



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Risikostyring/Offshoresikkerhet	Vårsemesteret, 2009 Åpen
Forfatter: Aksel Kvam Hartmann	<i>Aksel Kvam Hartmann</i> (signatur forfatter)
Faglig ansvarlig: Jan Roar Bakke, Universitetet i Stavanger	
Veileder: Ivar Skjeldal, Aker Solutions	
Tittel på masteroppgaven: "Brannintegritet av rør og tanker, bruk av analyser i prosjektering av offshore modifikasjoner"	
Studiepoeng: 30SP	
Emneord: Brannsikkerhet, teknisk sikkerhet, trykkavlastning	Sidetall:72..... + vedlegg/annet:1..... Stavanger, 15/06-2009 dato/år

SAMMENDRAG

Ved en brann på et offshore prosessanlegg vil trykkavlastning av systemet være et sentralt tiltak for å hindre eskalering av brannen. Prosessdesign har tradisjonelt vært bygget på standarder fra American Petroleum Institute (API), men det har vist seg at standardene gir for lave verdier for brannlaster, noe som kan føre til at trykkavlastningssystemet underdimensjoneres.

Oppdagelsene har ført til en oppdatering av standarder og prosedyrer. I dag refereres det i ulike standarder til en prosedyre av Scandpower for design av branneksponte prosesssystemer under trykk. Flere operatører henviser til prosedyren, som i dag er benyttet i flere store prosjekter.

I forbindelse med analyser av brannintegritet til rør og tanker ved offshore modifikasjoner tar oppgaven for seg bakgrunn, metodikk og relevant teori. Det blir også presentert noen relevante dataverktøy.

Det er utført en sammenligning av noen prosjekter som har benyttet seg av Scandpower sin prosedyre, for å se på fellestrekk og ulikheter.

Resultatene fra utførte prosjekter vil kunne være gunstige å benytte i nye prosjekter, spesielt i studiefaser hvor det velges rørtype. I oppgaven gis det et eksempel på hvordan denne erfaringen kan samles i et bibliotek. Biblioteket står igjen som et videre arbeid.

Nyere forskning viser at brannlastene i noen tilfeller er høyere enn det som benyttes i dagens prosedyrer og standarder. Sammen men annen ny kunnskap illustrerer dette at det fremdeles vil være et behov for å oppdatere og videreutvikle metoder og programmer.

INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	1
FORORD	4
1 INNLEDNING	5
2 TEORI	7
2.1 KORT OM RISIKO OG BARRIERER	7
2.2 LITT OM STUDIER/ULIKE PROSJEKTFASER.....	8
2.3 TRYKKAVLASTNING OG FAKKELSYSTEMET	9
2.4 RØRTEKNISK.....	12
2.4.1 Rørisolasjon	13
2.4.2 Belastning på rør.....	16
2.5 BRANNTEORI.....	17
2.5.1 Branntrekanten.....	17
2.5.2 Hydrokarboner og hydrokarbonbranner	17
2.5.3 Brannlaster.....	22
3 REGELVERK, MYNDIGHETSKRAV, OG STANDARDER	24
3.1 MYNDIGHETER.....	24
3.2 GENERELT OM LOVERKET	24
3.3 LOV OM PETROLEUMSVIRKSOMHET	25
3.4 FORSKRIFTER	25
3.4.1 Rammeforskriften.....	25
3.4.2 Styringsforskriften	25
3.4.3 Innretningsforskriften.....	27
3.5 STANDARDER.....	30
3.5.1 American Petroleum Institute (API).....	30
3.5.2 Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen (ISO).....	31
3.5.3 NORSOK - standarder	31
3.6 REGELVERKETS UTVIKLING.....	37
3.6.1 Guidelines for the Protection of Pressurised Systems Exposed to Fire.....	38
3.6.2 Guidelines for the design and protection of pressure systems to withstand severe fires.....	43
3.6.3 Kommentarer til de to retningslinjene	44

4	BRUK AV DATAVERKTØY:	46
4.1.1	<i>VessFire</i>	46
4.1.2	<i>Kameleon FireEx (KFX)</i>	46
4.1.3	<i>OpenFOAM</i>	47
4.1.4	<i>Aspen HYSYS</i>	47
4.1.5	<i>Fluent</i>	47
4.1.6	<i>FLACS</i>	47
5	PROSJEKTERFARINGER	48
5.1	OVERSIKT OVER UTFØRTE BEREGNINGER/ANALYSER.....	48
5.1.1	<i>Valhall Flanke Gassløft</i>	48
5.1.2	<i>Skarv FPSO</i>	51
5.1.3	<i>Gjøa Semi</i>	54
5.1.4	<i>Kristin Semi EPCH project</i>	57
6	SAMMENLIGNING AV PROSJEKTENE	60
7	RØRBIBLIOTEK	65
8	KONKLUSJON	66
9	LITTERATURLISTE	67
10	BILDER	69
11	TABELLER	69
12	FIGURER	69
13	FORKORTELSER, TERMINOLOGI OG OVERSETTELSER	71
	VEDLEGG A: FORSLAG TIL HVORDAN ET RØRBIBLIOTEK KAN SE UT	73

FORORD

Denne rapporten er siste del av en mastergradutdannelse ved Universitetet i Stavanger, på linjen Risikostyring, med fordypning Offshoresikkerhet.

Oppgaven ble gitt av Vegar Eliassen i Aker Solutions. Takk for en utfordrende og lærerik oppgave.

Jeg ønsker å takke Ivar Skjeldal i Aker Solutions for god veiledning og henvisninger til ressurspersoner.

Takk også til faglig ansvarlig, Jan Roar Bakke.

1 INNLEDNING

Ved offshore olje- og gassprosessering oppbevares store mengder hydrokarboner under trykk. Disse forholdene utgjør en risiko for mennesker, miljø og materielle verdier. Prosesssystemene skal designes for å kunne håndtere eksponering av en brann, slik at sikkerheten ivaretas på plattformen.

For å oppnå en tilfredsstillende design for brannbeskyttelse av trykksatte prosesssystemer benyttes en kombinasjon av flere tiltak, for eksempel bruk av nedblåsningssystem og passiv brannbeskyttelse. Ved en nødssituasjon som en brann benyttes et nedblåsningssystem for å hurtig tømme systemet for hydrokarboner, redusere brannens tilførsel av brensel og dermed hindre brannen i å eskalere, samt sørge for at det ikke oppstår en uakseptabel trykkoppbygning i systemet. Passiv brannbeskyttelse reduserer varmebelastningen som rør, tanker og annet utstyr kan eksponeres for under en brann.

Dersom brannintegriteten underdimensjoneres på et prosessanlegg, vil det kunne føre til at brannen eskalerer og ender med en katastrofe.



Bilde 1 - Brann på Mumbai High North komplekset

Bilde 1 er fra en ulykke ved Mumbai High, hvor et fartøy kolliderte med et gassstigerør på produksjonsplattformen. Det begynte snart å brenne, og brannen førte til at andre stigerør også sviktet. Nødavstengningventilene var plassert på hver ende av stigerørene, noe som førte til at alt innholdet i de opptil 12 kilometer lange rørene ble sluppet ut ukontrollert. 22 mennesker omkom og plattformen ble ødelagt av den omfattende brannen.

Tradisjonelt har prosessdesign vært bygget på standarder fra American Petroleum Institute (API). De siste årene har det vist seg at disse standardene generelt gir for lave brannlaster og dermed underdimensjonerer trykkavlastningssystemet, som skal sørge for at rør og tanker ikke taper sin integritet i en brann.

I forbindelse med trykkavlastning og brannintegritet til rør og tanker, viser standarden NORSOK S-001 til Scandpower sine retningslinjer: *Guidelines for the Protection of Pressurised Systems Exposed to Fire*. Flere operatørselskaper henviser til den samme metoden for å oppnå en utforming av prosessanlegg som håndterer den dimensjonerende brannbelastningen.

Opgaven ser på hvordan fremgangsmåten for dimensjonering av størrelse på trykkavlastningssystem, og eventuelt behov for passiv brannbeskyttelse har endret seg siden

API var rådende. Scandpower sin metodikk gåes nærmere inn på. Det blir også gitt en oversikt over noen relevante programmer som benyttes i denne sammenheng.

I dag blir slike analyser utført i flere større prosjekter, som baserer seg på litt forskjellige metoder og forskjellige brannscenarier. Denne oppgaven gir en oversikt over utførte analyser i noen aktuelle prosjekter, og sammenligner disse.

Ut fra resultatene av brannintegritetsanalysene i de gjennomgåtte prosjektene var det i utgangspunktet planlagt å lage et rørbibliotek. Biblioteket var tenkt å gi en oversikt over hvordan rør under ulike forhold har kommet ut av scenariet de ble utsatt for. I tidlige studiefaser ville et biblioteket kunne brukes som et hjelpeverktøy for å velge best mulig rørdesign ut fra tidligere erfaringer. På grunn av tidsbegrensninger er dette ikke gjort ferdig. Det er i stedet illustrert et eksempel på hvordan et ferdig bibliotek kan se ut.

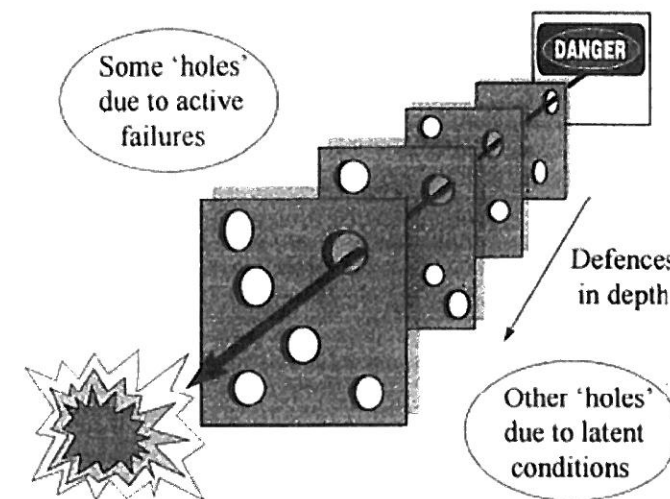
2 TEORI

2.1 KORT OM RISIKO OG BARRIERER

Risiko defineres ofte som kombinasjonen av alle mulige konsekvenser og sannsynlighet. Risikoen for at det skal oppstå en uønsket hendelse kan dermed reduseres ved reduksjon av sannsynligheten og/eller konsekvensen.

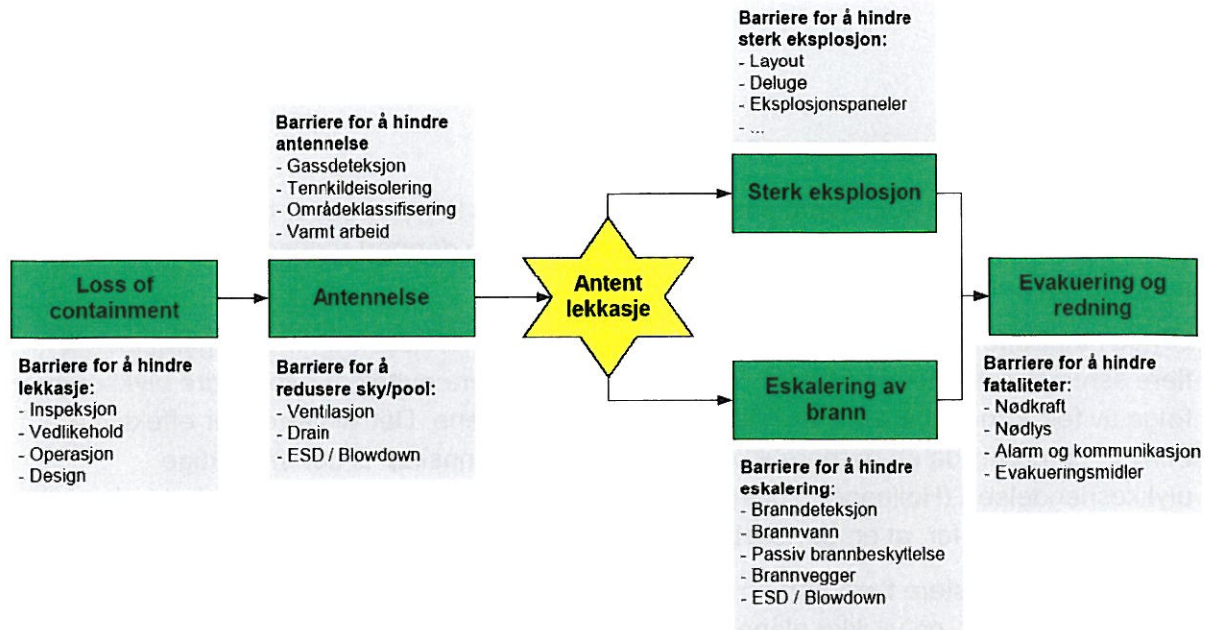
Ulykker inntreffer nesten aldri som følge av en enkelt hendelse, men med utgangspunkt i flere sammensatte årsaker (Sklet, 2001). Det vil ofte være nytteløst å forhindre ulykker som følge av feil, kun ved å eliminere de mulige enkeltårsakene. Det vil være mer effektivt å benytte barrierer, da en barriere ikke er avhengig av kjennskap til den nøyaktige ulykkeshendelsen (Hollnagel, 2004). Barrierer er alt som har betydning for å forhindre, eller redusere risikoen for, at en uønsket hendelse skal oppstå.

Det bør alltid eksistere flere enn én barriere for å hindre en uønsket hendelse. En barriere er sjelden helt sikker, og vil ikke alene kunne hindre alle uønskede hendelser. Ved å ha flere forsvar, i form av flere barrierer, øker man sikkerheten. Sveitserostmodellen til J. Reason er vist i Figur 1, og illustrerer dette godt. (Reason, 1997) Generelt bør en slik hendelseskjede stoppes så tidlig som mulig.



Figur 1 - Sveitserostmodellen

Figur 2 viser noen sentrale barriereelementer i forbindelse med en prosessulykke på en plattform. (Øien et al., 2003).



Figur 2 - Sentrale barriereelementer mot en prosessulykke

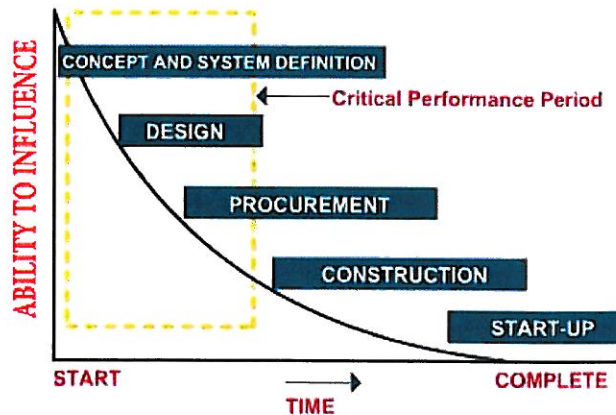
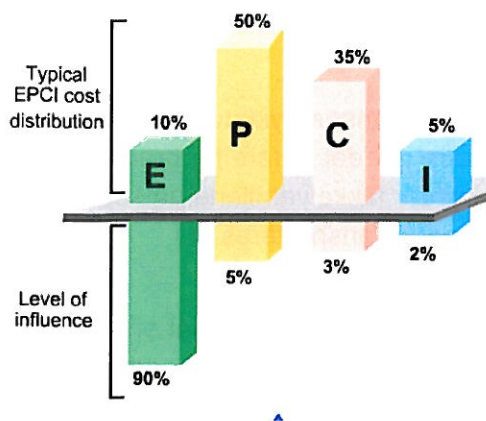
Eksempler på barrierer i denne sammenheng:

- **Passiv brannbeskyttelse** bidrar som barriere mot brannspredning.
- **Seksjonering** reduserer sannsynligheten for antennelse og varigheten av en eventuell brann. Dette fordi prosessen er delt inn i segmenter med avstengningsventiler som skal stenge ved en ulykkesituasjon. Mengden med hydrokarboner som lekker ut vil dermed reduseres, og varigheten på lekkasjen vil reduseres.
- **Trykkavlastningssystemet** vil trykkavlaste prosessen ved en lekkasje og redusere varigheten på lekkasjen, og sannsynligheten for eskalering av brannen.

2.2 LITT OM STUDIER/ULIKE PROSJEKTFASER

Desto lengre man kommer ut i et prosjekt, jo vanskeligere og dyrere vil det være å gjøre endringer. Det er derfor avgjørende at det blir utført et grundig forarbeid. Samtidig er det begrenset med informasjon i de tidlige fasene. I begynnelsen er usikkerheten stor og man er avhengig av å benytte seg av erfaringer fra tidligere prosjekter og å gjøre estimater. Ofte er det nødvendig med relativt større sikkerhetsmarginer for å ta hensyn til usikkerheten.

Figur 3 illustrerer kostnadsandel og innflytelse i forskjellige faser i en kontrakt for "Engineering, Procurement, Construction & Installation" (EPCI). Figur 4 viser hvordan ulike faser overlapper hverandre i tid, og at de tidlige fasene er kritiske da muligheten for å gjøre endringer avtar lenger ut i prosjektet. (Aker Solutions eNet, 2009)



Figur 3 – Kostnadsfordeling og innflytelse i en EPCI-kontrakt

Figur 4 – Faser og innflytelsesmulighet

Studier deles gjerne inn i forskjellige trinn eller detaljnivåer. Under listes en vanlig inndeling:

- Studie A er første trinn og utføres normalt av operatøren. Typisk tar trinnet for seg overordnede spørsmål som lisens, feltstudie og valg av totalløsning. Det skal dokumenteres i hvilken grad et hydrokarbonfunn er lønnsomt, og at det eksisterer tekniske konsepter som er gjennomførbare. Skal det for eksempel velges en egen plattform eller en undersjøisk løsning? Er det nødvendig med en ny rørledning, eller er det mulig å benytte eksisterende rør?
- Studie B kalles også mulighetsstudie (feasibility), og ser på alternative løsninger for utbygning. Alle relevante alternative plattformkonsepter skal identifiseres, og det lages en liste over de beste alternativene. Kostnads- og vektestimater skal være innenfor pluss/minus 40 %.
- Studie C kalles også konseptstudie. Dette nivået innebærer en utvidet anbefaling av en til to utbygningsløsninger. Prosjektet modnes ytterligere, og det legges en godt grunnlag for neste fase. Kostnads- og vektestimater skal være innenfor pluss/minus 30 %.
- Studie D eller FEED (Front End Engineering Design), går videre med én løsning som skal forberedes til gjennomføring. Kostnads- og vektestimater skal være innenfor pluss/minus 20 %.

Etter disse trinnene er utført, lages det en plan for utbygging og drift (PUD), som skal godkjennes av myndighetene. Når PUD'en er godkjent, begynner gjennomføringen av prosjektet. (Odland, 2000)

2.3 TRYKKAVLASTNING OG FAKKELSYSTEMET

På en plattform er det mange tanker, rør og utstyr, som inneholder hydrokarboner under trykk. Dette innebærer en risiko for mennesker, miljø og materielle verdier. I henhold til Innretningsforskriften § 34, skal alle innretninger som er utstyrt med eller er knyttet til

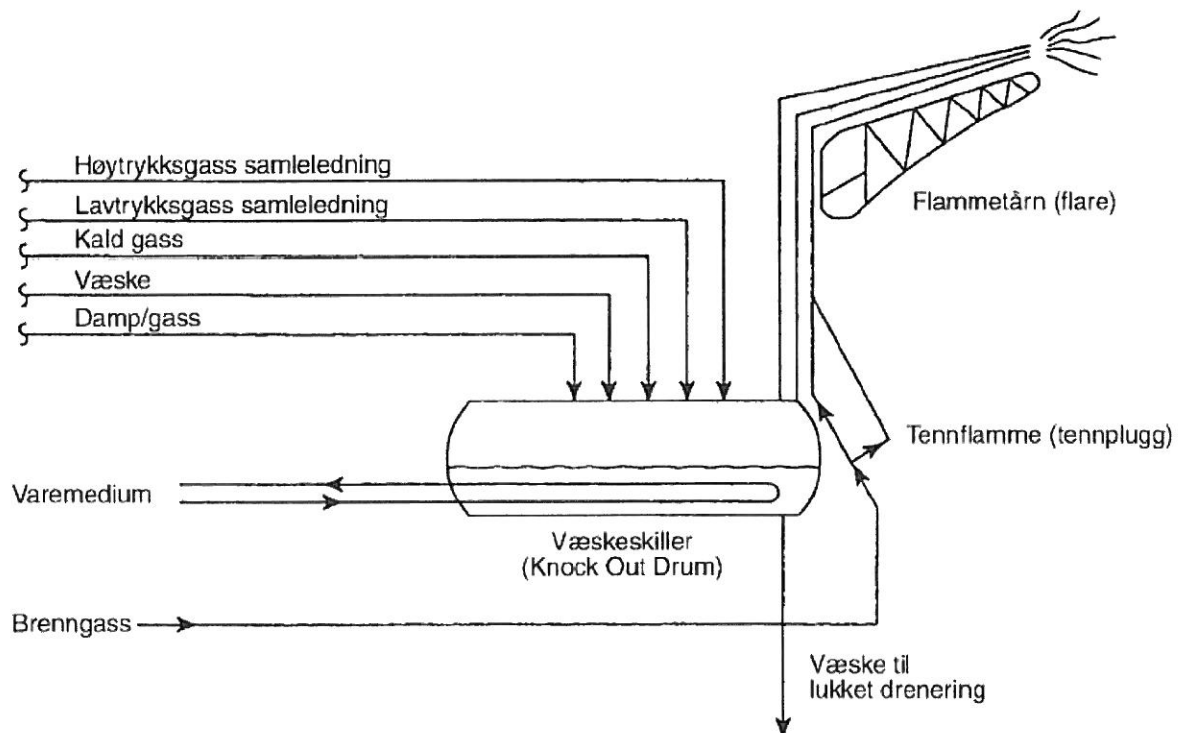
prosessanlegg, ha et gassutslippssystem, som skal utformes slik at gassutslipp ikke medfører skade på personell eller utstyr.

