjon, mens de øvrige fire er planlagt å starte opp innen få år. I forhold til tema 4; "Hvordan følges kravene opp ved modifikasjoner på innretninger?" har det derfor vært begrenset med erfaring og informasjon.

Noen av de utvalgte innretningene har integrert boring ombord og dermed antent utblåsning som et mulig brannscenario. Tilsvarende har andre innretninger fleksible stigerør og antent stigerørslekkasje i

brønnhodeområdet som et mulig scenario. Denne rapporten omhandler kun prosessbranner, dvs. branner som har sitt opphav i prosessområdet.

2.6 Forkortelser / definisjoner

Tabellen under forklarer en del forkortelser og begreper som er brukt i rapporten.

Tabell 2.1 Utvalgte forkortelser og begreper brukt i rapporten

ABACUS	(General purpose) Dataprogram utviklet for å løse generelle ikke-lineære konstruksjonsproblem. Programmet kan beregne både transient varmeovergang og konstruksjonsrespons. Analysene som er utført er ikke koblet opp mot CFD-analyse av brannforløpet og de er derfor ofte basert på forenklete antakelser om varmebelastningen (varmeflukser/temperaturer) /2/.
Brannområde	Et område som er separert fra andre områder enten ved hjelp av fysiske barrierer (brann-/eksplosjonsskille) eller avstand, som skal forhindre at en dimensjonerende brann eskalerer til et annet område, (oversatt fra /3/)
CFD	Computational Fluid Dynamics. Dataverktøy som kan beregne fluidstrømninger og gasspredning med og uten kjemiske reaksjoner slik som forbrenning. Noen CFD-koder har tilleggsmoduler som kan regne varmestråling fra brann, væskespredning i og fordampning fra dammer på bakken/gulvet og væskespredning med og fordampning fra dråper /2/.
Dimensjonerende ulykkeslast	En ulykkeslast som en funksjon eller et system skal kunne motstå i et gitt tidsrom for å møte de definerte akseptkriteriene for risiko /1/. Kommentarer: Den dimensjonerende ulykkeslast (DAL) er typisk etablert som en del av en risikovurdering som den lasten som oppstår med årlig sannsynlighet større enn eller lik 1×10^{-4}. Den engelsk betegnelsen "Dimensioning accidental load" brukes ofte og blir gjerne forkortet DAL. Denne forkortelsen blir også brukt i NORSOK Z-013 og NORSOK S-001, noe som kan være forvirrende siden design accidental load spesifikasjonen (se under) gjerne omtales som "DAL spesifikasjon".
Designlast	Omfatter funksjons-, natur-, og ulykkeslast, deriblant brann- og eksplosjonslast, som legges til grunn for utforming og drift av anlegg, systemer og utstyr. /1/
Designulykkeslast	Ulykkeslast som legges til grunn for design. Designulykkeslast skal som et minimum alltid kunne motstå de dimensjonerende ulykkeslastene /1/. Kommentar: Designulykkeslasten kan være den samme som den dimensjonerende ulykkeslasten, men den kan også være mer konservativ, basert på annen input og vurderinger som ALARP, minimumskrav i regelverket osv. Dette kan i praksis innebære at designulykkeslasten må settes høyere enn den dimensjonerende ulykkeslasten. Designulykkeslasten vil som minimum alltid måtte samsvare med den dimensjonerende ulykkeslasten. Den engelsk betegnelsen "Design accidental load" brukes ofte. Dette har også blitt forkortet DAL, eller i de senere årene mer korrekt DeAL for å skille fra "Dimensioning accidental load". Vi har i denne rapporten konsekvent skrevet DAL og DeAL helt ut.

"Design accidental load" spesifikasjon	Dokument som beskriver og spesifiserer de ulykkeslastene som en innretning skal designes for (designulykkeslastene). Kommentar: Forkortes gjerne "DAL spesifikasjon", men kunne mer korrekt vært forkortet "DeAL spesifikasjon" (se over).
FAHTS	Fire And Heat Transfer Simulation. Verktøy som beregner temperaturutvikling i strukturer basert på temperaturer/varmefflukser fra KFX og gir input til deformasjonsberegninger med USFOS /2/.
KFX™	Kameleon FireEx KFX©. CFD-kode som kan regne detaljerte varmelaster på strukturer og prosessutstyr /2/.
Leverandør	I denne studien brukt om selskapet som har vært ansvarlig for å gjennomføre risiko- og brannanalyser.
Operatør / selskap	Brukt om selskapet som er ansvarlig for å bygge ut et felt for produksjon ved et kommersielt funn.
PFP	Passiv Fire Protection. Passiv brannbeskyttelse.
QRA	Quantitative Risk Assessment. Kvantitativ risikoanalyse. Analyse der risikoen ved en innretning eller aktivitet uttrykkes kvantitativt ved bruk av hendelsestrær og historiske data. Omfatter vanligvis også simulering av brannlaster og eksplosjonslaster med CFD-verktøy /2/.
USFOS	Program som er skreddersydd for analyse av offshorekonstruksjoners motstand mot ulykkelaster. For branner beregnes reduksjonen i konstruksjonens lastbærende evne og tilhørende deformasjoner som følge av svekkelses-materialstyrken (flytespenning) ved høye temperaturer. Dersom lastbærende evne underskrider funksjonsbelastningen vil konstruksjonen bryte sammen /2/.
VessFire	VessFire er et simuleringsverktøy som er utviklet for tidsavhengig, ikke-lineær analyse av termo-mekanisk respons for prosess industrien, med og uten brannbelastning. Se også http://petrell.no/products/vessfire/

Noen flere forkortelser som er brukt i rapporten er listet under.

B&G	-	Brann og Gass
BD	-	Blowdown/Trykkavlastning
EERS	-	Emergence, Escape, Rescue
ESD	-	Emergency Shutdown (nødavstengning)
FAR	-	Fatal Accident Rate
FEED	-	Front End Engineering and Design
FES	-	Fire and Explosion Strategy
HC	-	Hydrocarbon
PLL	-	Potential Loss of Life
PSD	-	Process Shutdown (prosessavstengning)
RNNP	-	Risikonivå i Norsk Petroleumsvirksomhet
SDV	-	Shutdown valve
WCPF	-	Worst Credible Process Fire

3 Dimensjonerende branner, designbranner og WCPF

For den videre diskusjonen i denne rapporten vil vi forsøke å avklare sammenhengen mellom *dimensjonerende ulykkeslast* og *designulykkeslast* og knytte dette opp mot begrepet WCPF.

3.1 Hovedsikkerhetsfunksjoner, dimensjonerende branner og designbranner

I henhold til Innretningsforskriftens § 11 (om Laster, lastvirkninger og motstand) skal anlegg, systemer og utstyr som inngår som elementer i realiseringen av hovedsikkerhetsfunksjoner¹ som et minimum utformes slik at dimensjonerende ulykkeslaster med årlig sannsynlighet større enn eller lik 1×10^{-4} , ikke medfører tap av en hovedsikkerhetsfunksjon. Frekvensen gjelder for hver hendelsestype (ikke summen av dem).

Med andre ord betyr dette at branner som kan medføre tap av hovedsikkerhetsfunksjoner ikke må ha en samlet frekvens som overstiger 1 per 10000 år. Dette omtales som *dimensjonerende branner* og vil være viktig input ved design av en innretning; De branner som innretningen designes for å motstå, må *som et minimum* omfatte de dimensjonerende brannene.

En *dimensjonerende brann* og tilhørende brannlast er knyttet til et akseptkriterium og vil derfor framkomme som et resultat av probabilistiske beregninger. Probabilistiske beregninger inneholder usikkerhet, blant annet som følge av usikre input data, matematiske/statistiske modeller samt behovet for å gjøre en rekke antagelser. Dette betyr at avhengig av hvem som utfører analysene, hvilke input data og modeller som brukes og hvilke antagelser en gjør, kan dimensjonerende brannlast i prinsippet variere for en og samme innretning. Hvis det i analysene gjøres for optimistiske antakelser vil brannlastene som legges til grunn for design dermed kunne bli for lav. At "sluttresultatet" kan variere er en grunnleggende utfordring ved all probabilistisk design, men vil samtidig kunne sikre at design av innretningene er best mulig tilpasset det spesifikke risikobildet.

Av årsaker som diskutert over, har Petroleumstilsynet på enkelte områder valgt å supplere " 10^{-4} kriteriet" med mer deterministiske kriterier (detaljkrav) som er ment å robustgjøre designen. Ett eksempel på dette er at det ved fastsetting av designlaster ikke skal tas hensyn til effekten av brannvann (jf. Innretningsforskriftens §11). På grunn av at praksis i industrien hadde gått i en retning der en kun designet for «Dimensjonerende ulykkeslast» ble det i 2015 utformet en utdypende veiledning til Innretningsforskriftens §33 (jf. avsnitt 2.2). Den presiserer at en prosessbrann fra et isolert og trykkavløst segment ikke under noen omstendigheter skal kunne eskalere ut av brannområdet hvor den oppsto, selv om en slik brann kan ha en lavere årlig frekvens enn 1×10^{-4} . Med andre ord, de branner som en designer for, kalt *designbranner*, skal som et minimum omfatte de dimensjonerende brannene, men kan i enkelte tilfeller også inkludere mindre hyppige branner.

¹ I henhold til § 7 i Innretningsforskriften skal følgende hovedsikkerhetsfunksjoner opprettholdes ved en ulykkesituasjon:

- hindring av eskalering av ulykkesituasjoner slik at personell som er utenfor den umiddelbare nærheten av ulykkesstedet, ikke skades,
- hovedbæreevnen i bærende konstruksjoner inntil innretningen er evakuert,
- beskyttelse av rom som er av betydning for bekjempelse av ulykkeshendelser slik at de er operative inntil innretningen er evakuert,
- beskyttelse av innretningens sikre områder slik at disse er intakt inntil innretningen er evakuert,
- minst én evakueringsvei fra ethvert område der personell kan oppholde seg inntil evakuering til innretningens sikre områder og redning av personell er gjennomført.

3.2 Worst credible process fire - WCPF

Den verste prosessbrannen fra et enkelt segment som er isolert med ESD ventiler og trykkavlastet, refereres gjerne til som "worst credible process fire". Begrepet er ikke direkte anvendt i dagens forskrifter og standarder, men vil tas inn i forbindelse med revidering av Norsok standard S-001 /3/. Vi finner dessuten begrepet definert i et av de utvalgte selskapene sine interne kravdokumenter:

Worst credible process fire

A fire from a leak in a process segment that will give the worst exposure of structures and fire division with regards to duration, and heat load distribution. ESD valves and emergency depressurization valves limiting the supply of fuel can be assumed to function. If the fire can lead to internal escalation to other process segments, this escalation shall be taken into account in the definition of worst credible process fire. This fire load shall be covered by the design accidental load.

I forbindelse med pågående oppdatering av NORSOK S-001 /3/ vil en definisjon av "worst credible process fire" inngå. Den representerer en utdypning av definisjonen over, er fremdeles gjenstand for endring, men ser per i dag slik ut:

The worst credible fire is derived from a leak in a process segment limited by ESD valves that will give the worst exposure of main load bearing structures and fire divisions with regards to duration (beyond time for safe evacuation), and heat load distribution to ensure structural integrity. ESD valves and emergency depressurization valves limiting the supply of fuel can be assumed to function. With respect to liquid spills, consideration can be made to the open drain or grating in the area. If fires can lead to internal escalation to other process segments, this escalation shall be taken into account in the definition of worst credible process fire. This fire load shall be covered by the design accidental load. Gas lift volumes in well annuli shall also be included in the evaluation unless the supply to the annulus is protected with a hydraulically activated integrated wellhead valve, i.e. with an ESD function, and there are no other leak points on the annulus. Process fires shall not escalate to hydrocarbon pipeline risers or to wells.

