

BRANNMOTSTAND - KARTLEGGING & FAGLIGE VURDERINGER

Brannmotstand - Teknisk rapport

Petroleumstilsynet

Rapportnr.: 2021-0341, Rev. 1

Dokumentnr.: 1030023

Dato: 09.04.2021



Prosjektnavn:	BRANNMOTSTAND - KARTLEGGING & FAGLIGE VURDERINGER	DNV Energy Systems Field development and Operations
Rapporttittel:	Brannmotstand - Teknisk rapport	Veritasveien 25
Oppdragsgiver:	Petroleumstilsynet, Professor Olav Hanssens vei 10, 4021 STAVANGER, Norge	4007 Stavanger Norway
Kontaktperson:	Liv Ranveig Rundell	Tel:
Dato:	09.04.2021	NO945748931
Prosjektnr.:	10248048	
Org. enhet:	Field development and Operations	
Rapportnr.:	2021-0341, Rev. 1	
Dokumentnr.:	1030023	

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

Oppdragsbeskrivelse:

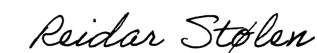
Petroleumstilsynet (Ptil) har gjennom tilsyn og kontakt med næringen erfart at det er varierende praksis og kunnskap knyttet til ulike problemstillinger relatert til brannmotstand og sertifisering av brannbeskyttelsesprodukter. Dette prosjektet ble igangsatt for å innhente kunnskap og erfaringer relatert til disse temaene. Rapporten publiseres på Ptil sin hjemmeside, slik at kunnskap/erfaringer knyttet til de ulike temaene blir delt med næringen. Innhentet kunnskap vil og bli brukt i Ptil sin oppfølging av næringen.

Utført av:

Raymond Netland
Principal Consultant



Bjørn Erling Vembe
Senior Principal Specialist



Reidar Stølen
Forsker, Rise Fire Research

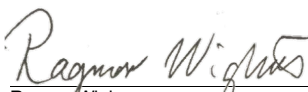


Erik Westbye Jacobsen
Test ingeniør, Rise Fire Research

Rob Crew
Test Ingeniør, Spade Adam - DNV

Sjur Helland
Senior Consultant

Verifisert av:



Ragnar Wighus
Sjefsforsker, Rise Fire Research

Asmund Huser
Senior Principal Specialist

Godkjent av:

Marianne Hauso
Head of department – Risk management advisory

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV 2021. Alle rettigheter forbeholdes DNV. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning.

DNV distribusjon:

Nøkkelord:

- ☒ ÅPEN. Fri distribusjon, internt og eksternt.
- ☐ INTERN. Fri distribusjon internt i DNV.
- ☐ KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste*.
- ☐ HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

*Distribusjonsliste:

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
0	2020-12-14	For kommentarer	Raymond Netland	Asmund Huser	Marianne Hauso
1	2021-04-09	Endelig versjon	Bjørn Erling Vembe	Asmund Huser	Marianne Hauso

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG OG KONLUSJON.....	1
1.1	Konklusjoner	1
1.2	Anbefalinger	2
2	INTRODUKSJON	3
2.1	Grunnlag for oppdraget	3
2.2	Sentrale parameter for beskrivelse og beregning av brannlaster	4
2.3	Forkortelser og standarder	4
3	KUNNSKAP OG ERFARING MED PBB	8
3.1	Branntesting	8
3.2	Brannlaster og brannisolering	10
3.3	Eksplisjonslaster på brannisolering	18
3.4	Skader på rør og komponenter (ikke PBB)	19
3.5	Skader og reparasjoner på passiv brannbeskyttelse	19
3.6	Fordeler og ulemper med PBB	19
4	SVAR FRA OPERATØRENE	20
4.1	Jetbranntest «Høy Varmefluks»	20
4.2	Brannlaster ved testing etter hydrokarbonkurven	21
4.3	«Fire safe» nødavstengningsventiler	22
4.4	Samsvar mellom branntest av utstyr med passiv brannbeskyttelse og installert produkt	23
4.5	Eksplisjonstest av utstyr med passiv brannbeskyttelse	24
4.6	Bruk av midlertidig reparasjoner av rør og andre komponenter med hensyn til brannmotstand	26
4.7	Reparasjoner av brannbeskyttelse på struktur/rør/utstyr	27
4.8	Bruk av midlertidig passiv brannbeskyttelse	28
4.9	Bruk av passiv brannbeskyttelse på kun tre sider av stålbjelker	31
4.10	«Firenuts» (PBB) beskyttelse av bolter/mutter	32
5	REFERANSER.....	33

1 SAMMENDRAG OG KONLUSJON

Petroleumstilsynet (Ptil) har gjennom tilsyn og kontakt med næringen erfart at det er varierende praksis og kunnskap knyttet til ulike problemstillinger relatert til brannmotstand og sertifisering av brannbeskyttelses produkter. Dette prosjektet ble igangsatt for å innhente kunnskap og erfaringer relatert til disse temaene. Rapporten publiseres på Ptil sin hjemmeside, slik at kunnskap/erfaringer knyttet til de ulike temaene blir delt med næringen. Innhentet kunnskap vil og bli brukt i Ptil sin oppfølging av næringen.

Som svar på oppdraget har DNV og RISE Fire Research i samarbeid med Ptil utarbeidet en rekke spørsmål som har blitt sendt ut til operatørselskaper på norsk sokkel. Svarene fra operatørene er gjennomgått og satt i sammenheng med teoretisk bakgrunnskunnskap for å belyse ulike utfordringer som oppstår i bransjen når praktiske løsninger skal installeres og dokumenteres i henhold til standarder og regelverk. Rapporten gir ikke entydige svar på alle spørsmålene, men belyser disse fra et faglig og operativt synspunkt.

Problemstillinger knyttet til brannmotstand blir belyst i denne rapporten. DNV og Rise Fire Research har utført en kunnskapsinnsamling på vegne av Ptil. Totalt 8 operatører på norsk sokkel har fått tilsendt brev med spørsmål om ulike emner som omhandler passiv brannbeskyttelse (PBB). Formålet med denne kunnskapsinnhenting er å kartlegge kunnskapsnivået hos operatørene. På grunnlag av disse svarene, samt DNV og Rise Fire Research sin kompetanse, er denne rapporten blitt utarbeidet.

Ptil har etterspurt en betraktning av brannfaglig ekspertise der kunnskap og erfaring innenfor følgende tema beskrives:

1. Jetbranntest («High heat flux»)
2. Brannlaster ved testing etter hydrokarbonkurven
3. «Fire safe» nødavstengningsventiler
4. Samsvar mellom branntest av utstyr med passiv brannbeskyttelse og installert produkt
5. Eksplosjonstest av utstyr med passiv brannbeskyttelse
6. Bruk av midlertidig reparasjoner med hensyn til brannmotstand
7. Reparasjoner av brannbeskyttelse på struktur/rør/utstyr
8. Bruk av midlertidig passiv brannbeskyttelse
9. Bruk av passiv brannbeskyttelse på kun tre sider av stålbjelker
10. «Firenuts» (PBB) beskyttelse av bolter/mutter

Innhentet informasjon tyder på varierende kompetanse mellom operatørene innenfor dette feltet. Operatører med lang erfaring har ofte mer kunnskap enn operatører med kort operasjonstid. Noen operatører har spesifikke prosedyrer for hvert enkelt av de 10 punktene, mens andre har mer generelle systemer som dekker flere av punktene. Alle operatørene kjenner til de viktigste standardene som er relevant for PBB og branntesting.

1.1 Konklusjoner

Petroleumstilsynet (Ptil) har gjennom tilsyn og kontakt med næringen erfart at det er varierende praksis og kunnskap knyttet til ulike problemstillinger relatert til brannmotstand og sertifisering av brannbeskyttelses produkter. Innhentet kunnskap i form av svar på spørsmål fra operatørselskapene tyder på at det er mange utfordringer rundt å anvende PBB optimalt og i henhold til regelverk og standarder.

Det er en utfordring at det er et gap mellom standard branntester og brannlaster som skal brukes i design. En av årsakene til at dette gapet eksisterer kan være at testkrav ofte oppgis med en temperaturkurve, mens designlastene er en varmeffluks, og man ikke ser direkte at det er et gap her. Det finnes heller ikke standard tester som kommer opp i de høye design-brannlastene som faktisk gjelder. Det er imidlertid utviklet tester som kan oppnå laster som tilsvarer designkrav, men disse testene er det ikke laget aksepterte internasjonale standarder for.

En annen utfordring er at når designkrav oppgis i form av varmekraft, så kan man til en viss grad velge om varmekraften er et rent strålevarme-bidrag eller om det er en miks av strålevarme og konveksjon. Ved å sette konveksjonsbidraget høyt, kan man få høyere total kraft med lavere gass- og flammetemperatur, og dermed lavere likevektstemperatur. Overflaten på isolasjonsmaterialer som benyttes til passiv brannbeskyttelse (PBB) oppnår gjerne raskt likevektstemperatur. PBB har en øvre grense for hvor høy temperatur materialet kan tåle, og det går an å sette opp regnestykker der konveksjonsbidraget er høyt, slik at likevektstemperaturen blir lavere enn tålegrensen til PBB. Den samme varmekraften gitt som et rent varmestrålingsbidrag vil kunne ha likevektstemperatur som er over tålegrensen til PBB.

Skade på PBB i en brann vil ofte komme av en kombinasjon av erosive krefter og høy temperatur. Høyt konvektiv varmeovergangstall henger sammen med stor fart på gass. Der en jetbrann treffer en overflate vil det være soner der både temperatur og gasshastighet er stor.

Når PBB sin varmeledningsevne er kjent er det lett å vise god beskyttelse mot brannlast med beregningsverktøy. For at PBB skal ha god effekt og være en robust løsning er det essensielt at man kjenner til PBB materialenes tåleevne med tanke på likevektstemperatur og erosjon. Selv om varmeledningsevnen til mange materialer er kjent i sin optimale og ideelle tilstand kan det være stor forskjell på dette og den reelle yteevnen til ett PBB-system slik det er installert, og hvordan yteevnen reduseres i løpet av brannforløpet.

De fleste operatørene uttaler at API 6FA stiller lavere krav til varmelast ved branntesting sammenstilt med designbrannlast. Denne teststandarden benyttes likevel til dokumentasjon av brannsikre ventiler. Testen tilsvarer en påtrykt varmelast på 40 – 50 kW/m², som er betydelig lavere enn designkravene i regelverket. Det gjøres ulike typer vurderinger av dette gapet i de ulike operatørselskapene. Noen har også gjennomført ventiltester med høyere varmelaster. Erfaringene fra disse testene er også delt i bransjen.

De fleste av operatørene gir inntrykk av at de finner det utfordrende å utforme funksjonskrav til PBB.

Det blir sett på som positivt at nye standarder for eksplosjonstesting er under utarbeidelse.

De skadelige effektene av eksplosjoner er komplekse, og fordi det har manglet standard tester er det utfordrende å dokumentere nødvendig integritet til PBB når det gjelder eksplosjoner. Det mangler fortsatt innarbeidede standarder for eksplosjonstesting av PBB, men det er pågående arbeid for å utvikle slike standarder. Arbeidet går imidlertid sent, og det er ikke fastsatt noen sluttdato for å utgi disse standardene. DNV og Rise Fire Research oppfordrer til fortgang i dette arbeidet.

1.2 Anbefalinger

Det er spesielt mindre eller nyere operatører som har antydning at regler ikke er etterfulgt, eller at prosedyrer mangler. Dette kan være enten med at de har unnlatt å svare positivt, eller at de har bemerket at det er mangler. Omfanget av manglene kan også være omfattende. Det er foreslått noen anbefalinger som kan øke sikkerhet når det gjelder bruk av PBB.:

- Utarbeide standard tester som gjenspeiler reelle brannlast, og som inneholder måledata som kan brukes i beregninger av respons i reelle strukturer og utstyr.
- Ståltemperatur beskriver konsekvensen av varmelaster bedre enn varmelast i form av strålingsnivå og varighet. Følgelig er krav til likevektstemperatur i standardiserte stålobjekter et bedre mål for brannlast enn å oppgi krav i form av en varmekraft.
- Ferdigstille standarder for eksplosjonstesting av PBB.
- Beskrive hvordan vedlikehold og reparasjoner av PBB kan gjøres bedre.

- PBB bør være testet og godkjent for å tåle høy temperatur og erosjonskrefter. Dersom PBB skal tåle en brannlast på 350 kW/m², må den tåle minst likevektstemperaturen som denne varmelasten gir tilstrekkelig lenge.

2 INTRODUKSJON

Petroleumstilsynet (Ptil) har gjennom tilsyn og kontakt med næringen erfart at det er varierende praksis og kunnskap knyttet til ulike problemstillinger relatert til brannmotstand og sertifisering av brann beskyttelses produkter. Dette prosjektet ble igangsatt for å innhente kunnskap og erfaringer relatert til disse temaene.