Fakkelsystemet har som hovedhensikt å fungere som plattformens trykkavlastningssystem ved unormale situasjoner. Unormale situasjoner kan være når det er fare for brann eller eksplosjon, eller ved vedlikehold. Ved en trykkavlastning blir fakkelfventilene på separatorene og annet utstyr som er under trykk åpnet, og hydrokarboner transporteres ut i fakkelsystemet.

Ved å tømme systemet for hydrokarboner, fjerner man brenselet og hindrer at en eventuell brann vil eskalere. Sannsynligheten for store eksplosjoner vil også reduseres, ettersom trykket reduseres i tanker og utstyr.

Fakkelflammen

Dersom det skulle bli nødvendig, vil det kunne være store segmenter med hydrokarboner som må trykkavlastes. Hadde en sluppet gassen ubehandlet ut ville det i vindstille vær kunne samle seg brennbar gass rundt plattformen, noe som ville utgjort en fare for plattformen og helikoptre. For å unngå en slik ansamling av brennbar gass brenner en flamme på toppen av fakkelen for å tenne gassen når den kommer ut. Når fakkelen er tent unngår man også at det kommer oksygen inn i systemet, noe som kunne skapt eksplosjonsfare.



Figur 5 - Illustrasjon av fakkelsystemet – Fakkell med væskeskiller og fakkeltårn

Fakkeltårnet

Fakkeltårnet står gjerne skrått ut fra plattformen for å hindre at eventuell væske som følger ut fakkelen ikke skal renne ned på plattformen og brenne der. Når fakkelen brenner et stykke ut fra plattformen, vil man også kunne unngå mye av varmestrålingen.



Bilde 2 – Tent fakkell på Statfjord B

Væskeskiller

Før hydrokarbonene havner i fakkelen går den igjennom en væskeskiller. Væskeskilleren er tank som brukes for å skille gass og væske. Tyngdekraften får væsken til å samles i bunn av beholderen. Væsken dreneres vekk, og gassen går ut til fakkelen. Trykkavlastning og kaldt uteklima kan føre til nedkjøling av væsken. For å hindre at det fryser er det installert varmelementer i væskeskilleren. Noe av det verste som kan skje på en plattform er om væskeskilleren blir full, og det kommer væske ut fakkelen. Da vil antent væske renne ned fra fakkelen og havne på sjøen eller på plattformen, og brenne der.

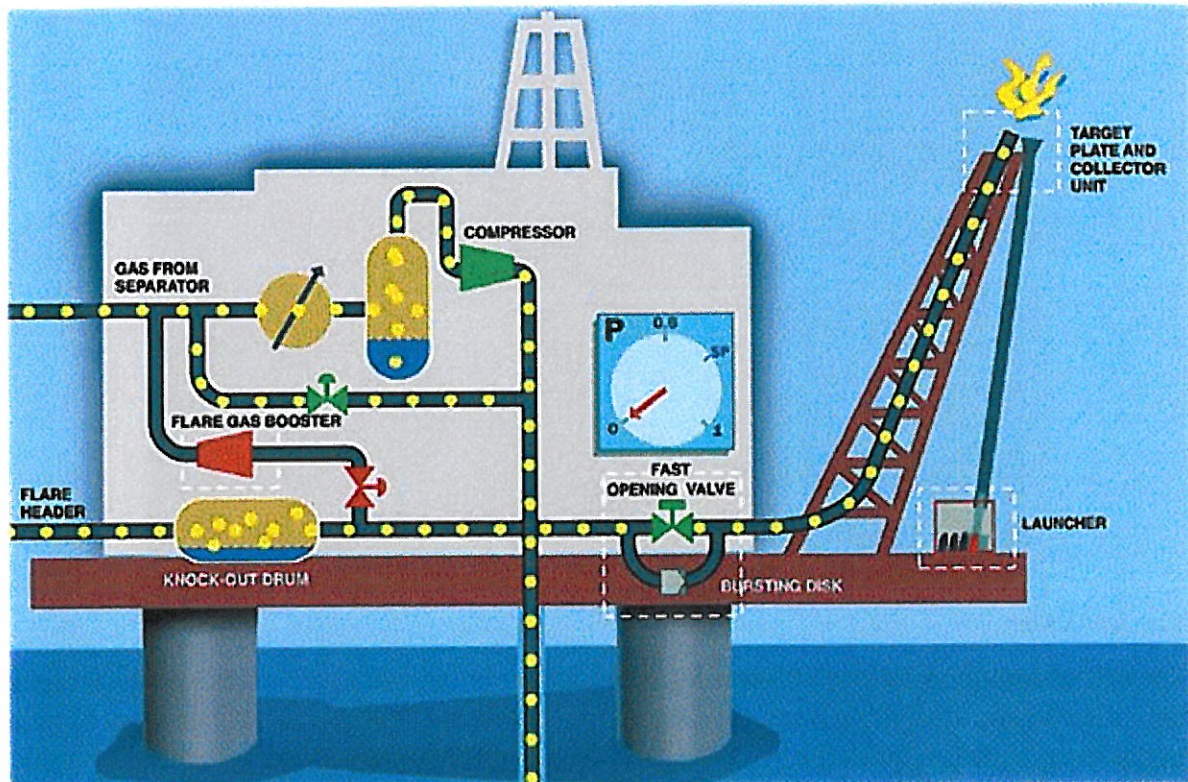
Rørene i fakkelsystemet spyles konstant med brenngass eller inert gass for å unngå at det kommer inn oksygen. Dersom man benytter brenngass, hindrer man at det oppstår brennbar atmosfære ved å holde konsentrasjonen over øvre eksplosjonsgrense (ØEG). Ved bruk av inert gass, som for eksempel nitrogen, fortrenger man oksygenet til et nivå hvor det ikke er mulig å få antennelse.

Fakling innebærer tap av gassressurser og miljølemper i form av store utslipp av CO₂. Gjennom de ti oljebud fra 1971 har Norge sagt at "brenning av utnyttbar naturgass på den norske kontinentsokkel må ikke aksepteres, unntatt for kortere perioder". Oljeselskapene har ikke kunnet produsere olje før de har funnet måter å behandle tilhørende gass, enten ved gasseksport eller tilbakeføring til reservoaret. I 1991 var Norge var et av de første landene i verden som innførte en høy CO₂-avgift. Dette har bidratt ytterligere til en teknologiutvikling og tiltak som har gitt store reduksjoner av utslipp.

Kald eller slukket fakkell

På de fleste moderne installasjoner i Norge i dag er det såkalt "slukket fakkell". Systemet samler og rekomprimerer lekkasjegass, slik at det ikke fakles overhodet ved normal drift. Ved behov åpner en hurtigventil til fakkelen og det starter et system for automatisk tenning av

fakkelen. Det at offshore installasjoner ofte fremstilles med brennende fakkeler er derfor noe misvisende.



Figur 6 - Illustrasjon av et system med kald fakkeler

Kaldventilering

Ved mindre installasjoner er det noen steder benyttet et system med såkalt kaldventilering. Ved kaldventilering ventileres gassen uten å brennes i fakkeler. Løsningen krever at man må ta hensyn til at brennbar gass som slippes ut ikke skaper sikkerhetsproblemer. Av hensyn til dette er det ofte nødvendig å sette begrensninger på hvor hyrtig man kan ventilerer ut hydrokarbongassen. Brønnhodeplattformene på Valhall Flanke er et eksempel på innretninger som benytter seg av kaldventilering.

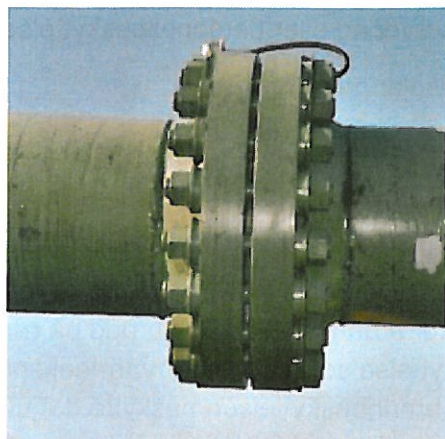
Haugland (1998) og Nedregaard (2003) har mer om trykkavlastning og fakkelsystemet.

2.4 RØRTEKNISK

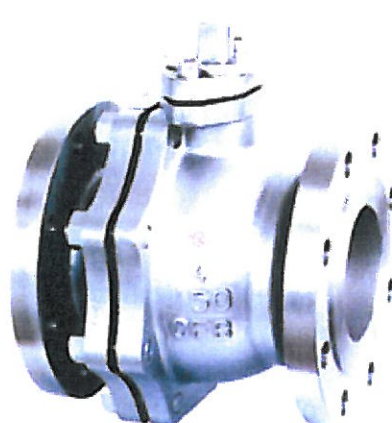
Flenser og ventiler

En flens er en krave med hull for skruebolter, festet på et rør, en sylinder eller en annen maskindel. To maskindeler som er utstyrt med flens kan skrues sammen.

En ventil er organ for avstengning i rørledninger og på beholdere for gass og væsker.



Bilde 3 – Eksempel på en flens



Bilde 4 – Eksempel på en ventil

Trykkgrense, material og annen relevant informasjon beskrives i rørspekifikasjoner. Nye installasjoner benytter stort sett rørspekifikasjoner i henhold til Norsok standard L-001. (Se side 33)

2.4.1 Rørisolasjon

Det kan være forskjellige årsaker til at man ønsker å isolere rør og annet utstyr. Norsok R-004N nevner følgende typer isolering:

- Termisk isolasjon. Av prosessmessige årsaker ønsker man ofte å hindre varmetap eller tilførsel av varme.
- Lydisolasjon. Benyttes for å sikre at spredningen av støy fra rør, ventiler, flenser og utstyr er bedre enn støykravene for arbeidsmiljøet
- Personellbeskyttelse. Ved overflatetemperaturer under $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller over $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ og med en vertikal avstand på 2,1 m og 0,8 m horisontalt fra gangveier og normalt tilgjengelige områder skal det avskjermes. Dersom det ikke er praktisk mulig med avskjerming, eller dersom operasjonstemperaturen overstiger $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, skal det benyttes isolasjon.
- Brannbeskyttelse. Benyttes for å redusere varmetilførsel og dermed være sikker på at temperaturen på rør er mindre enn den gitte kritiske temperaturen for et gitt branntilfelle.
- Isolasjon av rørgjennomføringer.
- Kondensisolasjon. Benyttes for å hindre kondensering på rør og utstyr med lave operasjonstemperaturer.

Av og til vil det være ønskelig med en kombinasjon av forskjellige typer isolasjon, for å kunne dekke flere formål. Ved kombinasjon av flere isolasjonsklasser kommer Norsok R-004N med noen krav. Blant annet skal brannbeskyttelsen alltid skal være det ytterste laget. I kapittel 9 i standarden er det kommentarer til følgende kombinasjoner:

- Brannbeskyttelse kombinert med varmekonservering og lydisolering.

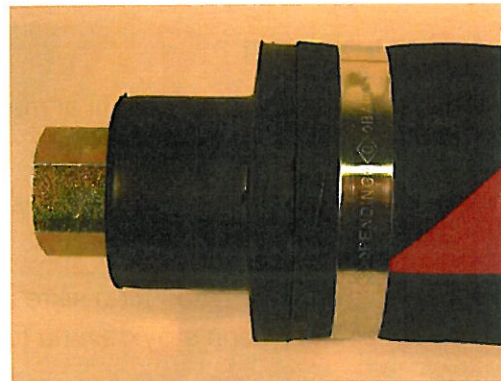
- Lydisolering kombinert med varmekonservering eller personellbeskyttelse.
- Brannbeskyttelse kombinert med kuldeisolering.
- Lydisolering kombinert med kuldeisolering.

Brannisolasjon

Under en brann kan brudd på rør og tanker føre til betydelige utslipp med hydrokarboner. Noen installasjoner vil ha et minimum tid til brudd basert på krav i forbindelse med sikker rømning. Brannisolasjon kan være nødvendig for å unngå at det blir brudd på rør eller tanker under en brann. Isolasjonen vil gi termisk beskyttelse som reduserer varmeeeksponeringen for det beskyttede objektet. Ved en brann skal brannbeskyttelsen beskytte det utstyret den er tiltenkt, slik at funksjonen er opprettholdt gjennom den fastsatte tiden til en dimensjonerende brann. Det kan også være krav til at isolasjonen skal kunne motstå lasten fra en eksplosjon, eller erosjonen fra en jetbrann.

Det finnes flere typer materialvalg for passiv brannbeskyttelse, for eksempel:

- Termisk isolasjon
 - Rockwool med kledning
 - Celleglass med kledning
 - Brannjakker
- Påsprøytingsmaterial
 - Chartek 7
 - Termolag
 - Firetex M90
- Andre material
 - Solent komposittmateriale
 - Trelleborg Viking gummi
 - RISE gjennomføringstetninger



Bilde 5 – Trelleborg Viking isolasjon på hydraulisk rør

Innretningsforskriften stiller krav til passiv brannbeskyttelse av prosessutstyr:

§ 28 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 under en dimensjonerende brann.

Ved utforming av passiv brannbeskyttelse skal det ikke tas hensyn til kjøleeffekten fra brannbekjempelsesutstyr.

For væske og gassfylte rør, sier veiledningen at den passive brannbeskyttelsen bør være tilstrekkelig til å hindre brudd før trykkavlastningen er gjennomført.

For jetbrann henviser veiledningen til Innretningsforskriften §28 til prøvemethoden "*Jet-fire resistance test of passive fire protection materials*".

Ulemper med passiv brannbeskyttelse

Passiv brannbeskyttelse blir ansett som en effektiv metode for å redusere konsekvensene av en brann, men bringer også med seg en del problemer.

Holen (2004) har noen eksempler på uheldige bivirkninger:

- Uheldig materialvalg og utførelse av brannbeskyttelse kan føre til økt risiko for korrosjon og skader på utstyret som beskyttes, med økt risiko for lekkasje som resultat.
- Brannbeskyttelse kan medføre problemer med inspeksjon på grunn av demontering eller reinstallerings av brannjakker/bokser/rørisolasjon. En har da økt risikoen tidligere i hendelseskjeden.
- Passiv brannbeskyttelse på rør og utstyr øker "pakningsgraden" (reduert avstand mellom rør og utstyrsenheter) i en modul. Dette vil øke eksplosjonstrykket.
- Økt utstyrstetthet fører til redusert ventilasjon og dermed større gasskyer for en gitt lekkasje.
- Motstandskreftene på rør og utstyr fra en eksplosjonslast er direkte proporsjonal med diameter. Diameter blir større med passiv brannbeskyttelse enn uten.
- Ved inspeksjon og vedlikehold kreves av- og remontering av eventuell brannbeskyttelse.
- Ofte må spesialpersonell utføre dette arbeidet. Dette medfører mer arbeid, dermed mer personell, økt sannsynlighet for feil, og flere mennesker i faresonen ved en potensiell ulykke.

De uheldige sidene av passiv brannbeskyttelse er bakgrunnen til at nyere standarder og retningslinjer som for eksempel *Guidelines for the Protection of Pressurised Systems Exposed to Fire* (Hekkelstrand og Skulstad, 2004) legger til rette for å i størst mulig grad utnytte andre løsninger.

Bilde 6 viser et eksempel på korrosjon under isolasjon (CUI), som er et kjent problem.



Bilde 6 - Korrosjon under isolasjon

2.4.2 Belastning på rør

For å avdekke om belastningen på et rør eller en tank fører til at det svikter under en brannbelastning, vil det være nødvendig å beregne belastningen som elementet er utsatt for, og sammenligne dette opp mot den tillatte belastningen ved den gitte temperaturen.

Vedlegg C til Scandpowers sine retningslinjer inkluderer to alternative bruddkriterier.

- Spenningskriterium basert på strekkbruddgrense (UTS)
- Duktilt sprengtrykkriterium (deformasjon) basert på strekkbruddgrense (UTS) og indeks "n" for materialherding.

Det som presenteres i Scandpower sine retningslinjer er forenklede metoder. Retningslinjene gir ingen anbefaling om hvorvidt disse kriteriene bør brukes. Det nevnes at metodene generelt gir gode resultater for elementer med høyt innvendig trykk. Ved lavere trykk er metodene mer usikre, da det kan være at andre laster enn trykket blir dominerende. For de mest kritiske prosesselementene anbefales det å vurderes å utføre en FEM (Fine Element Method) analyse. FEM er en numerisk teknikk for å finne tilnærmede svar på partielle differensialligninger og integraler.

Tangentialspenningen (hoop stress) forårsakes av trykket inne i røret, og er den dominerende spenningsfaktoren ved høye trykk. Strekkspenningen (longitudinal stress) vil være den dominerende spenningskomponenten ved lave trykk, og er en sum av flere faktorer:

- Aksialspenning på grunn av trykk.
- Spenning på grunn av vekten av rør/ventiler/armatur/grenrør og lignende.

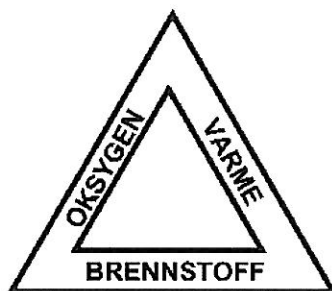
- Begrensninger på grunn av rørstøtter og termisk forlengelse av rør.

Det utføres egne analyser innen rørdisiplinen, som gir viktige input i denne sammenheng.

2.5 BRANNTTEORI

2.5.1 Branntrekanten

For å starte og opprettholde forbrenningen er det tre betingelser som må være tilstede. Man må ha brensel, oksygen og varme. Hvis ikke alle disse er til stede, vil ikke brannen kunne brenne. Dette blir ofte illustrert med en branntrekant.