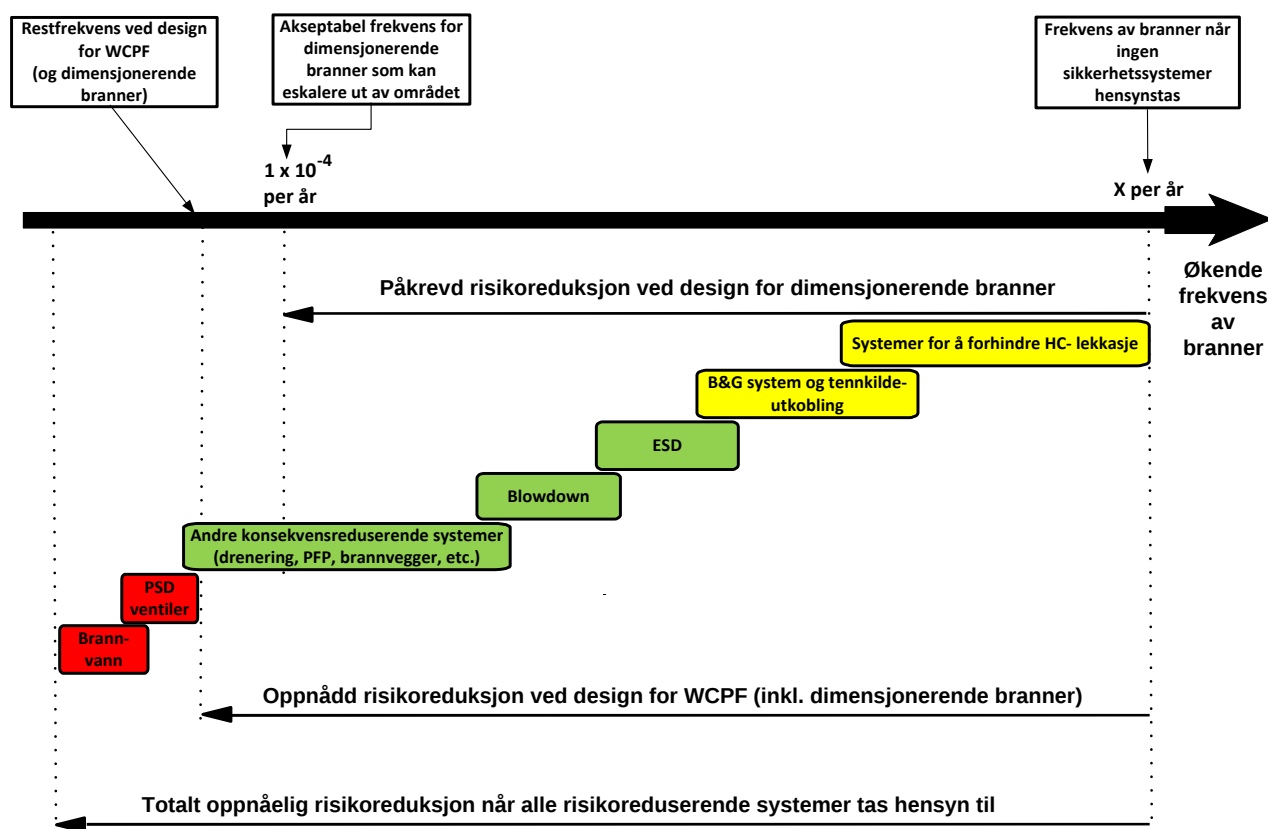
WCPF kan dermed tolkes som den verste brannen fra et enkelt prosesselement når ESD, trykkavlastningsventiler og relevante sikkerhetssystemer fungerer som forutsatt. Effekten av brannvann og prosessavstengningsventiler skal i henhold til regelverket ikke krediteres ved definisjon av WCPF. Ved design for en slik brann skal en dessuten ta høyde for mulig intern eskalering innenfor området.

Av beskrivelsen over ser vi at WCPF representerer en type brann som en skal designe for, uavhengig av dens frekvens. I mottatt dokumentasjon, svarbrev og diskusjoner med fagfolk, argumenteres det med at WCPF slik den er definert, normalt vil ha en estimert årlig frekvens *lære enn* 10^{-4} . Dette betyr at kravet om å designe for en slik brann vil medføre strengere krav i forhold til de dimensjonerende brannene. En slik situasjon er forsøkt illustrert i Figur 3.1.

I risikoanalysen kan en i utgangspunktet ta hensyn til alle risikoreduserende systemer² (gule, grønne og røde bokser i figuren). Basert på antatte lekkasjefrekvenser og sviktsannsynligheter for de risikoreduserende systemene, kan en beregne frekvensen av ulike branner og bestemme hvilke branner som kan medføre tap av sikkerhetsfunksjoner og som har en frekvens høyere enn 10^{-4} per år.

² Alle risikoreduserende systemer kan tas kreditt for ved beregning av FAR/PLL verdier i risikoanalysen. I henhold til Innretningsforskriftens §11 skal en ved fastsetting av brann- og eksplosjonslaster imidlertid ikke ta hensyn til effekten av brannvann.

Ved definisjon av WCPF skal en i prinsippet anta at en brann allerede har inntruffet (svikt i gule bokser), at ESD, trykkavlastning og relevante sikkerhetssystemer fungerer (de grønne boksene) og det skal ikke tas kreditt for PSD ventiler og brannvann (de røde boksene).



Figur 3.1 WCPF versus dimensjonerende branner og effekten av risikoreduserende systemer

Det er fra selskapenes side gitt uttrykk for at dagens praksis med å måtte regne både mot 10^{-4} kriteriet og dessuten analysere hvilke brannscenarier som skal legges til grunn for å definere WCPF, har kostnadskonsekvenser i form av behov for ekstra analyser. Som diskutert over kan det antas at WCPF normalt vil ha en årlig frekvens lavere enn 10^{-4} . En kan da argumentere med at dersom en designer for WCPF, som per definisjon har opphav i det største prosess-segmentet og ikke skal eskalere ut av området eller true hovedbæreevnen, vil dette for en standard innretning være tilstrekkelig robust, og ytterligere beregninger og brannsimuleringer opp mot 10^{-4} kriteriet vil da gi begrenset sikkerhetsmessig gevinst.

En kan imidlertid tenke seg tilfeller hvor WCPF kan ha en underliggende årlig frekvens *høyere enn* 10^{-4} . Dette kan gjelde for en ikke-standard design med for eksempel spesielt høy lekkasjefrekvensen eller spesielt høy antennessannsynlighet (eller mer generelt; at de gule og/eller grønne systemene i Figur 2.1 ikke har standard ytelse). I slike tilfeller vil det fremdeles være hensiktsmessig å verifisere ved hjelp av risikoanalytiske beregninger at de branner en designer for ikke har en årlig samlet frekvens høyere enn 1×10^{-4} .

4 Gjennomgang og systematisering av mottatt dokumentasjon

Dette kapitlet dokumenterer Aktivitet 1 i prosjektet; "Gjennomgå og systematisere informasjon fra utvalgte "brannstudier".

Operatørenes svar på de seks hovedtemaene (se avsnitt 2.3) er oppsummert i egne tabeller. Svarene vi mottok varierte når det gjelder detaljeringsgrad og presisjon, og det har derfor i mange tilfeller – når mulig – vært behov for å supplere svarene med informasjon fra mottatte underlagsdokumenter.

De seks hovedtemaene er diskutert separat i påfølgende avsnitt.

4.1 Hvordan er "worst credible process fire" definert?

Vi ser i dette avsnittet på hvordan verste designbrann (WCPF) definert. Herunder:

- a. Hvilke simuleringer utføres?
- b. Hvilken metodikk benyttes i dag?
- c. Brukes det ulike verktøy?
- d. Varierer metodikken ved bruk av ulike leverandører?

Svar på disse spørsmålene er oppsummert i Tabell 4.1 – 4.3. Tabell 4.1 oppsummerer generelle svar på tema 1, Tabell 4.2 oppsummerer tema 1a og 1b, mens Tabell 4.3 fokuserer på tema 1c og 1d. Innholdet i tabellene er basert på svar fra operatørene som gitt i svarbrevene, samt søk i mottatte dokumenter.

Som en ser fra Tabell 4.1 er WCPF et begrep som ennå ikke benyttes av de fleste operatørene. Det gis også uttrykk for at det ikke er tilstrekkelig entydig ut fra forskrifter og veiledning hvordan WCPF skal forstås og beregnes. Det er i denne sammenheng verdt å merke seg at enkelte av de utvalgte prosjektene delvis ble gjennomført før diskusjonen om WCPF startet i industrien. Merk at ett av selskapene har innarbeidet WCPF begrepet i sine relevante kravdokumenter og beskriver dessuten en tilnærming/prosess for å definere slike branner.

Det er i selskapenes svar i Tabell 4.1 lagt stor vekt på selve WCPF begrepet, og at dette som begrep er forholdsvis nytt for industrien. Det er imidlertid SINTEFs inntrykk at industrien generelt har tatt innover seg regelverkskravet om at en skal designe for verste brann fra et enkelt prosess-segment gitt ESD isolering og trykkavlastning.

Basert på Tabell 4.2 og 4.3 kan en konkludere at mange av de samme verktøyene benyttes på de ulike prosjektene. Generelt har QRA leverandør – som i vårt utvalg er representert ved tre ulike selskap – sine egne verktøy for å gjennomføre den store kvantitative risikoanalysen. I tillegg benyttes det spesialprogrammer for å gjøre brannsimuleringer og brannresponsberegninger. Anvendte programmer er i stor grad felles for de ulike prosjektene. Brannsimuleringer og brannresponsberegninger utføres delvis av QRA leverandør, men også av andre spesialistselskaper og/eller engineering kontraktor/sub-kontraktor.

Tabell 4.1 Oppsummerte svar til tema 1

Innretning	1) Hvordan er «Worst Credible Process Fire» definert?
Innretning A	Operatør har ikke en selskapsdefinisjon på "worst credible process fire". I QRA for prosjektet er følgende formulering brukt for design av struktur; <i>"Design fires for the structure on the topside have been defined as the worst fire with respect to structural impact which can results from a process leak from a single isolatable process segment, given successful ESD and blowdown of process segments. In other words, the approach is deterministic, and not probabilistic, when identifying design fire scenarios."</i> <i>"Because of the difficulty of identifying the single scenario which will have the worst impact on the structure, a conservative approach has been used. A virtual transient leak scenario which envelopes identified realistic scenarios is used as input to design of PFP on structure."</i> <i>"The implication of dimensioning the structure for these fire scenarios is that process fires will not cause collapse of main load-carrying structure, unless there is a worst case fire scenario which includes failure of ESD isolation and blowdown. The exception is the Wellbay and well intervention area, where a 2 hour long blowout scenario of 50 kg/s is taken as the design scenario. This scenario exceeds the severity of all process leaks in the area, and the frequency of such a scenario (ignited unrestricted blowout in Wellbay) is about 1E-5 per year."</i>
Innretning B	Begrepet "worst credible process fire" er ikke definert eksplisitt i prosjektet. I utgangspunktet var branner med årlig frekvens på 1×10^{-4} brukt som dimensjonerende brannlast. Designbrannlast ble imidlertid satt for branner med noe lavere frekvens for å sikre robusthet i design. I forbindelse med funn i tilsyn ble strukturen sjekket for verste prosessbrann i de forskjellige brann-områdene på innretningen. Passiv brannbeskyttelse er designet for å maksimalt motstå en 60 min jet-brann og det er verifisert at struktur vil motstå alle relevante jet-branner med varighet opp til 60 minutter. Med en cut-off rate på 0.1 kg/s ble lengste lekkasje fra største ESD segment (produksjonsseparator) beregnet å være 89 min, dvs. overstige 60 minutter. En slik brann har imidlertid begrenset omfang i siste del av brannforløpet og er derfor antatt kun å medføre tap av enkel bæring og ikke av hovedbæreevnen. Det ble derfor konkludert med at strukturen tåler verste prosessbrann.
Innretning C	Basert på selskapets forståelse av regelverket i form av innretningsforskriften §33 med veiledning og NORSOK S-001, kap. 10.4.2, samt kommunikasjon med Ptil, har en definisjon av WCPF blitt lagt inn i interne kravdokumenter. Enighet og forståelse av at struktur og brannskiller måtte designes til å motstå WCPF ble oppnådd for ca. tre år siden, og ble implementert i styrende dokumentasjon våren 2014. Denne felles forståelsen kom langt ut i prosjektløpet og tilnærmingen brukt i dette prosjektet er derfor noe annerledes enn for senere prosjekter.
Innretning D	Selskapet bruker ikke uttrykket "worst credible process fire" (WCPF) direkte, men prinsippene som er lagt til grunn for bestemmelse av designlaster i prosjektet er mye av det samme. Designbrannvarigheter for jet-branner er basert på lekkasje fra det største gass-segmentet i prosessområdet, innløpsseparatoren. Det er tatt hensyn til at oljen i separatoren kan koke på grunn av ekstern brannpåkjenning og dermed bidra til forlenget trykkavlastningstid. Nødvastengning og trykkavlastning er antatt å fungere, men den mest kritiske initielle lekkasjeraten/ lekkasjestørrelse er valgt, uavhengig av frekvens for hendelsen. Pølbranner er funnet dimensjonerende på innretningen og strukturen er designet for å motstå 1 time brann i henhold til kriteriet for opprettholdelse av hovedsikkerhetsfunksjoner. Ettersom noen væskebranner kan ha varighet utover 1 time har det blitt gjort en vurdering av om slike branner kan føre til uakseptable brudd på rør/utstyr eller true hovedbæring og brannskiller. Egen studie konkluderte med at integriteten av utstyr, struktur og brannbarrierer vil være intakt gjennom de mulige prosessbrannscenariene på innretningen.