DNV og Rise Fire Research har blitt forespurt av Ptil om å samle relevant kunnskap knyttet til ulike problemstillinger relatert til brannmotstand og sertifisering av brann beskyttelses produkter. Arbeidsformen har vært todelt:

1. Ptil har sendt brev til et utvalg av sentrale operatørselskap på norsk sokkel. Brevet tar for seg 10 problemstillinger knyttet til design, utforming, bruk og vedlikehold av passiv brannbeskyttelse (PBB). Operatørene ble bedt om å svare på en liste med spørsmål. Disse spørsmålene har så blitt gjennomgått og vurdert av en gruppe spesialister innenfor relevante fagfelt i DNV og Rise Fire Research. Resultatet fra dette arbeidet er beskrevet i kapittel 4.
2. Fagmiljøene i DNV og Rise Fire Research har beskrevet hva de mener er relevant bakgrunnskunnskap for å gi en bedre forståelse for emnene. Rise Fire Research stiller med lang erfaring i branntesting etter industristandarder og forskning og utviklingsprosjekter. Det samme gjelder for DNV som har testanlegg på Spadeadam og betydelig erfaring med brann- og eksplosjonstesting. DNV har også lang erfaring med risikoanalyser og modellering av brannlaster. Resultatet fra dette er beskrevet kapittel 3.

Operatørselskapene fikk relativt kort tid på å respondere på spørsmålene fra Ptil og har gitt korte og konsise svar, men med nok innhold til å gi en forståelse av praksis hos den enkelte operatør.

2.1 Grunnlag for oppdraget

Fordi det er varierende praksis og kunnskap om ulike tema relatert til brannmotstand og sertifisering av brannbeskyttelsesprodukter ønsker Ptil å få bedre oversikt over kunnskapsnivået blant operatørene og i fagmiljøene. Riktig bruk av passiv brannbeskyttelse er avgjørende for å oppnå ønsket nivå på sikkerhet. Dette prosjektet har satt sammen et team av spesialister innenfor relevante fagområder. I prosjektet er det hentet inn relevant kunnskap innenfor følgende tema:

1. Jetbranntest («High heat flux»)
2. Brannlaster ved testing etter hydrokarbonkurven
3. «Fire safe» nødavstengningsventiler
4. Samsvar mellom branntest av utstyr med passiv brannbeskyttelse og installert produkt
5. Eksplosjonstest av utstyr med passiv brannbeskyttelse
6. Bruk av midlertidig reparasjoner med hensyn til brannmotstand
7. Reparasjoner av brannbeskyttelse på struktur/rør/utstyr
8. Bruk av midlertidig passiv brannbeskyttelse
9. Bruk av passiv brannbeskyttelse på kun tre sider av stålbjelker
10. «Firenuts» (PBB) beskyttelse av bolter/mutter

2.2 Sentrale parameter for beskrivelse og beregning av brannlaster

Tabell 1 definerer noen sentrale parametere som benyttes for å beskrive av varmelaster i branner og materialer som brukes for å beskytte utstyr og strukturer mot høy varmelast.

Tabell 1: Sentrale parameter for beskrivelse og beregning av brannlaster

Parameter	Målenhet	Forklaring
Varmefluks	W/m ²	Energistrøm, enten i form av strålevarme, konveksjon eller konduksjon.
Strålevarme	W/m ²	Energi som overføres via elektromagnetiske bølger. I brannsammenheng vil varm gass, glødende sot og varme flater stråle ut varme som elektromagnetiske bølger. Lyset fra flammer er en del av denne varmestrålingen, men en stor andel av varmen stråler i det infrarøde bølgelengdeområdet
Konveksjon	W/m ²	Varmeenergi som følger gass eller væske i bevegelse og varmeoverføring fra gass og væske til faste overflater.
Konduksjon	W/m ²	Varmedledning. Overføring av varme med termiske kollisjoner mellom molekyler. Varmen beveger seg fra høy til lav temperatur.
Likevekts-temperatur	Grader Celsius (C) eller Kelvin (K)	En flate som er utsatt for strålevarme, konveksjon og konduksjon oppnår likevekts-temperatur når summen av energistrømmer er 0. Dersom påtrykket varmelast er konstant, tilsvarer dette stasjonær temperatur. Temperatur i grader Kelvin er mye brukt ved beregning a varmestråling.
Varmeovergangstall	W/m ² /C	Varmeovergangstall er et mål på hvor stor varmefluks en gitt temperaturforskjell vil gi. Varmerovergangstall brukes til å - beregne varmefluks mellom temperatur i fristrøm for en væske eller gass og en fast flate. - beregne varmefluks gjennom for eksempel en vegg eller et vindu. Varmerovergangstall kan også være sammensatt for å beskrive varmefluks fra luft på en side av en vegg til luft på den andre siden av veggen.
U-verdi	W/m ² /C	Brukes gjerne som benevnelse for varmeovergangstallet til et isolasjonsmateriale med en gitt tykkelse. U-verdi kan beregnes fra kjent konduktivitet og kjent tykkelse
Konduktivitet	W/m/C	Et materiale sin varmeledningsevne

2.3 Forkortelser og standarder

I svar fra operatørene og i tekst fra DNV og Rise Fire Research er det benytte mange forkortelser og det er mange referanser til standarder. Tabell 2 forklarer forkortelsene som er benyttet og Tabell 3 beskriver standarder som er referert. I brann- og eksplosjonsrisikoanalyser benyttes mange regneverktøy. De mest brukte i norsk sektor er kort beskrevet i Tabell 4.

Tabell 2: Forkortelser

AIS	Asset integrity strategy
AT	Arbeidstillatelse
CFD	Computational Fluid Dynamics. Numeriske koder som er laget for å løse grunn-likningene i fluid dynamikk gjerne inkludert varmetransport, kjemiske reaksjoner og spredning av gasser.
CSDS	Chemical safety data sheet
DAL	Dimensioning accidental load, dimensjonerende last. (Brukes også om designlast)
DeAL	Design Accidental Load, designlast.
FEM	“Finite Element Method” En klasse av numeriske løsninger på likninger. Metoden er mye brukt for styrkeberegninger. Noen FEM koder kan også regne på tap av styrke ved brannlaster. Noen CFD koder bruker FEM.
HHF	High Heat Flux

IP	Integritetsprogram
IPS	Insulation procedure specification
MC	Mechanical Completion
PBB	Passiv brannbeskyttelse
PFP	Passive fire protection
PS	Performance standard
Ptil	Petroleum stilsynet
TA	Technical authority
TRA	Total risikoanalyse
TAR	Technical authority revision.
WCPF	Worst Credible Process Fire

Tabell 3: Standarder

ISO 22899-1	Standard beskriver en metode for å bestemme passiv brannbeskyttelse sin motstand mot jetbrann. /1/
OTI-95634	Første versjon av standardisert jetbranntest. Svært lik den følgende ISO 22899-1. /9/
ISO 834-1	Branntest i ovn med regulert temperaturforløp som er ment å tilsvare cellulose brann. Mest brukt for å teste bygningsmaterialer. Standarden definerer en tid-temperatur kurve lik $T_c = 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) + 20$. /10/
ISO 23693	Ny standard under utarbeidelse som vil omhandle sikring av PBB mot eksplosjonslaster. (Del 1 «General requirements» er utgitt, Del 2 «Divisional elements» og del 3 «Structural elements» er under utvikling). /11/
ISO 24817	Standard for å sikre at rør, rørledninger, tanker og fartøy repareres ved hjelp av kompositt systemer som er kvalifisert, designet, installert og inspisert i henhold til denne standarden vil oppfylle de spesifiserte ytelseskravene. /12/
ISO 10497	Standard test for ytelse til ventiler utsatt for brannlast. Testen følger samme temperaturprofil og målemetode som API 6FA, B og D. Prøvestykket trykkes med vann. Etter branntesten skal ventilen kjøles med vann. /13/
NORSOK M-004	Standard for isolering av rørsystemer med tanke på temperaturkontroll, brannbeskyttelse, støyreduksjon og beskyttelse av personell. Gjelder både for påføring og vedlikehold av isolasjon. /14/
NORSOK M-501	Standarden gir kravene til valg av belegningsmaterialer, overflatebehandling, påføringsprosedyrer og inspeksjon for beskyttende belegg som skal påføres under konstruksjonen og installasjon av offshore installasjoner og tilhørende anlegg. /15/
NORSOK S-001	Standarden beskriver krav til individuelle sikkerhetsbarrierer og sikkerhetssystemer og representerer en generisk ytelsesstandard for de forskjellige sikkerhetsbarrierene. /16/
UL1709	Standard for branntest i ovn med en tid-temperaturkurve som er relativt lik HC-kurven, men bruker andre måleprober for å styre temperaturen. Standarden nevner også at brannmiljøet i ovnen skal utvikle en varmekraft på 204 kW/m ² uten at dette er videre definert i standarden. /17/
EN-1363-2	Branntest i ovn for å simulere varmelast fra hydrokarbonbrann (oljedam). HC-kurven $T_c = 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.67e^{-2.5t}) + 20$ /18/
API 6FA, B, D	Standard test for ytelse til ventiler, tilbakeslagsventiler og endekoblinger utsatt for brannlast. Intern og ekstern lekkasje skal kvantifiseres. Prøvestykket trykkes med vann. Ligner på ISO 10497. /19/
IMO 2010 FTP Code, Part 3 («FTP-koden»)	I tredje del av FTP-koden, «International Code for Application of Fire Test Procedures, Part 3 – test for “A”, “B”, and “F” class divisions, er det beskrevet testprosedyre for brannprøving av brannskiller. /8/
BS 6755-2	Tilbaketrukket britisk standard for testing av ventiler. Erstattet av ISO 10497. /20/

Det finnes en god del interne selskapsstandarder og styrende dokumenter som også benyttes. Siden de ikke er offisielle, er de ikke beskrevet i dette dokumentet.

Tabell 4: Regneverktøy

KFX	Kameleon FireEx - CFD kode utviklet i samarbeid med oljeindustrien med spesiell vekt på å kunne regne realistiske varmelaster ved jet-, spray- og pølbranner i komplekse strukturer, bygninger og prosessanlegg. Utviklet av SINTEF, ComputIT og DNV.
FLACS	Eksplasjonssimuleringskode utviklet av CMR og Gexcon i samarbeid med olje og gass industrien.
FLACS-FIRE	Modul til FLACS som gjøre det mulig å simulere jet- og pølbranner.
KFX-EXSIM	En integrert programmodul i CFD-verktøyet KFX for 3-D simulering av gaseksplasjoner i komplekse geometrier. KFX-EXSIM bygger på den internasjonalt anerkjente og validerte eksplonjonsmodellen EXSIM, utviklet av eksplonjonseksptene professor Bjørn H. Hjertager og professor Tron Solberg i tett samarbeid med Shell.
FAHTS	"Fire And Heat Transfer Simulation". Verktøy som beregner temperaturutvikling i strukturer basert på temperaturer/varmeflukser fra KFX og gir input til deformasjonsberegninger med USFOS
USFOS	Program som er skreddersydd for analyse av offshorekonstruksjoners motstand mot ulykkelaster. For branner beregnes reduksjonen i konstruksjonens lastbærende evne og tilhørende deformasjoner som følge av svekkelses-materialstyrken (flytespenning) ved høye temperaturer. Dersom lastbærende evne underskrider funksjonsbelastningen, vil konstruksjonen bryte sammen
BRILIANT	Brilliant er et generelt CFD- og FEM-verktøy for multifysikk for simulering av strømming og varmetransport, inkludert kjemiske reaksjoner og faste materialer.
ABAQUS	Er en «finite element» (FEM) kode med mange bruksområder, for eksempel Lineær og ikke-lineær, koblet fysikk (strukturell akustikk, termisk-elektrisk og mer), elektromagnetikk og glatt partikkelhydrodynamikk. Den brukes til å studere tap av styrke som konsekvens av brannlaster.
Vessfire	VessFire er et simuleringsverktøy som er utviklet for tidsavhengig, ikke-lineær analyse av termo-mekanisk respons for prosess industrien, med og uten brannbelastning.

3 KUNNSKAP OG ERFARING MED PBB

3.1 Branntesting

Branntesting av komponenter og produkter er definert i en rekke ulike standarder. Standardene er laget for å kunne eksponere et standardisert objekt for en mest mulig repeterbar, reproduserbar og relevant påkjenning fra en brann. Resultatet av standardiserte branntester gjennomført etter den samme standarden skal kunne sammenlignes på tvers av ulike produkter og ulike testlaboratorier over tid. For testing av brannmotstand er det mest vanlige kriteriet at det defineres en kritisk temperatur som det beskyttede objektet ikke må overstige innenfor en viss tid. Dette kan være overflatetemperaturen på ueksponert side av et brannskille, eller temperaturen i veggene på et beskyttet stålrør eller bærende struktur. For prøvestykker med brannskille stilles det også krav til at det ikke forekommer integritetsbrudd som følge av branntesten. Dette defineres ut ifra flammer på ueksponerte siden av brannskillet eller ved at det oppstår en åpning inn mot brannsiden.