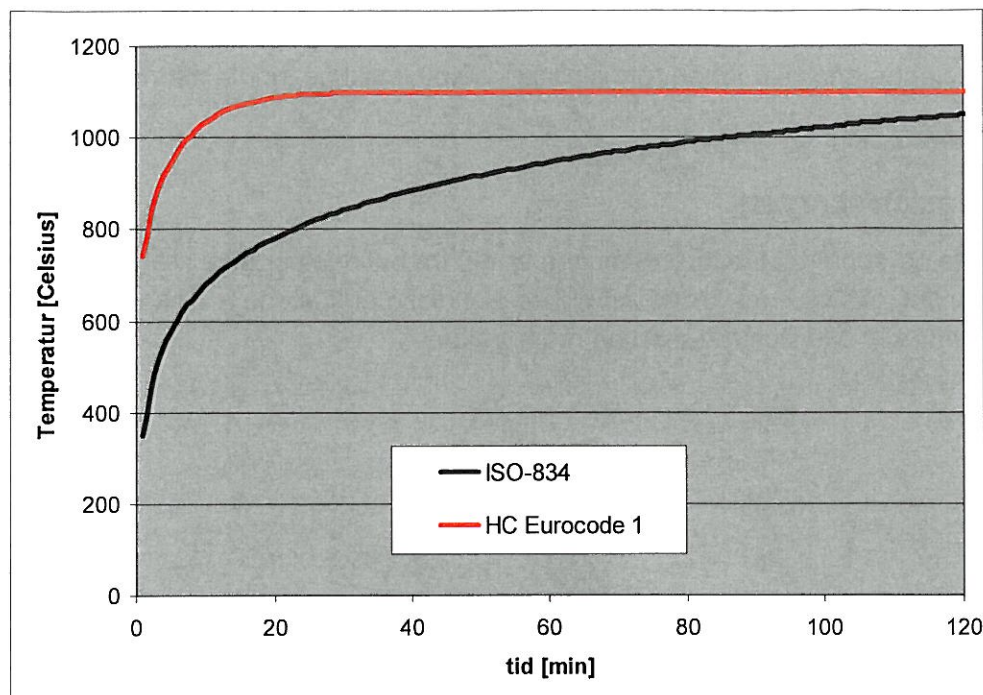
Figur 7 – Branntrekanten

Noe litteratur tar også med de kjemiske kjedereaksjonene som skjer i en brann, og har utvidet branntrekanten til en brannfirkant. (Hagen, 2004)

Hydrokarboner er brann- og eksplosjonsfarlige i blanding med atmosfærisk luft. På et prosessanlegg vil en lekkasje med hydrokarboner føre til at brennstoff får tilgang på oksygen, og en gnist eller en varm overflate vil ha potensial til å starte en brann. Ved å trykkavlaste systemet fjerner man brennstoffet, og hindrer på den måten eskalering av brannen.

2.5.2 Hydrokarboner og hydrokarbonbranner

Hydrokarboner brenner som kjent meget godt, og vokser raskt til en høyere temperatur enn vanlige branner. Dette kommer godt fram når man ser på standard brannkurver. Brannkurver benyttes i de fleste land i verden for å teste brannvirkningen på blant annet bygningsmaterialer og strukturelementer. Det blir foretatt fullskalatester i ovner som fyres slik at temperaturen følger en standard temperatur/tid - kurve. Blant de aller vanligste kurvene er ISO 834, som blant annet brukes mye for branner i vanlige bygg. Hydrokarbonkurven (Eurocode 1) er ment å brukes der hvor testobjektet er omhyllet av flammer fra en stor væskedamsbrann. (Buchanan, 2001, s 97). Figur 8 viser kurvene, som viser at en brann med hydrokarboner vokser svært raskt til en høy temperatur i forhold til en "konvensjonell" brann.

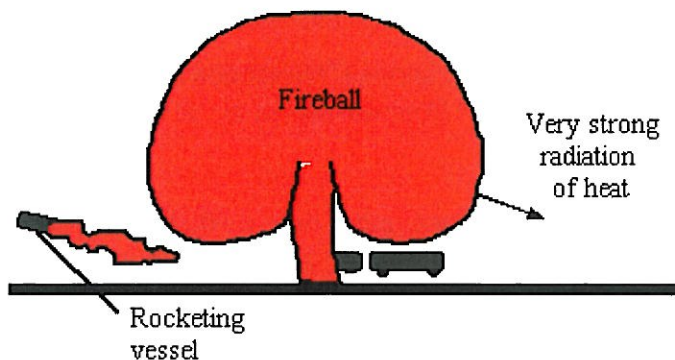


Figur 8 – Noen brannkurver

Når hydrokarboner lekker ut og antenner, vil det kunne oppstå forskjellige typer branner. Hva slags brann som oppstår vil være avhengig av det omgivende miljøet, og hvordan utslippet foregår. Noen relevante scenarier i forbindelse med denne oppgaven er:

- **Væskedamsbrann**, når et utslipp med brennbar væske tar fyr i friluft, på et horisontalt og fast underlag eller på sjøen.
- **Brann i rennende væske**, når brennbar væske frigis over en flate som ikke er horisontal, og, og strømmer langs overflaten. "Ny kunnskap om brann offshore" (Stensaas og Mostue, 2005) foreslår at man behandler en rennende væskebrann som "væskedamsbrann med overflateareal lik den frie overflaten mellom væskefilmen og luften".
- **Jetbrann** når hydrokarboner frigis og brenner under høyt trykk. Dersom hydrokarbonene er i væskeform, spres den opp i små dråper. En slik jet kalles også *spraybrann*. I følge Sintef rapporten "Ny kunnskap om brann offshore" (Stensaas og Mostue, 2005) har en spraybrann veldig lik karakteristikk som en jetbrann.
- **Eksplasjon**. Dersom det bygger seg opp en sky med brennbar gass som tar fyr, og forholdene ligger til rette. Bjerketvedt et al. (1993) skriver mer om dette.
- **BLEVE** (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). En BLEVE er en type eksplosjon som kan inntreffe når en beholder svikter, med en trykksatt væske som er langt over sitt atmosfæriske kokepunkt. Når dampen slipper ut av beholdere, synker trykket i beholderen og væsken. Dette kan forårsake en voldsom koking, som kan føre til en eksplosjon som kan ødelegge beholderen og slynge fragmenter rundt. Deler av tanken kan få en raketteffekt og fly store avstander. Dersom dampen er

brennbar og antenner kan en BLEVE resultere i voldsomt store ildkuler, med meget sterk stråling. Figur 9 illustrerer BLEVE med ildkule. (Bjerketvedt, Bakke og van Wingerden, 1993) Virkningen av eksplosjonen og fragmentene (missil) er det farligste for bygningsdeler og prosessanlegg. Strålingseffekten er den farligste faktoren for mennesker, men med en typisk varighet på 5-30 sekunder, er det neppe nok til å gi skader på bygningsdeler eller prosessanlegg (Andreassen et al., 2004).



Figur 9 - BLEVE og ildkule

Brann typer i standarder og retningslinjer

I standarder og retningslinjer som NORSOK S-001, "Guidelines for the Protection of Pressurised Systems Exposed to Fire", og "Guidelines for the Design and Protection of Pressure Systems to Withstand Severe Fires" deles gjerne branner inn i jetbranner og væskedamsbranner, eller en kombinasjon av disse. Det vil være vanskelig å dimensjonere for konsekvensene av en så alvorlig hendelse som en BLEVE, så mot slike scenarier forsøker man å redusere sannsynligheten fremfor konsekvensen.

Innelukket og ventilasjonskontrollert brann

Det blir også tatt hensyn til i hvilken grad brannene er innelukket og om brannen er ventilasjons- eller brenselskontrollert. Om brannen er innelukket eller oppstår i det fri, og om det er en væskedamsbrann eller en jetbrann vil kunne ha stor betydning for brannkarakteristikken. Dersom en brann er lukket inne, vil det etter hvert stråle tilbake varme fra oppvarmede vegger, tak, og gulv. Denne varmen bidrar til at temperaturen, og dermed forbrenningen øker. Dermed kan innelukkede branner bli mer intense, så lenge det er tilstrekkelig tilgang på luft. Det er også flere andre faktorer som spiller inn. Stensaas og Mostue, (2005, s. 11-25) skriver mer rundt dette.

Væskedamsbrann

Ved lekkasje av hydrokarbon i væskeform vil det kunne oppstå en væskedamsbrann. Ved en væskebrann vil størrelsen og varigheten til brannen avhenge av hvor stort område væsken spres over.

Dersom væsken ikke hindres i å spre seg av spillkanter eller lignende, vil væsken kunne spre seg over et stort areal. Etter væsken har tatt fyr, vil brannens størrelse avhenge av utslippsraten. Jo større arealet med den brennende væsken blir, desto større blir brannen og forbrenningsraten. Veksten vil stoppe når det blir likevekt mellom lekkasjerate og

forbrenningsrate. Når lekkasjen tar slutt, vil væskelaget være så tynt, at brannen vil være over på relativt kort tid. Varigheten til væskebranner av denne typen, er derfor begrenset til utslippsvarigheten. (Andreassen et al., 2005)

Der hvor det er spillkanter, vil brannen omhylle alt utstyr innen området. Alt utstyr i nærheten vil bli eksponert for varmestråling. Dersom lekkasjen stoppes, vil brannen fortsette til væskelaget er forbrent. Varigheten kan estimeres ved å beregne forbrenningsraten over det brennende arealet, og se denne opp mot den totale massen som er sluppet ut.

Mer om dette, og beregningsmetoder, finnes i "Handbook for Fire Calculations and Fire Risk Assessment in the Process Industry" (Andreassen et al., 2004)

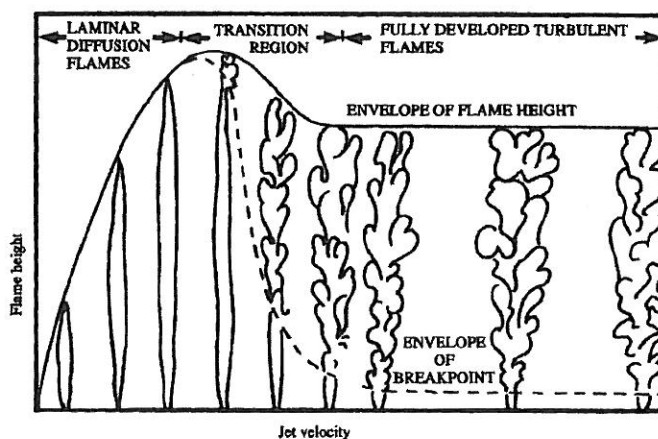
Jetbrann

Ved lekkasjer hvor hydrokarboner finnes under høyt trykk, kan det oppstå en gassjet, væskejet eller en blanding av de to. Dersom en slik jet begynner å brenne, får man en jetbrann. Lekkasjer av denne typen kan oppstå blant annet i flenser og ved svikt i rør.



Figur 10 - Jetlekkasje i en flens

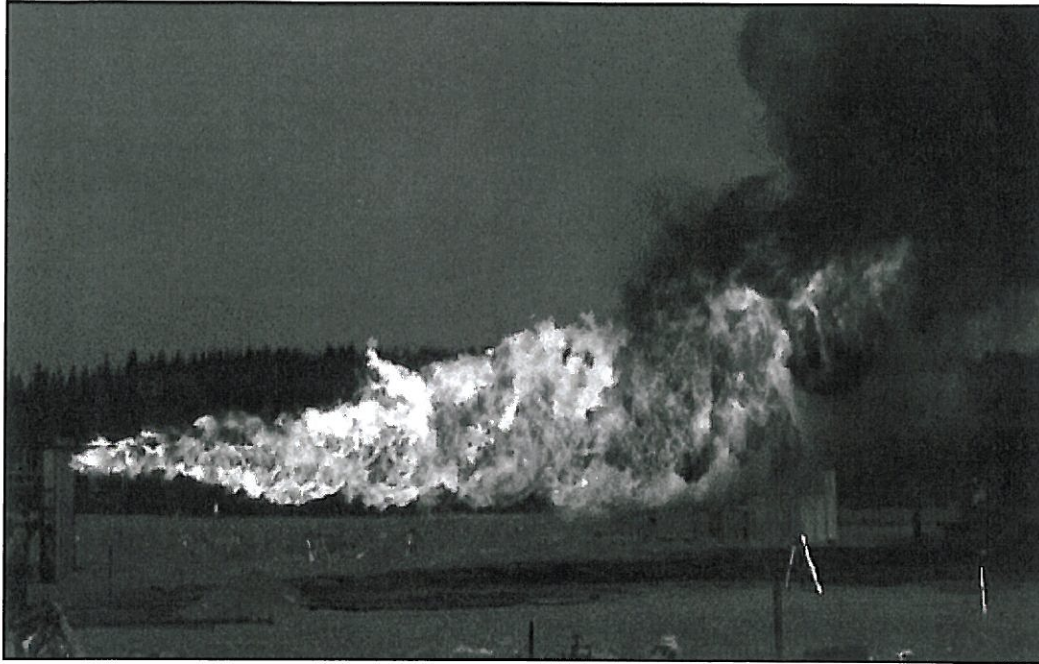
I konvensjonelle branner er det oppdriftskrefter som er den drivende faktoren, men i en jetbrann vil trykkstrømmen være den dominerende kraften. En jetbrann som oppstår som følge av en gasslekkasje under høyt trykk, vil ha fasong omtrent som en kjegle, med en åpningsvinkel på 20-25 grader. (Andreassen et al., 2004)



Figur 11 - Overgang fra laminær til turbulent jetflamme.

Figur 11 viser hvordan flammefasongen varierer med økende hastighet på jetstrømmen. Til å begynne med øker lengden med flammehastigheten, helt til det begynner å oppstå turbulens ytterst på flammen. Videre avtar lengden på flammen, til lengden blir omtrent konstant for en fullt turbulent jetflamme. (Drysdale, 1999)

Ved større jetbranner vil det kunne være en del røykproduksjon som kan dekke deler av flammesøylen.

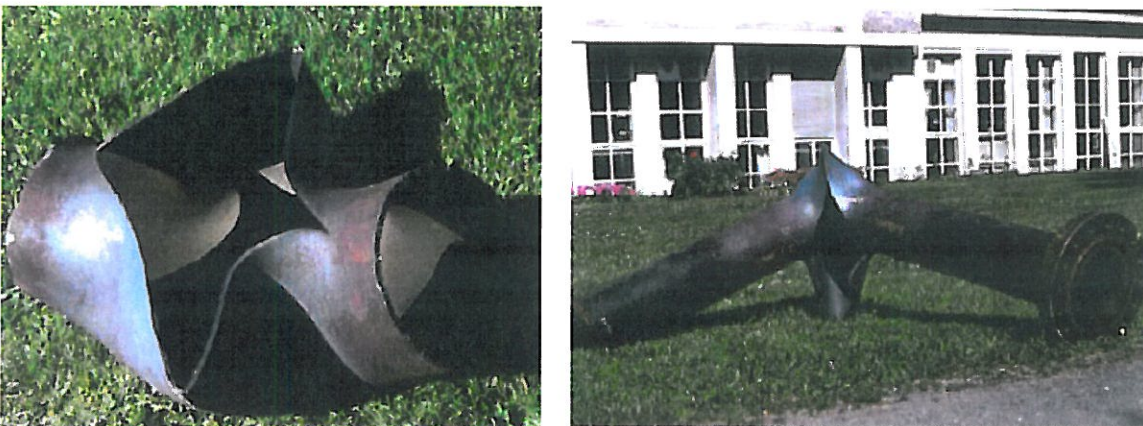


Bilde 7 - Jetflamme

Varmelast og erosjonsvirkning

Jetbranner er gjerne høyturbulente, da de har sin rot i strømninger med brensel lagret under høyt trykk. På grunn av turbulensen blander brenselet seg mer effektivt med luft, og jetbranner brenner mer effektivt og med en høyere temperatur en vanlige oppdriftsdrevne branner. I tillegg til varmelast vil jetbranner ha en erosjonsvirkning på det den treffer.

Bilde 8 viser trykksatte rør som sviktet etter å ha blitt eksponert av en jetflamme.



Bilde 8 - Rør som har sviktet etter eksponering av en jetflamme

Varighet

Jetbrannens varighet avhenger av varigheten på lekkasjen. Dersom lekkasjen stoppes, vil brannen stoppe raskt.

2.5.3 Brannlaster

I beredskapsanalysen identifiseres hvilken tid som er nødvendig for beredskapsaktiviteter som for eksempel evakuering, brannbekjempelse og skadebegrensning. I løpet av denne tiden er det kritisk at brannintegriteten til blant annet rør og utstyr opprettholdes, slik at brannen for eksempel ikke eskalerer og blir en større trussel. Tiden vil kunne ha direkte innvirkning på hvilke integritetskrav som bør settes for rør og utstyr.

Brannscenariene som skal vurderes er spesifisert i en DAL- (Design Accidental Load), eller på norsk DUL (dimensjonerende ulykkeslast), spesifikasjon. For å oppfylle akseptkriteriene, må hovedsikkerhetsfunksjonene være opprettholdt når innretningen eksponeres for DAL. (Se under kapittel 3.4.3 Innretningsforskriften, s.27)

NORSOK S-001 definerer dimensjonerende ulykkeslast som *"den mest alvorlige ulykkeslasten en funksjon eller et system skal kunne motstå i det tidsintervallet som kreves, for at de definerte akseptkriteriene for risiko skal være oppfylt"*

Scandpower sine retningslinjer og NORSOK S-001 foreslår følgende verdier for varmelaster:

Tabell 1 - Varmelaster oppgitt i NORSOK S-001 og retningslinjene fra Scandpower

	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

Tabell 1 gir at jetbranner har forskjellige verdier, avhengig av størrelsen på lekkasjeraten. Siste utgave av NORSOK S-001 (4. utgave, 2008) er oppdatert med en tilsvarende tabell, og sier at den er gjeldende dersom det ikke utføres spesifikke brannanalyser.

NORSOK S-001 sier følgende om inndelingen i global gjennomsnittlig varmelast og lokal maksimal punktlast:

"The global average heat load represents the average heat load that expose a significant part of the process segment or structure. The global average heat load provides the major part of the heat input to the process segment and, hence, affects the pressure in the segment."

The local peak heat load exposes a small (local) area of the process segment or of the structure to the peak heat flux. The local peak heat load, with the highest heat flux, determines the rupture temperature of different equipment and piping within the process segment. The local peak heat load has marginal influence on the pressure profile within the process segment."

Nyere forskning

De siste årene er det gjort forskning som gir innspill rundt verdiene for brannlaster. I 2005 kom SINTEF med 2. utgave av rapporten "Ny kunnskap om brann offshore", hvor resultatene av de siste 10 års forskning gjennomgås (Stensaas og Mostue, 2005). Rapporten ser blant annet på de anbefalte varmelastene i NORSOK S-001 og Scandpower sine retningslinjer,

opp mot forskningsresultater. Det konkluderes med at varmelastene i NORSOK og retningslinjene fra Scandpower er vesentlig lavere enn det som er målt i storskala forsøk med slike branner. Dette gjelder spesielt for åpne og innelukkede væskedamsbranner. For jetbranner synes verdiene som foreslås i disse standardene å være omtrent på samme nivå som det Norges branntekniske laboratorium (NBL) har erfart. Rapporten tyder på at varmelastene som benyttes i standarder i dag, er underdrevne for jetbranner og væskedamsbranner i stor skala.

Tabell 2 viser Sintef NBL sin anbefaling av varmelaster for væskedamsbranner og jetbranner i det fri og i lukket rom (ventilasjonskontrollert brann):

Tabell 2 - Varmelaster anbefalt av Sintef

Branntype	Maksimal varmelast (punktlast) (kW/m²)	Gjennomsnittlig, effektiv varmelast (kW/m²)
Brann i råolje i det fri eller delvis lukket rom (brenselskontrollert brann)	250	200
Brann i råolje i lukket rom (ventilasjonskontrollert brann)	350	200
Jetbrann i det fri:	400	350 for $m_f > 2$ kg/s 250 for $m_f < 2$ kg/s

3 REGELVERK, MYNDIGHETSKRAV, OG STANDARDER

3.1 MYNDIGHETER

Oljedirektoratet (OD) ble opprettet av Stortinget 14. juni 1972. Direktoratet fikk base i Stavanger, og ansvar for forvaltningen av olje- og gassressursene på norsk kontinentalsokkel. OD hadde også ansvar for sikkerhet og arbeidsmiljø.

I 2004 ble OD delt i to selvstendige etater; OD og Petroleumstilsynet (Ptil). Ptil overtok myndighetsansvaret for sikkerhet, beredskap og arbeidsmiljø i petroleumsvirksomheten på sokkelen og enkelte anlegg på land. Ptil har i dag ansvar for å koordinere det samlede tilsynet med helse, miljø og sikkerhet (HMS) i forbindelse med denne virksomheten.

3.2 GENERELT OM LOVVERKET

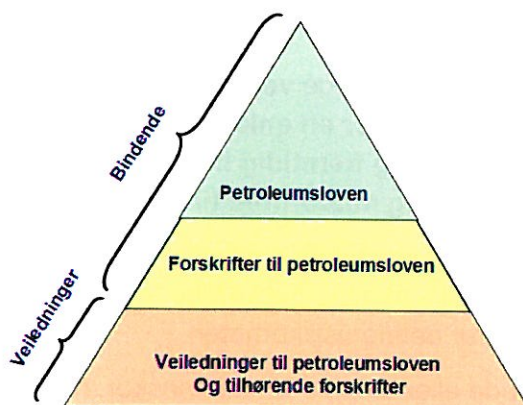
I 2001 kom det en ny forskrift om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten, fastsatt av Kongen i statsråd. Samme år har Oljedirektoratet (senere Ptil), Statens forurensningstilsyn og Statens helsetilsyn fastsatt fire utfyllende forskrifter. Disse forskriftene trådte i kraft 1.januar 2002, og i dag er det Ptil som forvalter de gjeldende forskrifter for sikkerhet og beredskap, sammen med Statens forurensningstilsyn (SFT) og Helsedirektoratet.