Innretning	1) Hvordan er «Worst Credible Process Fire» definert?
Innretning E	Utbyggingsprosjektet bruker ikke begrepet WCPF ("worst credible process fire"). Selskapets forståelse er at WCPF beskriver brannscenarier som viktige sikkerhetsbarrierer (som hovedstruktur og områdeskiller) på installasjonen skal kunne motstå. Det er en tett kobling mellom WCPF og plattformens designlaster for ulykker. Fra sikkerhetsstrategien: <i>"For the process areas, the design fire event used as basis for the main structural integrity is based on the sum of the oil inventories within the fire area for pool fire scenarios. For liquid spray and gas jet fire scenarios, the design fire event for structural integrity is based on the largest process segment. Successful sectionalisation (ESD) and blowdown are credited. Active fire-fighting is not credited."</i>
Innretning F	Basert på selskapets forståelse av regelverket i form av innretningsforskriften §33 med veiledning og NORSOK S-001, kap. 10.4.2, samt kommunikasjon med Ptil, har en definisjon av WCPF blitt lagt inn i interne kravdokumenter. Enighet og forståelse av at struktur og brannskiller måtte designes til å motstå WCPF ble oppnådd for ca. tre år siden, og ble implementert i styrende dokumentasjon våren 2014. Et eget appendix i Design Accidental Load spesifikasjonen beskrives en to-trinns prosess for å definere WCPF: 1. Defining the WCPF release rate vs time (profile). The minimum release rate described above (ref. initial screening) gives the cut-off rate for the leak profile and therefore determines the duration of the WCPF. 2. Defining the WCPF location(s). The first step of defining the WCPF profile is based on the following: • All ESD valves and BD will be functioning. • No PSD valves will be credited. • BD time for an ESD segment with non-functioning PSD valves is set to be equal to the BD time for the PSD segment with the longest BD time. • Escalation will be added to the initial leak scenario when escalation occurs. The WCPF profiles are based on the TRA, and the Unacceptable rupture criteria. The second step is to define the most critical location(s) for the WCPF with respect to structural integrity.
Innretning G	Det sies i svarbrev fra operatør at WCPF er definert ved å ta utgangspunkt i Dimensioning Accidental Load (10^{-4} kriteriet). Prosessområdet består av fem delområder og det er for hver av disse delområdene benyttet et dimensjoneringskriterium på 2.0×10^{-5}, (10^{-4} delt på 5). Ved å gå inn i appendix i QRA analysen som beskriver input til Design Accidental Load spesifikasjonen, ser en imidlertid at det også er designet for verste prosessbrann fra et isolert og trykkavløst segment (selv om dette ikke er gitt eksplisitt uttrykk for i svarbrevet).

Tabell 4.2 Oppsummerte svar til tema 1a og 1b

Innretning	1a+1b) Hvilke simuleringer utføres? Og hvilken metodikk benyttes i dag?
Innretning A	Store, medium og små branner har blitt simulert ved hjelp av Kameleon Fire Ex (KFX). De simulerte brannene har blitt kombinert for å definere dimensjonerende brannlaster som gir input til termiske respons analyser utført ved hjelp av software programmet FAHTS. Temperaturutviklingen i strukturen fra FAHTS simuleringene og tilhørende degraderingsmekanismer i materialet er deretter brukt som input for strukturintegritetsanalyser utført ved hjelp av software programmet USFOS.
Innretning B	Sannsynlighet og varigheter av branner ble analysert og dokumentert som del av QRA. Lekkasjefrekvenser og initielle lekkasjerater ble beregnet ved hjelp av QRA leverandørs egenutviklet regneark basert på DNV rapport "Standardised Hydrocarbon Leak Frequencies" og HSE databasen "Hydrocarbon Releases Statistics". Lekkasjevarigheter ble også beregnet ved hjelp av QRA leverandørs "in-house program". Brannsimuleringer ble gjennomført med KFX og leverandørs QRA-verktøy. For brannresponsanalyser ble dessuten ABAQUS brukt.
Innretning C	Kameleon FireEx (KFX) er benyttet for brannsimuleringer. Termiske respons analyser er utført ved hjelp av FAHTS. Strukturintegritetsanalyser er gjort med USFOS og dessuten ABAQUS.
Innretning D	Brannsimuleringer med CFD-verktøyet KFX og strukturresponsanalyse i USFOS har blitt brukt for å vurdere og optimalisere behovet for passiv brannbeskyttelse av struktur. I tillegg brukes koden FAHTS for å beregne temperaturøkning i strukturelementer basert på KFX-resultatene. PFP på piping er beregnet i henhold til metodikk beskrevet i "Scandpower guideline" for beskyttelse av brannekspontert prosessutstyr.
Innretning E	Brannsimuleringer med KFX er utført for utvalgte brannscenarier. Brannsimuleringer er utført i flere omganger med ulikt fokus. I FEED ble det utført brannsimuleringer primært for å vurdere rømning og evakuering. Senere ble det utført brannsimuleringer for å se påvirkningen på borerigg, som input til risikoanalysen og for å vurdere behovet for passiv brannbeskyttelse av struktur. Det er gjort simuleringer av brann på sjø, utblåsninger og prosessbranner. For strukturanalyse er det i tillegg til KFX brukt FAHTS, USFOS og ABACUS.
Innretning F	Fremgangsmåten for å definere WCPF er beskrevet i Design Accidental Load spesifikasjon. Prosessen er i hovedsak å definere WCPF lekkasjerate-profil for hvert område. WCPF profil inkluderer eskalering innen samme område. Deretter følger en analyse basert på brannscenariene og effekt på struktur. For WCPF analysen (se forrige tabell) har transiente gasslekkasje beregninger blitt beregnet ved hjelp av underkontraktør sitt eget "in-house" verktøy, mens transiente olje profiler har blitt beregnet av QRA leverandør ved hjelp av software programmet VessFire og "in-house" TLT (Transient Leak Tool) program. Det utføres en rekke KFX simuleringer for beregning av varmelaster for de brannscenariene som bidrar til WCPF. Videre er FAHTS og USFOS brukt for termiske responsanalyser og for å vurdere behov for passiv brannbeskyttelse.
Innretning G	Brann analysene er basert på CFD simuleringer. En total på 11 geometri modeller er laget og antall simuleringer per geometri modell varierer. Leverandør benytter egenutviklet QRA verktøy basert på linkede Excel ark. Brann scenarier er delvis modellert med CFD programmet Kameleon FireEx (KFX) og delvis med in-house egenutviklede programmer som benytter seg av forenklete modeller sammenlignet med CFD-verktøy. Den probabilistiske brannanalysen som gir input til Design Accidental Load vurderingene er utført med eget program utviklet av QRA leverandør.

Tabell 4.3 Oppsummerte svar til tema 1c og 1d

Innretning	1c+1d) Brukes det ulike verktøy? Varierer metodikken mellom ulike leverandører?
Innretning A	Benyttede programmer er leverandørs eget QRA verktøy, i tillegg til KFX, FAHTS og USFOS Det antas at metodikken varierer mellom leverandører men denne operatør har kun erfaringer med én leverandør og har dermed ikke grunnlag for å svare på dette spørsmål.
Innretning B	Alle leverandører benytter KFX, men alle leverandører har eget QRA-verktøy. I dag ville det vært mindre fokus på å simulere et stort antall branner for å finne 10^{-4} last, og mer fokus på simuleringer av brann fra de største prosess-segmentene for å finne verste eksponering av hovedbærestruktur fra prosessbrann, og sannsynlighet for brann ville vært mindre interessant.
Innretning C	Ikke eksplisitt besvart i svarbrevet. Bruk av verktøy besvart under 1a). Tilsvarende som for andre innretninger har QRA leverandør eget QRA verktøy, mens det i tillegg benyttes spesialprogrammet for brann- og strukturanalyser.
Innretning D	Underleverandører har generelt en grad av frihet til å oppfylle/verifisere at risikoakseptkriteriene blir møtt. Det inkluderer valg av verktøy. Selskapet vurderer om valgte verktøy framstår som hensiktsmessige og er i henhold til NORSOK Z-013 og andre industristandarder.
Innretning E	For lekkasjeberegninger er leverandørs eget QRA verktøy benyttet. I tillegg er KFX , FAHTS, USFOS og ABACUS brukt. Når det gjelder metodikken for valg av designscenarier har selskapet og prosjektet bestemt prinsippene og formulert disse i sikkerhetsstrategien. I tillegg har vi vært tett på kontraktør og underleverandører. Valgt metodikk er dermed i liten grad styrt av hvilken kontraktør eller hvilke underleverandører som har vært involvert, selv om disse har bidratt med gode innspill.
Innretning F	Ikke eksplisitt besvart i svarbrevet. Bruk av verktøy besvart under 1a). Tilsvarende som for andre innretninger har QRA leverandør eget QRA verktøy, mens det i tillegg benyttes spesialprogrammet for brann- og strukturanalyser.
Innretning G	Programmer som nevnt over (KFX og eget verktøy) er benyttet. Operatøren har brukt samme leverandør gjennom alle prosjektfasene og uttrykker derfor ikke kjennskap til om metodikken varierer mellom ulike leverandører.

4.2 Hvilke faktorer påvirker valg av varmelast?

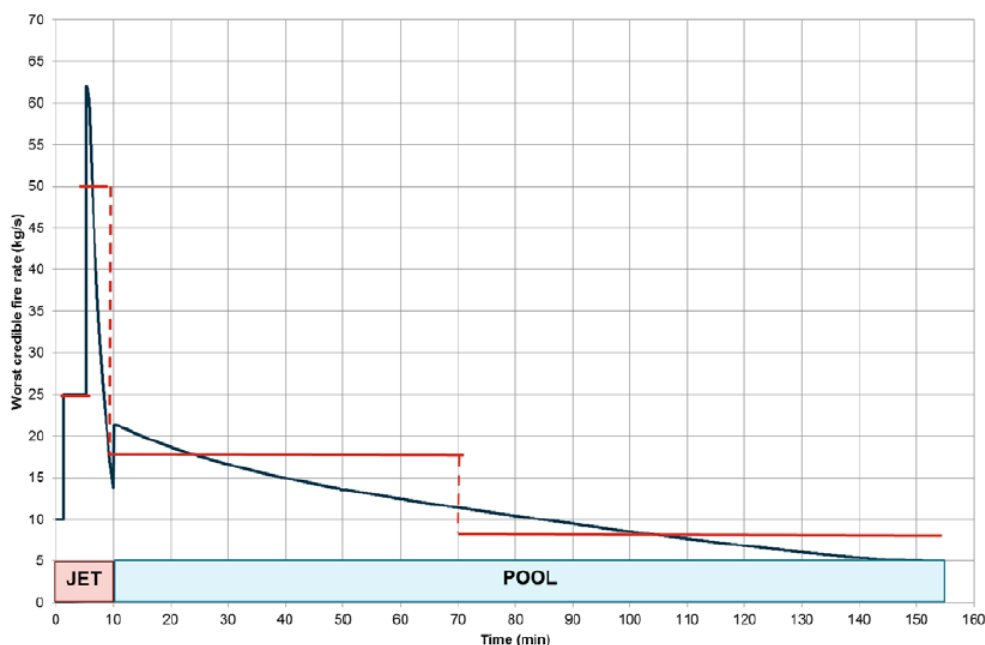
I dette avsnittet er svar på Tema 2 oppsummert. Som det framgår av Tabell 4.4 har operatørene i varierende grad besvart det spesifikke spørsmålet om hvilke faktorer som påvirker valg av varmelast. Det henvises i stor grad til de standardiserte varmelastene definert i NORSOK S-001 som vist i Figur 4.1. Enkelte operatører spesifiserer at de for pøl-branner har brukt en mer konservativ varmelast enn spesifisert i NORSOK tabellen.

Table 1 - Heat flux values

	Jet fire		Pool fire kW/m ²
	For leak rates m > 2 kg/s kW/m ²	For leak rates 0,1 kg/s < m < 2 kg/s kW/m ²	
Local peak heat load	350	250	150
Global average heat load	100	0	100

Figur 4.1 Standardiserte varmelaster fra NORSOK S-001, avsnitt 4.7, /3/

I tillegg til valg av varmelaster er varigheten på de antatte designbrannene en sentral parameter. Ettersom WCPF skal ta hensyn til mulig intern eskalering, vil et designbrannforløp kunne bestå av flere ulike transiente branner etter hverandre. Et eksempel på et slik brannforløp (hentet fra innsendt dokumentasjon), er vist i figuren nedenfor. Den mørke linjen viser det simulerte transiente brannforløpet, mens rød linje viser de stasjonære brannene som basert på KFX simuleringer er brukt for å representere det transiente brannforløpet. Det er sekvensen av stasjonære branner som deretter benyttes som input til struktur- og PFP-analysene som i dette tilfellet er utført i FAHTS og USFOS.