3.1.1 Branntesting av brannskiller

I Forskrift om sikringstiltak mot brann og eksplosjoner på flyttbare innretninger /4/ refereres det til brannskiller av klasse «A», klasse «B» og klasse «H». §1 angir at en standard brannprøve er en brannprøve som blir utført på brannskille klasse A og B i samsvar med IMO 2010 FTP Code part 3 (FTP-koden) /8/. Videre defineres det at brannskiller av klasse H skal utsettes for en varmekompensasjon fra en hydrokarbonbrann som beskrevet i EN 1363-2 (HC-kurven). Innretningsforskriften /24/ §3 definerer A, H og B brannskiller på samme måten som /4/.

Brannskiller av klasse «A» og «H» er skiller som dannes av skott og dekk i stål eller likeverdig materiale som er bygget passende avstivet (klasse «A») eller tilstrekkelig avstivet (klasse «H») og som skal forhindre framtrengning av røyk og flammer inntil utgangen av en branntest *på to timers varighet*. Skille skal også være isolert med sertifiserte ubrennbare materialer (for klasse H kan materialer som ikke fullt ut er ubrennbare benyttes gitt at det kan dokumenteres at det er sikkerhetsmessig forsvarlig) på en slik måte at gjennomsnittstemperaturen på den ueksponerte siden ikke overstiger 140 °C over den opprinnelige temperaturen, og det skal heller ikke være en temperaturøkning som overstiger 180 °C på noe enkelt punkt, innenfor de oppgitte tider:

Klasse H-120 – 120 minutter

Klasse A-60 og Klasse H-60 – 60 minutter

Klasse A-30 – 30 minutter

Klasse A-15 – 15 minutter

Klasse A-0 og Klasse H-0 – 0 minutter

Brannhemmende skiller av klasse «B» er skiller som er dannet ved skott, dekk, himling eller kledning, og skal være bygget slik at de hindrer framtrengning av flammer til utløpet av den første halve timen av branntesten. Det skal være isolert med sertifiserte ubrennbare materialer slik at gjennomsnittstemperaturen på den ueksponerte siden ikke overstiger 140 °C over den opprinnelige temperaturen, og det skal ikke være en temperaturøkning som overstiger 225 °C, innenfor de oppgitte tider:

Klasse B-15 – 15 minutter

Klasse B-0 – 0 minutter

Jetbranner oppstår når brennende væske eller gass strømmer ut med stor hastighet. Disse er karakteristiske ved at det ikke bare er varmeeksponeringen som er vesentlig, men også den mekaniske og erosive påkjenningen som kommer fra

den kinetiske energien til mediet som brenner. På grunn av de store hastighetene og det komplekse strømningsmønsteret oppstår det store variasjoner i temperatur og strømningshastigheter i området som blir eksponert for jetbrannen.

I utviklingen av den standardiserte jetbranntesten som først ble publisert som OTI 95634 og som senere har blitt definert i ISO 22899-1 ble det tatt utgangspunkt i en serie med branntester som ble gjort med et sonisk utslipp av 3 kg/s naturgass som traff et rør som var montert 9 meter fra utslippspunktet i et åpent område. I dette røret ble det målt temperaturer og varmekraft med termoelementer og fluksmeter. Lignende temperaturer og varmekraftmålinger ble oppnådd i et nedskalert testoppsett med 0,3 kg/s propan der et resirkuleringskammer som målte 1,5 x 1,5 x 0,5 meter ble plassert 1 meter fra utslippet av jetbrannen. Dette testoppsettet har blitt standardisert som OTI 95634 og senere ISO 22899-1.

3.1.2 Varmekraft i standardiserte branntester

UL 1709 /17/ er den eneste teststandarden for brannmotstand som er basert på målinger av varmekraft med fluksmeter. Dette er en ovnstest der det skal gjennomføres en separat kalibreringstest der en søyle blir plassert midt i ovnen med vannkjølte totalfluksmeter montert i overflaten av kalibreringssøylen. Temperaturen blir målt med 8 stk. 1,6 mm termoelement som skal plasseres 10 cm fra overflaten til kalibreringssøylen. Temperaturene som måles i disse målepunktene under kalibreringstesten der fluksmetermålingene når $204 \pm 16 \text{ kW/m}^2$ brukes som referanse til å styre ovnen under tester av isolerte prøvestykker. Temperaturkurven som er oppgitt i standarden og gjengitt i Figur 3-1 når $1093 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Den har en toleranse på $\pm 111 \text{ }^{\circ}\text{C}$ for å kunne tilpasses temperaturmålingene fra kalibreringstesten.

API-testene 6FA, B og D /19/ og ISO 10497 /13/ er definert ved at temperaturen i noen definerte objekter skal følge en viss temperaturrespons i nærheten av prøvestykket. I den første delen av testen er det tynne termoelementer som skal nå en minimumstemperatur på $761 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i løpet av 2 minutter. Etter 15 minutter er det temperaturen inne i 38 mm kuber av karbonstål som skal nå et gjennomsnitt på minst $650 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette skal oppnås med en uspesifisert flamme av brennbar gass. Figur 3-2 viser en temperaturkurve for en 38 mm stålkube som eksponeres for en varmelast på 42 kW/m^2 . Denne oppnår en temperatur på $650 \text{ }^{\circ}\text{C}$ etter 15 minutter.

Alle de ulike ovnstestene som er basert på ISO 834-1 og EN 1363-1 styres ved definerte tid-temperaturkurver som måles med platetermometer. Disse brukes til å dokumentere brannmotstand for konstruksjoner både på land og på skip. Ingen av disse standardene nevner noe om hvilken varmekraft prøvestykkene blir eksponert for. Et platetermometer er laget av ei $0,7 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ stålplate som er isolert på baksida. Temperaturen måles mellom isolasjonen og stålplata og gir en god representasjon av overflatetemperaturen midt på stålplata. Denne temperaturen er påvirket av både strålingsvarmen inn mot stålplata og konveksjonsvarmen fra gassen som strømmer forbi. Strålingstemperaturen og gasstemperaturen vil ikke være den samme, men platetermoelementet vil finne sin likevektstemperatur et sted mellom disse. Til sammenligning vil et platetermometer være mer påvirket av strålingstemperaturen og mindre påvirket av gasstemperaturen enn et tynt termoelement med noen få mm i diameter som brukes til å måle temperaturen i UL 1709. Teststandarden i seg selv, sier ikke noe om hvilken varmekraft som oppnås. Hvilke varmekraft som har oppstått i testen må beregnes spesifikt i hvert enkelt tilfelle.

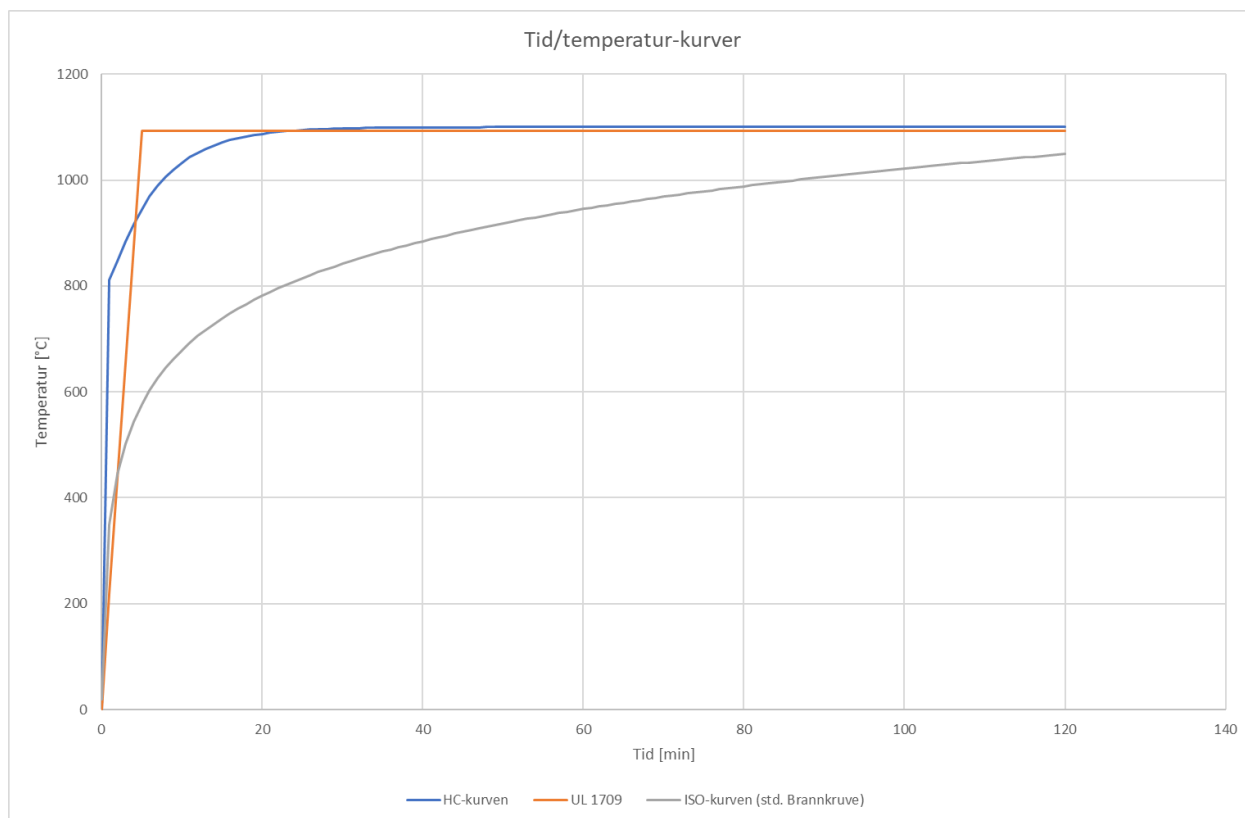
Jetbranntesten i ISO 22899-1 er definert ved geometrien på testoppsettet, dyse og massestrøm av propan. Det er ikke definert noen målinger av temperatur eller varmekraft i flammen. I utviklingen av testmetoden som ble publisert som OTI 95634 i 1995 og senere som ISO 22899-1 i 2007 ble det gjort målinger som viste at en del temperaturer og varmekraftnivåer var sammenlignbare med en serie referansetester som ble gjennomført med 3 kg/s naturgass. Målinger som er gjort i 20 separate tester etter denne standarden viser at likevektstemperaturene inne i flammen oftest ligger mellom $900 \text{ }^{\circ}\text{C}$ og $1250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ /3/. Ved å regne om temperatur til sort legeme, blir dette 107 til 305 kW/m^2 .

Jetbranntester med definert varmekraft 350 kW/m^2 har vært etterspurt for å kunne dokumentere produkter sin brannmotstand ved beregnede ulykkeslaster. Utgangspunktet for den standardiserte måten å definere og styre

varmefluksnivået i disse jetbrannene er beskrevet i NORSOK S-001:2020 /16/. For å kunne bruke varmefluks i en branntest er det nødvendig å definere en målemetode som kan gi repeterbare, reproducerbare og relevante data. Å bruke fluksmeter inne i en jetbrann har vært gjort ved flere anledninger, men målingene fra disse testene er svært usikre fordi følsomheten til fluksmeterne forandrer seg svært mye gjennom testen, blant annet fordi det bygges opp et belegg av isolerende sot på den kalde sensoroverflaten. Kalibreringer av fluksmeter som ble gjennomført før og etter en serie med jetbranntester viste at følsomheten hadde forandret seg svært mye.

Måling av temperaturrespons og definering av en likevektstemperatur som et lite stålobject skal oppnå når det er plassert inne i flammen i nærheten av prøvestykket er godt egnet til å gi relevante data. Siden et objekt som har nådd sin likevektstemperatur med flammen har en overflatetemperatur som er relativt lik med gasstemperaturen i flammen vil det konvektive bidraget til denne temperaturen være liten. Ved å beregne denne likevektstemperaturen til å være lik strålingsfluksen fra et svart legeme tilsvarer dette at en varmefluks på 350 kW/m^2 vil gi en likevektstemperatur på 1303°C . Rise Fire Research benytter denne metoden for å definere varmefluks i jetbranner.

I de fleste branntester vet man ikke hva varmefluksen er, og dette er uheldig siden man bruker varmefluks som mål for brannlasten.



Figur 3-1 Tid-temperaturkurver for HC-kurven (EN 1363-2), UL 1709 og ISO-kurven (ISO 834-1) plottet i samme diagram. Termoelementene som blir benyttet for å lese av temperaturen er ulike i UL 1709 i forhold til HC-kurven og ISO-kurven, slik at disse ikke er direkte sammenlignbare.

3.2 Brannlast og brannisolering

Fordi det ikke er mulig å teste alt utstyr for alle design varmelaster i alle mulige konfigurasjoner, trenger man metoder for å ekstrapolere resultater fra standard tester til reelle brannsituasjoner. For eksempel API 6FA er en test som man vet at representer en betydelig lavere varmelast enn aksepterte designlaster. Når en ventil er testet etter API 6FA eller ISO

10497 vet vi at den tåler en varmelast som tilsvarer ca. 40-50 kW/m² i 30 minutter uten å bli helt ødelagt. Det er sannsynlig at den tåler mer, men for å vite det må det gjøres andre tester og beregninger /3/.