Det nye regelverket er risikobasert. Regelverket angir hvilket sikkerhetsnivå som skal oppnås, men ikke hvordan. Det betyr at aktørene selv må komme fram til hvordan myndighetskravene skal oppfylles.

For det meste er forskriftene formulert med funksjonskrav. Petroleumstilsynet (2008) skriver at *"Funksjonskravene stiller krav til de ulike sidene, egenskapene eller kvalitetene som et produkt, en prosess eller en tjeneste skal ha. Kravet uttrykker det produktet, prosessen eller tjenesten skal gi som resultat, det tilsynsmyndighetene vil oppnå med kravet."*

Veiledningene har som hensikt å vise hvordan forskriftene kan oppfylles, og er ikke bindende. Det er meningen at forskrifter og veiledninger må ses i en sammenheng for å best mulig forstå hvordan kravene kan oppfylles. Veiledningene brukes også for å gi informasjon om regelverket.

Figur 12 illustrerer lovhierarkiet.



Figur 12 - Lovgivningshierarkiet i Norge

I forbindelse med noen av forskriftskravene henviser den tilhørende veiledningen til anbefalte løsninger. De anbefalte løsningene er blant annet industristandarder. Ved å følge de anbefalte løsningene vil kravet være å anse som oppfylt. Dersom man velger å finne en alternativ løsning, må man kunne dokumentere at løsningen er minst like god som den anbefalte løsningen.

3.3 LOV OM PETROLEUMSVIRKSOMHET

Petroleumsloven ligger under Ptil sitt myndighetsområde, og omhandler petroleumsvirksomhet på den norske kontinentalsokkelen. Loven tar for seg leting etter petroleum, utbygging av petroleumfelt, produksjon av petroleum og avslutning av petroleumsvirksomhet.

3.4 FORSKRIFTER

De første årene ble det benyttet maritime retningslinjer og API - standarder, frem til den første sikkerhetsforskriften " Forskrifter for produksjons- og hjelpesystemer på produksjonsanlegg m.v." ble gitt ut av Oljedirektoratet i 1978.

Alle de fem forskriftene for norsk sokkel har tilhørende veiledninger. Veiledningene er ikke juridisk bindende, men i henhold til Ptil bør de sees i sammenheng med forskriftene for å få en best mulig forståelse av det myndighetene ønsker å oppnå med forskriftene.

3.4.1 Rammeforskriften

Forskrift om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten er en overordnet forskrift, som gir rammene for en helhetlig og forsvarlig petroleumsvirksomhet.

I Rammeforskriften kommer blant annet prinsippet for ALARP (As Low As Reasonably Practicable) frem.

§9 – Prinsipper for risikoreduksjon

Skade eller fare for skade på mennesker, miljø eller materielle verdier skal forhindres eller begrenses i tråd med helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen, herunder interne krav og akseptkriterier. **Utover dette nivået skal risikoen reduseres ytterligere så langt det er mulig.** Vurderinger ut fra denne bestemmelsen skal gjøres i alle faser av

petroleumsvirksomheten.

Ved reduksjon av risiko skal den ansvarlige **velge de tekniske, operasjonelle eller organisatoriske løsningene som etter en enkeltvis og samlet vurdering av skadepotensialet og nåværende og fremtidig bruk gir de beste resultater, så sant kostnadene ikke står i et vesentlig misforhold til den risikoreduksjonen som oppnås.**

Dersom man mangler tilstrekkelig kunnskap om hvilke virkninger bruk av de tekniske, operasjonelle eller organisatoriske løsningene kan ha for helse, miljø eller sikkerhet, skal det velges løsninger som reduserer denne usikkerheten.

Faktorer som kan volde skade eller ulempe for mennesker, miljø eller materielle verdier i petroleumsvirksomheten skal erstattes med faktorer som etter en samlet vurdering har mindre potensial for skade eller ulempe.

Utfyllende forskrifter

De generelle prinsippene i rammeforskriften blir forklart mer detaljert i fire utfyllende forskrifter:

- Forskrift om styring i petroleumsvirksomheten (Styringsforskriften)
- Forskrift om materiale og opplysninger i petroleumsvirksomheten (Opplysningsforskriften)
- Forskrift om utforming og utrusting av innretninger med mer i petroleumsvirksomheten (Innretningsforskriften)
- Forskrift om utføring av aktiviteter i petroleumsvirksomheten (Aktivitetsforskriften)

3.4.2 Styringsforskriften

Forskrift om styring i petroleumsvirksomheten omhandler hvordan aktiviteten skal styres. Forskriften samler alle overordnede krav til styring på helse-, miljø- og sikkerhetsområdet, og inneholder krav til blant annet risikoreduksjon, styringselementer, ressurser og prosesser, analyser og måling, tilsyn og forbedring.

Forskriften kommer med krav til risikoreduksjon og barrierer:

§ 1 Risikoreduksjon

Ved reduksjon av risiko som nevnt i rammeforskriften § 9 om prinsipper for risikoreduksjon, skal den ansvarlige velge tekniske, operasjonelle og organisatoriske løsninger som reduserer sannsynligheten for at det oppstår feil og fare- og ulykkessituasjoner.

I tillegg skal det etableres barrierer som

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

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

De løsningene og barrierene som har størst risikoreduserende effekt, skal velges ut fra en enkeltvis og samlet vurdering. Kollektive vernetiltak skal foretrekkes framfor vernetiltak som er rettet mot enkeltpersoner.

§ 2 Barrierer

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

Det skal være kjent hvilke barrierer som er etablert og hvilken funksjon de skal ivareta, jf. § 1 om risikoreduksjon andre ledd, samt hvilke krav til ytelse som er satt til de tekniske, operasjonelle eller organisatoriske elementene som er nødvendige for at den enkelte barrieren skal være effektiv.

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

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

I kapittel 4 kommer det frem krav til analyser:

§ 13 Generelle krav til analyser

Den ansvarlige skal sikre at det utføres analyser som gir det nødvendige beslutningsunderlaget for å ivareta helse, miljø og sikkerhet. Ved utføring og oppdatering av analysene skal det brukes anerkjente modeller, metoder og teknikker og de beste tilgjengelige dataene.

Veiledningen til § 13 sier:

Med anerkjente modeller, metoder og teknikker som nevnt i første ledd, menes de som er testet ut og validert før bruk.

Kravet om å bruke de beste tilgjengelige dataene som nevnt i første ledd, innebærer blant annet at dataene skal være representative og gyldige. Begrensninger i datagrunnlaget bør være synliggjort og tilgjengelig.

3.4.3 Innretningsforskriften

Forskrift om utforming og utrustning av innretninger med mer i petroleumsvirksomheten regulerer utforming og utrusting av innretninger, sikkerhetsfunksjoner og laster, materialer, arbeids- og oppholdsområder, fysiske barrierer og beredskap.

Kravene i forskriften er funksjonskrav, med henvisninger til nasjonale og internasjonale standarder.

Under følger et utdrag fra noen relevante paragrafer:

§ 4 Utforming av innretninger

Innretninger skal baseres på robuste og enklest mulige løsninger og utformes slik at

- de kan motstå laster som nevnt i § 10 om laster, lastvirkninger og motstand, storulykkesrisikoen blir så lav som praktisk mulig,
- svikt i en komponent, i et system eller en enkelt feilhandling ikke gir uakseptable konsekvenser,
- hovedsikkerhetsfunksjonene som nevnt i § 6 om hovedsikkerhetsfunksjoner, opprettholdes,
- materialhåndtering og transport kan foregå effektivt og forsvarlig, jf. § 12 om materialhåndtering og transportveier, atkomst- og evakueringsveier,
- det legges til rette for et forsvarlig arbeidsmiljø, jf. kapittel III-II om utforming av arbeids- og oppholdsområder,
- operasjonelle forutsetninger og begrensninger ivaretas på en forsvarlig måte,
- det legges til rette for at helsemessige forhold ivaretas på en forsvarlig måte,
- det legges til rette for lavest mulig risiko for forurensning,
- det legges til rette for et forsvarlig vedlikehold.

Tiltak for å beskytte innretninger mot branner og eksplosjoner skal ha sin basis i en strategi.

Innretningens områder skal klassifiseres slik at utforming og plassering av områder og utstyr bidrar til å redusere risiko relatert til branner og eksplosjoner.

Områder der det oppholder seg personell, eller der utstyr av sikkerhetsmessig betydning er plassert, skal ikke kunne treffes av bølger med en årlig sannsynlighet større enn 1×10^{-2} .

Veiledningen til § 4 Utforming av innretninger

For å oppfylle kravene til utforming som nevnt i første ledd, bør standardene ISO 13702 med vedlegg, NORSOK S-001 og S-002N revisjon 4 brukes for helse- og sikkerhetsdelen.

For å oppfylle kravet om en strategi som nevnt i andre ledd, bør standarden ISO 13702 brukes.

§6 Hovedsikkerhetsfunksjoner

Hovedsikkerhetsfunksjonene skal defineres på en entydig måte for hver enkelt innretning slik at sikkerheten for personell ivaretas og forurensning begrenses.

For permanent bemannede innretninger skal følgende hovedsikkerhetsfunksjoner opprettholdes ved en ulykkessituasjon:

- a) hindring av eskalering av ulykkessituasjoner slik at personell som er utenfor den umiddelbare nærheten av ulykkesstedet, ikke skades,

- b) opprettholdelse av hovedbæreevnen i bærende konstruksjoner inntil innretningen er evakuert,
- c) beskyttelse av rom som er av betydning for bekjempelse av ulykkehendelser slik at de er operative inntil innretningen er evakuert, jf. § 29 om brannskiller,
- d) beskyttelse av innretningens sikre områder slik at disse er intakt inntil innretningen er evakuert,
- e) opprettholdelse av minst én evakueringsvei fra ethvert område der personell kan oppholde seg inntil evakuering til innretningens sikre områder og redning av personell er gjennomført.

§ 10 Laster, lastvirkninger og motstand

Lastene som kan virke på innretninger eller deler av innretninger, skal fastsettes. Ulykkeslaster og naturlaster med en årlig sannsynlighet større enn eller lik 1×10^{-4} , skal ikke medføre tap av en hovedsikkerhetsfunksjon, jf. § 6 om hovedsikkerhetsfunksjoner.

Ved fastsettelse av laster skal det tas hensyn til virkningene av innsynking av havbunnen over eller i tilknytning til reservoaret.

Funksjons- og naturlaster skal kombineres på den mest ufordelaktige måten.

Innretninger eller deler av innretninger skal kunne motstå de dimensjonerende lastene og sannsynlige kombinasjoner av disse lastene til enhver tid.

Forskriften stiller krav til passiv brannbeskyttelse i § 28. Dette er beskrevet under "brannbeskyttelse", side 14.

§ 32 Nødvastengningssystem sier at ISO 13702 sammen med NORSOK S-001, bør benyttes for utformingen av systemet.

§ 34 Gassutslippssystem

Kravet til gassutslippssystemet som nevnt i første ledd, innebærer at brennbare eller helsefarlige gasser skal ledes til et sikkert utslippsted, og at den eventuelle varmebelastningen skal beregnes, jf. § 10 om laster, lastvirkninger og motstand.

For å oppfylle kravet til gassutslippssystem som nevnt i første ledd, bør standardene ISO 13702 kapittel 6 og vedlegg B.2, NORSOK S-001 kapittel 6.9 og vedlegg E og P-100 kapittel 16 brukes, med følgende tillegg:

- a) hurtig trykkavlastning bør velges framfor passiv brannbeskyttelse. For brannlaster vises det til § 10 om laster, lastvirkninger og motstand,
- b) ved utforming av gassutslippssystemer bør hensynet til det ytre miljøet ivaretas ved at brennbare, giftige eller korrosive gasser fortrinnsvis brennes i en fakkell.

I tillegg til manuell utløsning som nevnt i andre ledd, kan aktiviserings signaler også komme fra relevante sikkerhetssystemer som nødavstengningssystemet.

For å sikre væskeutskillere mot overfylling som nevnt i tredje ledd, bør produksjonen stenges ned ved høyt væskeniivå.

3.5 STANDARDER

Veiledningene til forskriftene er det flere steder henvist til anerkjente standarder. Følges disse standardene, vil forskriftens bestemmelser være fulgt. De fleste norske bransjestandardene, utgitt av for eksempel NORSOK, Det norske Veritas (DnV) og Oljeindustriens Landsforening (OLF), er gratis tilgjengelig på internett. ISO-standarder og andre internasjonale standarder kan bestilles hos den nasjonale standardiseringsorganisasjonen.

3.5.1 American Petroleum Institute (API)

American Petroleum Institute er et forbund for å ivareta felles interesser i petroleumsindustrien. API representerer alle sider ved olje- og gassindustrien i USA, inkludert sikkerheten, og står bak en flere standarder og sikkerhetsforskrifter, samt prosedyrer, spesifikasjoner og statistikker.

API RP 520 - Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Refining Devices in Refineries

Standarden er todelt. Første del gjelder for dimensjonering og valg av trykkavlastningsinnretninger til bruk i raffineri og relatert industri, for utstyr som har tillatt maksimalt arbeidstrykk på 15psig/103 kPag og høyere.

Standarden inkluderer grunnleggende definisjoner og informasjon om driftsdata og anvendelsen av forskjellig trykkavlastningsutstyr, samt prosedyrer for dimensjonering og metoder basert på "stabil tilstandsstrømning – steady state flow" av Newtonske væsker.

Andre del tar for seg metoder for installasjon av trykkavlastningsutstyr for utstyr som har maksimalt tillatt arbeidstrykk på 15psig/103 kPag og høyere. Trykkavlastningsventiler eller bristeskiver kan brukes uavhengig eller i kombinasjon for å gi nødvendig beskyttelse mot uønsket trykkoppbygning.

API RP 521 - Guide for Pressure-relieving and Depressuring Systems

Dette dokumentet er blitt tatt opp av den internasjonale standardiseringsorganisasjonen ISO, som "ISO 23251 - Petroleum petrochemical and natural gas industries – Pressure relieving and depressuring systems."

Den nå internasjonale standarden for trykkavlastnings- og damptrykkavlastningssystemer, er først og fremst ment for bruk i oljeraffineri, men er også egnet for petrokjemisk industri, gassanlegg, LNG – anlegg, og anlegg for olje- og gassproduksjon.

Standarden spesifiserer krav, og gir retningslinjer for å undersøke hovedårsakene til overtrykk, bestemme individuell avlastningsrate, og designe avlastningssystemer, inkludert elementer som rør, tanker, fakkell, og ventilasjonsrør.

API RP 521 sier blant annet at:

- For tanker eksponert for væskedamsbranner, med veggtykkelse på 25,4 mm (1 tomme) eller tykkere, anbefales at trykket reduseres til 50% av tankens designtrykk innen omtrent 15 minutter.
- For tanker med tynnere vegger kreves generelt sett en noe raskere trykkavlastningsrate

I mai 2008 kom det en ny utgave av API 521. Den nye versjonen av standarden er ikke blitt gått inn på i denne oppgaven. Det kan likevel nevnes at den siste versjonen blant annet sier at ligningene den benytter i forbindelse med bedømmelse av brannomfanget, kan være underdrevet for tanker i delvis eller helt innelukkede branner. Videre henviser standarden til Scandpower sine retningslinjer og de britiske retningslinjene, som alternative metoder for å beregne alle typer og størrelser av branner.

3.5.2 Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen (ISO)

Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen (ISO) er en global sammenslutning av nasjonale standardiseringsorganer. I mars 2005 bestod ISO av nasjonale standardiseringsforbund i 149 land. I alt 3000 tekniske grupper utvikler standarder, ca. 50 000 eksperter bidrar årlig til organisasjonen. Det er utgitt ca. 15 000 ISO-standarder.

Norges Standardiseringsforbund er medlem i ISO og har norsk enerett på salg av ISO-standarder og på godkjenning av disse som Norsk Standard, NS-ISO Standard, enten på engelsk eller fransk eller i norsk oversettelse og bearbeidet for norske forhold. (Store Norsk Leksikon, 2009)

ISO 13702:1999

"Petroleum - og naturgassindustri – Kontroll og reduksjon av brann og eksplosjoner på produksjonsinstallasjoner til havs – Krav og retningslinjer" (ISO 13702:1999)

Standarden kan anvendes for faste offshoreinnretninger, og flytende innretninger for produksjon, lagring og lossing (FPSO).

Gjennom en evaluering av farene på offshoreplattformen, velges det tiltak for kontroll og reduksjon av brann og eksplosjoner. Metodologiene og anbefalingene vil blant annet variere avhengig av produksjonsprosessen, anleggstype, bemanning og miljøforhold.

I innretningsforskriften er standarden henvist til sammen med NORSOK S-001, og "bør" brukes i forbindelse med utforming av innretninger, nødavstengningssystem og gassutslippssystem.

3.5.3 NORSOK - standarder

NORSOK - standardene utvikles av den norske petroleumsindustrien for å ivareta tilfredsstillende sikkerhet, verdiskaping og kostnadseffektivitet for utbygging og drift i petroleumsindustrien. Videre er det meningen at NORSOK - standardene skal, så langt som mulig, erstatte selskapsspesifikasjoner og benyttes som referanser i myndighetenes regelverk.

NORSOK - standardene er i størst mulig grad basert på anerkjente internasjonale standarder med tillegg av bestemmelser som anses nødvendige for å oppfylle omforente krav i den norske petroleumsindustrien.

Begrepene "bør" og "kan" benyttes ofte i forbindelse med krav og henvisninger.

"Bør" er definert som: *verbal form som brukes for å indikere at blant flere muligheter er det en som anbefales som særlig egnet, uten å nevne eller utelukke andre, eller at et visst handlingsforløp foretrekkes, men ikke nødvendigvis er påkrevd.*

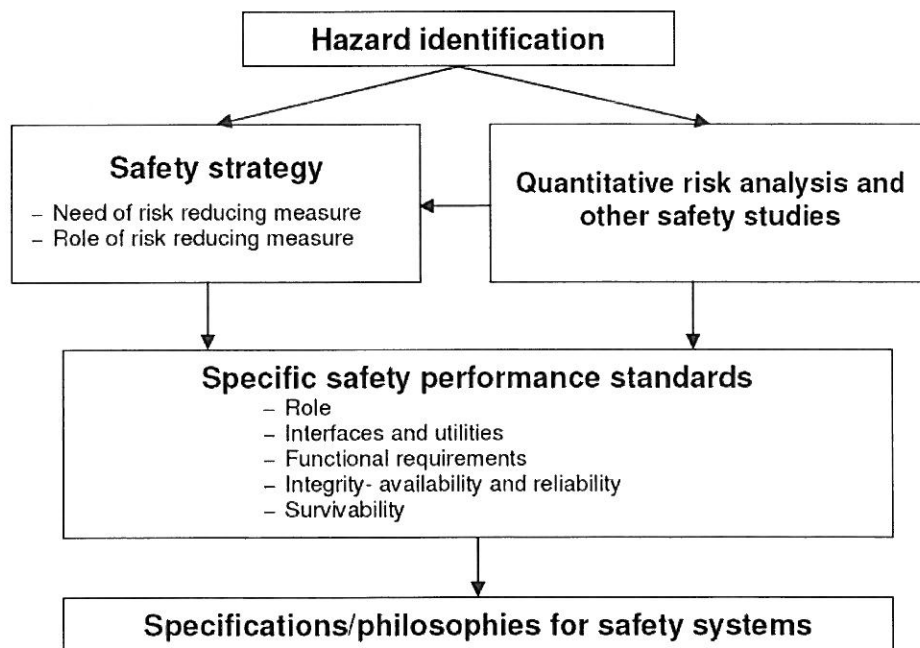
"Kan" er definert som: *verbal form som brukes for å angi muligheter og kapabiliteter, enten disse er materielle, fysiske eller tilfeldige.*

NORSOK S-001 Technical safety (Edition 4, February 2008)

Dette er en standard for teknisk sikkerhet, som beskriver prinsipper og krav til den sikkerhetsmessige utformingen av produksjonsinnretninger til havs. Standarden kan også anvendes for flyttbare boreinnretninger til havs, der hvor det er aktuelt.