Figur 4.2 Eksempel på WCPF profil for separasjonsområde (cut-off rate 5 kg/s)

Figuren over illustrerer at WCPF kan få en meget lang varighet (selv ved relativt høye cut-off rater) når en har store væskevolumer og muligheten for intern eskalering mellom utstyr tas hensyn til.

Tabell 4.4 Oppsummerte svar til tema 2

Innretning	2) Hvilke faktorer påvirker valg av varmelast?
Innretning A	Det er mange faktorer som påvirker varmelast, som for eksempel; lekkasjerate, lekkasjemedium, mengde som kan lekke ut avhengig av lekkasje punktet, jet/pøl, vind styrke og vind retning. Sånn sett er en brann et veldig dynamisk scenario og "valg" av en varmelast en forenkling av virkelighet. Selv avanserte simuleringer kan kun dekke et begrenset antall variabler og man har tendens til å velge antatte konservative løsninger. I kontraktsammenheng for en plattformutbygging er det behov for å gi krav til underleverandører for hvilke laster utstyr de leverer skal tåle. Her vil standardisering av valgte varmelaster med plattformspecifikke tider ha store fordeler.
Innretning B	Lekkasjemedium og rate er hovedfaktorer for varmelast. Varmelaster gitt i NORSOK S-001, for jet- og pølbranner, er brukt i analysene.
Innretning C	Varmelast er satt til 350kW/m ² punktlast med 100kW/m ² bakgrunnslast basert på hydrokarbonene som skal produseres.
Innretning D	For varmeeksponering av struktur har brannsimuleringer i KFX blitt lagt til grunn, og varmelastene er da avhengig av mange faktorer som plattformens utforming, vær/ventilasjonsforhold, brensel og utslippsscenario. Designbrannlaster for trykksatt utstyr og rør er basert på NORSOK S-001 for jetbranner, men funnet for lite konservative for pølbranner, som derfor har blitt økt fra 150 til 200 kW/m ² .
Innretning E	Prosjektet har i stor grad brukt KFX som basis for å vurdere behov for passiv brannbeskyttelse og integritet av struktur og utstyr. Når det gjelder trykksatt utstyr og supportter (understøttelse) er varmelaster i hovedsak satt i henhold til anbefalinger i NORSOK S-001. Prosjektet er kjent med at lastene i NORSOK for væskedams-branner kan være satt lavt. Varmelasten avhenger bl.a. av brannens størrelse, og for integritetsberegninger på prosessutstyr, har prosjektet brukt høyere varmelast enn hva som kreves i NORSOK for væskedams-branner.
Innretning F	For varmelaster henvises i Design Accidental Load spesifikasjonen til internt kravdokument samt NORSOK S-001. Basert på Design Accidental Load spesifikasjonen synes det som om varmelaster er satt til 350kW/m ² punktlast med 100kW/m ² bakgrunnslast for store jetbranner (>2kg/s), 250kW/m ² punktlast med 100kW/m ² bakgrunnslast for mindre jetbranner (>0.1kg/s), 250kW/m ² punktlast med 100kW/m ² bakgrunnslast for store pølbranner (>2kg/s) og 150kW/m ² punktlast med 100kW/m ² bakgrunnslast for mindre pølbranner (>0.1kg/s).
Innretning G	Designbrann scenario er definert ved varmelast (heatflux) og brannvarighet. Kombinasjon av disse gir design accidental load, gitt som design varmelast. Det er sjekket ved CFD simuleringer at varmelast ikke overstiger 350kW/m², ved en varighet på 60min. Dette er sjekket kun for prosess og brønnhendelser. Det er lagt på konservatisme i varmelastene slik at en skal være sikre på å ivareta minimum Fire Design Accidental Load. For prosess segmenter er det kalkulert tid til brudd konservativt ved å regne med en konstant varmelast på 350kW/m² til brudd inntreffer.

4.3 Hvilke regelverkskrav, standarder og interne krav gjelder?

I dette avsnittet er svar på Tema 3 oppsummert. Spørsmålet var til operatørene opprinnelig formulert som "Oversikt over ulike selskapsinterne krav", men er på bakgrunn av svarene som har kommet inn omformulert til også å gjelde øvrige krav.

Vi ser av Tabell 4.5 at type dokumentasjon som trekkes fram varierer mellom prosjektene, men at NORSOK S-001 og NORSOK Z-013 er "gjengangere".

Tabell 4.5 Oppsummerte svar til tema 3

Innretning	3) Hvilke regelverkskrav, standarder og interne krav gjelder?
Innretning A	Operatør har ikke selskapsspesifikke krav i forhold til definering av brannlaster, men ønsker i mest mulig grad å samarbeide med myndigheter, operatører og leverandører for å sikre felles krav og forståelse. Et utvalg av ulike kravdokumenter; • Innretningsforskriften • NORSOK S-001: Krav til brannlaster • NORSOK N-004: Strukturkrav • NORSOK Z-013: Krav til definering av ulykkes laster • API RP 6F: Krav til branntesting av ventiler
Innretning B	Spørsmål besvart av operatør ved å henvise til Design Accidental Load spesifikasjon hvor krav til innretningen i forhold til brannmotstand er oppsummert. Denne spesifikasjon inneholder blant annet følgende referanser: • Project ALARP Summary Report • Technical safety, NORSOK S-001, Edition 4, Feb. 2008. • Guidelines for the Protection of Pressurized Systems Exposed to Fire, Scandpower Report no. 27.207.291/R1 – Version 2, 31.03.2004; and Scandpower guideline for protection of pressurized process equipment exposed to fire, Scandpower Report no. 27.101.166/R1, 13.05.2002. • Project Protection Requirement Philosophy • Quantitative Risk Analysis • Dropped Object Protection Plot Plan • Passive Fire Protection Drawings
Innretning C	Spørsmål ikke eksplisitt besvart i svarbrevet, men annen tilsendt dokumentasjon inneholder referanser til og oppsummering av relevant forskrifter og standarder og dessuten interne tekniske kravdokumenter.
Innretning D	Oversikt over relevant regelverk, standarder og retningslinjer (eksterne og interne) som er lagt til grunn: <i>Ptil</i> • The Facilities Regulations section 7, 9, 11, 28, 29, 30, 29, 33 • The Framework Regulations section 11 • Deepwater Horizon-ulykken – Vurderinger og anbefalinger for norsk petroleumsvirksomhet. 14.06.2011. http://www.ptil.no/getfile.php/PDF/Hovedrapport%2013.6.2011.pdf <i>NORSOK</i> • Z-013, S-001 og P-001 standard <i>Guidelines</i> • A Guide To Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations ISBN I 870553 65 • Guidelines for the protection of pressurised systems exposed to fire', Publisher: Scandpower Risk Management, Date: 31.03.2004 • UKOOA/HSE Fire and Explosion Guidance, Part 2: Avoidance and mitigation of fires. Rev. 02, February 2006 • ISO 13702. Petroleum and natural gas industries – Control and mitigation of fires and explosions on offshore installations – Requirements and guidelines.

	• ISO 22899 Determination of the resistance to jet fires of passive fire protection materials. Part 1: General requirements <i>Interne krav</i> • Project design basis • Company Risk Reduction Principles • HSE Program for Execution Phase • Safety strategy (FES and EERS) • Safety standard for Passive Fire Protection • Functional and Design Requirements • Safety requirement specification for layout and cranes, • Safety requirements for Emergency Shutdown (ESD) • Safety Requirements for Blowdown and Flare/Vent Systems
Innretning E	Når det gjelder relevant regelverk, standarder og retningslinjer er noen av de sentrale som prosjektet viser til listet under: • Innretningsforskriften og Styringsforskriften • NORSOK S-001, Technical Safety • ISO 13702 - Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations • International code for application of fire test procedures, 2010 (FTP code) • SINTEF report NBL A08122 - Branntekniske krav til materialer offshore (2008) Når det gjelder krav som prosjektet stiller til barrierer og brannintegritet viser vi i første rekke til disse dokumentene • Design Accidental Load Specification • Safety performance standard – Passive Fire Protection • Safety performance standard – Active Fire Protection • Passive fire protection design specification Sikkerhetsstrategiene er også relevante i denne sammenhengen • Overall safety strategy • Area specific safety strategy
Innretning F	Spørsmål ikke eksplisitt besvart i svarbrevet, men annen tilsendt dokumentasjon inneholder referanser til og oppsummering av relevant forskrifter og standarder og dessuten interne tekniske kravdokumenter.
Innretning G	Utvalgte referanser (utover prosjektspesifikk dokumentasjon) som er nevnt i svarbrevet inkluderer: • Company Principles and Practices for HSE Risk Management” • Company General Specification, Safety • Company Technological risk assessment methodology, rev. 01, Jan 2011. • www.olf.no, OLF Gass Lekkasje Reduksjon Prosjekt • SINTEF, “Large scale tests for oil & gas releases into complex geometry, including the effect of water in the release and the effect of deluge systems.”, presentation at FABIG meeting • NORSOK Standard Z-013, Risk and Emergency Preparedness Assessment, Edition 3 October 2010 • SINTEF report, “Blowout and Well Release Characteristics and Frequencies, 2011”, 29/12/2011 • Lloyd’s Register Consulting; Blowout and well release frequencies based on SINTEF offshore blowout database 2013; report no. 19101001-8/2014/R3; rev. Final 22.May 2014

4.4 Hvordan følges kravene opp ved modifikasjoner på innretninger?

I dette avsnittet er svar på Tema 4 oppsummert; "Hvordan følges kravene opp ved modifikasjoner på innretninger"? Som en ser av Tabell 4.6 er svarene forholdsvis generelle, blant annet pga. lite erfaring med modifikasjoner for utvalgte innretninger, og gir dermed begrenset innsikt i modifikasjonsprosesser.

Tabell 4.6 Oppsummerte svar til tema 4

Innretning	4) Hvordan følges kravene opp ved modifikasjoner på innretninger?
Innretning A	Alle planlagte modifikasjoner i forbindelse med tie-in til innretningen er inkludert i QRA og brannsimuleringer. Ved framtidige større modifikasjoner vil kontrakter inneholde relevante krav og QRA med brannsimuleringer vil bli oppdatert dersom det er behov.
Innretning B	Ved modifikasjoner vil krav i Design Accidental Load spesifikasjon gjelde. Det vil også gjøres vurderinger av hvorvidt modifikasjonen endrer dimensjonerende laster.
Innretning C	Spørsmål ikke eksplisitt besvart i svarbrevet.
Innretning D	Operatør vil følge opp at modifikasjoner følger områdespesifikke strategier og krav som listet under tema 3. Dette er nedfelt i relevante arbeidsprosesser. Eventuelle oppdatering av strategier eller revisjon eller fortolkning av krav må godkjennes av Technical Authority for Barrier Management i selskapet.
Innretning E	Modifikasjoner må gjennomføres i henhold til områdespesifikk sikkerhetsstrategi og de aktuelle ytelsesstandardene. Innretningen er ikke satt i drift enda, så det er ingen erfaringer fra modifikasjonsarbeid.
Innretning F	Ikke eksplisitt besvart i svarbrevet, men det sies blant annet i Design Accidental Load spesifikasjonen at: <i>"Dimensioning and Design Accidental loads shall be revised upon modifications, e.g. layout, equipment density and natural ventilation conditions. Hence, the Design Accidental Loads shall be specified so that the risk tolerance criteria for the project are met."</i>
Innretning G	Det er planlagt å oppdatere QRA hvert 5. år, samt å gjøre enkeltvis risikovurderinger opp mot den enkelte modifikasjon. Det er også utarbeidet en oversikt over antagelser i QRA, og hvilken påvirkning disse har på risikobildet. Eksempelvis kan nevnes antall luftutskiftninger i modulen ved for eksempel stillasbygging, eller annen fortetning etc., som er veldig vesentlig i eksplosjonsvurderinger.

4.5 Hvordan er eskalering ut av området definert?

Svar på hvordan analysene har definert eskalering ut av området er oppsummert i dette avsnittet. Bakgrunnen for spørsmålet er blant annet krav i Innretningsforskriftens § 7 til opprettholdelse av hovedsikkerhetsfunksjoner, herunder å hindre eskalering av ulykkessituasjoner slik at personell som er utenfor den umiddelbare nærheten av ulykkesstedet, ikke skades.