3.2.1 Bruk av modeller for å bestemme brannbeskyttelse

Det er utfordringer med å ekstrapolere resultater fra standard branntester til virkelige situasjoner. Simuleringsverktøy er mye brukt for å beregne varmelaster (f.eks. KFX, Flacs-fire, FireFoam og FDS) og temperaturrespons i strukturer og prosessutstyr (f.eks. FATHS, USFOS, Abaqus, Vessfire og Brilliant).

Krav til varmemotstand er ofte gitt i form av dimensjonerende eller design brannlast og den kan være oppgitt som en kombinasjon av varmefluks i kW/m² og en varighet i minutter. I offshore-sammenheng handler brannbeskyttelse i stor grad om å unngå at bærestrukturer og utstyr får så høy temperatur at stålet mister sin styrke. Dersom man kan beregne tidsutvikling av ståltemperatur som er forårsaket av troverdige dimensjonerende brannscenarier har man et utgangspunkt for å bestemme hva som er viktig å brannisolere. Et dimensjonerende brannscenario er en realistisk representasjon av den dimensjonerende brannlasten og kan være representert av forskjellige fysiske branner som er bestemt av en «Worst Credible Process Fire» eller verste mulige prosessbrann, en brannrisikoanalyse, etc.

Per i dag har man relativt presise modeller for å beregne varmelaster, temperaturutvikling i stål og innvendig trykk i prosessutstyr som har nødavstenging, trykkavlastning og kjent påtrykket varmelast fra brann. Man kan også beregne kjøleeffekt fra fungerende brannvannsystemer, men kjøleeffekt fra brannvann skal ikke krediteres i risikoanalyser. Effekt av brannisolering kan man beregne relativt godt når man kjenner varmetransportegenskapene til isolasjonsmaterialet.

Det kan være vanskelig å fremskaffe presise data for ekspanderende brannisolasjon (epoxybasert) som kan benyttes i en regnemodell. Derfor benyttes ofte et konservativt estimat for isolasjonsmaterialets U-verdi (W/m²K). Lav U-verdi gir god isolasjonsevne. Det er imidlertid ønskelig med en standard måte å beskrive isolasjonsevne til ekspanderende brannisolasjon. Det vi vet om ekspanderende brannisolasjon er at U-verdien reduseres når materialet ekspanderer, og at en del av varmefluksen går med til gassifisering som foregår under ekspansjon og dette gir en ekstra beskyttelse mot oppvarming av det isolerte objektet. I regneverktøy ville det være nyttig å få følgende verdier oppgitt for ekspanderende PBB:

- U-verdi/konduktivitet før ekspansjon
- U-verdi/konduktivitet etter ekspansjon
- Varmekapasitet før og etter ekspansjon
- Tykkelse før og etter ekspansjon
- Densitet før og etter ekspansjon
- Gassifiseringsvarme (J/kg)
- Temperaturintervall for ekspansjon

Dagens praksis er å velge litt konservative konstante U-verdier som representerer en middelerdi for isolasjonsevnen under brannlasten. DNVGL-RP-C204 /5/ forslår U-verdi på 5 W/(m²K) der det er høyt krav til beskyttelsesnivå og 10 W/(m²K) der det er lavere krav til beskyttelsesnivå.

3.2.2 Hvordan isolasjonsevne påvirkes av brann

I forsøk og standardtester måles tidsutvikling av temperatur i stål. U-verdi kan i mange tilfeller beregnes/estimeres når man kjenner varmefluksen som teststykket utsettes for. Bedre data for PBB sin isolasjonsevne ville gjøre det enklere å ekstrapolere fra varmelaster i standard tester til reelle brannlaster.

Ekstrapolering av testresultater er tryggest å gjøre fra tester som er gjort med høy last til virkelige laster som er lavere. Ved høye laster kan egenskapene til PBB endres raskt og på en annen måte enn ved lavere laster. De fleste isolasjonsmaterialer får høyere varmeledningsevne når temperaturen øker opp mot flammetemperatur. Dette gjelder også for ekspanderende isolasjon, men isolasjonsevnen øker fordi isolasjonen blir tykkere. Noen isolasjonsmaterialer brenner opp eller gassifiseres fullstendig ved 800-900 °C. Erosjon og høy varmelast henger gjerne sammen fordi de høyeste varmelastene gjerne oppstår når både gassens fart og temperatur er høy. Erosjon er størst for høy gasshastighet.

3.2.3 Stålmantling og strammebånd

Hvor høy temperatur de ulike materialene tåler før de mister sin mekaniske styrke varierer. Når brannbeskyttelsen sprekker opp eller ramler av prøvestykket blir den beskyttede overflaten direkte eksponert for brannen og mottar en varmekraft som er mange ganger høyere enn den som måtte gå gjennom isolasjonsmaterialet. For eksempel er det ikke uvanlig at stålmantling og strammebånd får større eller mindre skader i jetbranntester med høy varmelast. Siden stålmantlingen utenpå et isolert objekt raskt oppnår en høy temperatur ved eksponering for brann trenger det ikke ta så lang tid før denne skades. Når en skal beregne temperaturresponsen til isolerte objekter må en anta at isolasjonen opprettholder integriteten gjennom hele brannforløpet ved den aktuelle varmelasten, men dersom isolasjonen faller av som følge av at strammebånd ryker holder ikke denne antagelsen lenger. Tester med høy temperatur er derfor viktig for å kunne dokumentere at integriteten til brannbeskyttelsen er ivarettatt i den nødvendige tiden. Så lenge dette er ivarettatt er det mulig å beregne temperaturrespons basert på estimert U-verdi.

3.2.4 Stråling og konveksjon

Varmefluksen inne i en flamme består av et strålingsbidrag og et konvektivt bidrag. Når tester utføres i ovn, kan strålingsbidraget beregnes/estimeres fra målte temperaturer. Dersom et uisolert prøvestykke har enkel geometri (konstant godstykkelse) kan konvektiv varmeovergangstall beregnes ut fra kjent tidsavhengig temperatur i stålstykket, kjent strålingsfluks og kjent gasstemperatur.

Varmelast på en overflate utsatt for brannlast kan beregnes fra likningen (som beskrevet i introduksjonsbøker i varmetransport og NORSOK S-001 (2020)):

$$q_{net} = \alpha_s \cdot \sigma \cdot T_r(t)^4 + h(T_f - T_s(t)) - \varepsilon_s \cdot \sigma T_s(t)^4$$

der

q_{net}	Netto varmekraft (W/m^2)
ε_s	Emisjonskoeffisient for overflaten
α_s	Absorpsjonskoeffisient for overflaten (normalt satt lik ε)
σ	Stefan-Boltzmann's konstant = $5.67 \cdot 10^{-8} (W/(m^2 \cdot K))$
T_r	Strålings-temperatur i flammen (K)
T_f	Gass temperatur i flammen (K)
$T_s(t)$	Overflate temperatur ved tiden t (K)
h	Konvektivt varmeovergangstall ($W/(m^2 \cdot K)$)

NORSOK S-001:2020 anbefaler at strålingstemperatur settes lik gasstemperatur i flammen. Dette er en grei antagelse dersom optisk tykke flammer omslutter objektet, eller dersom overflatene omkring er omtrent like varme som flammen.

Dersom man vil gjøre om temperaturen i en testovn, slik som beskrevet i for eksempel ISO 834-1 eller for HC-kurven (EN 1363-2), til en netto varmekraft ser man at det ikke bare er overflatetemperaturen som endres over tid, men også flammetemperaturen (Figur 3-3).

Varmeovergangstallet h er avhengig av flere ting, og kan være komplisert å beregne nøyaktig. For forståelsen av varmeovergangstall er det viktig å vite at det øker med økende gasshastighet og med avtagende størrelse på objektet. Det er et viktig moment at for eksempel rør med liten diameter vil få et konvektivt bidrag som er vesentlig større enn et rør med stor diameter ved samme lokale temperatur og gasshastighet.

NORSOK S-001 anbefaler $h = 100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ for jetbrann og $h = 30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ for andre branner. CFD beregninger av detaljert varmelast indikerer at dette er greie tall å bruke som estimat, men både høyere og lavere varmeovergangstall kan forekomme i objekter omsluttet av flamme. Det bør presiseres at spray jetbranner vil ha høye varmeovergangstall på nivå med gassjetbrann.

Emissivitet ε mindre enn 1.0 fører til at noe av strålevarmen som treffer overflaten blir reflektert uten å bidra til oppvarming. Det finnes materialer som har svært lav emissivitet, slik som blankpolert aluminium. Det kan være fristende å se for seg blanke overflater som et middel for passiv brannbeskyttelse, men omtrent alle overflater får høyere emissivitet over tid og emissiviteten øker raskt i kontakt med flammer som gir sotavleiring og når overflaten oksideres ved høy temperatur. I tillegg gjør emissivitet ingenting med det konvekitive bidraget.

3.2.5 Beregning av virkningen til passiv brannbeskyttelse.

Når overflater er brannisolert, vil det bli en betydelig differanse i temperatur mellom utsiden og innsiden av isolasjonsmaterialet, og overflatetemperaturen på isolasjonen vil stige raskere enn overflatetemperaturen til uisolert stål. Den gode effekten av brannisolasjon er en kombinert effekt av resistans mot varmeledning og at netto varmekraft q_{net} går ned fordi overflatetemperaturen raskt blir høyere enn for uisolert stål. Denne høyere overflatetemperaturen gir også høyere temperaturer i flammen utenfor objektet, spesielt i områder hvor det er store flater som er isolert i nærheten av flammen.

Som eksempel kan vi ta utgangspunkt i brannisolasjon med U-verdi ($U = 5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$). Varmefluksen gjennom en isolasjon med denne U-verdien er:

$$Q_u = U(T_{su} - T_{so})$$

der T_{so} er overflatetemperatur til objektet på innsiden av isolasjonen og T_{su} er overflatetemperaturen til isolasjonsmaterialet.

Setter man inn en temperaturdifferanse som kan forekomme i en brann, ser vi hvor stor den maksimale varmekraften gjennom isolasjonen kan bli dersom den ikke blir skadet av brannlasten:

$$Q_u = 5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) (1353\text{K} - 293\text{K}) = 5.3\text{kW}/\text{m}^2$$

Dersom vi ser bort fra varmekapasiteten til brannisolasjon ser vi at overflatetemperaturen til isolasjonen må innstille seg slik at $q_{net} = q_u$.

Fordi q_{net}/U uttrykker temperaturdifferansen mellom utsiden og innsiden av isolasjonsmaterialet kan varmebalansen for en isolert flate uttrykt i overflatetemperatur for det isolerte objektet (T_{so}) skrives slik:

$$q_{net} = \alpha_s \cdot \sigma T_f(t)^4 + h(T_f - (q_{net}/U + T_{so}(t))) - \varepsilon_s \cdot \sigma (q_{net}/U + T_{so}(t))^4$$

når vi ser bort fra varmekapasiteten til isolasjonsmaterialet. Dette er en konservativ antagelse. q_{net} beregnes her enklest ved Newton iterasjon. Dersom varmelasten er oppgitt som en varmekraft/varmeledning ($q_{in}(\text{W}/\text{m}^2)$) og ikke en flammetemperatur er det vanlig å skrive varmebalansen som:

$$q_{net} = \alpha_s q_{in} + h(T_{sur} - (q_{net}/U + T_{so}(t))) - \varepsilon_s \cdot \sigma (q_{net}/U + T_{so}(t))^4$$

der T_{sur} er overflatetemperaturen utenpå isolasjonen og kan avvike fra flammetemperatur når objektet ligger utenfor selve flammen.

Tidsutvikling av temperatur for en isolert plate kan da beregnes ved:

$$T_{n+1} = T_n + \Delta t \cdot \frac{q_{net}}{C_p \rho \delta}$$

der δ er tykkelsen på platen i meter og $C_p (J/(kg \cdot K))$ er spesifikk varmekapasitet. Dersom vi erstatter $\delta \rho$ med $kg_{stål}/m^2$ overflate på et isolert objekt, kan beregningsmetoden skissert ovenfor benyttes til et estimat for temperaturutvikling for andre konstruksjoner enn tynne plater. I noen regnemetoder suppleres det med formfaktorer for å ta hensyn til strålingsskygge og at ikke alle sider av en konstruksjon blir eksponert for brannlast.

I litteratur, standarder og ved bestilling av PBB benyttes ofte F/V , der F er overflate areal og V volum som en faktor for å beskrive hvor stor varmekapasitet det er bak hver arealenhet med eksponert overflate. Dersom for eksempel $F/V = 320$, så blir det kjapt omregnet til tykkelse på $\delta = V/F = 3.125$ mm i metoden ovenfor for tynne profiler uten isolasjon.

Det som er bra med regnemetoden beskrevet over er at den er enkel og robust. I en del situasjoner har man behov for å gå mere detaljert til verks og da har man etablerte verktøy som for eksempel Abaqus, FAHTS, USFOS og KFX.