Standarden refereres til flere steder i forskriftene, og definerer sammen med ISO 13702 hva som kreves for å etablere og opprettholde et tilstrekkelig sikkerhetsnivå for personell, miljø og materielle verdier i forbindelse med implementering av teknologi og beredskap.

Kapittel 4 i standarden omhandler styring av teknisk sikkerhet. Figur 13 viser et flytdiagram som beskriver noen av hovedaktivitetene i forbindelse med design av teknisk sikkerhet. Kapitlet beskriver prinsipper for risikoreduksjon, prestasjonsnormer for sikkerhet, teknologikvalifikasjon, erfaringsoverføring, tilgjengelighet og pålitelighet for integritet, dimensjonerende ulykkeslast og dokumentasjon.



Figur 13 - Teknisk sikkerhetsdesign i NORSOK S-001

Videre i standarden presenteres spesifikke kapitler:

- Layout
- Structural integrity
- Containment
- Open drain
- Process safety
- Emergency shut down (ESD)
- Blow down (BD) and flare/vent system
- Gas detection
- Fire detection
- Ignition source control (ISC)
- Human – machine interface (HMI)
- Natural ventilation and heating, ventilation and air conditioning (HVAC)
- Public address (PA), alarm and emergency communication
- Emergency power and lighting
- Passive fire protection (PFP)
- Fire fighting systems
- Escape and evacuation
- Rescue and safety equipment
- Marine systems and positioning keeping
- Ship collision barrier

For de enkelte kapitlene presenteres rolle, grensesnitt, nødvendig utstyr, funksjonskrav og krav til overlevelsessevne.

NORSOK L-001 Piping and Valves (Rev. 3, Sept 1999)

Denne standarden gir detaljerte krav for rør, rørmatur, flenser og ventiler.

Nye installasjoner benytter stort sett rørspekifikasjoner i henhold til NORSOK standard L-001.

I denne standarden skal rør spesifiseres etter PCS (Piping Class Sheet). Et eksempel på PCS-nummer er "BD201". NORSOK L-001 beskriver tegnene i PCS-nummeret. Første tegn spesifiserer trykkgrense (pressure rating) i henhold til følgende tabell, hvor ASME B16.5 og API er standardhenvisninger:

Tabell 3 - Norsok L-001 Piping Class Sheet

A	=	Class	150	ASME B16.5
B	=	Class	300	-----"
C	=	Class	400	-----" (not used)
D	=	Class	600	-----"
E	=	Class	900	-----"
F	=	Class	1500	-----"
G	=	Class	2500	-----"
H	=		2000 psi	API
I	=		3000 psi	API
J	=		5000 psi	API
K	=		10000 psi	API
L	=		15000 psi	API
P	=	Class	4500	ANSI B16.5
Z	=	PN10		
Y	=	PN16		

Det andre tegn angir materialet, ut fra følgende tabell:

Tabell 4 - Norsok L-001 Material Data Sheets

C	- Carbon steels; Type 235, Type 235LT, Type 360LT
D	- Ferritic/Austenitic Stainless Steels; Type 22Cr, Type 25Cr
P	- Polymers including fibre reinforced
R	- Austenitic Stainless Steels; Type 6Mo
S	- Austenitic Stainless Steels; Type 316
T	- Titanium
X	- High strength low alloyed steels

Tredje og fjerde tegn gir et sekvensielt nummer. Ved spesielle røranvendelser, som for eksempel rør med surt innhold, benyttes et femte eller sjette tegn.

NORSOK P-001 Process design (Edition 5, September 2006)

NORSOK - standarden gir krav for design av toppside prosessrør og utstyr på offshore produksjonsanlegg. Kriteriene er gyldige for alle prosesser, prosess systemer, prosessstøtte og hjelpesystem, og er gitt innenfor følgende aspekter:

- design pressure and temperature;
- safety instrumented secondary pressure protection systems;
- line sizing;
- system and equipment isolation;
- insulation and heat tracing.

NORSOK P-100 Process systems (Rev. 2, Nov. 2001)

Denne NORSOK - standarden definerer de minimale funksjonskravene for prosessystemer på en offshore installasjon. De generelle kravene for prosessystemer er dekket av *NORSOK P-001 Process design*.

Standarden har to kapitler med krav som gjelder for alle systemer.

Videre tar kapitlene for seg enkelte systemer, hvor dokumentet kommer med krav til funksjon, drift, vedlikehold, isolasjon og seksjonering, layout, "interface", ferdigstillelse, sikkerhet, og miljø:

- Topside flowlines and manifolds (system 16)
- Separation and stabilisation (system 20)
- Crude handling (system 21)
- Gas compression (system 23, 26 & 27)
- Gas treatment (system 24)
- Gas conditioning (system 25)
- Water injection (system 29)
- Cooling medium (system 40)
- Heating medium (system 41)
- Chemical injection (system 42)
- Flare (system 43)
- Oily water treatment (system 44)
- Fuel gas (system 45)
- Methanol injection (system 46)
- Chlorination (system 47)
- Sea water (system 50)
- Fresh water (system 53)
- Open drain (system 56)
- Closed drain (system 57)

- Diesel oil (system 62)
- Compressed air (system 63)
- Inert gas (system 64)
- Hydraulic power (system 65)

I vedlegg ligger et datablad for hvert enkelt system, som det kan fylles inn data inn i som er relevant for det aktuelle prosjektet.

NORSOK R-004N Isolering av rør og utstyr (Utgave 1, februar 2009)

Standarden dekker minstekravene til termisk isolering, lydisolering og brannbeskyttelse samt personellbeskyttelse og tetting av gjennomføringer for rør, utstyr, tanker, beholdere, ventiler, flenser m.m. for installasjoner offshore og landanlegg.

Standardens kapittel 7.5 er relevant i forbindelse med brannbeskyttelse:

7.5 Klasse 5, Brannbeskyttelse

Hensikten er å redusere varmetilførselen og begrense temperaturen til et akseptabelt nivå på rør, beholdere og tanker, og utstyr i ett spesifisert branntilfelle.

Krav til isolasjonstykkelse og kombinasjon av isolasjonsmaterialer, skal beregnes og baseres på relevant branntest. Følgende skal tas i betraktning:

- ekstrapolering av testresultat er ikke akseptabelt. Nye systemer eller materialkombinasjoner skal branntestes før de godkjennes;
- type og varighet av brann- og eksplosjonstilfeller;
- materialegenskaper til rør og beholdere/tanker (kritisk temperatur for aktuell materialkvalitet i rør);
- innhold i rør og beholdere/tanker (kritisk temperatur, driftstemperatur);
- trykkavlastningstid for det utsatte systemet;
- isolasjonens materialegenskaper;
- for klasse 5 skal bare rustbestandig metallkapsel benyttes, unntatt for ventiler og flenser der isolasjonsputer kan benyttes.

Dersom branntilfellet inkluderer ulike eksponeringer (eksempelvis jetbrann, væskebrann) skal de strengeste betingelsene brukes til å velge/beregne brannbeskyttelsen.

Brannbeskyttelsen (inklusive isolasjonsputer eller prefabrikkerte kasser) skal testes og grundig dokumenteres ihht. ISO 834, IMO Resolution A.754(18) og OTI 95634.

Branntesting av rørisolasjon, prefabrikkerte kasser og isolasjonsputer skal sikre at alle viktige (relevante) utførelsesdetaljer dekkes og blir dokumentert, dvs. inspeksjonsluker, drenering, sammenføyninger og overlapper.

Brannbeskyttelsen skal utformes og installeres slik at brannbeskyttelsesegenskapene ikke blir forringet når den blir utsatt for en spesifisert eksplosjonslast.

3.6 REGELVERKETS UTVIKLING

Industrien onshore og offshore har tradisjonelt benyttet seg av API standardene API RP 520 og 521 ved design av trykkavlastningssystemer for å gjøre tanker i stand til å motstå en brann.

API RP 520 og 521 har vært de ledende standardene for design av prosesssystemer eksponert for brann, helt siden de kom for over 25 år siden. Flere av eksperimentene standardene bygger på er fra perioden rundt andre verdenskrig, og i de nyere år har både brannkunnskapen og kravene til sikker design endret seg. I de siste årene har det også kommet dataverktøy som er i stand til å gjøre gode simuleringer.

Mye av forskningen og eksperimentene er ikke gjort offentlig tilgjengelig. I 1999 ble det utarbeidet en rapport på vegne av det britiske *Health & Safety Executive* (HSE). *Review of the response of pressurised process vessels and equipment to fire attack* (Roberts et al., 2000) gir en status på teknologien rundt branneksposering av prosessutstyr. Rapporten gikk gjennom API – standardene og tilgjengelig kunnskap og verktøy. Det ble påpekt svakheter, og stilt spørsmål ved gyldigheten til API 520. Olstad og Berge (2006) viser til følgende eksempler på svakheter som ble påpekt i dette arbeidet:

- Det antas at kun væske(fasen) absorberer varme, og at trykket i prosessegmentet kontrolleres av fordampning av væske. Oppvarming av gassfase blir ikke antatt å være relevant.
- Trykkutviklingen i prosess segmentet antas å være uavhengig av inventarkomposisjon (inventory composition)
- Akseptkriteriet fokuserer kun på trykknivået etter 15 minutter. Det faktum at trykket kan øke etter 15 minutter, blir ikke tatt hensyn til.
- Varmebelastningen beskrevet i standardene er, ifølge nyere forskning, generelt for lav, og det faktum at varmbelastningen fra en jetflamme er spesielt høy blir ikke tatt hensyn til. Det blir heller ikke tatt hensyn til effekten av flammer som eksponerer flenser og rør.
- Som følge av disse "opdagelsene" har det vært et behov for å gå grundig igjennom eksisterende prosedyrer og standarder for design av prosessanlegg.

Etter at det ble identifisert et behov for å endre prosedyrene for design av prosess-sikkerhetssystemer, har det skjedd en del videre arbeid. I 2000 begynte arbeidet med en ny prosedyre for design av trykksatte systemer. Det ble utarbeidet to parallelle, men tett relaterte, prosedyrer; en i Norge og en i Storbritannia. I Norge ble arbeidet finansiert av Statoil og Norsk Hydro, og utført av Scandpower. Scandpower sine prosedyrer ble oppdatert i 2004 (Hekkelstrand og Skulstad, 2004)

3.6.1 Guidelines for the Protection of Pressurised Systems Exposed to Fire

"Guidelines for the Protection of Pressurised Systems Exposed to Fire" kom i 2002. Andre og nyeste utgave er fra 2004 og ligger åpent tilgjengelig for nedlastning på internett på Scandpower AS sine nettsider.

Retningslinjene beskriver prinsipper, og en metodologi som kan benyttes under design, konstruksjon og drift av systemer, og en fremgangsmåte for brannbeskyttelse av rør og utstyr som er under trykk. Retningslinjene gjelder både for onshore og offshore prosessanlegg.

Prosedyren er henvist til gjennom forskrifter og standarder. Blant annet henviser NORSOK S-001 til prosedyren i forbindelse med trykkavlastning, og brannmotstand for rør og tanker.

Retningslinjene "bør" benyttes i forbindelse med S-001 kapittel 11 – "Blow down (BD) and flare/vent system":

11.4 Functional requirements

11.4.1 Blow Down (BD) (depressurisation)

BD times shall be in accordance to specified requirements for protection of pressurised systems exposed to fire. **Evaluations regarding material capacity versus BD should be performed as specified in "Guidelines for protection of pressurised systems exposed to fire", Report 27.101.166/R1 Scandpower Risk Management AS or similar methods**

Retningslinjene "kan" benyttes i forbindelse med S-001 kapittel 19 – "Passive fire protection (PFP)"

19.4 Functional requirements

19.4.3 Vessels and piping

Pressurized vessels, process equipment and piping shall have adequate fire resistance to prevent escalation of a dimensioning fire scenario. This includes pipe and vessel supports. **"Guidelines for protection of pressurised systems exposed to fire", Report 27.101.166/R1 Scandpower Risk Management AS, may be used as guidance.** Credit for possible cooling effect from fire fighting equipment shall be justified.

Prosedyren er utviklet i henhold til prinsippene i ISO 13702, og er dermed også ment å være et viktig bidrag til etableringen av en brann og eksplosjonsstrategi.

Retningslinjene er ment for å benyttes under konsept-, FEED- og gjennomføringsfasene for nye anlegg, og ved modifikasjoner av eksisterende anlegg. Retningslinjene bør også benyttes når viktige driftsparametere som påvirker brannsikkerheten endres.

I tidlige prosjektfaser det vil være nødvendig med større sikkerhetsmarginer på grunn av en større usikkerhet. Retningslinjene etterstreber å gi en trygg og robust fremgangsmåte i den sammenheng.

Målet med retningslinjen er å oppnå en sikker og samtidig kostnadseffektiv design av trykksatte systemer som kan bli eksponert for brann. Siden passiv brannbeskyttelse fører med seg en korrosjonsproblematikk som kan føre til lekkasje, fokuseres det på hurtig trykkavlastning. Det legges til rette for å ta andre forhåndsregler, som for eksempel å benytte bedre egnede materialer, trykkgrenser (pressure rating), veggtykkelser, og annet som kan redusere behovet for passiv brannbeskyttelse.

Retningslinjene presenterer en prosedyre som kan benyttes, samt støtteinformasjon vedrørende hydrokarbonbrann - karakteristikk, materialdata og feilkriterier.

Retningslinjene er delt i tre hoveddeler:

- Hovedprinsipper ved brannbeskyttelse av prosess systemer.
- Viktige parametere i en brannbeskyttelsesstrategi for et prosessanlegg.
- En mer spesifikk prosedyre for hvordan man kan komme fram til en optimal beskyttelsesplan med hensyn på brannbeskyttelse av prosess systemer.

Dokumentet baserer seg på at beskyttelse av brannutsatte prosesssystemer best kan oppnås ved en kombinasjon av flere forhåndsregler, som til sammen utgjør en total plan for brannbeskyttelse. I denne sammenhengen er hovedhensikten å hindre at en liten og kontrollerbar brann eskalerer til en større og ukontrollerbar brann.

Ved å følge denne prosedyren vil man kunne oppnå tilstrekkelig beskyttelse mot realistiske branner. Som supplement til prosedyren kan det benyttes en risikobasert fremgangsmåte for brannscenariene, brannlast og akseptkriterium for brudd. Det må dokumenteres at den valgte løsningen er den tryggeste, eller at den i det minste er innenfor risikoakseptkriteriene.

Dersom det dukker opp ny kunnskap som kan forbedre resultatene, så skal disse implementeres i retningslinjene. Det ønskes hele tiden tilbakemeldinger på erfaring med bruk av dokumentet i prosjekter. Tilbakemeldinger kan gis ved hjelp av et vedlagt skjema i retningslinjene.

Scandpower er i samarbeid med StatoilHydro ansvarlig for oppdatering av retningslinjene.

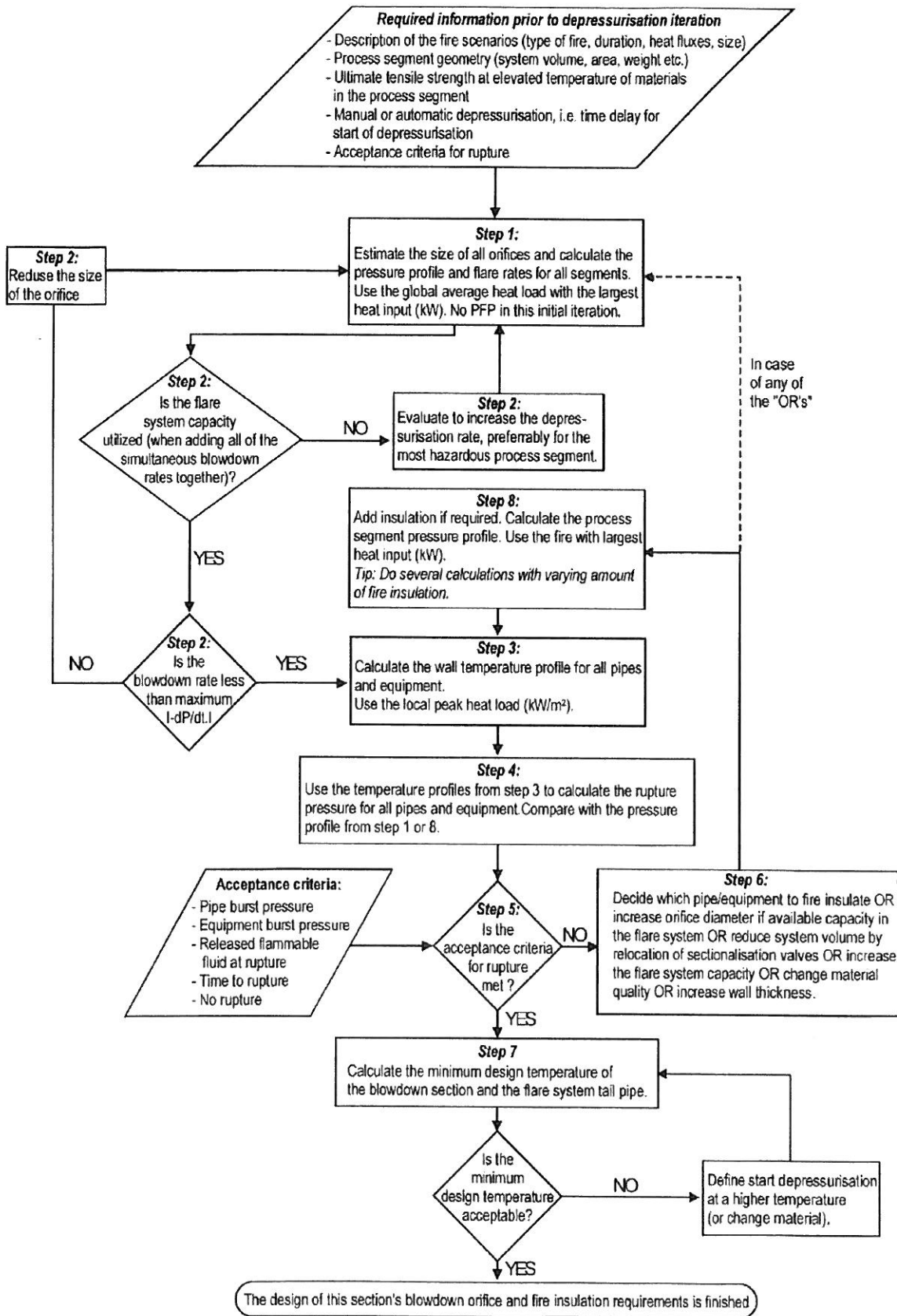
Proseduren for optimalisering av brann sikkerhet

Kapittel 5 i retningslinjene beskriver en beregningsprosedyre for å optimalisere brannbeskyttelsen i et prosessystem. Hensikten er å minimere bruk av passiv brannbeskyttelse, og å sikre best mulig utnyttelse av trykkavlastnings- og fakkelsystemet.

Før beregningsprosedyren kan utføres er det en del bakgrunnsinformasjon som må være tilgjengelig. Noe informasjon må kanskje estimeres, spesielt dersom prosjektet er i en tidlig fase. Kapittel 5.2 tar for seg informasjon som må være tilgjengelig innen:

- prosessegmentet
- trykkavlastningssystemet
- brannscenarier
- materialdata
- feilkriterier

Når den nødvendige informasjonen er identifisert, eller estimert, kan prosedyren påbegynnes. Prosedyren er en iterativ prosedyre med flere trinn. Utgangspunktet er kapasiteten på fakkelsystemet. Figur 14 gir en oversikt over prosedyren.



Figur 14 - Scandpower sin iterative prosedyre for design av trykkavlastning

Første trinn går på å beregne trykkavlastningen, og beskrives i kapittel 5.3. Det skal ikke benyttes brannbeskyttelse i den første iterasjonen. For å kunne utføre den første iterasjonen er det nødvendig å estimere trykkavlastningsåpningen (orifice). Retningslinjene anbefaler å benytte den åpningen som gjør at trykket bringes ned til 7 barg innen 8 minutter, mens prosessegmentet utsettes for en gjennomsnittlig global varmelast.

For segmentet skal det etableres en profil for trykk/tid og for temperatur/tid. Kapittelet lister videre opp minimumskrav for hva beregningen skal inneholde, forhold som skal benyttes, og hva som minimum skal beregnes i hvert tidsintervall.

Andre trinn er å se på hvorvidt kapasiteten til fakkelsystemet er utnyttet optimalt. Dersom det ikke er tilfelle, bør det vurderes å velge en større åpning (orifice), med prioritering av de mest risikofylte segmentene.