I henhold til NORSOK Z-013 (avsnitt 3.1.22) er eskalering definert som:

escalation has occurred when the area exposed by the accidental event (AEAE) covers more than one fire area or more than one main area

NOTE 1 The definition of escalation covers both a) immediate escalation: Escalation due to the initial accidental event (e.g. an initial explosion causing impairment of a fire and/or explosion wall separation two neighbouring areas) and b) Delayed escalation: Escalation occurring at any time after the initial accidental event has occurred (e.g. a fire causing the impairment of a fire wall separation two neighbouring areas after a period of time).

NOTE 2 An escalation is either internal or external, see 3.1.29 and 3.1.40.

Videre defineres ekstern eskalering i avsnitt 3.1.29 som:

when the area exposed by the accidental event (AEAE) covers more than one main area, external escalation has occurred

Basert på NORSOK standarder eller Petroleurstilsynets regelverk har vi ikke vært i stand til å finne en mer utdypende beskrivelse av hvilke kriterier som ligger til grunn for å si hvorvidt en har eskalering eller ikke.

Som en ser av svarene i Tabell 4.7 er det i varierende grad utdypet hvilke kriterier som analysene legger til grunn for å definere "eskalering ut av området". I noen tilfeller er dette besvart eksplisitt i svarbrevene, mens i andre tilfeller har vi vært nødt til å søke i vedlagt dokumentasjon.

Det synes å gå et hovedskille mellom:

1. Analyser som definerer eskalering som å inntreffe når en brannlast overstiger kapasiteten til brannskillet mellom hovedområdene. Her regnes *ikke* røyk eller varmestråling inn i et naboområde som eskalering hvis det ikke er en konsekvens av at selve brannskillet ødelegges.
2. Analyser som også definerer varmestråling over et visst nivå (varmefluks og/eller varighet) som eskalering.

For alternativ 2 synes det også å være noe ulike kriterier som det framgår av Tabell 4.7.

Tabell 4.7 Oppsummerte svar til tema 5

Innretning	5) Hvordan har analysene definert eskalering ut av området?													
Innretning A	Risikoanalysen har definert eskalering ut av område som; <i>"Fire: Spreading occurs if the fire loads cause heat loads in the neighbouring main area of more than 50 kW/m2, more than 5 meters into the area, for more than 5 minutes, or if a fire rated barrier between two main areas is exposed to a fire which is more severe than the fire rating test (e.g. more than 2 hour jet fire for an H-rated fire wall)"</i>													
Innretning B	For definisjon av eskalering ut av området ble det henvist til QRA hovedrapport. Denne rapporten snakker mye om eskalering til annet utstyr og til annet område uten at vi klarte å finne en eksplisitt definisjon av hvilke kriterier som ligger til grunn for å definere eskalering.													
Innretning C	Ikke eksplisitt besvart i svarbrevet. I Appendix til QRA som omhandler "Process Accidents" er følgende definisjon av eskalering ut av området funnet: <i>"Spreading to another main area due to fire, is calculated based on the probability for exposing more than 20 % of a module in an neighbouring main area to a heat load of 10 kW/m2 or higher. The volume of heat loads above 10 kW/m2 is not measured 5 meters from the edges of the module/deck and beyond."</i>													
Innretning D	Eskalering ut av området kan inntreffe hvis en barriere (vegger eller dekk) mellom to hovedområder utsettes for brannlaster (eller andre ulykkeslaster som eksplosjon eller fallende last) som overstiger hva barrieren er designet for. Røyk- eller varmestrålingseksponering av et nabo område som ikke er en konsekvens av at brannskillet ødelegges regnes ikke som eksponering. Fra HSE programmet: <i>Accident escalation is defined as an accident that, as a result of some kind of failure/damage consequence, increases in severity such that personnel outside the immediate vicinity of the accident are exposed. This means that for example failure of blast and fire walls and hydrocarbon containing equipment due to fire or explosion loads can qualify as escalations. On the other hand, heat and smoke exposure to a neighbouring area protected by a fire wall is not considered as escalation as long as the fire wall is intact.</i> Siden prosessområdet på innretningen er stort og går over tre nivåer er eskalering internt i hovedområder også betraktet som relevant for hovedsikkerhetsfunksjonen «hindre eskalering slik at personell utenfor den umiddelbare nærheten av ulykkesstedet ikke skades» som gitt i Innretningsforskriften § 7a). Dette inkluderer blant annet eskalering til andre brannområder, dekk og utstyr med store hydrokarbonmengder.													
Innretning E	Eskalering ut av et område kan inntreffe som følge av en brannlast som overstiger kapasiteten til brannskillet mellom hovedområdene. Røyk eller varmestråling inn i et nabo område regnes ikke som eskalering hvis det ikke kommer som følge av at brannskillet ødelegges.													
Innretning F	I Design Accidental Load spesifikasjonen er eskalering definert i egen tabell som omhandler hovedsikkerhetsfunksjonene: <table><tr><th>Safety function</th><th>Impairment Criterion</th><th>Comment</th></tr><tr><td rowspan="2">Prevent escalation</td><td>10⁻⁴ per year</td><td>Prevent escalation of an event from one main area to another main area The criterion applies per accidental load</td></tr><tr><td>Worst Credible Process Fire (WCPF)</td><td>Prevent escalation of an event from one main area to another main area The criterion applies for fire.</td></tr><tr><td rowspan="2">Maintenance of main load carrying structure</td><td>10⁻⁴ per year</td><td>The criterion applies per accidental load</td></tr><tr><td>Worst Credible Process Fire (WCPF)</td><td>Maintaining main load-bearing structure and fire divisions during fire design accidental load (WCPF).</td></tr></table>	Safety function	Impairment Criterion	Comment	Prevent escalation	10 ⁻⁴ per year	Prevent escalation of an event from one main area to another main area The criterion applies per accidental load	Worst Credible Process Fire (WCPF)	Prevent escalation of an event from one main area to another main area The criterion applies for fire.	Maintenance of main load carrying structure	10 ⁻⁴ per year	The criterion applies per accidental load	Worst Credible Process Fire (WCPF)	Maintaining main load-bearing structure and fire divisions during fire design accidental load (WCPF).
Safety function	Impairment Criterion	Comment												
Prevent escalation	10 ⁻⁴ per year	Prevent escalation of an event from one main area to another main area The criterion applies per accidental load												
	Worst Credible Process Fire (WCPF)	Prevent escalation of an event from one main area to another main area The criterion applies for fire.												
Maintenance of main load carrying structure	10 ⁻⁴ per year	The criterion applies per accidental load												
	Worst Credible Process Fire (WCPF)	Maintaining main load-bearing structure and fire divisions during fire design accidental load (WCPF).												

Innretning	5) Hvordan har analysene definert eskalering ut av området?
	Fra vedlegg til QRA (om QRA metodikk): <i>There are two different interpretations for when this main safety function (escalation) is considered impaired:</i> <i>1. Escalation occurs if a fire escalates to other HC equipment in adjacent main areas, or if the integrity of the fire wall between the main areas is impaired</i> <i>2. Escalation occurs if a fire causes heat loads in adjacent main areas injuring personnel, or if the integrity of the fire walls surrounding the adjacent main areas is impaired</i> I analysen er tolkning nr 1 brukt og vurdert opp mot akseptkriteriet. Det er videre utdypet at kriteriet for tap av sikkerhetsfunksjonen da er: <i>.....The criterion for escalation to these lines (in neighbouring area) is set to > 37.5 kW/m² in open areas. 37.5 kW/m² represents a steady-state temperature of about 630 °C (given a prolonged fire exposure of the pipe).</i>
Innretning G	Ekstern eskalering refererer til eskalering til andre hovedområder og/eller hovedsikkerhetsfunksjoner som definert i §7 i Innretningsforskriften. Minimums krav til Design Accidental Load er definert som den høyeste kalkulerde varmelast fra det største (HC masse) isolerbare prosess segmentet under antagelse at isolering, trykkavlastning og detektorer fungerer. Den initielle lekkasjeraten er valgt konservativt i forhold til varmelast på hovedsikkerhetsfunksjoner. SINTEF har ikke vært i stand til å finne en mer eksplisitt definisjon av eskalering i mottatte dokumenter.

4.6 Krediteres PSD ventiler ved definisjon av WCPF?

Det er i dette avsnittet diskutert i hvilken grad prosessikringsventiler (XV/PSD-ventiler) defineres som nødavstengningsventiler, dvs. benyttes for å begrense brannen. Bakgrunnen for spørsmålet er blant annet §33 i Innretningsforskriften (Nødavstengningssystem) som sier:

... Det skal installeres nødavstengningsventiler som kan stanse hydrokarbon- og kjemikaliestrømmer til og fra innretningen og til og fra brønner, og som isolerer og/eller seksjonaliserer brannområdene på innretningen.

I veiledning til innretningsforskriften er dette utdypet som følger:

...Kravet til stansing, isolering og seksjonalisering som nevnt i tredje ledd, innebærer at følgende ventiler normalt skal være nødavstengningsventiler:

- a) brønnsikringsventiler,*
- b) vingventiler og automatiske hovedventiler for produksjons- eller injeksjonsbrønner,*
- c) ventiler på brønnhode og ventiltre i forbindelse med gassløft eller kjemikalieinjeksjon,*
- d) seksjoneringsventiler i prosessanlegget,*
- e) isoleringsventiler mot rørledningssystemer,*
- f) seksjoneringsventiler i eller mellom brannområdene på innretningen.*

Kravet til å isolere og seksjonalisere brannområdene på innretningen innebærer blant annet at det skal installeres et tilstrekkelig antall seksjoneringsventiler i prosessanlegget for å sikre at eventuell brannbelastning ved lekkasje i ethvert segment ikke medfører mulighet for en ukontrollert spredning og/eller eskalering i området hvor lekkasjen har inntruffet. De konkrete barriereelementer som skal ha nødvendig brannmotstand, bør avklares med utgangspunkt i hvert enkelt brannområde og relevante barrierefunksjoner....

Selv om graden av klartekst i veiledningen kanskje kan diskuteres³, er uansett intensjonen her at kun ESD ventiler skal hensynstas når en definerer brannscenarier som skal ligge til grunn for design.

Noen av svarene i Tabell 4.8 kan framstå som uklare. Dette henger blant annet sammen med diskusjonen i kapittel 3, hvor det påpekes at de risikoreduserende systemer som det tas kreditt for i QRA analyser ved beregning av for eksempel FAR verdier og "impairment" frekvenser, ikke vil samsvare med de systemer som hensynstas ved definisjon av WCPF. PSD ventiler er her et eksempel. Vi har derfor, for hver innretning, forsøkt å konkludere i forhold til hva som er vår forståelse av svarene på tema 6.

Som en ser av Tabell 4.8 er det tilsynelatende noe varierende praksis på dette området. Dette henger hovedsakelig sammen med hvor nye prosjektene er, og når en omforent forståelse i industrien ble oppnådd. For de aller nyeste prosjektene er PSD ventiler ikke tatt hensyn til ved definisjon av WCPF.

³ En kunne for eksempel vurdert å heller bruke formuleringen ".....det skal installeres et tilstrekkelig antall ESD ventiler i prosessanlegget for å sikre....."

Tabell 4.8 Oppsummerte svar til tema 6

Innretning	5) I hvilken grad defineres prosessikringsventiler (XV/PSD-ventiler) som nødavstengningsventiler, dvs. benyttes for å begrense brannen?
Innretning A	PSD ventiler er tatt høyde for som seksjonaliseringsventiler og har da samme krav til brannintegritet som ESD seksjonaliseringsventiler (API 6FA / BS 6755). Med andre ord synes det her som om PSD ventiler er tatt kreditt for ved definisjon av verste designbrann.
Innretning B	Både nødavstengnings- og prosessikringsventiler er i QRA brukt i inndeling av prosessegmenter. Dermed er også her PSD ventiler tatt kreditt for.
Innretning C	PSD ventiler er anvendt i segmenteringen, men disse er ikke installert på væskesiden av anlegget. Dessuten pekes det på at branner som er anvendt i brannresponsstudier og PFP design er større enn innholdet i største segment med en lekk PSD ventil under forutsetning av at trykkavlastning fungerer. Med andre ord er PSD ventiler delvis hensynstatt, men kun på gassiden.
Innretning D	Prosessikringsventiler som avgrenser prosessegmenter brukes kun for trykkavlastningsformål, i den forstand at hvis en PSD-ventil blir stående åpen i en brannsituasjon vil brannvarigheten ikke overstige designlastene. Alle seksjonaliseringsventiler hvis hensikt er å begrense hydrokarbonlekkasjer fra rør eller utstyr er klassifisert som nødavstengningsventil (ESV). <i>"For the leak duration calculations, credit has been given to ESDVs and also to process shutdown valves, i.e. XV's." (ref. QRA Appendix F3.6).</i> Vi tolker dette slik at PSD ventiler er tatt hensyn til i QRA'en men ikke tatt hensyn til ved definisjon av verste designbrann.
Innretning E	PSD-ventiler regnes ikke som nødavstengningsventiler. Det betyr at dersom en PSD-ventil blir stående åpen i en brannsituasjon vil brannlastene ikke overstige designlastene. Dette gjelder i stor grad også for ESD ventiler; kritikalitetsstudien for ESD ventiler konkluderer at internlekkasje gjennom ESD-ventiler i praksis kun er kritisk for stigerørsventilene. Dette tolkes som at PSD ventiler ikke er tatt hensyn til ved definisjon av verste designbrann.
Innretning F	WCPF profilen er basert på at ESD ventiler og trykkavlastning fungerer. Ingen PSD ventiler er tatt høyde for i denne sammenheng. PSD ventiler er dermed ikke tatt hensyn til ved definisjon av verste designbrann.
Innretning G	Både PSD ventiler og ESD ventiler er brukt til segmentering når en kalkulerer prosesslekkasje frekvensene og ekstern eskalering i forhold til brann. Imidlertid, for Design Accidental Load og antennelse/eksplosjonssannsynlighet er kun ESD ventiler benyttet. I vedlegg til QRA vedrørende QRA metodikk og herunder Design Accidental Loads står det: <i>Due to regulatory requirements the Design Accidental Load calculations are based on ESD valves sectionalisation only. SDVs are not taken into account when calculating the leak profile in the probabilistic fire and explosion analysis.</i> Med andre ord er PSD ventiler ikke tatt hensyn til ved definisjon av verste designbrann.