3.2.6 Stålkube gir varmelast

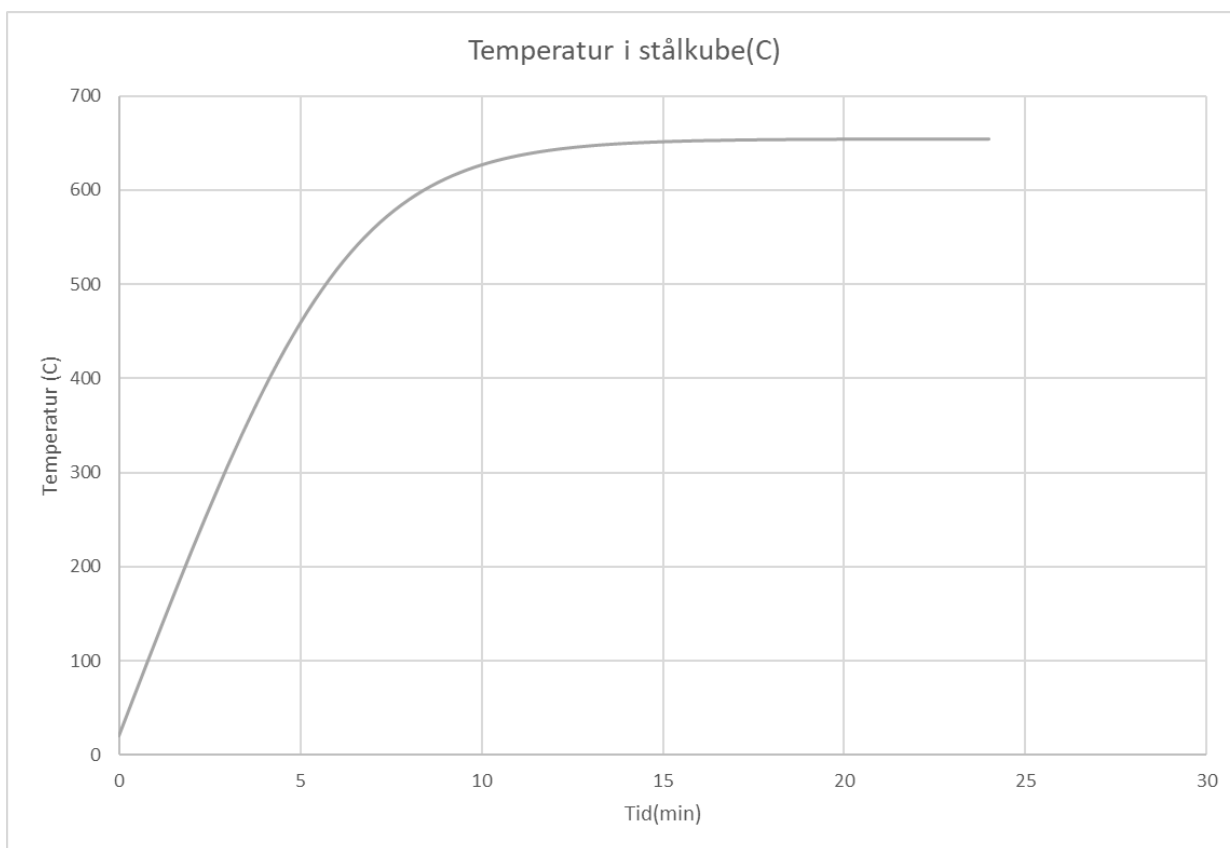
Figur 3-2 viser temperaturutvikling på en uisolert stålkube med dimensjoner (38 mm i alle retningene) som stemmer med kalorimeteret i API 6FA beregnet etter metoden skissert overfor. Her ser man at kravet om at stålkuben sin temperatur skal være 650 °C etter 15 minutter, og dette kan oppnås ved en varmelast på ca. $42 \text{ kW}/m^2$ dersom man regner homogen temperatur i hele stålkuben. Siden stål har høy konduktivitet, blir det ikke veldig store temperaturforskjeller i stålkuben ved den gitte varmelasten. Det kan man se ut fra ligning for termisk konduksjon på en stålplate med en tykkelse på 38 mm og en påtrykket varmelast på $42 \text{ kW}/m^2$. Konduktivitet for karbonstål i det relevante temperaturområdet kan settes til $k = 40 \text{ W}/(m^2 K)$:

$$q = k \cdot \frac{dT}{dx} \sim k \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

der ΔX er godstykkelse. Det gir:

$$\Delta T = \frac{q \Delta X}{k} = \frac{42000 \cdot 0.038}{40} = 39.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Avstanden fra overflaten til kuben og inn til senteret der termoelementet måler temperatur er 19 mm, så temperaturen i kjernen kan være noe lavere enn middeltemperaturen i oppvarmingsfasen, men en detaljert beregning av temperaturfordeling i stålkuben med for eksempel Abaqus, vil ikke vise store temperaturforskjeller. Dermed kan det konkluderes at det ikke kan ha vært mye høyere varmelast i API 6FA testen enn et sted mellom 40 og $50 \text{ kW}/m^2$. Det er et viktig poeng at siden stål har høy konduktivitet, er det grenser for hvor stor temperaturredifferanse det kan bli over korte avstander, selv med høy påtrykket varmelast. Når temperaturen har stabilisert seg i kjernen av stålkuben vil også temperaturgradienten forsvinne. Dette er med på å rettferdiggjøre de litt forenklete overslagsberegningene hvor man antar homogen ståltemperatur gjennom tynnvegget konstruksjonselement, så lenge man bruker konservative anslag for varmelast.



Figur 3-2 Figuren viser temperaturutvikling i en stålkube på $38 \cdot 38 \cdot 38 \text{ mm}^3$ som er utsatt for 42 kW/m^2 . Det er antatt $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ og $C_p = 500 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ og $\varepsilon = 1.0$.

3.2.7 Eksempler på beregning av temperatur med brannisolering

Dersom man påtrykker gasstemperatur etter HC-kurven (Figur 3-1) og bruker konvektivt varmeovergangstall på 30 kW/m^2 som foreslått i NORSOK S-001 og antar at man kan bruke HC-kurven som sort legeme stråling (σT^4) fra flammen kan man beregne tidsutvikling i stålstrukturer som vist i Figur 3-3 med metoden som er beskrevet over. I dette eksempelet er det beregnet temperaturutvikling for en stålplate med 5 mm tykkelse eksponert på den ene siden og fullisolert på den andre siden. Samme beregning representer også en profil med tykkelse på 10 mm som har lik varmelast på begge sider. Beregningen er utført for uisolert stål samt stål beskyttet med U-verdier på henholdsvis 5 og $10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. De to U-verdiene representerer gjennomsnittlig isolasjonsevne for krav til høyt beskyttelsesnivå ($5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) og lavere beskyttelsesnivå ($10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) for PBB i /5/.

Figur 3-4 viser samme beregning som i Figur 3-3, men med temperatur etter ISO-kurven (også kalt standard brannkurven eller cellulosebrann-kurven).

I NORSOK S-001(2018 og 2020) er det foreslått noen innkommende «incident» varmekurver til bruk for design av prosessutstyr. For jetbrann er det foreslått å bruke 350 kW/m^2 for massestrøm større enn 2 kg/s og 250 kW/m^2 for massestrøm mellom 0.1 og 2.0 kg/s som punktlast. Det er viktig å merke seg hvordan innkommende varmekurver er definert:

$$q_{in} = \sigma \cdot T_r^4 + h(T_f - T_{amb})$$

der T_r er temperaturen som gir strålingsvarme og T_f temperaturen til gass som er i kontakt med overflaten. T_{amb} er omgivelsestemperatur, så tanken er at man skal regne innkommende fluks som den varmen som blir tatt opp av flater som holder temperaturen konstant lik omgivelsestemperatur. For jetbrann settes $h = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$, så dersom man setter

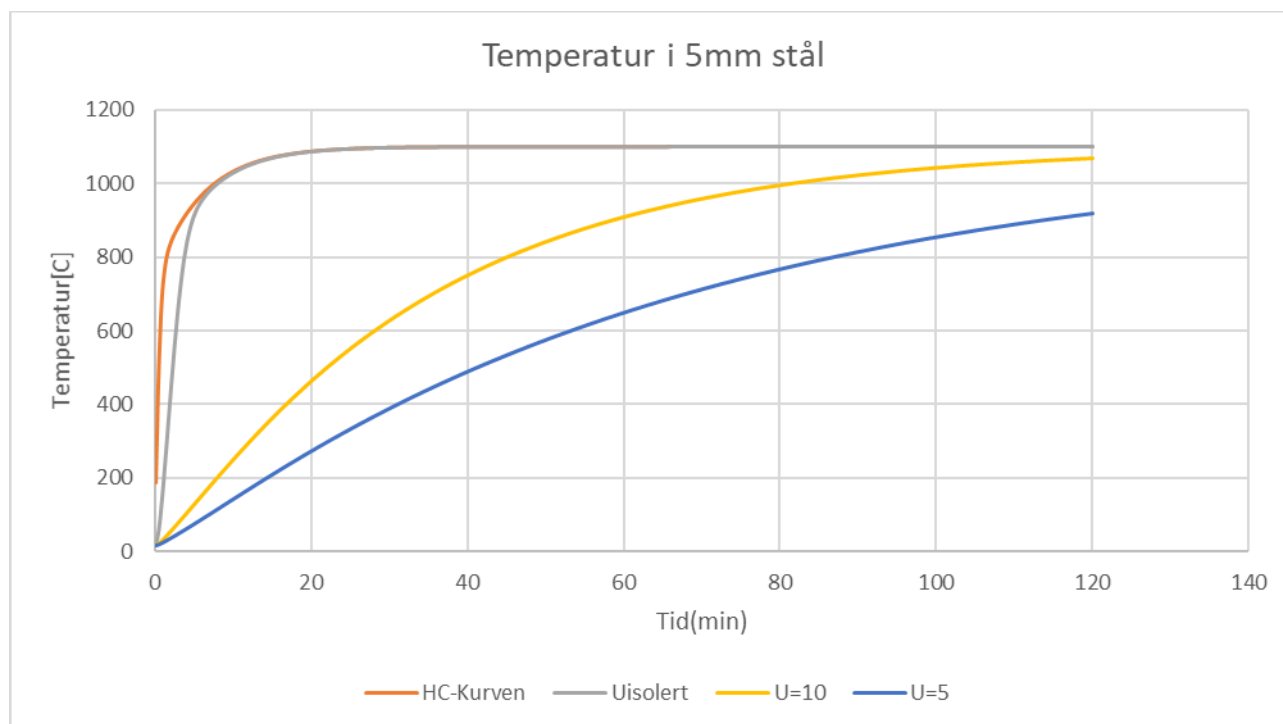
$T_{amb} = 288\text{ K}$ og $T_r = T_f$ kan man finne en likevektstemperatur som gir 250 og en som gir 350 kW/m^2 . Jetbrann på 250 kW/m^2 og $h = 100\text{ W/m}^2\text{K}$ tilsvarer $1005\text{ }^\circ\text{C}$. Det er interessant å merke seg at varmelast gitt på denne måten gir lavere likevektstemperatur enn det som benyttes i EN 1363-2 (ovnstest etter HC-kurven), selv om denne testen ansees for å ha en lavere varmekraft enn jetbranntesten.

Jetbrann på 350 kW/m^2 og $h = 100\text{ W/m}^2\text{K}$ gir en gass- og likevektstemperatur på $1155\text{ }^\circ\text{C}$ når man regner etter NORSOK S-001 sine retningslinjer.