Den maksimale trykkgradienten må kontrolleres opp mot begrensninger på enkelte kompressorsystemer. Dersom denne overskrides, eller det viser seg at fakkelsystemet blir overeksponert, må åpningen reduseres, og beregningen i trinn 1 gjøres på nytt med de nye betingelsene.

Tredje trinn er en beregning av profilene på veggtemperatur for alt utstyr og rør. Det benyttes lokal maksimal varmelast i beregningen, da hensikten er å se på svekkelser i materialene. Lokal varmelast vil avhenge av hvilket brannscenario som er benyttet.

Fjerde trinn innebærer å undersøke om rør eller tanker svikter, på grunnlag av profilene trykkvariasjon over tid, og materialtemperatur over tid. Retningslinjene beskriver to metoder, en basert på spenning, og en basert på deformasjon. Begge metodene anvender strekkbruddgrensen (UTS), som er temperaturavhengig. Det henvises videre til Vedlegg B (materialdata) og C (Bruddkriterier) for detaljer.

Femte trinn er å vurdere om eventuelle brudd er innenfor bruddkriteriene. Dersom rør og møter bruddkriteriene, går man videre til trinn 7. I motsatt fall, går man til trinn 6.

I **sjette trinn** avgjøres hvilke tiltak som kan settes inn for å hindre uakseptable brudd. Dersom det velges å brannisolere, går man videre til trinn 8. Andre mulige tiltak er:

- Dersom fakkelsystemet har kapasitet, kan man øke åpningen for trykkavlastningssystemet.
- Ved å flytte på seksjonaliseringsventiler kan systemvolumet reduseres.
- Øke kapasiteten på fakkelsystemet
- Endre valg av materialer til høyere kvalitet.
- Øke veggtykkelse

Ved å utføre noen av de overnevnte punktene, startes beregningen på nytt fra trinn 1.

Trinn 7 innebærer en sjekk av lave temperaturer opp mot materialkvaliteten i systemet. Trinnet innebærer en trykkavlastningsberegning, hvor alle typer isolasjon skal tas hensyn til og branninput skal sees bort fra. Årsaken til at det testes mot lave temperaturer er en effekt kalt Joule-Thomson. Denne nedkjølingseffekten oppstår dersom et fluid tvinges gjennom en ventil til et lavere trykk, uten at varme utveksles med omgivelsene. Prosess segmentet som opplever effekten kan utsettes for veldig lave temperaturer. Dersom den kalde temperaturen er akseptabel, er prosedyren ferdig. I motsatt tilfelle kan det blant annet velges et bedre egnet material.

Trinn 8 dreier seg om å bruk av passiv brannbeskyttelse. Det gis råd om hva som bør isoleres ut fra hva som er årsaken til bruddet. Dersom bruddet oppstår som følge av høy lokal temperatur i materialet, anbefales det å isolere delen hvor bruddet oppstår. Er det derimot koking og trykkoppbygning er årsaken, anbefales det å isolere væskefylte deler av tanker og rør. Videre gis det råd om hvordan det bør isoleres med tanke på korrosjon, og det illustreres en metode for å identifisere i hvilken grad rør er væske- eller gassfylt.

Avslutningsvis i forbindelse med trinn 8, gis det en generell anbefaling om å isolere flenser og ventiler. Spesielt skal flenser og ventiler på rør som er isolert, også være isolert.

For en ny feltutvikling anbefales det å ikke utnytte mer enn 80% av fakkelpkapasiteten, for å ha en margin å gå på for usikkerheter, og for fremtidige nye forbindelser (tie-ins) eller andre modifikasjoner.

Retningslinjene sier at det ikke fokuseres på strukturell brannbeskyttelse, men support for rør og tanker skal opprettholde sin funksjon lenger enn tilhørende rør eller utstyr.

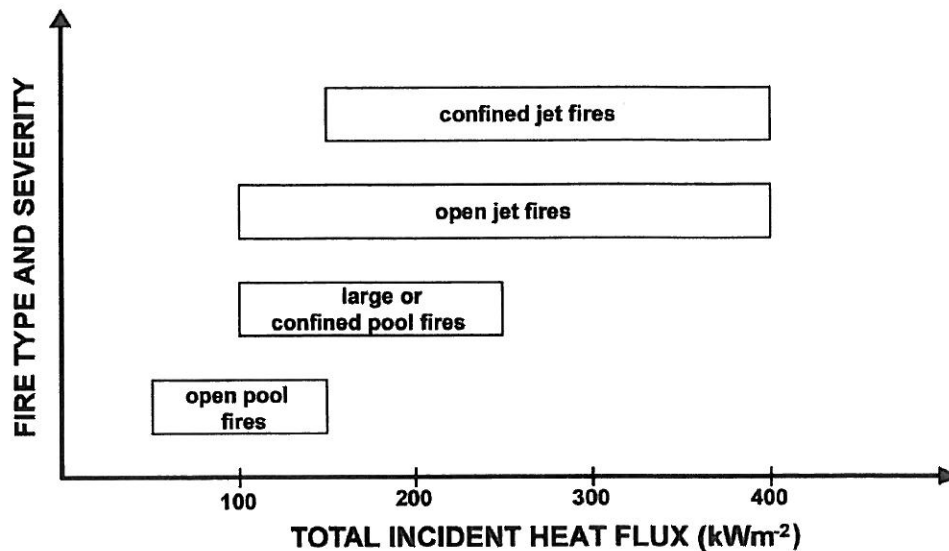
3.6.2 Guidelines for the design and protection of pressure systems to withstand severe fires

Retningslinjene fra The Institute of Petroleum skal hjelpe med å finne en løsning på hvordan en kan redusere påvirkningen av branner på trykksatte tanker med tilhørende armatur, ventiler, flenser og annet utstyr. Retningslinjene utfyller blant annet eksisterende regelverk API RP 520 og 521, som dekker design og beskyttelse nødvendig ved alle andre brannscenarier.

Beregningsprosedyrene er inspirert av blant annet Scandpower sine retningslinjer og Norsk Hydro sitt "*Best practice on depressurization and fire relief design*".

Beregningsprosedyrene er basert på Scandpower sine retningslinjer, og har mange likhetstrekk.

Varmelastene angitt i standarden er angitt annerledes enn i NORSOK og hos Scandpower. Varmelastene presenteres med minimum og maksimumsverdi, i stedet for spesifikke verdier.



Figur 15 - Varmelaster i prosedyren fra Institute of Petroleum

3.6.3 Kommentarer til de to retningslinjene

De to retningslinjene har mange likhetstrekk, men også noen forskjeller.

Berge og Brandt (2003) sammenligner prosedyrene, og skriver at de nye prosedyrene er et vesentlig skritt på veien fremover, men at det fremdeles er rom for forbedringer.

1. *Prosessdesign bør sees i sammenheng med design av det totale anlegget. Det vil si at prosess-sikkerhet ikke kan suboptimaliseres ut fra et ensidig prosessbehov, men ut fra det overordnede behovet som anlegget har. Det vil si at tiden det tar å bringe et prosessanlegg til en sikker tilstand må sees i sammenheng med behovet for tid til andre beredskapsaktiviteter: evakuering, brannbekjempelse og skadebegrensning. Ref. ISO 13702.*

2. *For å sette klare akseptkriterier må det være klart hvilke skader som kan aksepteres i forbindelse med en ulykkesituasjon. Dette har direkte innvirkning på prosessdesign ved at det settes rammer for hvor stort ulykkespotensial som kan aksepteres innenfor et gitt område. Ikke bare personskader er viktig i denne sammenheng. Det er opplagt en differanse mellom å akseptere at deler av et anlegg blir totalskadet og akseptere destruksjon av en hel plattform eller et landanlegget.*

3. *Proseduren må være åpen for utvikling innen teknologi og viten. Både kunnskapsmessig og beregningsteknisk eksisterer det i dag muligheter til prediksjon av konsekvenser med større presisjon en tidligere. Ny kunnskap bringer stadig nye problemstillinger opp til overflaten. En prosedyre eller en standard må ikke virke som en hindring for utviklingen. Det vil derfor være en fordel med en høy grad av funksjonalitetsbeskrivelse med begrenset vekt på konkrete løsninger.*

Rapporten sier avslutningsvis at prosedyrene har forbedringspotensial på alle punkter, og kommenterer disse.

Ved dimensjonering av trykkavlastningssystemer konkluderer Stensaas og Mostue (2005) blant annet med at angitte varmelaster i norske prosedyrer og standarder synes å være vesentlig lavere enn det som er målt i storskala forsøk, spesielt for åpne og innelukkede væskedamsbranner. Det presenteres også en tabell med anbefalte varmelaster for væskedamsbranner og jetbranner i det fri og i lukket rom. (Se Tabell 2, side 22).

4 BRUK AV DATAVERKTØY:

I forbindelse med analyser og studier av trykkavlastning og brannintegriteten til rør og tanker, er det flere forskjellige programmer som benyttes. I dette kapitlet gis det en kort introduksjon til noen programmer.

4.1.1 VessFire

Vessfire er et program som simulerer termo-mekanisk brannrespons for trykksatte beholdere, strømningsrør og rørinstallasjoner. Programmet kontrollerer at prosessanlegg har tilstrekkelig strukturell integritet og kapasitet for nedblåsning i de definerte brannscenariene. Programmet kan samtidig simulere trykkavlastning av prosessutstyr og styrken i prosessutstyrets skall. Det kan kjøre simuleringer for tanker, rør og segmenter. En database blir brukt for å beregne egenskapene til hydrokarbonblandingen, og en annen database for å beregne materialegenskapene til faste materialer.

VessFire kan benyttes i forbindelse med retningslinjene fra både Scandpower og Institute of Petroleum.

Programmet kan analysere systemer med og uten strømning, enten de er eksponert for brann eller ikke. VessFire har flere anvendelsesområder:

- Beregning av nedblåsningsrate og fastsettelse av størrelse på trykkavlastningsåpning.
- Seksjonalisering av prosesssystem.
- Integritet til trykksatte tanker, brønnstrømsrør, rør og rørrarmatur ved nedblåsning.
- Optimalisering av passiv brannbeskyttelse

VessFire er benyttet i to av de prosjektene som blir tatt for seg i denne oppgaven, Valhall og Gjøa.

4.1.2 Kameleon FireEx (KFX)

KFX er en tredimensjonal, transient og numerisk simulator for gasspredning, brannutvikling og brannslukking, og har lenge vært benyttet for simulering av brann i industrisammenheng. I forbindelse med analyser kan programmet benyttes for å beregne:

- Virkningen på prosessutstyr som eksponeres for brann.
- Optimalisering av passiv brannbeskyttelse.
- Branntemperatur, varmestråling og røykeeksponering av mennesker.
- Effekt av deluge-, sprinkler-, og vanntåkeanlegg.
- Kvaliteten på rømningsveier.
- Røykspredning.
- Spredning av tunge og lette gasser.

I dag benyttes KFX av mange operatører og konsulentselskaper.

4.1.3 OpenFOAM

OpenFOAM står for "Open Field Operation and Manipulation". Programmet er et CFD (Computational Fluid Dynamics) - program og er fritt tilgjengelig som åpen kildekode. Programmet kan simulere alt fra komplekse fluidstrømninger som involverer kjemiske reaksjoner, turbulens og varmeoverføring, til dynamikk for faste legemer, elektromagnetisme og prisfastsettelse ved økonomiske valg.

OpenFOAM gir stor fleksibilitet til å velge parametre, men krever også en del modellering for å komme frem til samme resultat som de mer spesialiserte programmene.

4.1.4 Aspen HYSYS

Aspen HYSYS er et prosessmodelleringsverktøy for konseptdesign, optimalisering, forretningsplanlegging, kapitalforvaltning, prestasjonsovervåkning for olje- og gassproduksjon, gassbearbeiding, petroleumsraffinering, og luftspaltningindustri.

I forbindelse med brannintegritet til prosess systemer, er programmet et generelt prosessverktøy som trenger en del bearbeiding for å benyttes på lik linje som spesialiserte programmer.

Programmet er benyttet på Skarv - prosjektet, sammen med programmet NEWS

4.1.5 Fluent

Fluent er et CFD - program med brede modelleringsmuligheter for strømning av fluider, varmeoverføring, massetransport og kjemiske reaksjoner.

På Kristin - prosjektet er dette programmet benyttet sammen med DEPRESS. Fluent ble benyttet for beregninger av ståltemperatur.

4.1.6 FLACS

FLame ACceleration Simulator er et tredimensjonalt CFD-verktøy for modelleringer med komplekse geometrier, og kan simulere realistiske eksplosjonsscenarier.

FLACS brukes til å modellere struktur, utstyr og rør i tre dimensjoner; dette kan kombineres med gasspredningsmodeller. FLACS kan blant annet benyttes til ventilasjonsvurderinger, vurderinger rundt gasspredning, og vurdering av eksplosjonsovertrykk.

Programmet kan benyttes i alle faser av et prosjekt, fra valg av konsept til drift og modifikasjoner.

5 PROSJEKTERFARINGER

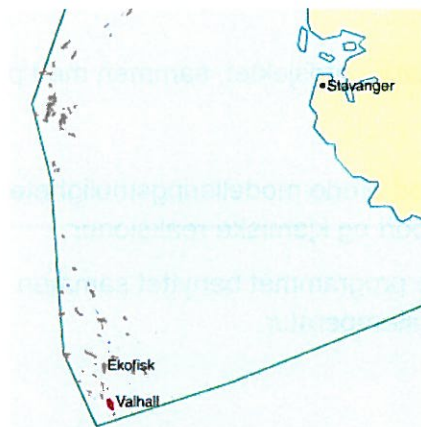
I forbindelse med dimensjonering av trykkavlastningsystem og brannintegritet til rør og utstyr, benytter nyere prosjekter seg av litt forskjellige metoder og forskjellige brannscenarier. I dette kapitlet gis en oversikt over noen relevante prosjekter utført på Valhall, Skarv, Gjøa og Kristin. Til slutt blir det sett på fellestrekk og ulikheter.

5.1 OVERSIKT OVER UTFØRTE BEREGNINGER/ANALYSER

5.1.1 Valhall Flanke Gassløft

Valhall petroleumsfelt er et oljefelt som ligger lengst sør på den norske delen av Nordsjøen. Havdybden ved installasjonen er 70 meter. Flankene på feltet er bygget ut med brønnhodeplattformer i sør og nord, med produksjonsstart i 2003 og 2004. BP Norge AS er operatør.

Reservoaret ligger på omtrent 2400 meters dyp. Som følge av trykkavlastningen fra produksjonen, har havbunnen på Valhallfeltet begynt å synke inn.



Figur 16 - Valhall på kartet

Flankeplattformene på Valhall ligger ca 6 kilometer nord og sør for hovedkomplekset, og består av to identiske ubemannede brønnhodeplattformer som er utstyrt med 16 boreslisser. Plattformene får strømforsyning fra Valhall, og fjernsyres fra anlegget gjennom fiberoptisk kabel. De er viktige for produksjonen og for å oppnå bedre utvinningsrater og for å kunne nå mer fjerntliggende ressurser.



Bilde 9 - Valhall Flanke Sør

Studien

Denne studien av brannintegriteten til Valhall Flanke brønnhodeplattformene er utført av Scandpower AS på vegne av BP Norge AS. Studien har pågått under samarbeid med Aker Solutions i Stavanger.

Studien er utført i forbindelse med FEED - studien Aker Solutions har utført for installasjon av gassløftsegmenter på plattformene.

Hensikten med studien var å få en analyse av brannintegriteten på 3 segmenter med hydrokarboninnhold: gassløftsegment, produksjonsmanifold og testseparator. Brannintegriteten til kaldventileringsystemet er også evaluert.

Analysen har benyttet *Guidelines for the Protection of Process Systems exposed to Fire* som basis.

Simuleringsprogrammet VESSFIRE versjon 1.2 ble benyttet for modellering og simulering.

I studien ble Sør- og Nord - plattformene betraktet som identiske, med unntak av forskjellen i fluidkomposisjon. Sensitiviteten for fluidkomposisjon og vannandel evalueres i analysen.

Antagelser

Beregningene gjelder for rør og tanker, ikke for flenser, ventiler og annet som kan være del av utstyret. Det blir sagt at flenser, ventiler og annet brannbeskyttes, dersom ikke annet dokumenteres.

Analysen benytter *Guidelines for the Protection of Process Systems exposed to Fire*, og det er definert to scenarier:

- Jet brann: 350 kW/m² maksimal lokal varmelast, i kombinasjon med en global varmelast på 100 kW/m² over alle segmentets overflater. Scenariet er relatert til antent gass-jet med initierende lekkasjerate og varighet fastslått av en lekkasjerate på 2 kg/s.
- Jet brann: 250 kW/m² maksimal lokal varmelast og ingen global varmelast. Scenariet er relatert til antent gass-jet med initierende lekkasjerate og varighet fastslått av en lekkasjerate på 0,1 kg/s.

Normalt ville de to scenariene kontrolleres uavhengig av hverandre, og det andre scenariet ville hatt lengre varighet. Varigheten kommer vanligvis ut fra informasjon fra en risikoanalyse, men i denne rapporten antas det at varigheten er like lang som tiden det tar å trykkavlaste alle segmentene. På bakgrunn av dette, ble kun det første scenarioet benyttet i analysen, da det vil være den avgjørende testen. Det blir sagt at brannscenarioet som er valgt sannsynligvis er veldig konservativt, spesielt med tanke på varighet.

Plattformene har et kaldventileringssystem, hvor ventilasjonsraten er begrenset til maksimalt 3.0 kg/s, for å unngå at en nærliggende borerigg eksponeres for brennbar gass.

På grunn av restriksjonen på trykkavlastningsrate var det nødvendig med en sekvensiell trykkavlastning av systemet. Trykkavlastningen av segmentene foregår på som følger:

1. Gassløftsegmentet
2. Produksjonsmanifold
3. Testseparator

Ved branndeteksjon kommer Scandpower fram til at gassløftsegmentet vil iverksette trykkavlastning 60 sekunder etter brannen har startet. Videre vil trykkavlastningen starte etter 150 sekunder for produksjonsmanifolden, og etter 6 minutter for testseparatoren. Totalt er brannvarigheten satt til 20 minutter.

Det blir ikke gitt kreditt for bruk av brannvann i rapporten.

For rørtykkelse blir det antatt 12,5 % reduksjon som følge av produksjonsavvik, og i tillegg trekkes det fra 3 millimeter fradrag for korrosjon.

Spenninger som virker på rørene er ikke regnet ut i denne studien. I stedet henvises det til Scandpower sine retningslinjer, og det benyttes en total stressfaktor $\sigma_a = 30$ MPa

Resultater

Simuleringen viste at to linjer er sårbare: Tilførselslinjen på produksjonsmanifolden sviktet etter 14 minutter, og 6 tommers utløpsrør på testseparatoren sviktet etter 14 minutter. Det blir sagt at bruddene kan unngås ved å se nærmere på den antatte lasten på 30MPa. Lastverdien fra Scandpower sine retningslinjer vil i de fleste situasjoner være en konservativ last, og en nærmere analyse vil kunne gi en mer nøyaktig verdi. Eventuelt kan man vurdere en rørdesign med tanke på lavere verdier.

I kapittel 5 og 6 er det gjort sensitivitetsanalyser for fluidkomposisjon og vannandel på nord- og sør - plattformene. Brannintegriteten til segmentene får ingen betydelig påvirkning ifølge disse analysene.

5.1.2 Skarv FPSO

Skarv er et petroleumsfelt i Norskehavet, ca 200 km utenfor Helgelandskysten



Bilde 10 - Skarv på kartet
(statoilhydro.com)

Skarv ligger ca 35 kilometer sørvest for Nornefeltet i nordre del av Norskehavet. Reservoaret inneholder gass og kondensat, og befinner seg på 3300 – 3700 meters dyp, fordelt over flere forkastningssegmenter. Havbunnen i området ligger på mellom 350 og 450 meter. Operatør er BP Norge AS.



Bilde 11 - Illustrasjon av Skarv

Utbyggingsløsningen er en flytende produksjonsinnretning tilknyttet fem brønnrammer på havbunnen. Skipet og brønnrammene er nå under produksjon, og skal etter planen være ferdige i løpet av 2009. Produksjonsstart er planlagt august 2011. Per februar 2009 er over 40% av utbyggingen fullført.