5 Vurdering av dagens praksis og regelverk

Vi har i kapittel 4 oppsummert selskapenes svar på de seks hovedtemaene og vil i dette kapitlet diskutere hvorvidt dagens praksis tilfredsstiller regelverkskrav. Som en del av dette vil vi også vurdere om dagens praksis og tilhørende regelverk kan forbedres og eventuelt ytterligere presiseres.

De seks hovedtemaene diskutert i kapittel 4 er:

1. Hvordan er verste designbrann (WCPF) definert?
2. Hvilke faktorer påvirker valg av varmelast?
3. Hvilke selskapsinterne og øvrige krav gjelder?
4. Hvordan følges kravene opp ved modifikasjoner på innretninger?
5. Hvordan har analysene definert eskalering ut av området?
6. Krediteres prosessavstengningsventiler (XV/PSD-ventiler) ved definisjon av WCPF?

De seks hovedtemaene er delvis besvart gjennom tabellene i kapittel 4 og det er for enkelte tema, slik som tema 3. og 4., begrenset å legge til utover dette. Vi fokuserer her på å vurdere konsekvensene av dagens praksis, og har strukturert kapitlet ved å diskutere følgende fire spørsmål:

- I. Hvilke regelverkskrav, relevante standarder og interne krav ligger til grunn for å definere WCPF?
- II. Hvordan er industriens praksis i forhold til å definere WCPF og kan denne sies å være i henhold til intensjonene i regelverket? Herunder;
 - Har industrien en felles forståelse av sentrale forhold som er bestemmende for å definere WCPF, slik som eskalering internt og ut av området, ventiler som hensynstas, varigheter, "cut-off" kriterier, etc. og er dette tydelig nok definert i regelverk og standarder?
 - Er det ytterligere rom for forbedring av dagens regelverk og standarder og av industriens tilhørende praksis?
- III. I hvilken grad gir dagens praksis for å definere WCPF robuste løsninger for unngå spredning av en brann ut av prosessområdet?
- IV. Hvor realistisk er varmelastene som benyttes i dagens risikoanalyser og brannberegninger?

5.1 Regelverkskrav, relevante standarder og interne krav

De antatt mest relevante deler av Petroleurstilsynets forskrifter i forhold til å definere WCPF, er kort gjengitt i utdrag under (med våre egne *uthevinger*). Det er i denne sammenheng primært innretningsforskriften som er relevant.

§11 - Laster, lastvirkninger og motstand

Designlastene som skal legges til grunn for utforming og drift av anlegg, systemer og utstyr, skal fastsettes. Ved fastsettelse av designlaster skal kravet til robuste løsninger, jf. § 5, og kravet til risikoreduksjon, jf. rammeforskriften § 11, legges til grunn. Designlastene skal sikre at anlegg, systemer eller utstyr blir utformet slik at relevante ulykkeshendelser som kan inntreffe, ikke resulterer i uakseptable konsekvenser, og skal *som et minimum alltid kunne motstå den dimensjonerende ulykkeslasten*.

Ved fastsetting av designlaster skal det ikke tas hensyn til effekten av brannvann. Dette gjelder for både brannlaster og eksplosjonslaster.

Anlegg, systemer og utstyr som inngår som elementer i realiseringen av hovedsikkerhetsfunksjoner, jf. § 7, skal som et minimum utformes slik at *dimensjonerende ulykkeslaster eller dimensjonerende naturlaster med årlig sannsynlighet større enn eller lik 1×10^{-4} , ikke medfører tap av en hovedsikkerhetsfunksjon.*

Fra veiledning til §11: *For ulykkeslaster bør standarden NORSOK S-001, spesielt kapittel 4.7 brukes i tillegg til andre standarder som er nevnt i denne veiledningen. Spesielle brannforhold som jetbrann, underventilerte branner i moduler, brann på sjøen og liknende, kan kreve ytterligere beregninger av brannlaster.*

Som tidligere diskutert er dessuten §33 i Innretningsforskriften relevant:

§ 33 - Nødvstengningssystem

Innretninger skal ha et nødvstengningssystem som kan hindre utvikling av fare- og ulykkesituasjoner og begrense konsekvensene av ulykker, jf. § 7.....

....Det skal installeres nødvstengningsventiler som kan stanse hydrokarbon- og kjemikaliestrømmer til og fra innretningen og til og fra brønner, og som isolerer og/eller seksjonaliserer brannområdene på innretningen.

Fra veiledning til §33:

Kravet til å isolere og seksjonalisere brannområdene på innretningen innebærer blant annet at det skal installeres et tilstrekkelig antall seksjoneringsventiler i prosessanlegget for å sikre at eventuell brannbelastning ved lekkasje i ethvert segment ikke medfører mulighet for en ukontrollert spredning og/eller eskalering i området hvor lekkasjen har inntruffet. De konkrete barriereelementer som skal ha nødvendig brannmotstand, bør avklares med utgangspunkt i hvert enkelt brannområde og relevante barrierefunksjoner. For å avklare varmelast per tidsenhet og hvilket omfang en brann vil ha, bør mulige initiale lekkasjerater som kan oppstå, legges til grunn, og det kan tas hensyn til system for trykkavlastning. For å gjøre designet robust bør lekkasjerater basert på konservative forutsetninger, legges til grunn. Det vil si initiale rater som medfører ugunstige kombinasjoner av varmelast, brannstørrelse og brannvarighet.

Det er dessuten verdt å nevne §29 og §30 i samme forskrift:

§ 29 - Passiv brannbeskyttelse

Der det brukes passiv brannbeskyttelse, skal denne utformes slik at den gir aktuelle konstruksjoner og utstyr tilstrekkelig brannmotstand med hensyn til bæreevne, integritet og isolasjonsevne.....

§ 30 - Brannskiller

Hovedområdene på innretninger skal atskilles med brannskiller som *minimum kan motstå de dimensjonerende brann- og eksplosjonslastene og minimum oppfylle brannklasse H-0 dersom de kan bli eksponert for hydrokarbonbranner.....*

Av relevante standarder er det spesielt NORSOK S-001, NORSOK Z-013 og dessuten ISO 13702 som selskapene legger til grunn for risiko- og brannberegninger. Som tidligere diskutert spesifiserer NORSOK S-001 typiske varmelaster (se avsnitt 4.2, Figur 4.1) som anbefales brukt i brannberegninger. Denne standarden er under oppdatering og det foreslås i ny versjon å øke maksimum varmelast for pølbranner fra 150 kW/m² til 250 kW/m². Oppdatert versjon vil dessuten inneholde en ny definisjon av WCPF (se kapittel 3) og en presisering og utdypning rundt seksjoneringsventiler.

Når det gjelder egne selskapskrav, er det som diskutert i kapittel 3 kun ett selskap som per i dag har en egen definisjon av WCPF, selv om andre selskap i sine analyser forholder seg til verste designbrann uten at dette eksplisitt omtales som WCPF.

5.2 Industriens praksis og forståelse av sentrale forhold for å definere WCPF

Vi vil i dette avsnittet diskutere om industriens praksis kan sies å være i henhold til intensjonene i regelverket og hvorvidt det synes å være en felles forståelse av sentrale forhold som er bestemmende for å definere WCPF.

Basert på svarene som diskutert i kapittel 4 og mottatt dokumentasjon fra de syv prosjektene, er det SINTEFs inntrykk at det gjøres et solid og omfattende arbeid i forhold til å modellere, simulere og analysere ulike brannscenarier. Det framgår fra risikoanalyser og tilstøtende brannanalyser at det gjøres mange og detaljerte beregninger og at en rekke brannscenarier analyseres. Det har imidlertid vært utenfor rammene av vårt prosjekt å verifisere selve beregningene.

Noen forhold som vurderes i risikoanalyser og tilstøtende brannanalyser er listet under:

- a) Hvor (i hvilke utstyr) lekkasjer kan oppstå og tilhørende hullstørrelses
- b) Hvilken retning en lekkasjen kan ta, spesielt i forhold til en jetbrann
- c) Mulige vær- og vindforhold hvis åpen modul
- d) Hvilket "cut-off" kriterium en skal bruke for lekkasjeraten når varighet av brann beregnes
- e) Hvorvidt nødavstengningsventiler og trykkavlastningsventiler fungerer som tiltenkt
- f) Hvorvidt PSD ventiler i hovedprosessen fungerer som tiltenkt
- g) Hvilke andre ventiler som hensynstas; hvorvidt normalt stengte ventiler skal antas stengt, hvorvidt andre ventiler mot hjelpesystemer er stengt og om tilbakeslagsventiler skal krediteres
- h) Hvorvidt intern eskalering skjer; hvordan intern eskalering opptrer, etter hvor lenge og hvilke hullstørrelse (og retninger) oppstår fra segmentet som brannen eskalerte til?
- i) Hvilke kriterier som skal ligge til grunn for å definere mulig eskalering ut av området, herunder hvilke konsekvenser i naboområdet er uakseptable.
- j) I tilfelle pølbrann; hvordan væsken fra trykkavlastet segment oppfører seg, inkludert effekt av dreneringssystem, spillkanter og "grating"
- k) Effekten av brannvann / deluge.

Som en ser av (den begrensede) listen over, er det mange detaljerte forutsetninger og antakelser om scenarier som legges til grunn ved beregninger av brannforløp. Det er kun for punktene e), f) og k) at regelverket beskriver eksplisitt hvilke forhold som skal vurderes ved fastsettelse av designlaster ved brann i prosessområdet.

Av disse tre er det kun forholdet som omhandler hvorvidt PSD ventiler i hovedprosessen skal krediteres eller ikke, hvor vi har avdekket ulik praksis (jfr. diskusjon i avsnitt 4.6). Ellers tas det gjennomgående kreditt for ESD- og trykkavlastningsventiler og ikke for brannvann slik Ptil beskriver.

For de øvrige punktene i listen over vil praksis i stor grad avhenge av antagelser som gjøres i den enkelte analyse (og avhengig av QRA leverandør). For eksempel er det som diskutert i avsnitt 4.5 ulik praksis i analysene for å definere eskalering ut av området. Det synes heller ikke være noe felles praksis for hvordan en antar at intern eskalering opptrer. Vi opplever her at definisjonene av eskalering fra NORSOK Z-013 ikke er tilstrekkelig detaljert med hensyn til å kunne fastsette eksakte kriterier for når og hvordan eskalering kan antas å inntreffe. Ettersom oppdatert versjon av S-001 planlegger å ta inn en definisjon av WCPF, bør en derfor vurdere også å inkludere en mer presis definisjon av (og kriterier for) eskalering internt og ut av et område.

Industrien har pekt på at usikkerhet rundt forholdene listet over tidvis kan gi urimelige utslag. Varighet av branner er innretningsspesifikt i den forstand at det primært er knyttet til størrelsen på væskevolumer. Store beholdere gir lange branner. For enkelte av dagens innretninger vil lekkasje på verst tenkelige sted, med verst tenkelige størrelse og intern eskalering kunne gi branner som varer over to timer, i noen tilfeller tre-fire timer. Ved slike lange branner blir blant annet gjennomføringer i brannvegger et problem, da det per i dag ikke finnes sertifiserte løsninger som kan dokumentere motstandsdyktighet utover en to timers brann.