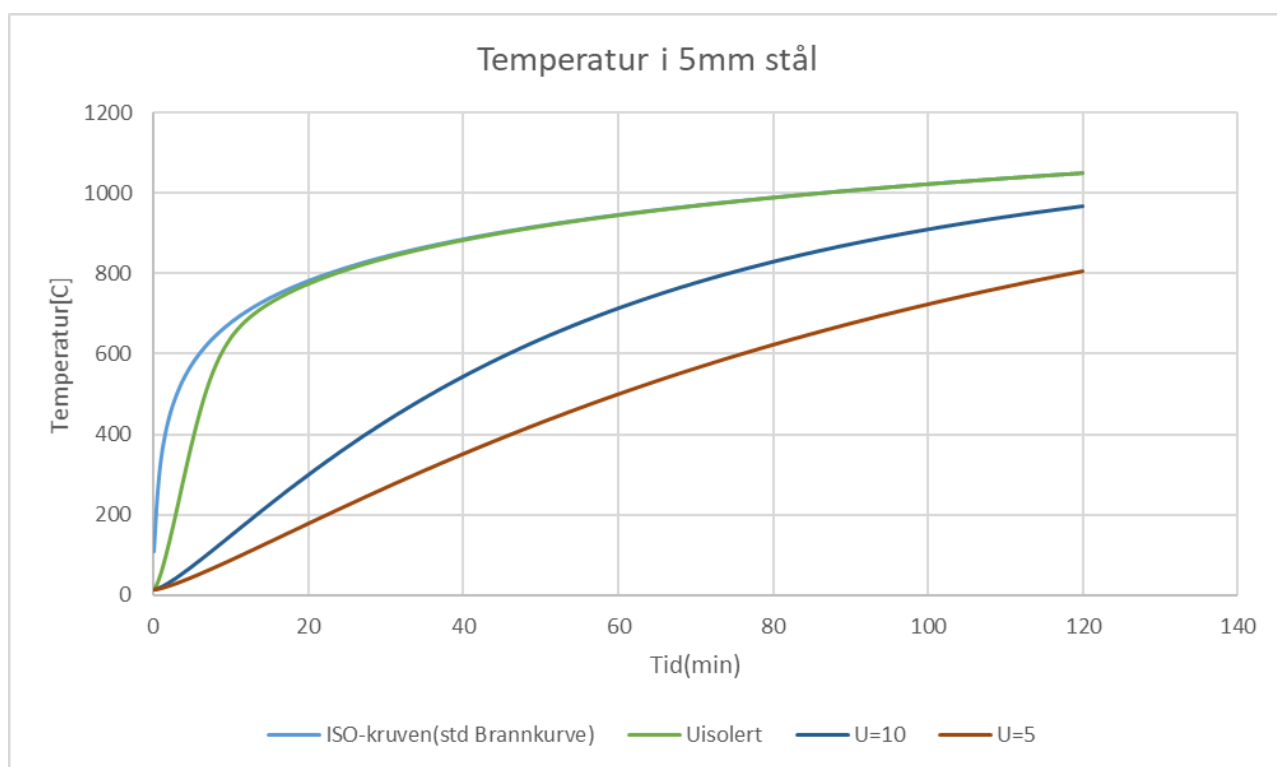
Når man regner slik som foreslått i NORSOK S-001, får man betydelig lavere gasstemperaturer og derav følgende varmekraft enn det som framkommer ved både målinger og CFD beregninger. Da er det viktig å bli påminnet at tabell 1 i NORSOK S-001:2020 er ment som et estimat for å designe prosessutstyr, og at NORSOK S-001 sier at en validert CFD modell skal benyttes til å beregne realistiske brannlaster på lastbærende strukturer.

I Figur 3-5 sammenlignes tidsutvikling av temperatur for en isolert stålplate med varmelast etter HC-kurven, 250 kW/m^2 og 350 kW/m^2 .

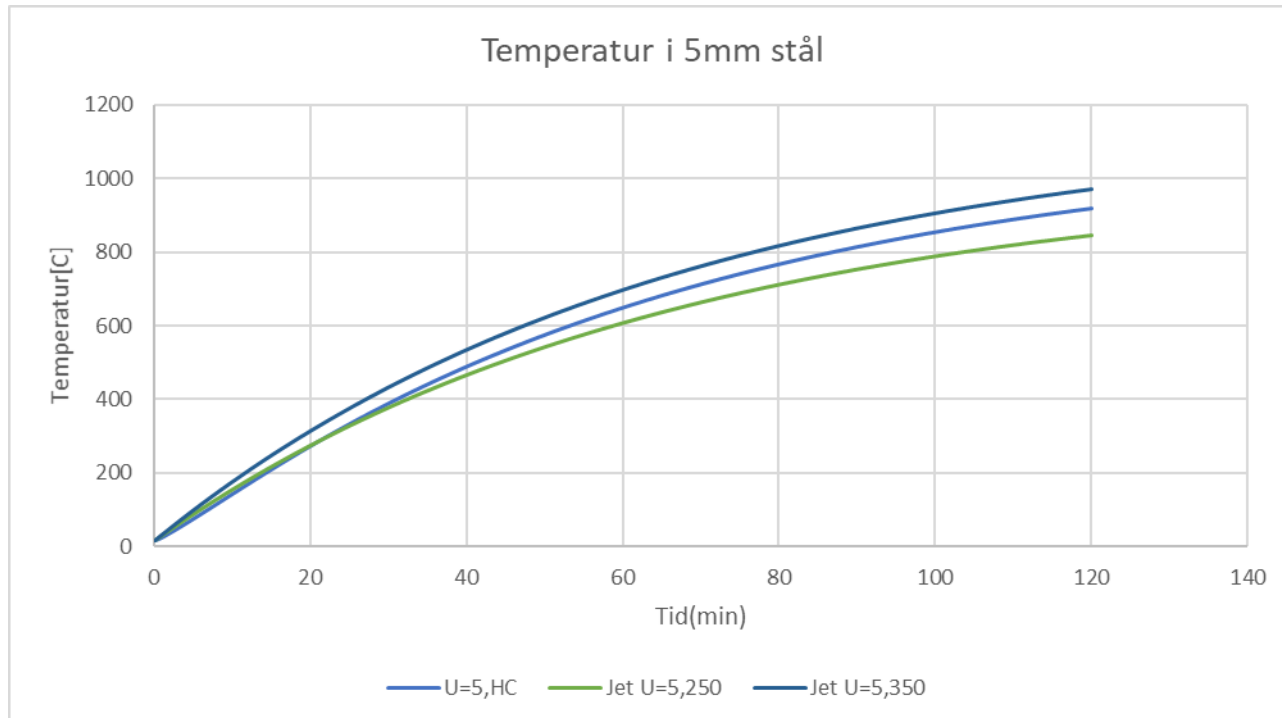
En ofte brukt kilde for å vurdere hvordan varmelast fordeles mellom konveksjon og stråling er FABIG Teknisk Notat 13 /22/. I dette notatet finner man tabeller som foreslår tallverdier for flammetemperatur, hvor stor fraksjon av forbrenningsenergien som forlater flammen i form av stråling og typiske konvektive varmeovergangstall. Notatet dekker gass- og tofasejetbranner samt pølbranner.



Figur 3-3 Varmelast etter HC-kurven på 5mm stål med og uten isolasjon.



Figur 3-4 Varmelast etter ISO-kurven med og uten isolasjon.



Figur 3-5 Sammenligning av temperaturutvikling i 5 mm stål og PBB med U-verdi på $5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ for varmelast etter HC-kurven samt varmelast på 250 og $350 \text{ kW}/\text{m}^2$ for jetbrann som beskrevet i NORSOK S-001.

Man ser at om man oppnår passiv brannbeskyttelse med en U-verdi på for eksempel $5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ så gir det en stor forsinkelse i oppvarmingsforløpet. Man vil i de fleste brannsituasjoner kun ha en varmekraft inn i det isolerte objektet på $5 - 7 \text{ kW}/\text{m}^2$. Likevektstemperaturen endres imidlertid ikke av PBB. Det er bare tiden det tar for å nå likevektstemperatur som forlenges. For å endre likevektstemperatur kreves aktive barrierer slik som trykkavlastning av prosessutstyr for å redusere varmeavgivelsen til brannen eller brannvann som kan fjerne varme fra brannen og objekter.

3.2.8 Realistiske varmelaster, likevektstemperaturer og konveksjonsrabatt

Temperaturmålinger fra ulike brannforsøk viser hva som er likevektstemperaturene i flammen. Utvalget av brannforsøk som er representative for branner med store lekkasjerater i prosessanlegg er begrenset siden dette krever store ressurser og testfasiliteter. Sammenlignet med likevektstemperaturene som beregnes ut fra NORSOK S-001 opp til 1155°C for jetbrann over 2 kg/s med innkommende varmekraft $350 \text{ kW}/\text{m}^2$ er det mange brannforsøk med langt høyere likevektstemperaturer. Temperaturer over 1300°C er ikke uvanlig, og det kan også oppstå temperaturer som ligger over 1370°C som er den høyeste temperaturen som kan måles med type K termoelementer som er mest brukt til brannforsøk. Noen fellesnevnerer for de forsøkene som gir temperaturer over 1370°C er at det er relativt store branner i forsøkssammenheng, men små i forhold til realistiske lekkasjerater i prosessanlegg for olje og gass. Parametere som graden av innelukking, objekter i flammen som skaper turbulens og en luft/brensel-blanding som gir tette flammer med en del sot ser ut til å føre til disse høye temperaturer. /6/ og /7/.

CFD-beregninger av realistiske lekkasjerater viser at det kan være lommer av gass som oppnår adiabatisk flammetemperatur som er godt over 2000°C . Likevektstemperatur kan være lavere enn gasstemperaturen i optisk tynne flammer, men det indikerer likevel at om flammen er stor nok og ventilasjonen slik at store områder brenner ved støkiometrisk likevekt kan selv 1370°C være et forsiktig estimat for likevektstemperatur. Varmelaster øker med størrelsen på brannen som en av de viktigste parameterne. Når flammene blir tykke og temperaturen øker så vil også varmelasten øke. Dersom brannen får virke en stund på et sted vil også materialet varmes opp og føre til ikke mer varme blir tatt opp. Store og langvarige branner kan derfor ha høyere lokale varmelaster enn de som er tabulert i standarder. Slike høye varmelaster er sjeldent målt siden måleutstyr ikke tåler varmen, og det krever store forsøk. Derfor er det ikke tallfestet hvor store slike varmelaster kan bli.

Konveksjon kan beregnes basert på en estimert gasstemperatur og varmeovergangskoeffisient. Ved å velge disse parameterne kan en brann med en gitt varmekraft gi ulike likevektstemperaturer. Denne «konveksjonsrabatten» er viktig å være klar over for å se hvor høye temperaturer de objektene som er utsatt for brannen vil oppnå. Det er stor forskjell på om et objekt når en temperatur på 1155°C eller om det når 1303°C når det blir utsatt for en varmelast på $350 \text{ kW}/\text{m}^2$. Når det oppgis at en installasjon har en dokumentert brannmotstand mot en gitt varmekraft er det vesentlig at det også oppgis hvilken konveksjonsrabatt som er brukt i beregningen.

3.3 Eksplosjonslaster på brannisolering

De skadelige effektene av eksplosjoner er komplekse. De inkluderer belastninger fra trykk- og dragkrefter forårsaket av gasser med høy hastighet generert av eksplosjonen. I tillegg kan rør, støtter, vegger og strukturelle elementer gjennomgå forskyvning og deformasjon som et resultat av direkte eller overførte eksplosjonslaster. Viktig for det beskyttede objektet er også temperatur, (hurtig) endring i belastning, varighet og de fysiske egenskapene; f.eks. form, elastisitet, fysiske forbindelser og støtter osv. Betydningen av disse belastningene på den passive brannbeskyttelsens funksjonelle overlevelse vil avhenge av brannbeskyttelsens følsomhet for flere potensielle feilmodi; f.eks. tap av vedheft, sprekker, knusing, forvridning, riving eller erosjon med høy gasshastighet og høy temperatur.

3.4 Skader på rør og komponenter (ikke PBB)

For skader på rør og utstyr er reparasjonsproduktene som regel sammensatte produkter av flere materialer, og reparasjon av dette må ofte beskrives i en egen prosedyre av selskapet som eier produktet. Dersom reparasjonen har andre temperaturbegrensninger enn stål må også dette tas høyde for når passiv brannbeskyttelse skal dimensjoneres.

En stor aktivitet pågår for å ta hånd om korrosjon under isolasjon. Dette gjelder under alle typer isolasjon hvor brannisolasjon er en stor del av isolasjonen som brukes. DNV har utarbeidet et standard-praksis dokument hvor mange av utfordringene med vedlikehold av passiv brannbeskyttelse er omtalt /23/.

3.5 Skader og reparasjoner på passiv brannbeskyttelse

Skader på passiv brannbeskyttelse kan forekomme ved for eksempel inspeksjon og vedlikehold av komponenter eller ved mekaniske skader på brannskiller eller rør. Selv små skader på PBB kan utgjøre en stor brannrisiko, og det er derfor viktig å få utbedret skader så raskt det lar seg gjøre.

Erfaring fra branntester viser at detaljer, tilslutninger og overganger ofte er de svake punktene, og utgjør forskjellen mellom en vellykket branntest og en branntest som feiler. Det er også her produktene er mest sårbare og eventuelle skader kan lettere oppstå i disse områdene.

Reparasjon av mekaniske skader er beskrevet i NORSOK M-501 /15/.

3.6 Fordeler og ulemper med PBB

PBB er strengt nødvendig for å sikre at branner ikke fører til katastrofale hendelser, og sikre at branner kan holdes innenfor et brannområde og kontrolleres der uten at strukturen mister sin evne til å bære lastene. I tillegg er det endel ulemper med PBB som gjør at man ikke ønsker å benytte for mye PBB. På grunn av dette vil mange selskaper søke å finne en tilstrekkelig eller optimal mengde PBB på rør, utstyr og struktur. Ofte vurderes mengden PBB opp mot fakkelpasiteten, og man søker å redusere nedblåsningstiden så mye som mulig slik at mengden PBB kan minimaliseres. Slike vurderinger kan foretas med hjelp av dedikerte optimaliseringsstudier hvor brannforløp og strukturrepons blir modellert i etterkant av en QRA.

Følgende ulemper kan nevnes:

- PBB medfører økt fortetting i et område, noe som kan forårsake økte eksplosjonslaster.
- PBB kan forårsake korrosjon under beskyttelsen, eller det kan være vanskelig å oppdage korrosjon under PBB. Dette kan i verste fall medføre lekkasjer eller kollaps av struktur.
- På grunn av korrosjon under isolasjon har selskapene store inspeksjon og vedlikeholds programmer for dette. Denne aktiviteten i seg selv medfører økt risiko for lekkasjer og antenning, noe som øker risikoen på installasjonen.
- Vekten øker på en installasjon på grunn av PBB. Dette kan medføre økt kapasitetsbehov i struktur, og stabilitet kan bli utfordret.
- I tillegg kommer kostnader ved PBB som også er negativt for selskapene.