Studien

Dokumentet beskriver designfilosofien benyttet for å definere kravene til brann- og akustisk isolasjon av rør, utstyr og instrumentering på Skarv FPSO

Antagelser

For hydrokarbontanker (separatorer, væskeutskillere, varmevekslere) og fakkelsystemet er dimensjonerende varmelast 350 kW/m^2 i 20 minutter, basert på Scandpower guideline sine verdier ved lekkasjerate over 2 kg/s .

For prosessrør er varmelasten satt til 250 kW/m^2 over 60 minutter. Den globale varmelasten vil fremdeles være 100 kW/m^2

Varmelasten for prosessrør avviker fra anbefalingen i Scandpower Guideline, og vil dermed resultere i mindre robuste løsninger med tanke på brannskalering. Dette valget er begrunnet med:

- Bruk av PFP innebærer økt fare for korrosjon under isolasjon. For å unngå at dette skal føre til økt risiko, vil det være nødvendig med omfattende inspeksjon og vedlikehold. Økt bemanning og mer vedlikeholdsaktiviteter i prosessområdene, betyr at mer personell vil bli eksponert, og risikoen vil øke totalt.
- Basert på arbeidet med den kvantitative risikoanalysen er det lite sannsynlig at et rørbrudd under et brannscenario vil true utstørsområde (utility area U800), rømningsstunnel, boligkvarter eller livbåter.
- Med bedre integritetsnivå for tanker enn for rør, blir det ansett som mindre sannsynlig med svikt på tanker, og BLEVE.

Simuleringene for trykkavlastning er gjort med programmene HYSYS og NEWS (NEW*S).

For de fleste segmenter er trykkavlastningstiden på 14 minutter. Det ble antatt 1 minutt forsinkelse på igangsettelse av trykkavlastningen.

Bruddakseptkriterier

Det skal anvendes passiv brannbeskyttelse på rør som ikke er i stand til å motstå eksponeringen av en jetbrann med varmelast på 250kW/m².

Brudd er "akseptable" dersom:

- Lekkasjeraten ikke er større enn $7,28 \cdot \ln(t)+2$ [kg/s] (hvor t er tid i minutter). Dette innebærer ca 2 kg/s etter 1 minutt, ca 10 kg/s etter 3 minutter og ca 20kg/s etter 10 minutter.
- Hydrokarboninnholdet er mindre enn 2 tonn i bruddøyeblikket.

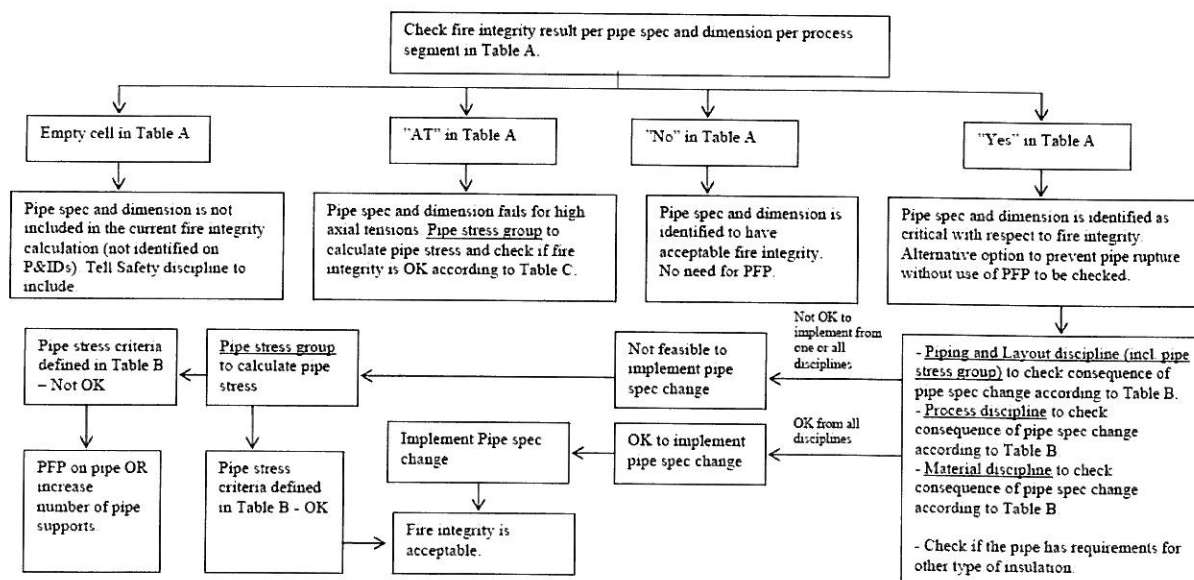
Beregningene av brannintegriteten til rør er gjort trinnvis:

1. Det antas høy aksial trekkspenning (70 MPa axial tension). Alle oljerør blir antatt å være gassfylte. Rør som ikke svikter ved denne belastningen blir ikke videre vurdert, men det skal dokumenteres at spenningen ikke overstiger 70MPa.
2. Det antas 30 MPa spenning. Tilfeller med brudd ble sett nærmere på og den nøyaktige spenningen ble beregnet. Videre ble spenningen satt til 15 MPa. I de tilfellene det fremdeles oppstår brudd ved 15 MPa, vil det ikke være praktisk å modifisere rørstøtter for å unngå brudd. Karbonstål dominerte på 30MPa spenning.
3. Alle oljerør antas å være oljefylte under trykkavlastning og branneksporing, altså uten gasslommer. Alle oljerørene som gikk til brudd i trinn 2 ble nå regnet som oljefylte. Det viste seg at ingen av disse rørene nå gikk til brudd. Siden det er kritisk at disse rørene holdes fylt med olje, "bør" det dokumenteres at disse rørene alltid vil være oljefylte. En tilsvarende antagelse for rørene som gikk til brudd i trinn 1, resulterte i noen brudd.
4. Det blir vurdert å endre rørspekifikasjon som et alternativ til å benytte passiv brannbeskyttelse. Siden det ikke alltid er mulig å redusere aksial strekkspenning eller

være sikker på at man unngår gasslommer, kunne man derfor vurdere å endre rørspefifikasjon for de rør som gikk til brudd i de to første trinnene.

5. Som alternativ til å endre rørspefifikasjon, vurderes økt trykkavlastning for rør som gikk til brudd i de to første trinnene. Økt trykkavlastning er ikke alltid et alternativ, på grunn av begrensninger i fakkelsystemet, og potensielle scenarier med lave temperaturer.
6. Fakkelsystemet evalueres.

Figur 17 viser et flytdiagram fra rapporten, som omhandler hvorvidt det skal benyttes passiv brannbeskyttelse, eller gjøres designendringer, for å sikre at rørene får en akseptabel brannintegritet.



Figur 17 - Flytdiagram for sikring av brannintegritet for rør på Skarv FPSO

Resultater

Det ble identifisert ca 700 meter med rør som hadde uakseptabel brannintegritet. Ved bruk av alternative løsninger, ble behovet for PFP eliminert.

Passiv brannbeskyttelse på hydrokarbon innløpsrør og vannlinjer på bunnen av elektrostatisk væskeutskiller, og væskelinjer på tredje trinns separator oppstrøms for "weir plate", for å unngå muligheten for dampeksplasjon.

5.1.3 GjØa Semi

Gjøafeltet ligger på omtrent 360 meters dyp i den nordlige delen av Nordsjøen, omtrent 60 kilometer vest for FlorØ. Reservoaret består av gass over et tynt oljelag, og befinner seg på rundt 2200 meters dyp.



Bilde 12 - Gjøa på kartet
(statoilhydro.com)

Utbyggingsløsningen for Gjøa er en halvt nedsenkbar produksjonsplattform med fem brønnrammer på havbunnen. Plattformen skal forsynes med elektrisitet fra et kraftverk på Mongstad, og blir dermed StatoilHydros første flytende plattform som får strøm fra land.

Sammen med satellittutbyggingen Vega, er Gjøa det største prosjektet i Nordsjøen.

Under utbyggingen av Gjøa er StatoilHydro operatØr, mens Gaz de France Norge overtar når feltet er i produksjon.



Bilde 13 - Illustrasjon av Gjøa Semi
(Gaz de France)

Prosjektet

Rapporten inneholder resultater fra den systematiske beregningsprosedyren for optimalisering av bruk av passiv brannbeskyttelse for trykksatt prosessutstyr og rør på Gjøa plattformen. Dokumentet som er gått igjennom her er "under arbeid" og ting kan endre seg i neste revisjon. Rapporten skal dokumentere:

- Prosedyren som er benyttet for beregning av brannintegriteten til utstyr og rør.
- Brannlaster som benyttes i beregningene av brannintegritet.
- Vurderingen av "burst pressure" opp mot akseptkriterier.
- Behovet for passiv brannbeskyttelse på prosessrør og -tanker.

Scandpower sine retningslinjer er benyttet som basis, sammen med instruksjoner fra operatøren. Resultatene i denne rapporten er basert på en forenklet prosedyre, som ikke involverer:

- Evaluering av effekten av sekundære lekkasjer
- ALARP vurderinger for å oppnå en optimal design av brannbeskyttelsesmateriale

Prosessanlegget er utstyrt med nødavstengningsventiler og ventiler for seksjonalisering.

Ved beregning av trykkavlastning er beregningsverktøyet HYSYS benyttet. Strømningene og de innledende forholdene fra prosess-simuleringene er brukt som input til beregningene for brannintegritet, som er utført med simuleringverktøyet VessFire.

Antagelser

Beregningene er basert på at det vil være en 30 sekunders forsinkelse fra brannens begynnelse til trykkavlastningsventilene står fullt åpne. Dette blir ansett som en konservativ antagelse.

Rør eller tanker som svikter under simuleringen med 250 kW/m^2 , antas å være brannisolert når det gjøres simulering med lasten på 350 kW/m^2 . Derfor vil rørene ikke svikte under simuleringen med den høyeste lasten.

For væskefylte segmenter var det ikke mulig å kjøre simuleringer med VessFire, da forholdene som ble gitt fra prosessdisiplinen indikerte at trykkavlastningsåpningen var for liten for å trykkavlaste segmentet i henhold til VessFire programmet. For dette dokumentet har det derfor konkludert at væskefylte segmenter (rør over 2 tommer og trykktanker) skal brannisoleres.

Et par segmenter som er del av dren- og fakkelsystemet, skal brannisoleres, også inkludert rør under 2 tommer.

Strekbrudd-grensen til materialer er i henhold til *Guidelines for the Protection of Pressurised Systems Exposed to Fire*.

Det har blitt antatt en 30 sekunders forsinkelse før trykkavlastningen iverksettes.

Et rør blir definert som å ha sviktet kun dersom begge bruddkriteriene er møtt. (Se kapittel 2.4.2 Belastning på rør, s.16) Strekkspenningen blir antatt å være 30 MPa, som i *Guidelines for the Protection of Pressurised Systems Exposed to Fire*.

Tabell 5 viser de tre scenariene med brannlaster og tilhørende varigheter, som er benyttet under beregningene.

Fire Loads	Gas jet fires				Pool fires	
	Release rate > 2kg/s (ALARP case)		Release rate < 2kg/s			
Base case	Heat Load	Duration	Heat Load	Duration	Heat Load	Duration
Peak (local) Heat Load	350 kW/m ² (Note 1)	10/15 min (Note 2)	250 kW/m ²	40 min	150 kW/m ² (Note 3)	60 min
Global average Heat Load	50 kW/m ²	60 min	50 kW/m ²	60 min	50 kW/m ²	60 min

Notes:

1. The highest peak load is modelled with a linear intensity increase, i.e. 0 - 350 kW/m² within the first 60 sec. after onset of the fire.
2. The duration of the highest heat load is 10 minutes in lower process deck area and 15 minutes in main process deck area.
3. The pool fire heat load is only applied to process segments which are likely to be exposed by such.

Tabell 5 - Brannlaster og varighet, Gjøa

Bruddakseptkriterier

I henhold til ALARP prinsippet, er målet å unngå brudd som kan føre til uakseptable konsekvenser. Alle brudd som kan føre til banneskalering til tilgrensende brannområder blir ansett som uakseptable. Det blir vurdert om hoveddrømningsveier blokkeres, og om rom, områder eller systemer av essensiell betydning blir eksponert.

Passiv brannbeskyttelse skal benyttes der følgende kriterier overskrides:

- Brudd hvor det slippes ut en total sum av hydrokarboner i gass- og væskeform på over 4000 kg.
- Brudd hvor det slippes ut en sum av gass og begynnende avgasser fra kondensat på over 1000 kg.
- Brudd på en tank hvor trykket i bruddøyeblikket er over 4,5 barg.
- Brudd på rør hvor trykket i bruddøyeblikket er over 20,0 barg.
- Brudd innen 3 minutter fra brannens start.
- Det skal ikke oppstå brudd i fakkelsystemet før trykkavlastningen er ferdig.
- For små gassførende rør kan det avvikes fra trykk- og temperaturkriteriene, så lenge den resulterende lekkasjen ikke vil føre til eskalering. Gassutslipp med en rate på over 2 kg/s er ikke akseptabelt.
- Prosess-segmenter som inneholder under 100 kg gass eller begynnende avgasser fra kondensat

Det differensieres mellom tanker og rør, da det er større risiko for missilfragmenter ved brudd på en tank.

Resultater

I et vedlagt regneark er resultatene på beregningene med rørlinjene presentert. Her kommer det fram i hvilket scenario røret eventuelt sviktet, og hvorvidt bruddet er akseptabelt eller ikke i henhold til bruddakseptkriteriene.

I denne revisjonen er det besluttet å benytte passiv brannbeskyttelse på alle prosesrør med dimensjon større enn 2 tommer, som svikter i beregningene. For mindre rør skal det benyttes beskyttelse der det oppstår et uakseptabelt brudd under scenarioet med 250 kW/m^2 . 2 tommers rør som svikter i scenarioet med 350 kW/m^2 , skal ikke beskyttes.

5.1.4 Kristin Semi EPCH project

Kristin er et gasskondensatfelt i Norskehavet. Havbunnen ligger omtrent 370 meter under overflaten. Reservoarene inneholder gass og kondensat under høy temperatur og meget høyt trykk, og ligger på ca 4600 meters dybde. Utvinningen fra reservoaret foregår ved hjelp av trykkavlastning.



Bilde 14 - Kristin på kartet
(statoilhydro.com)

Kristinfeltet er bygget ut med en halvt nedsenkbar produksjonsinnretning for prosessering, og et havbunнанlegg bestående av fire rammer.



Bilde 15 - Kristin Semi

Prosjektet

Det er utført brannintegritetsberegninger for prosesstanker og rør. Det er også utført en detaljert sjekk av hvorvidt uisolerte objekter som trenger igjennom brannisolasjon, kan påvirke integriteten til rør og tanker i negativ retning.

Antagelser

De nødvendige innspillene til bruddberegningene er materialtemperatur fra programmet FLUENT, seksjonstrykket fra prosessdisiplinen gjennom beregninger i programmet DEPRESS, og bruddtrykket. Dataene som kommer fram i beregningene sammenlignes i grafer som vil vise hvorvidt prosesselementet vil svikte eller ikke.

Rapporten viser til Scandpower sin prosedyre for å optimalisere designen av trykkavlastning og passiv brannbeskyttelse for prosessutstyr.

Brannscenariene er i henhold til spesifikasjonen for dimensjonerende ulykkeslast. (DUL, engelsk DAL).

Den globale gjennomsnittlige varmemestrømningen er regnet ut for å analysere trykkprofilen i prosessegmentet. Disse beregningene har blitt utført med dataprogrammet DEPRESS.

Maksimal lokal varmelast på det forskjellige utstyret som er utsatt, har blitt beregnet for å analysere den termiske responsen i materialet. Disse beregningene har blitt gjort med CFD-programmet FLUENT.

Følgende scenarier er benyttet for prosessutstyr og rørsystem.

- Scenariet på hoveddekk er 20 minutter jetbrann, etterfulgt av 40 minutter brenselkontrollert brann.
- For nedre dekk er scenariet 20 minutter jetbrann etterfulgt av 40 minutter ventilasjonskontrollert brann.

Tabell 6 viser hvor de forskjellige lastene skal anvendes.

Tabell 6 - Brannscenarier på Kristin plattformen

Fire		Heat Load
Maximum local heat input	Main deck	250* kW/m ² jet fire in 20 minutes followed by 150* kW/m ² fuel controlled pool fire for 40 minutes.
	Lower deck	250* kW/ m ² jet fire in 20 minutes followed by 200* kW/m ² ventilation controlled pool fire for 40 minutes.
Global average heat input		100* kW/m ²

* Incident heat fluxes

Bruddakseptkriterier

Der hvor det oppstår et eventuelt brudd, vurderes det om bruddet er akseptabelt eller ikke. Om et brudd er akseptabelt, defineres ut fra gitte kriterier. Der bruddene ikke er akseptable, vil det bli benyttet passiv brannbeskyttelse.

Det styrende kriteriet er at et brudd ikke skal føre til en eskalering av den initierende brannen. Passiv brannbeskyttelse vil være nødvendig i som følger:

- Der det oppstår brudd hvor mer enn 4000 kg hydrokarboner i væskeform, eller mer enn 1000 kg gass/kondensat/LPG slippes ut til omgivelsene under den definerte perioden for dimensjonerende ulykkeslast. (Ref Functional and Design Requirements Kristin FPU)

- For deler av fakkelsystemet hvor brudd inntreffer før trykkavlastningen er fullført. (Ref Performance standards for safety systems)
- Der trykket ved brudd, er over 20 barg i prosessrør, og over 4,6 barg i tanker.

Kun hydrokarbonførende rør med dimensjon over 2 tommer blir vurdert.

Resultater

Fire tanker trenger passiv brannbeskyttelse, sammen med et relativt stort antall rør.

6 SAMMENLIGNING AV PROSJEKTENE

Samtlige prosjekter har benyttet seg av Scandpower sine retningslinjer, *Guidelines for Protection of Pressurized Systems Exposed to Fire*.

Prosjektene er av varierende størrelse, og er på forskjellige studie-/detaljnivå. Valhall skiller seg ut som et mindre prosjekt enn de andre, og er i en tidligere fase. Skarv og Gjøa pågår for gjennomføring, mens Kristin er et ferdig prosjekt. Som en naturlig følge av dette er prosjektene mer eller mindre omfattende.

Det er benyttet forskjellige programmer i prosjektene. VessFire er benyttet både på Valhall og Gjøa, Skarv har benyttet HYSYS og NEWS, mens Kristin har benyttet DEPRESS og FLUENT.

Varmelastene som er benyttet varierer fra prosjekt til prosjekt. På Valhall benyttes verdiene som presenteres i Scandpower sine retningslinjer. De andre prosjektene har forskjellige varmelaster ut fra detaljerte analyser.

Tabell 7 viser en del av de viktigste aspektene ved de forskjellige prosjektene, men tar ikke med alle aspekter.

Tabell 7 - Sammenligning av prosjektene

	Valhall	Skarv	Gjøa	Kristin
Tittel	Fire Integrity Analysis of Pressurized Segments – Valhall Flanke Wellhead Plattform Tidlig	SAFETY (FIRE & ACOUSTIC) INSULATION SPECIFICATION	FIRE INTEGRITY CALCULATIONS OF PRESSURISED PROCESS VESSELS AND PIPING	Fire Integrity Calculations of Process Vessels and Piping
Prosjektnivå		Gjennomføring	Gjennomføring	Ferdig
Prosjekttype	Studie av brannintegritet til Valhall Flanke brønnhodeplattformene.	Dokumentet beskriver designfilosofien benyttet for å definere kravene til brann- og akustisk isolasjon av rør, utstyr og instrumentering på Skarv FPSO	Beregninger for brannintegriteten til prosess systemene på Gjøa Semi	Beregninger for brannintegriteten til prosess tanker og –rør, inkludert sjekk av om potensielt uisolerte objekter som trenger gjennom brannisolasjonen kan påvirke brannintegriteten.
Prosjektstørrelse	To små, ubemannede brønnhodeplattformer med 3 segmenter	Full prosessplattform	Full prosessplattform	Full prosessplattform
Prosedyre benyttet	"Guidelines for the Protection of Process Systems exposed to Fire" er benyttet som basis.	"Guidelines for the Protection of Process Systems exposed to Fire" er benyttet som basis. Egen trinnvis beregningsmodell.	"Guidelines for the Protection of Process Systems exposed to Fire"	"Guidelines for the Protection of Process Systems exposed to Fire"
Tidsforsinkelse på start av trykkavlastning	60 sekunder	60 sekunder	30 sekunder	30 sekunder
Annet	Kaldventileringssystem med ventilasjonsrate begrenset til 3,0 kg/s, derfor seksvensiell nedblåsning av systemet. Designendringer har ført til at det måtte gjøres nye beregninger.	Varmelasten for prosessrør avviker fra anbefalingen i Scandpower Guideline, og vil dermed resultere i mindre robuste løsninger med tanke på brannskalering.	Dette er en pågående studie, hvor ting kan endre seg i neste revisjon. Denne revisjonen tar ikke hensyn til sekundære lekkasjer, eller spesifiserte ALARP vurderinger, da det forventes en avklaring på metodene.	