Spørsmålet blir da om en som en følge av kravet om å designe for WCPF, skal utvikle ny teknologi for gjennomføringer for å ivareta mulige brannvarigheter utover to timer, og/eller om en skal åpne opp for å gjøre tilleggsvurderinger knyttet til konsekvens og eventuelt sannsynlighet. Etter to timer vil evakuering og trykkavlastning ha skjedd og det kan i slike tilfeller være rimelig å spørre hva som er mulig konsekvens av en gjennombrenning. Er det kun lokal eksponering, eller er det tap av strukturell integritet? Er det bare snakk om ytterligere materielle skader og /eller store miljøskader i form av mulig eskalering til brønner, stigerør eller lagertanker? I forhold til potensielle miljøskader er dette en hovedbekymring og vi ser av nåværende forslag til WCPF definisjon i revidert NORSOK S-001 (se kapittel 3) at det er tatt med at eskalering til brønner og stigerør skal unngås.

I forhold til diskusjonen over er det verdt å nevne et pågående prosjekt i regi av Norsk olje og gass; "Formålstjenlige risikoanalyser" /5/. En arbeidsgruppe ser i dette prosjektet på forskjellige ulykkestyper, inkludert brann, og vurderer nytteverdien av kvantitative analyser for å dokumentere sikkerheten ved valgte løsninger. Et mulig alternativ er i større grad å basere seg på standardantagelser, forhåndsdefinerte scenarier (ala WCPF) og mer standardisert design.

En foreløpig konklusjon er at dersom en ønsker en mer ensartet industripraksis i forhold til å definere WCPF, er det behov for en mer detaljert beskrivelse og flere avgrensninger i forhold til hva som skal være gjeldende antagelser. I dag er ikke dette tilstrekkelig klart definert ut i fra regelverk og standarder, noe som også er bakgrunnen for at en egen WCPF definisjon planlegges inn i neste versjon av NORSOK S-001.

5.3 Graden av robusthet knyttet til dagens praksis for å definere designbranner

Vi vil i dette avsnittet kort diskutere i hvilken grad dagens praksis for å definere WCPF gir robuste løsninger for å unngå spredning av en brann ut av prosessområdet, også sett i lys av ny risikodefinitjon.

I Petroleumstilsynets oppdaterte risikodefinitjon (Rammeforskriften §11) er det en endring av fokus fra å beregne sannsynligheter og konsekvenser og sjekke mot risikoakseptkriterier, til å foreta risikoinformerte beslutninger og vurdere usikkerhet knyttet til "konsekvensene av virksomheten". Fra veiledning til Rammeforskriftens §11 finner vi (utdrag):

Med konsekvensene relatert til eksempelvis storulykker, menes både uønskede hendelser som kan føre til storulykker, de forholdene og faktorene som direkte eller indirekte er av betydning for om hendelsene vil inntreffe eller ikke, og konsekvensene dersom hendelsene skulle inntreffe.

Gitt beskrivelsen av konsekvensene ovenfor, så relaterer usikkerheten seg til både hvilke hendelser som kan inntreffe, til hvor ofte de vil inntreffe, og til hvilke skader på eller tap av menneskers liv og helse, miljø og materielle verdier de ulike hendelsene kan gi.

Et robust design kan oppnås ved å vurdere og redusere usikkerheten knyttet til konsekvensene og ved å legge inn tilstrekkelige marginer i antagelser som ligger til grunn for valg av løsninger. I lys av utdragene fra Rammeforskriften, vil vi kort diskutere dagens praksis for å definere designbranner når det gjelder:

1. Usikkerhet knyttet til frekvensen av hendelser – hvor ofte får vi HC branner?
2. Usikkerhet knyttet til valgte brannscenarier og modellering av brannforløpet

1. Usikkerhet knyttet til hvor ofte vi får HC branner

Frekvensen av HC branner slik det framkommer i risikoanalysen er primært en funksjon av estimert lekkasjefrekvens og antatt antennessannsynlighet (herunder hvordan gassen sprer seg). Dette er også de to QRA parameteren som enkeltvis påvirker risikobildet mest siden både branner og eksplosjoner forutsetter en lekkasje og påfølgende antennelse. Det fins betydelig mer erfaringsdata for lekkasjer enn for antennelse. En kan derfor på generelt grunnlag si at usikkerheten knyttet til vurdering av lekkasjefrekvenser er mindre enn usikkerheten knyttet til antennessannsynligheter.

Lekkasjefrekvenser estimeres normalt ved å telle utstyr basert på P&ID-er (ventiler, flenser, instrumentkoblinger, annet utstyr og prosessrør) og ved å benytte industridatabaser som angir gjennomsnittlige lekkasjefrekvenser per tidsenhet og tilhørende hullstørrelsesfordeling for slikt utstyr. De lekkasjefrekvensene som framkommer på denne måten har blitt sammenlignet med lekkasjerater observert på Norsk sokkel, og det er blitt påpekt at de estimerte lekkasjefrekvensene som antas i risikoanalyser er inntil en størrelsesorden større enn gjennomsnittlige erfarte lekkasjerater /11/. Det bør i denne sammenheng imidlertid også sies at historiske lekkasjerater varierer betydelig mellom ulike innretninger (jfr. RNNP rapporter). Antennessannsynligheter som brukes i risikoanalyser er gjennomgående basert på en omfattende JIP modell utviklet av industrien, som tar hensyn til tidsavhengig eksponering av antennelseskilder og tenn-karakteristika ved de ulike klasser av utstyr som eksponeres for gass/HC damp. Det er lagt omfattende ressurser i utvikling av denne modellen, og de antennessannsynlighetene som benyttes i QRA antas derfor å representere beste kunnskap på området.

Når det gjelder WCPF, er denne brannen for så vidt deterministisk bestemt ved at en skal anta en antent lekkasje fra største prosess-segment under nærmere spesifiserte betingelser (se avsnitt 3.2). Som sådan kan en si at WCPF er upåvirket av de antagelser som gjøres i risikoanalysen om lekkasjefrekvenser og antennessannsynligheter.

For dimensjonerende branner og beregninger som gjøres opp mot hovedsikkerhetsfunksjoner og personellrisiko, kan en imidlertid konkludere at de antagelser som gjøres i forhold til estimerte frekvenser av branner framstår som rimelig robuste i den forstand at de normalt vil inneholde en viss grad av konservatisme, spesielt lekkasjerater.

2. Usikkerhet knyttet til valgte brannscenarier og videre modellering av en brann

En hovedkilde til usikkerhet i risiko- og brannanalyser er at utfallsrommet i form av mulige hendelseskjeder er nærmest uendelig. En risikoanalyse kan derfor ikke analysere alle mulige hendelsesforløp, men må nøye seg med å gjøre et "representativt utvalg" av lekkasje- og brannscenarier.

Når det gjelder valgte brannscenarier er industriens praksis i dag stort sett at en, basert på antagelser og skjønn, velger ut en rekke ulike scenarier som blir gjenstand for brannberegninger. Det gjøres deretter enten forenklede vurderinger hvor en antar en fast varmelast i hele modulen (typisk NORSOK S-001 lastene) og/eller mer avanserte beregninger hvor en typisk benytter Kamelon FireEx (KFX) som gir et mer realistisk

bilde av varierende varmelaster i ulike deler av modulen. Deretter utføres strukturens beregninger ved hjelp av FAHTS (for å beregne temperaturutvikling) og USFOS og eller ABAQUS (for å studere strukturens respons).

Basert på dokumentgjennomgangen er det vårt generelle inntrykk at det benyttes betydelige ressurser i prosjektene på å vurdere og simulere en lang rekke brannscenarier. Vi har ikke forutsetninger for å si hvorvidt de valgte scenariene er tilstrekkelig representative, da mulige kombinasjoner av lekkasjepunkter, lekkasjerater, varigheter, retninger, eskalering eller ikke, osv. nærmest er uendelig. Det faktum at det generelt synes å bli utført et relativt stort antall beregninger og simuleringer er imidlertid en viss garanti for at beslutningsunderlaget for å velge robuste løsninger er godt.

Vi har i avsnitt 5.2 allerede diskutert ulike forhold og parametere som kan påvirke et gitt brannforløp. Som påpekt i dette avsnittet, er det varierende praksis for å bestemme flere av disse parametere, blant annet pga. at WCPF ikke er tilstrekkelig entydig definert. Det er igjen grunn til å peke på at blant annet intern og ekstern eskalering her representerer en betydelig usikkerhet da kriteriene for eskalering ikke er entydig definert.

5.4 Hvor realistisk er varmelastene som benyttes i dagens brannberegninger?

Som diskutert i forrige avsnitt er utgangspunktet for å definere mulige brannscenarier og fastsette designulykkeslaster for brann, en gjennomgang av prosessanlegget for å identifisere potensielle lekkasjepunkter med tilhørende lekkasjerater. For hvert lekkasjepunkt blir det vurdert hvor stor lekkasjeåpningen kan bli, og deretter blir lekkasjeraten beregnet på bakgrunn av medium (væske/gass), trykk (eventuelt transient), og areal/form på lekkasjepunktet. Ut fra denne vurderingen og beregning av utstrømningsrate vil en så kategorisere om det kan bli en brannstype (jet-brann eller pølbrann) som typisk kategoriseres i henhold til NORSOK S-001.

Det er relativt få forskningsprosjekter, både nasjonalt og internasjonalt, som har blitt utført for å undersøke brannlaster i full skala og ved realistiske forhold som gjenspeiler et prosessanlegg. En gjennomgang av resultater fra en rekke eksperimenter med gass- og væskebranner i ulik skala er gjennomført av SP Fire Research /10/. Resultater fra denne gjennomgangen antyder at de varmelaster en opererer med i NORSOK S-001 ikke nødvendigvis reflekterer den kunnskap som er framkommet i prosjektene som industrien selv har vært med i. Denne nye innsikten vil være av betydning for framtidig analyse av brannlaster og bruk av Scandpower Guidelines /6/ ved risikovurderinger og beregninger. Den bør også få konsekvenser for pågående oppdatering av NORSOK S-001. Blant annet er det funnet at en brannlast som er angitt å være en punktlast i mange tilfeller kan være dominerende over større områder, og begrepene bakgrunnslast og punktlast bør derfor revideres i NORSOK S-001. Mere detaljer om dette er gitt i diskusjonen i Appendix A.

Generelt vil en risikoanalyse vurdere et stort antall hendelsesforløp med tilhørende antagelser. I forhold til konsekvensene av en brann, er antatte varmelaster en sentral parameter. Basert på diskusjonen i Appendix A er det grunn til å spørre om anvendte varmelaster er tilstrekkelig konservative. Brannsimuleringsprogrammet Kameleon FireEx (KFX) er til en viss grad verifisert mot resultater fra eksperimenter, men det pekes på at disse resultatene ikke er basert på så store branner som realistisk sett kan oppstå i offshore moduler.

Som en "formildende omstendighet" kan det nevnes at en ved beregninger knyttet til konsekvensen av designbranner, ikke tar kreditt for brannvann. Dette skyldes blant annet usikkerhet knyttet til

tilgjengeligheten av brannvannsystemet og hvor mye reduserende effekt brannvann faktisk har på varmelastene.

Referanser

- /1/ Innretningsforskriften; "Forskrift om utforming og utrusting av innretninger med mer i petroleumsvirksomheten", <http://www.ptil.no/innretningsforskriften/category380.html#p33>, Petroleumstilsynet, desember 2015
- /2/ Proactima rapport for Petroleumstilsynet; "Brannbelastning ved boring over innretning i «cantilevermodus»". Rapport nr.: PS-1071613-RE-01, desember 2014
- /3/ NORSOK S-001; Technical safety, rev. 04, February 2008
- /4/ NORSOK Z-013; Risk and emergency preparedness assessment, rev. 03, October 2010
- /5/ Norsk olje og gass; "Formålstjenlige risikoanalyser", Notat 22/12-2015, versjon 2
- /6/ Scandpower Risk Management AS: Guidelines for the Protection of Pressureized Systems Exposed to Fire. Report no. 27.207.291/R1 – Versjon 2. Date: 31 March 2004. Client: Hydro and Statoil
- /7/ G. A. Chamberlain, M. A. Persaud, R. Wighus, and G. Drangsholt, "NBL A08102 Blast and Fire Engineering for Topside Structures. Test Programme F3, Confined Jet and Pool Fires. Final report," SINTEF Report NBL A08102, 2008
- /8/ G. A. Chamberlain, "An experimental study of large-scale compartment fires," Process Saf. Environ. Prot. Transactions Inst. Chem. Eng., no. Part B, pp. 72:211–219, 1994
- /9/ R. Wighus, L. E. Lønvik, and G. Drangsholt, "Fire on the sea surface: Thermal load from oil spill fires on the sea surface," SINTEF NBL as, Trondheim, Norway, SINTEF Report NBL A07127, 2007
- /10/ R. Wighus, A.W. Brandt and C. Sesseng: Flame Radiation in Large Fires. 8th International Seminar for Fire and Explosion Hazards. Hefei, Peoples Republic of China, 2016
- /11/ Mottatt konfidensiell dokumentasjon i form av QRA studier, design accidental load spesifikasjoner, passiv-brannbeskyttelse studier, sikkerhetsstrategier, brannrespons- og strukturanalyser og andre relevante brannstudier (datert fra 2013 – 2016).