PBB er et tiltak som kun hjelper etter at en brann har oppstått. Derfor er det et godt prinsipp å vurdere og legge vekt på tiltak som stopper hendelser tidligere i hendelseskjeden.

4 SVAR FRA OPERATØRENE

I dette kapitlet vil svarene fra operatørene bli oppsummert og gjengitt anonymt. I tillegg er det gjengitt DNV og RISE Fire Research sine kommentarer til hvert enkelt spørsmål. Hvert underkapittel representerer ett av spørsmålene som ble sendt ut til operatørene.

4.1 Jetbranntest «Høy Varmefluks»

4.1.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

Hvordan dokumenteres brannmotstanden dersom designulykkeslast for jetbrann er høyere enn det som er mulig å teste etter ISO 22899-1?

4.1.2 Svar fra operatørene

Svarene fra operatørene viser at det typisk blir brukt 250 og 350 kW/m² som ulykkeslaster ved lekkasjerater henholdsvis under og over 2 kg/s. ISO 22899-1 blir brukt til å dokumentere produkter for 250 kW/m² varmelast. Enkelte operatører har et noe mer nyansert bilde av dette og er bevisste på at varmeknivået i jetbranntester vil variere relativt mye og at også jetbranntester gjennomført etter ISO 22899-1 i enkelte tilfeller har blitt akseptert for varmelaster opp til 350 kW/m² dersom relevante temperaturmålinger under testen viser høye nok temperaturer.

Jetbranntester med høyere varmelaster blir brukt aktivt av flere operatører. Spesifikt er testmetodene som benyttes ved Gexcon og RISE Fire Research nevnt.

Flere av operatørene vurderer i enkelte tilfeller at kortere perioder med høyere varmelast kan dekkes av løsninger som er testet ved lavere varmelast over lengre tid. Høyere varmelast enn det som produktet er testet mot kompenseres også i enkelte tilfeller ved å øke isolasjonstykkelsen.

Enkelte av operatørene har ikke identifisert ulykkeslaster som er høyere enn det som de mener kan dekkes av den standardiserte jetbranntesten, eller det blir vurdert at disse høyere varmelastene er så kortvarige at de ikke er dimensjonerende for strukturen.

4.1.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

Brannbeskyttelsen til kritiske konstruksjoner og komponenter skal dokumenteres for en realistisk brannpåkjenning. Der det er trykksatte brennbare gasser eller væsker kan dette føre til en jetbrann dersom en lekkasje blir antent. En jetbrann er karakterisert ved høy utslippshastighet som fører til at påkjenningen for objektene som blir eksponert inkluderer mekaniske eller erosive laster i tillegg til de termiske. Den eneste anerkjente teststandarden som er utviklet for å påkjenne prøvestykker for jetbranner er ISO 22899-1. I denne testen sørger en sonisk jet av 0,3 kg/s propan for at prøvestykket blir utsatt for både termiske og mekaniske laster. Standarden gir ingen garanti for at disse lastene tilsvarer det som kan oppstå ved betydelig større lekkasje i et reelt prosessanlegg. Den påpeker også at de punktene som mottar de største mekaniske lastene ikke er de samme som mottar de største termiske lastene. Treffpunktet til jeten kan være flere hundre grader kaldere enn omgivelsene på grunn av den konvektive kjølingen fra propanstrømmen. Nedstrøms dette treffpunktet kan brannen foregå.

Erfaringer fra jetbranntesting etter ISO 22899-1 viser at likevektstemperaturen i flammen omkring prøvestykket varierer ganske mye og ligger i området mellom 900 °C og 1250 °C /3/. Ved å regne dette om til stråling fra et svart legeme blir dette 107 til 305 kW/m². For å kunne kontrollere og øke denne temperaturen til 1300 °C som tilsvarer et strålingsnivå fra

et svart legeme på 350 kW/m² er det utviklet en testmetode som baserer seg på den samme jetbrannen av propan, men der flammen er i et mer innelukket område. Ved at varmen fra flammen i større grad blir reflektert tilbake fra overflatene i innelukkningen oppstår høyere temperaturer i flammen enn det som er typisk i oppsettet som er beskrevet i ISO 22899-1. Denne testmetoden for jetbranner med høy varmelast er utviklet av RISE Fire Research, og senere etablert også ved blant andre Gexcon sitt testlaboratorium, men den er ikke beskrevet i noen etablert internasjonal standard. Det pågår diskusjoner i ISO om dette skal etableres som et tillegg til den eksisterende jetbrannteststandarden, men dette er enda ikke ferdig behandlet.

4.2 Brannlaster ved testing etter hydrokarbonkurven

4.2.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

Hvordan dokumenteres brannmotstand til sertifiserte produkter og brannskiller der designulykkeslaster for pølbrann er definert til å være høyere enn det en oppnår ved å bruke hydrokarbonkurven?

Vi etterspør hvordan selskapene sikrer at rådgivere og underleverandører er oppdatert når det gjelder ny viten om designulykkeslaster

4.2.2 Svar fra operatørene

Operatørene har ulike tolkninger av hvilke varmelaster som de ulike testmetodene tilsvarer. Med enkelte unntak aksepteres ovnstester etter hydrokarbonkurven eller UL 1709 til å representere ca 200 kW/m². For å dokumentere brannmotstand mot pølbranner med høyere varmelaster enn 200 kW/m² brukes til en viss grad resultater fra jetbranntester som aksepteres for en brannlast på 250 kW/m². Eventuelt kan det beregnes at en total varmefluks på 250 kW/m² med et konvektivt bidrag gir en likevektstemperatur på 1125 °C. Dette er bare 25 °C høyere enn temperaturen i HC-kurven og viser at produkter som er testet etter HC-kurven vurderes til å være ganske relevante også for 250 kW/m² varmelast.

Også for pølbranner vurderes det at høy varmelast over kort tid kan dokumenteres ved lavere varmelast over lengre tid.

Enkelte operatører har ikke avdekket varmelaster høyere enn HC-kurven i sine anlegg.

Aktuell beskyttelsestid for prosessutstyr baseres på dokumentasjon fra testing etter HC-kurven, masse/overflateforhold, kritisk temperatur, driftstemperatur og varmeledningsevne til metallet. Her interpoleres data mellom testresultater som viser tid til en gitt temperaturstigning for ulike masse/overflateforhold og isolasjonstykkelser.

Operatørene svarer at de følger opp ny kunnskap og regelverk om ulykkeslaster både internt og med samarbeidspartnere. Det nevnes også at kunnskap fra forsøk for operatører i varierende grad deles med andre operatører.

4.2.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

Hydrokarbonkurven er en definert tid-temperaturkurve som brukes for å styre ovner for brannmotstandstesting. Selve temperaturkurven er definert i EN 1363-2 der det er angitt at den kan være aktuell for branner der det er involvert hydrokarbonbrensel. Temperaturkurven er relativt lik den som er beskrevet i UL 1709, men det er bare UL-standarden som har med noen referanse til varmefluksnivå.

Varmefluksnivået i testene er ikke entydig definert og typiske designulykkeslaster er 250 kW/m². Utfordringen ligger dermed i å definere hvilke standardiserte branntester som skal brukes for å representere den aktuelle varmelasten.

Hvordan designulykkeslastene skal bestemmes er ikke entydig definert. Dette gir rom for ulike antagelser og beregningsmåter. Denne fleksibiliteten gjør at det er mulig for operatører å beregne at det ikke vil oppstå varmelaster høyere enn for eksempel det som representeres ved HC-kurven.

4.3 «Fire safe» nødavstengningsventiler

4.3.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

Flere innretninger på norsk sokkel har «Fire safe» nødavstengningsventiler. Hvordan dokumenteres det at «Fire safe» nødavstengningsventiler tåler definert designulykkeslast for brann?

4.3.2 Svar fra operatørene

Det er litt variasjon i hvordan operatørene dokumenterer dette. En operatør sier at «fire safe» ventiler som er installert er designet etter API 6FA eller ISO 10497 basert på utredning av utbyggingsoperatør (se kapittel 3.1.2. for mer informasjon om standard branntester).

De fleste (7/8) operatørene kommenterer på en måte som indikerer at de kjenner til at API 6FA gir lavere varmelaster enn typiske dimensjonerende laster. Noen (3/8) operatører viser til arbeid som er utført spesifikt for «fire safe» ventiler.

En operatør kommenterer at man må anta at en ventil som er sertifisert etter API 6FA for 30 minutter vil ha kortere levetid enn 30 minutter om man benytter standard laster fra for eksempel NORSOK S-001 og at det tar kortere tid til kritisk temperatur på indre komponenter, for eksempel 20 minutter.

En operatør sier at «Fire safe» ventiler er testet for rask temperaturøkning som følge av brann etterfulgt av rask nedkjøling uten at dette skal medføre intern eller ekstern lekkasje. Dette samsvarer med API 6FA og ISO 10497.

En operatør har kjørt testprogram for «fire safe ventiler» i HHF (High Heat Flux) riggen til RISE Fire Research. Erfaringen derfra er at «fire safe» ventiler har god brannintegritet.

4.3.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

Testing av trykksatte ventiler er beskrevet i ulike API-standarder. Disse inkluderer branntesting av ventiler under fullt trykk og det skal måles om det oppstår lekkasjer i ventilene i løpet av eller etter testen.

API-testen /19/ eller ISO 10497 /13/ definerer ingen varmelast, imidlertid kan varmefluksnivå estimeres ut fra kravet om en temperaturstigning til 650 °C etter 15 minutter i et kalorimeter. Kalorimeteret består av en stålkube som er 38 mm i alle retninger. Et termoelement skal måle temperaturen i senter av denne stålkuben. Kravet om å nå 650 °C etter 15 minutter tilsvarer mellom 40 og 50 kW/m² innstrålt varmefluks (se avsnitt 3.2.6). Disse testene har også en fast definert varighet på 30 minutter. Siden ventilene som testes er vesentlig større og tyngre enn stålkubene som gassflammen styres etter vil kjernetemperaturen i ventilen trolig øke vesentlig langsommere enn i stålkuben. Kjernetemperaturen i ventilen blir ikke målt under testen, men det er sannsynlig at store og massive ventiler ikke rekker å bli gjennomvarmet i løpet av testtiden.

Varmeavgivelsen i gassbrenneren som trengs for å gjennomføre disse testene er typisk omkring 300 kW eller 2% av gassmengden som blir brukt i en standardisert jetbranntest etter ISO 22899-1 som avgir omtrent 15 MW.

Dersom definerte ulykkeslaster er høyere enn 40-50 kW/m² så vil denne testen ikke representere de aktuelle brannlastene som det skal dimensjoneres mot. Det kan være et stort gap opp til 350 kW/m² i noen tilfeller. Derfor er det viktig å dokumentere at ventilene også tåler realistiske varmelaster uten at de fører til store lekkasjer. Ved branntesting av trykksatt utstyr må det tas høyde for at det kan gå til brudd i løpet av brann testen. Det er likevel mulig å gjennomføre brann tester med trykksatte prøvestykker på samme måte som i API-testene, men med større og mer realistiske varmelaster.

Dersom «Fire safe» ventiler kun er testet etter API 6FA eller tilsvarende, må de ha passiv brannbeskyttelse for å sikre at de tåler design-brannlast.

4.4 Samsvar mellom brann test av utstyr med passiv brannbeskyttelse og installert produkt

4.4.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

Hvilke prosedyrer har selskapet for å ivareta konkrete vurderinger som utføres knyttet til samsvar mellom sertifisert produkt og det produktet som installeres (ekstrapolering av testresultat/installert produkt).

Som følge av slike vurderinger, har man testet produkter og materialer på nytt?

4.4.2 Svar fra operatørene

Operatørene svarer at de har systemer som fanger opp om det er installert passiv brannbeskyttelse utenfor spesifikasjonen som er oppgitt av leverandørene. 2 av 8 operatører nevner at eventuelle uoverensstemmelser blir avdekket i forbindelse med systemutprøving. 1 av 8 svarer at de har engasjert produktleverandør for å verifisere installerte produkter.

3 av 8 operatører som har besvart henvendelsen fra Ptil svarer at de har utført tester som følge av avvik fra installert produkt i henhold til produktbeskrivelse. 1 av 8 operatører svarer at de ikke har utført tester som følge av avvik fra installert produkt i henhold til produktbeskrivelse, men at de har utført simuleringer for å verifisere det installerte produktets brannmotstand.

Totalt sett kan man si at det er under halvparten som svarer at de har testet produkter på nytt etter slike vurderinger.