	Valhall	Skarv	Gjøa	Kristin
<p>Brannlast og varighet</p> <p>→ Jetbrann med 350 kW/m² maksimal lokal varmelast, i kombinasjon med en global varmelast på 100 kW/m² over alle segmentets overflater.</p> <p>Brannvarighet 20 minutter</p>	<p>→ For tanker med hydrokarboner og fakkelsystemet er dimensjonerende varmelast 350 kW/m² i 20 minutter, basert på Scandpower guideline sine verdier ved lekkasjerate over 2 kg/s.</p> <p>→ For prosessrør er varmelasten satt til 250 kW/m² over 60 minutter.</p> <p>Den globale varmelasten er satt til 100 kW/m².</p>	<p>→ Jetbrann med lekkasje på over 2 kg/s med 350 kW/m² maksimal lokal varmelast, i kombinasjon med en global varmelast på 50 kW/m².</p> <p>→ Jetbrann under med lekkasje under 2 kg/s, med 250 kW/m² maksimal lokal varmelast, i kombinasjon med en global varmelast på 50 kW/m².</p> <p>→ Væskedamsbrann med 150 kW/m² maksimal lokal varmelast, i kombinasjon med en global varmelast på 50 kW/m².</p> <p>Varighet på den lokale varmelasten varierer fra 10 til 60 minutter (se Tabell 5). Global varmelast er satt til 60 minutter i alle scenariene.</p>	<p>→ Hoveddekk: Jetbrann med 250 kW/m² maksimal lokal varmelast i 20 minutter, etterfulgt av brenselkontrollert væskedamsbrann med 150 kW/m² i 40 minutter.</p> <p>→ Nedre dekk: Jetbrann med 250 kW/m² maksimal lokal varmelast i 20 minutter, etterfulgt av brenselkontrollert væskedamsbrann med 200 kW/m² i 40 minutter.</p> <p>Begge dekk eksponeres med global varmelast på 100 kW/m² gjennom hele forløpet.</p>	

Bruddakseptkriterier	Valhall	Skarv	Gjøa	Kristin
	<p>Benytter kriteriene som anbefales i Scandpower sine retningslinjer.</p>	<p>→ Lekkasjeraten er ikke større enn 7,28 * ln(t)+2 [kg/s] (hvor t er tid i minutter). Dette innebærer ca 2 kg/s etter 1 minutt, ca 10 kg/s etter 3 minutter og ca 20kg/s etter 10 minutter.</p> <p>→ Hydrokarboninnholdet er mindre enn 2 tonn i bruddøyeblikket.</p>	<p>Benytter kriteriene som anbefales i Scandpower sine retningslinjer.</p>	<p>Det er kun hydrokarbonførende rør, med dimensjon over 2 tommer, som blir vurdert. Passiv brannbeskyttelse benyttes der:</p> <p>→ Der det oppstår brudd hvor mer enn 4000 kg hydrokarboner i væskeform, eller mer enn 1000 kg gass/kondensat/LPG slippes ut til omgivelsene under den definerte perioden for dimensjonerende ulykkeslast. (Ref Functional and Design Requirements Kristin FPU)</p> <p>→ For deler av fakkelsystemet hvor brudd inntreffer før trykkavlastningen er fullført.</p> <p>→ Der hvor trykket ved brudd er over 20 barg i prosessrør og over 4,6 barg i tanker.</p>
<p>Programmer</p>	<p>VessFire ble benyttet for modellering og simulering.</p>	<p>HYSYS og NEWS ble benyttet .</p>	<p>VessFire ble benyttet.</p>	<p>Trykkavlastningen er beregnet med programmet DEPRESS. Ståltemperatur er beregnet med CFD programmet FLUENT.</p>

**Brannintegritet av rør og tanker - bruk av analyser i
prosjektering av offshore modifikasjoner**

Side : 64

Dato : 15.06.2009

Masteroppgave ved Universitetet i Stavanger, Aksel Kvam Hartmann

	Vaihall	Skarv	Gjøa	Kristin
Behov for passiv brannbeskyttelse	<p>Tilførselslinjen på produksjonsmanifolden sviktet etter 14 minutter, og 6 tommer utløpsrør på testseparatoren sviktet etter 14 minutter.</p> <p>Det anbefales å gjøre beregninger for å se på den benyttede totale stressfaktoren, eventuelt endre rørdesignen.</p>	<p>Ca 700 meter rør hadde i utgangspunktet uakseptabel brannintegritet. Ved bruk av alternative løsninger ble behovet for passiv brannbeskyttelse eliminert.</p> <p>Det ble funnet nødvendig med passiv brannbeskyttelse på hydrokarbon innløpsrør og vannlinjer på bunnen av elektrostatisk væskeutskiller, og væskelinjer på tredjetrinn separator oppstrøms for "weir plate", for å unngå muligheten for dampeksplasjon.</p>	<p>Passiv brannbeskyttelse benyttes på noen tanker og en del spesifiserte rør i rapporten.</p>	<p>Passiv brannbeskyttelse benyttes på noen tanker og en del spesifiserte rør i rapporten.</p>

7 RØRBIBLIOTEK

Opprinnelig var det tenkt å lage et rørbibliotek, men på grunn av begrenset tid ble dette ble redusert og gjenstår dermed som et videre arbeid. Et bibliotek av denne typen vil oversiktlig kunne vise hvordan rør med forskjellige spesifikasjoner og prosessforhold har taklet scenarioene de har blitt utsatt for. I tidlige prosjektfaser vil slike erfaringer kunne gi gode innspill på hvilken rørdesign som bør velges.

I vedlegg A er det vist et eksempel på hvordan et slikt bibliotek kan se ut. I biblioteket kan det leses om røret inneholder gass- eller væskefase, og rørspesifikasjon. Dersom røret har vist seg å svikte under beregningene, vil man kunne lese ut under hva scenario sviktet har oppstått, og hvor lang tid det tok før bruddet oppsto. Scenarioet kan utdypes med hvilke varmelaster det ble eksponert for, og varighet av eksponeringen. Dersom det er ønskelig kan trykket i bruddøyeblikket presenteres. Det kan også vises hvorvidt bruddet bryter med bruddakseptkriteriene eller ikke.

8 KONKLUSJON

I oppgaven er det utført en studie av bakgrunn, metodikk og teori i forbindelse med analyser av brannintegritet til rør og tanker ved offshore modifikasjoner.

De siste årene er det skjedd mye innen forskning og brannforståelse. I dag er metodene og programvaren som benyttes godt utviklet. Det er en enighet om bruk av Scandpower sine prosedyrer; den henvendes til i ulike standarder og benyttes i flere store prosjekter. Det vil allikevel fremdeles være et behov for å oppdatere og videreutvikle metoder og programmer etter hvert som nye kunnskaper kommer fram.

Brannlaster et sentralt tema i forbindelse med brannintegritet og trykkavlastning. For å dimensjonere utstyr riktig er man avhengig av å vite hvilke brannlaster som er relevante. Nyere forskning utført ved Norges branntekniske laboratorium viser at brannlastene i noen tilfeller kan være større enn det som blir benyttet i dagens standarder og prosedyrer.

For å nå best mulig løsninger i forbindelse med brannintegritet av rør og tanker, vil det være viktig med en sammenheng mellom de ulike fagdisiplinene; prosess, rør, og teknisk sikkerhet.

I nye prosjekter kan det være gunstig å benytte erfaringer fra utførte analyser. Spesielt vil det kunne være gunstig i studiefaser der det velges rørtype. Det var planlagt å begynne lage et bibliotek med slike erfaringer i denne oppgaven. På grunn av tidsmangel ble dette begrenset. Det er i stedet gitt et eksempel på hvordan et slikt bibliotek kan se ut. Biblioteket kan utføres som videre arbeid.

9 LITTERATURLISTE

- Aker Kværner. (2006). *Fire Integrity Calculations of pressurised process vessels and piping, (Gjøa Semi EPCH)*, Aker Kværner C097-AKG-S-RA-0050
- Aker Solutions. (2005). *Fire Integrity Calculations of Process Vessels and Piping. Kristin Semi EPCH project.* Aker Kværner C074-NA-S-KA-0001
- Aker Solutions. (2008). *Safety (fire & acoustic) insulation specification. Skarv Development Project.* Aker Solutions SKA-AK-S-SA-1024
- Aker Solutions eNet, (2009) *PEM eLearning course 1 - Overall introduction to PEM*, Aker Solution e-learning courses, hentet 27.mai, 2009, <http://www.akersolutions.com/>
- Andreassen M. et al., (2004). *Handbook for Fire Calculations and Fire Risk Assessment in the Process Industry*, Kjeller Trondheim: Scandpower SINTEF NBL.
- Berge, G. & Brandt, Ø. (2003) *Brannlast for (prosess)utstyr*, Trondheim: SINTEF NBL
- Bjerketvedt, D., & Bakke, J.R., & van Wingerden, K. (1993). *Gas Explosion Handbook*, Bergen: Christian Michelsen Research AS.
- Buchanan, A.H. (2001). *Structural Design for Fire Safety*, Chichester: Wiley.
- Drysdale, D. (1999). *An Introduction to Fire Dynamics*, Chichester: Wiley.
- Hagen, B.C. (2004). *Grunnleggende Brannteknikk*, Haugesund: Hagens forlag.
- Haugland, L. (1998). *Produksjonsteknikk: prosessen på en produksjonsplattform: for VK1 brønnteknikk*, Nesbru: Vett & Viten.
- Health and Safety Executive. (2008). *Riser Safety in UK Waters - Lessons from Mumbai High North Disaster*, Hazardous Installations Directorate, SPC/Technical/OSD/33, fra <http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid/spc/spctosd33.pdf>
- Hekkelstrand, B. & Skulstad, P. (2004) *Guidelines for Protection of Pressurized Systems Exposed to Fire*, Scandpower AS, fra <http://www.scandpower.no>
- Hekkelstrand, B. (2008) *Fire Integrity Analysis of Pressurized Segments, Valhall Flanke Wellhead Platforms*, Scandpower AS
- Holen, J. K. (2004) *Brannrisiko som beslutningsparameter*, Statoil. Foredrag på NIF-kurs Brann og eksplosjonssikring offshore, Trondheim.
- Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*. Hampshire: Ashgate publishing company.
- Institute of Petroleum. (2003). *Guidelines for the Design and Protection of Pressure Systems to Withstand Severe Fires*, London: The Institute of Petroleum
- Nedregard, T. (2003). *Produksjon av Olje og Gass*, Nesbru: Vett & Viten.
- Odland, J. (2000) *Offshore Field Development*, Stavanger: Høyskolen i Stavanger.

Olstad, H. & Berge, G. (2006) *Risk of fire in process industry. Progress in legislation and standard development on the Norwegian continental shelf*, 2nd International Conference on Safety & Environment in Process Industry (CISAP-2), 22-24 Mai 2006, Napoli, Italia

Overå, S. J. & Stange, E. & Salater, P. (1993) *Determination of Temperatures and Flare Rates During Depressurization and Fire*,

Petroleumstilsynet. (2008, 11. februar). *Norsk sokkel*. Hentet 13. mars 2009, fra Petroleumstilsynet <http://www.ptil.no/regelverk/norsk-sokkel-article3810-21.html>

Promat. *Fire Curves*, Hentet 3. mai 2009, fra <http://www.promat-tunnel.com/en/hydrocarbon-hcm-hc-rabt-rws.aspx>

Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Aldershot: Ashgate.

Roberts, T. A. & Medonos, S. & Shirvill, L.C. (2000). *Review of the response of pressurised process vessels and equipment to fire attack*, HSE-rapport

Sklet, S. (2002). *Methods for accident investigation*. NTNU, Reliability, Safety, and Security Studies. Trondheim: NTNU.

Stensaas, J. P. & Mostue, B. A. (2005) *Ny kunnskap om brann offshore. En innføring i ny kunnskap om brann offshore, tilegnet gjennom de siste 10 års forskning – 2. utgave*

Store Norske Leksikon. (2009, 23. april) *ISO*. Hentet 25. april 2009 fra Store Norske Leksikon <http://snl.no/ISO>

Øien, K. & Guttormsen, G. & Hauge, S. & Sklet, S. & Steiro, T. (2003). *Morgendagens HMS-analyser for vurdering av tekniske og organisatoriske endringer*, SINTEF Rapport nr. STF38 A02423, Trondheim: SINTEF NBL

10 BILDER

BILDE 1 - BRANN PÅ MUMBAI HIGH NORTH KOMPLEKSET.....	5
BILDE 2 – TENT FAKKEL PÅ STATFJORD B.....	11
BILDE 3 – EKSEMPEL PÅ EN FLENS.....	13
BILDE 4 – EKSEMPEL PÅ EN VENTIL.....	13
BILDE 5 – TRELLEBORG VIKING ISOLASJON PÅ HYDRAULISK RØR.....	14
BILDE 6 - KORROSJON UNDER ISOLASJON.....	16
BILDE 7 - JETFLAMME.....	21
BILDE 8 - RØR SOM HAR SVIKTET ETTER EKSPONERING AV EN JETFLAMME.....	21
BILDE 9 - VALHALL FLANKE SØR.....	49
BILDE 10 - SKARV PÅ KARTET (STATOILHYDRO.COM).....	51
BILDE 11 - ILLUSTRASJON AV SKARV.....	51
BILDE 12 - GJØS PÅ KARTET (STATOILHYDRO.COM).....	54
BILDE 13 - ILLUSTRASJON AV GJØA SEMI (GAZ DE FRANCE).....	54
BILDE 14 - KRISTIN PÅ KARTET (STATOILHYDRO.COM).....	57
BILDE 15 - KRISTIN SEMI.....	57

11 TABELLER

TABELL 1 - VARMELASTER OPPGITT I NORSOK S-001 OG RETNINGSLINJENE FRA SCANDPOWER.....	22
TABELL 2 - VARMELASTER ANBEFALT AV SINTEF.....	23
TABELL 3 - NORSOK L-001 PIPING CLASS SHEET.....	34
TABELL 4 - NORSOK L-001 MATERIAL DATA SHEETS.....	34
TABELL 5 - BRANNLASTER OG VARIGHET, GJØA.....	56
TABELL 6 - BRANNSCENARIER PÅ KRISTIN PLATTFORMEN.....	58
TABELL 7 - SAMMENLIGNING AV PROSJEKTENE.....	61

12 FIGURER

FIGUR 1 - SVEITSEROSTMODELLEN.....	7
FIGUR 2 - SENTRALE BARRIEREELEMENTER MOT EN PROSESSULYKKE.....	8
FIGUR 3 – KOSTNADSFORDELING OG INNFLYTELSE I EN EPCI-KONTRAKT.....	9
FIGUR 4 – FASER OG INNFLYTELSMULIGHET.....	9
FIGUR 5 - ILLUSTRASJON AV FAKKELSYSTEMET – FAKKEL MED VÆSKESKILLER OG FAKKELTÅRN.....	10
FIGUR 6 - ILLUSTRASJON AV ET SYSTEM MED KALD FAKKEL.....	12
FIGUR 7 – BRANNTREKANTEN.....	17

FIGUR 8 – NOEN BRANNKURVER	18
FIGUR 9 - BLEVE OG ILDKULE	19
FIGUR 10 - JETLEKKASJE I EN FLENS	20
FIGUR 11 - OVERGANG FRA LAMINÆR TIL TURBULENT JETFLAMME.	20
FIGUR 12 - LOVGIVNINGSHIERARKIET I NORGE.....	25
FIGUR 13 - TEKNISK SIKKERHETSDESIGN I NORSOK S-001	32
FIGUR 14 - SCANDPOWER SIN ITERATIVE PROSEDYRE FOR DESIGN AV TRYKKAVLASTNING.....	41
FIGUR 15 - VARMELASTER I PROSEDYREN FRA INSTITUTE OF PETROLEUM	44
FIGUR 16 - VALHALL PÅ KARTET.....	48
FIGUR 17 - FLYTDIAGRAM FOR SIKRING AV BRANNINTEGRITET FOR RØR PÅ SKARV FPSO.....	53

13 FORKORTELSER, TERMINOLOGI OG OVERSETTELSER

ANSI	American National Standards Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
Blowdown	Nedblåsning (Trykkavlastning)
Depressurization	Trykkavlastning
EDP (Emergency depressurization)	Automatisk trykkavlastningssystem
EPCH	(Engineering, Procurement, Construction & Hook-up)
EPCI	(Engineering, Procurement, Construction & Installation)
FAHTS (Fire and Heat Transfer Simulations)	Simuleringsprogram
FEED	Front end engineering design
FES	Fire and Explosion Strategy
Flowline	Strømningsrør
Hoop stress	Tangential spenning
Incident Heat Flux	The Gross Radiation heat flux + the convective heat flux to an object at ambient temperature
Longitudinal stress	Strekk spenning
NBL	Norges brann tekniske laboratorium
Nedstrøms (separator)	Neste (separator) med strømningsretningen
OD	Oljedirektoratet
Oppstrøms (separator)	Neste (separator) mot strømningsretningen
PFP Passive Fire Protection	Passiv brannbeskyttelse
Pipe fittings	Rørarmatur
Pipespec	Rørspesifikasjon
Pool fire	Pølbrann, væskedambrann
PRV (Pressure relief valve)	Trykkavlastningsventil
Ptil	Petroleumstilsynet
Rupture disk	Sprengskive

SFT	Statens forurensningstilsyn
Strain	Deformasjon
Stress (eng)	Spenning
USFOS (non-linear static and dynamic analysis of space frame structures)	a leading computer program for nonlinear static and dynamic analysis of space frame structures. USFOS is used by leading oil companies and engineering consultants world wide, for integrity assessment, collapse analyses and accidental load analyses of offshore jacket structures, topsides, jack-ups and other frame structures, intact or damaged.
UTS – ultimate tensile strength	Strekbrudd-grense

VEDLEGG A: FORSLAG TIL HVORDAN ET RØRBIBLIOTEK KAN SE UT

Linje	Gass eller væske	Rør - klasse og material	Brudd?			Tid til brudd [min]	Trykk i brudd - øyeblikket [bar a]	Rør - dimensjon [tommer]	Brudd-aksept?
			Scenario						
			A	B	C				
23L2000	Gass	AD200					8		
23L3000	Gass	AD200					8		
23L1003	Gass	AD200					6		
23L2001	Væske	AD200					6		
23L3001	Væske	AD200					6		
23L2004	Væske	AS200					4		
23L2007	Væske	AS200					4		
23L2008	Væske	AS200					4		
23L3004	Væske	AS200					4		
23L2000	Gass	AD200					3		
13L1501A	Gass	FD772					16		
13L1507A	Gass	FD751					10		
13L1527A	Væske	FD751					8		
20L1552	Væske	FD751			X	13,9	47,5	4	Nei
13L1525A	Væske	FD751			X	11,2	47,5	4	Nei
13L1523A	Væske	FD751			X	14,4	47,5	4	Nei
13L1530A	Gass	FD751		X		1,6	47,5	4	Nei
13L1533A	Gass	FD751			X	10,5	47,5	3	Nei
13L1521A	Væske	FD751		X		0,7	47,5	2	Nei
13L1520A	Væske	FD751		X		0,7	47,5	2	Nei
13L1529A	Væske	FD751		X		0,7	46,2	2	Nei
43L1366A	Væske	FD751		X		0,7	47,5	2	Nei
43L1530A	Væske	FD751		X		0,7	45,7	2	Nei
23L3004	Væske	AS200						2	
23L3005	Gass	AS200						2	
23L3007	Væske	AS200						2	
23L3008	Væske	AS200						2	
23L3009	Væske	AS200						2	
23L2001	Gass	AD200						1,5	
23L3001	Gass	AD200						1,5	
23L1001	Væske	AD200						0,75	
23L2000	Gass	AD200						0,75	
23L2001	Væske	AD200						0,75	
23L2003	Væske	AD200						0,75	
23L2004	Væske	AS200						0,75	
23L2008	Væske	AS200						0,75	
23L3000	Gass	AD200						0,75	
23L3001	Væske	AD200						0,75	
23L3003	Væske	AD200						0,75	