A Diskusjon av framgangsmåte for å beregne varmelaster

A.1 Selve framgangsmåten i beregningene: Holder den mål?

Bakgrunnen for å finne designbrannlaster (Design Accidental Loads) er en gjennomgang av prosessanlegget for å identifisere potensielle lekkasjepunkter med tilhørende lekkasjerater. Denne prosessen antas å være mer eller mindre den samme for alle innretningene i Nordsjøen, men er ikke sett på i dette prosjektet. Typiske lekkasjepunkter er flenser, ventiler og instrumentkoplinger.

Brudd i flenser etter brannbelastning mot muttere har vist seg å være et kritisk scenario, siden det er liten termisk masse i mutterne og oppvarmingen da går raskt.

Tretthetsbrudd på koplinger etter lang tids vibrasjoner har vist seg å kunne medføre lekkasjer (viktig på grunn av lang levetid på dagens plattformer).

Etter å ha funnet lekkasjepunktene blir det foretatt en vurdering av hvor stor lekkasjeåpningen kan bli. Dette kan være basert på indre diameter til en rørstuss til instrumentering, eller at en del av en pakning i en flens er borte. Dette er typisk en vurdering som er utført på forhånd for den aktuelle potensielle lekkasjen. Selve lekkasjeraten vil så bli kalkulert på bakgrunn av medium bak lekkasjepunktet (væske/gass), trykk (eventuelt transient) og areal og form på lekkasjepunktet.

Ut fra denne vurderingen og kalkulasjoner av utstrømningsrate vil en så kategorisere om det kan bli en brannstype som kategoriseres etter NORSOK S-001, tabell 1. De lekkasjene som faller inn i kategoriene vurderes å danne enten en jet-brann eller en pølbrann, med en viss lekkasjerate. I NORSOK er brannlasten oppgitt som en punktlast og en bakgrunnslast. For beregning av energien som belaster et segment i et prosessområde, er det bakgrunnslasten som benyttes som utgangspunkt for trykkavlastningsberegningene. Responsen til utstyr og til det som er inne i prosess-segmentet kan beregnes ved hjelp av en kompleks og omfattende termodynamisk modell.

A.2 Hva er resultatet av bruk av Scandpower Guidelines? /6/

Scandpower Guidelines /6/ er en prosedyre hvor en tar utgangspunkt i hydrokarbon-karakteristika for installasjonen som skal designes, det vil si trykk, temperatur og sammensetning av innholdet i de ulike prosess-segmentene, volum av segmentene, og konstruksjonen av rør og beholdere. En tar så utgangspunkt i en gitt dimensjon på trykkavlastnings-systemet (areal på miste tverrsnitt i fakkelsystemet). Brannlast inn til de ulike deler av det segmentet som betraktes blir i første fase av risikoanalysen tatt fra NORSOK- S001, men en teoretisk betraktning basert på varmefluks gir mulighet for å redusere brannlasten (innkommende fluks) med bidraget fra konveksjon etter at overflaten på objektet som tar imot varme har fått høy temperatur. Dette samsvarer ikke med erfaringer fra eksperimenter, siden en i disse måler en likevektstemperatur i områdene tett opptil objektet som tilsvare konstant eller økende varmefluks.

Hele Scandpower Guidelines er for kompleks til å gå inn i detaljer her. Imidlertid er det mye som tyder på at en ved å følge disse retningslinjene underestimerer den energien som fører til oppvarming av utstyr som blir brannpåkjent, både fra jetbrann og fra pølbrann. En av de mulige årsakene til underestimering av energien er måten varmeoverføring ved stråling og konveksjon behandles. Det er en mulighet for å betrakte disse som uavhengige størrelser og anta at overflater på utstyr, enten det er isolert eller ikke, vil få en redusert konvektiv varmelast når overflatetemperaturen blir høy. De antakelse om at strålingen er konstant over hele perioden ved brann vil derfor føre til at en reduserer den totale brannlasten etter en lekkasjestart. Dette

samsvarer ikke med de eksperimentelle resultater fra de mest relevante eksperimentseriene som er utført /7/, /8/ og /9/, hvor likevektstemperaturen til termoelementer lokalisert nær objekter inne i brannområdet ikke synker, men heller stiger med tiden fra antennelse. En mulighet for at en "regner seg bort fra" punktlaster på 350 kW/m^2 og reduserer denne til nærmere 250 kW/m^2 er da til stede, noe som ikke er realistisk.

A.3 Er brannlastene i NORSOK basert på realistiske og dokumenterte eksperimenter?

NORSOK begrunner ikke brannlastene eller gir referanse til hva som er bakgrunnen for valgte laster. De mest relevante eksperimentseriene medfører imidlertid høyere laster /7/, /8/ og /9/. Som eksempel kan det vises til at en jet-brann som benyttes til å kvalifisere passiv brannbeskyttelse gir likevekts-temperaturer som tilsvarer 250 kW/m^2 ved en masserate på 0.3 kg/s propan. Denne testen er standardisert og har et kammer rundt testobjektene med dimensjoner $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ (1.25 m^3). Ved å øke dimensjonene på kammeret til $2.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ (22.5 m^3) øker likevektstemperaturen til noe som tilsvarer mer enn 350 kW/m^2 . Dette skjer ved den samme masseraten, 0.3 kg/s .

Brannlastene som er publisert i prosjektene "Blast & Fire" /7/ og /8/ og "Brann på sjø" /9/ er alle i størrelsesorden over 250 kW/m^2 , ved masserater mindre enn 2 kg/s . En kan ikke finne at brannlasten som er benyttet som veiledende i NORSOK S-001 er basert på den kunnskap som er framkommet i prosjektene som industrien selv har vært med i.

A.4 Hvordan benyttes beregningsmodeller ved risikoanalysen? (KFX)

Ved beregning av transiente lekkasjer vil senteret for brannen (jet-brannen) forflytte seg og derfor vil det ikke bli konstant brannlast på et punkt. Dette vil derfor moderere brannlasten (i beregningen), mens det ikke er opplagt at dette skjer i virkeligheten. Dette har sammenheng med at beregningsmodeller har underestimert flammetemperaturen og/eller strålingsintensiteten fra en "brannball" av en viss størrelse.

A.5 Hvordan er beregningsmodeller verifisert?

Det er relativt få forskningsprosjekter som har blitt utført for å undersøke brannlast i full skala og ved realistiske forhold som gjenspeiler et prosessanlegg. Dette gjelder både nasjonalt og internasjonalt. Det mest omfattende prosjektet er Blast and Fire Engineering for Topsides Structures ("Blast & Fire"), som ble gjennomført av olje- og gassindustrien som opererte i Nordsjøen i på 1990-tallet. Dette fellesprosjektet for industrien (Joint Industry Project, JIP) hadde fokus på brannlast og eksplosjonslast, og ble gjennomført i England og i Norge. En fullskala kopi av en plattformmodul ble konstruert ved forsøksanlegget Spadeadam i England, og spesielt eksplosjoner ble studert i denne riggen. Tidligere var det utført noen studier av brannlast fra jet-brann med naturgass med opptil 8 kg/s , i det fri mot et rør.

Hovedresultatet av "Blast& Fire" var at eksplosjonsovertrykk oversteg det som tidligere hadde vært kjent og som inngikk i dimensjoneringsfilosofien for plattformer. Observerte trykk ble nesten 10-doblet i full skala i forhold til eksperimenter utført i mindre skala. Tidligere antok en eksplosjonsovertrykk på om lag 0.5 bar , mens overtrykk helt opp til 4 bar ble målt i fullskala. Dette var eksplosjoner i en støkiometrisk gassblanding, i et område med rør og tanker, og med lang vei fra antennespunktet til en avlastningsåpning. Dette eksplosjonsovertrykket var det ikke praktisk mulig å dimensjonere bærende struktur og utstyr imot, så en måtte se etter mulige tiltak for å redusere dette. Konstruksjon av moduler med kort vei til trykkavlastende åpninger og begrensninger i tettheten av turbulensgenererende utstyr ble etter hver løsningen, i tillegg til å kreve at brannvann ble utløst ved deteksjon av gass.

Flere beregningsmodeller for eksplosjoner ble testet ut som en del av "Blast & Fire", og etter hvert utkrystalliserte det seg modeller som kunne beregne realistiske eksplosjonsforløp. Eksplosjonsmodellene ble utfordret til å forutsi forløp før eksperimenter var utført (blind-beregning) og resultatene ble validert på en vitenskapelig måte som en del av Blast & Fire. Siden en eksplosjon varer meget kort tid i forhold til en brann, var også regnetiden for slike modeller moderat. Dette førte til at en kunne regne på et hundretalls scenarier ved design av plattformer, uten for stor kostnad i tid og ressurser. En av modellene som fikk stor utbredelse var Flacs, utvikler av CMR og deretter GexCon i Bergen.

Beregningsmodeller for brann i offshore-moduler ble ikke testet i samme grad som eksplosjonsmodellene i Blast & Fire. Systematisk undersøkelse med blind-beregning ble ikke gjennomført for alle eksisterende modeller, og det ble heller ikke gjort vitenskapelig vurdering av modellene på samme måte som for eksplosjonsmodellene.

En av beregningsmodellene som har fått stor anvendelse i risikovurderinger i olje- og gassindustrien, særlig hvor det er norske operatører, er Kameleon Fire Ex (KFX). KFX er verifisert (egentlig validert) med bakgrunn i eksperimenter ved SP Fire Research, hvor en benyttet gass- og væskebranner opp til ca. 1 kg/s i en forsøksrigg med dimensjoner 10m høy, 10 m bred og 20 m lang. Sammenlikning mellom beregninger og målte temperaturer ble utført, og gav ikke helt samsvar. Derfor introduserte ComputIt en modell av et termoelement som skulle representere de temperaturer som ble målt, og da ble det bedre samsvar. Denne valideringen burde gjennomgås på nytt i lys av det som beskrives i neste punkt.

A.6 Ny innsikt i brannlaster basert på emissivitet fra flammer

En gjennomgang av resultater fra en rekke eksperimenter med gass- og væskebranner i ulik skala er gjennomført av SP Fire Research, og resultater av dette ble presentert i 2016 ved "8th International Seminar on Fire and Explosion Hazards", i Hefei, Kina, /10/. I eksperimenter som er publisert er det målt temperaturer over 1370 °C, og varmeklukser er målt og estimert til over 350 kW/m². Det som er karakteristisk for de målte temperaturene er at det er såkalt likevektstemperaturer målt enten direkte med termoelementer montert i flammer, eller ved mindre legemer av stål plassert i flammene, nær objekter som er påvirket av flammer. Dette har ført til at noen av de antakelser som tidligere er gjort ved analyse av brannlaster ikke virker korrekte. Sitatet under er hentet fra presentasjonen i Kina:

"A severe lack of information on radiative properties of flames is pointed out in this paper. The statement of Drysdale: "A few empirical values of k_m is available in the literature, and permit approximate values of emissive power to be calculated, provided the flame temperature is known or can be measured" still leaves an open question, since most of the measured flame temperatures in fires are biased by their surroundings, and based on an unrealistic assessment of flame emissivity. The measurement of thermocouple temperatures well above 1300 °C in fires of different types, like open and enclosed hydrocarbon pool fires, spray and jet fires and even cellulosic fires should lead to a revision of how fire size influences radiative properties of fires. The assessment of specific emissivity constant for fires should not be based on flame temperature measurements with probes that are dependent on the emissivity."

Antakelsene om at inngående varmelast fra flammer består av et konvektivt og et strålt bidrag som tilsammen utgjør maksimal punktlast som beskrevet i NORSOK S-001 vil derfor være feilaktige. Når et objekt med liten termisk masse finner likevektstemperatur inne i flammer, vil det konvekitive bidraget mellom termoelement og flammer være nær null, og dette indikerer at det er stråling fra flammer og omgivelser som utgjør punktlasten.

Denne nye innsikten vil være av betydning for framtidig analyse av brannlaster og bruk av Scandpower Guidelines ved risikovurderinger og beregninger. En brannlast som er angitt å være en punktlast kan i mange

tilfeller være dominerende over større områder, og begrepene bakgrunnslast og punktlast bør dermed revideres i NORSOK S-001.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no