4.4.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

Passiv brannbeskyttelse på utstyr og gjennomføringer som blir testet i en standardisert brann test er produkter som blir installert og oppbevart i «perfekte» omgivelser i forkant av testingen. Rammene i forhold til kompleksitet og geometri på prøvestykket er også ofte satt i brann test standardene som benyttes. Utvidet bruk av et ferdig testet produkt i form av økte dimensjoner, mindre tykkelser på materialer eller forandret kompleksitet er relevante problemstillinger for operatører.

Et typisk scenario som også kan være en utfordring i forhold til installasjon av passiv brannbeskyttelse er plassbegrensning og tilkomst. Dette kan være spesielt utfordrende i forbindelse med installasjon av passiv brannbeskyttelse på rør og ventiler og i rør- og kabelgjennomføringer gjennom brannskiller. En løsning som er blitt observert benyttet er en økning i antall deler av avtagbar passiv brannbeskyttelse av ventiler. Dette fører til en økning i

antall skjøter som igjen kan øke faren for skjevstillinger eller gliper i produktet i forhold til det som er blitt testet i en branntest, hvor det oftest er to-delte løsninger.

Et annet løsning som ofte må bli benyttet på steder med plassbegrensning er innflatninger av passiv brannbeskyttelse av rør eller ventiler. Ved slike løsninger vil det være enten mindre av de brannbeskyttende materialene og/eller forandring av geometri i forhold til testede løsninger

Ved testing ser man ofte at detaljer er viktige, og at mindre endringer i testoppsettet kan medfører betydelig forskjellig ytelse. De svake punktene er ofte tilslutninger og overganger i den passive brannbeskyttelsen.

Vi har også sett at det er blitt gjort betydelige endringer som følge av lokal tilpasning til bestemte installasjoner av passiv brannbeskyttelse. Dette er ofte helt nødvendig for å kunne ha på passiv brannbeskyttelse, men det er relativt sjeldent at test laboratoriene i Spadeadam (DNV) og i Trondheim (RISE Fire Research) får inn spesifikke løsninger for retesting. I de få tilfellene slike lokale løsninger har blitt retestet er det på forhånd ikke mulig med høy grad av sikkerhet å vite om man vil passere testen eller ei.

4.5 Eksplosjonstest av utstyr med passiv brannbeskyttelse

4.5.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

En brann kan oppstå som en følge av en eksplosjon. Det er da viktig at passiv brannbeskyttelsesprodukter motstår eksplosjonstrykket som oppstår, slik at beskyttelsen er intakt når brannforløpet inntreffer.

a) Hvordan dokumenteres det at passiv brannbeskyttelse på utstyr og gjennomføringer i brannskiller tåler de definerte designulykkeslastene for eksplosjon?

b) Benyttes PBB-produkter/materialer som er eksplosjonstestet?

4.5.2 Svar fra operatørene

Svarene er vurdert på bakgrunn av at en enkel aksept av passiv brannbeskyttelse sertifisering ikke sikrer at den vil oppføre seg som forventet. Dette er fordi den reelle utformingen til installasjonen ikke er tatt i betraktning. Tabell 5 viser at litt over halvparten av operatørene vurderer egnethet av PBB der den er installert.

Tabell 5: Utledet praksis basert på informasjon fra respondentene

Praksis	# Operatør
Bruk av passive brannbeskyttelsesmaterialer som er eksplosjonstestede	8/8
Vurdering av kontekstuell egnethet av PBB / innebærer kunnskap om feilmekanismer	5/8

Alle operatørene svarer at de benytter passive brannbeskyttelsesprodukter som er eksplosjonstestet. Dette antyder at operatører sørger for at produkter og materialer er testet, og at disse produktene har blitt testet (mest sannsynlig av produsenten) for belastninger som overstiger de relevante ulykkeslastene. Det var tydelig i 4/8 svar på det andre spørsmålet at det også ble utført kontekstspesifikke vurderinger av passive brannbeskyttelsesmaterialer. I 5/8 tilfeller var det åpenbart at potensielle sviktmekanismer f.eks. plastisk deformasjon eller avbøyning (i tilfelle rørgjennomføringer) ble vurdert.

I 3/8 tilfeller så det ut til at operatørene stoler utelukkende på test- og sertifiseringsdokumentasjon fra produsentene for å sikre tilstrekkelig dokumentasjon av passiv brannbeskyttelse. Gitt tapet av kontekstuell informasjon beskrevet ovenfor, er det mulig at det er tilfeller der installert passiv brannbeskyttelse ikke er tilstrekkelig sikret mot eksplosjon. Dette fordi PBB er installert i en kontekst som er forskjellig fra det testede scenariet, selv om ulykkeslastene spesifisert i designkrav var tilfredsstillende. For eksempel kan passive brannbeskyttelsesmaterialer ha blitt testet for en bestemt trykklast mens det var festet til et veldig sterkt og stivt underlag, slik at tøyningene blir mindre enn det som vil oppstå i virkeligheten.

Eksplosjonslaster er komplekse og det er høye kostnader for å utføre eksplosjonstester. Av disse grunnene mangler det teststandards og veiledning som er relevante for gaseksplisjonsytelsen til passive brannbeskyttelsesmaterialer. Denne situasjonen er til en viss grad anerkjent.

2/8 operatører nevner spesifikt at deres leverandører er med å utvikle den nye teststandarden for gaseksplisjoner ISO/DIS 23693-1 «Determination of the resistance to gas explosions of passive fire protection materials — Part 1: General Requirements»

4.5.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

En typisk eksplosjonsanalyse vil gi dimensjonerende belastninger basert på en risikotoleranse (med sannsynlighet for å inntreffe en gang hvert 10 000 år eller sjeldnere). Design ulykkeslastene er generelt preget av maksimalt trykk, varighet og dragkrefter. (Vær oppmerksom på at angitt drag parameter rapportert fra FLACS ikke er knyttet direkte til formen av et gitt objekt som er påkjent, men er en representasjon av dragbelastningen i et hvilket som helst punkt i rom og tid. Den faktiske dragkraften må innlemme dragkoeffisienten for å gjenspeile effekten av en bestemt objektform. Denne diskusjonen bruker begrepet dragpotensial når det refereres til FLACS-dragparameteren).

Selv om disse ulykkeslastene kan brukes som en felles last for et helt område, vil reelt sett det maksimale overtrykket og dragpotensialet høyst sannsynlig forekomme på forskjellige steder og til forskjellige tidspunkter i et gitt eksplosjonsforløp. I mange tilfeller overføres verdier for ulykkeslastene (for eksplosjon) til produsenter og leverandører av passiv brannbeskyttelse uten at konteksten er videreformidlet. I møte med begrensningene for å teste PBB i utallige konfigurasjoner, og i mangel av veiledning og teststandards, har produsenter en tendens til å teste passiv brannbeskyttelse til eksplosjoner som overgår typiske ulykkeslaster. Dette er rasjonelt i den grad dette er informasjonen de har mottatt. Det er viktig å forstå at annen kontekstspesifikk informasjonen som også bestemmer hvordan et objekt kan oppføre seg i en eksplosjon, har gått tapt.

4.5.4 Status på arbeid med standard for testing av PBB i eksplosjoner

Det er viktig å forstå at ISO/DIS 23693-1 er en introduksjonsstandard. Den beskriver noen generelle prinsipper som er relevante for testing av materialer til gaseksplisjoner. For eksempel definerer den hvordan overtrykk og tilhørende varighet skal beregnes ut fra eksperimentelle data, og den beskriver hvordan instrumentering kan brukes for å sikre nøyaktige målinger. Det er arbeidsgruppen i standardiseringskomitéens for ISO/DIS 23693-1 sitt syn at det kreves ytterligere videreføringer av standarden (-2, -3 osv.), og at disse skal skrives på en måte som sikrer at de faktiske mekanismene som kan føre til at passiv brannbeskyttelse svikter, blir gjenskapt i eksperimenter. For eksempel forventes passiv brannbeskyttelsessystemer av kategorien brannjakker å være sårbare for dragkrefter fra høy strømningshastighet fordi disse har større luftmotstand enn isolasjon med hardere og glattere overflater. Det er ment at en fremtidig del av ISO 23693 skal adressere mekanismer for å sikre at realistiske dragkrefter genereres i eksplosjonstesting.

Arbeidsgruppen anerkjenner også at standarder alene ikke er tilstrekkelige fordi de ganske enkelt gir instruksjoner på lavt nivå som ikke skal fravikes. Dette er ikke tilstrekkelig for olje- og gassindustrien fordi den kontekstuelle informasjonen som beskriver hvorfor skade på et bestemt objekt kan oppstå, og årsakene til at visse typer passiv

brannbeskyttelse kan feile, er nødvendig. Av denne grunn har arbeidsgruppen til hensikt å produsere et veiledningsdokument som tar sikte på å informere og opplyse leserne om disse utfordringene.

4.6 Bruk av midlertidig reparasjoner av rør og andre komponenter med hensyn til brannmotstand

4.6.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

Vi har erfaringer med at midlertidige materialer som brukes ved reparasjon av hydrokarbonførende rør/utstyr kan bli permanent løsning/brukt over lengre perioder.

- a) *Der midlertidige reparasjoner utføres på hydrokarbonførende rør, hvilke vurderinger utføres med tanke på brannmotstand, begrensninger, varighet av reparasjon, omfang osv.?*
- b) *Hvordan dokumenteres det at midlertidig utførelse har tilstrekkelig brannmotstand?*
- c) *Har dere retningslinjer/prosedyrer for bruk av midlertidige materialer?*

4.6.2 Svar fra operatørene

Noen av operatørene (3/8) benytter eller tilstreber å oppfylle de samme kravene mhp. ulykkeslaster for midlertidige reparasjonene av rør som de opprinnelige kravene. De andre operatørene (5/8) oppgir at brannmotstand er en viktig parameter for vurderingen av om man kan tillate en bestemt løsning for midlertidig reparasjon.

Noen av operatørene (3/8) forklarer at de i sine interne styringssystemer stiller krav til at den nødvendig brannmotstand dokumenteres spesifikt. I tillegg svarer en del operatører (4/8) at de ikke utfører spesifikke vurdering og dokumenterer brannmotstand kun ved hjelp av sertifikater eller anerkjente produkter og leverandører. Det er noe forskjell her ettersom minst en av operatørene krever de samme testbetingelsene for reparasjonsmaterialene som blir stilt til passiv brannbeskyttelse.

De fleste av operatørene (5/8) har også krav i interne styringssystemer som sikrer at slike skadede rør blir permanent reparert eller byttet ut innen en bestemt tidsperiode, men en operatør uttaler at de ikke setter spesifikke tidsfrister for hvor lenge en midlertidig reparasjon kan benyttes.

Halvparten av operatørene oppgir at de har egne retningslinjer/prosedyrer for bruk av midlertidige materialer.

Alt i alt tyder svarene på at halvparten av operatørene ikke har dokumentert brannmotstand på midlertidige reparasjonene. Dette er basert på at de ikke har svart positivt på dette spørsmålet. Litt under halvparten har heller ikke svart om de har system for å sikre at midlertidige løsninger blir gjort permanente.

4.6.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

Ved skader på rør som følge av for eksempel korrosjon vil det være nødvendig å reparere røret for at det skal kunne opprettholde nødvendig styrke. I hovedsak kan man dele inn måter å reparere rør på i tre kategorier:

1. Helomsluttende stål mantling, typisk består dette av to halve sylindriske skall plassert rundt røreseksjonen som sveiset langs de to langsgående kontaktflatene. (Fordi løsningen medfører behov for varmtarbeid benyttes den lite som temporær reparasjon.)

2. En mekanisk klammer, som typisk består av to beslag som er mekanisk sammenføyd med bolter/klemmer og har tetninger i hver ende. (Mange løsninger av denne kategorien har myktetning i hver ende, en løsning som tåler lite varme påkjenning. Derfor er dette en lite benyttet løsning der brann er en aktuell problemstilling.)
3. Komposittreparasjon, komplett innpakning av omkretsen der skaden på røret sitter og i en viss lengde ut langs røret i hver ende av skadestedet.

ISO 24817 (og ASME PCC-2-2018) er standarder mange benytter. Disse setter ikke eksplisitte krav til brannmotstand av komposittreparasjonsmaterialer. Likevel, både ISO 24817 og ASME PCC-2-2018 setter krav til at eier og leverandøren av reparasjonssystemet gjør en grundig bedømmelse av flere parametere og forhold når man vurderer å ta i bruk et reparasjonssystem. Blant annet krever ISO 24817 (ref. 7.1 Repair feasibility assessment) og ASME PCC-2-2018 (ref. 401-1.3 Risk Assessment) at man vurderer:

- “performance under upset and major incident situations, including impact, abrasion, fire, explosion, collision and environmental loading;”

Dette viser at standardene som ofte er benyttet på området er klar på at brann og eksplosjon må vurderes. Et viktig moment med hensyn til brannlast er at festemidlet («resins») må være innenfor operasjonstemperaturen for å kunne sikre integriteten for det skade rørstykket. Dersom man øker temperaturen utover operasjonstemperaturen kan man normalt ikke garantere integriteten for røret. Derfor er det viktig at løsningene som velges er sertifisert for den relevante applikasjonen mhp. temperaturutviklingen som skyldes brannlast.

4.7 Reparasjoner av brannbeskyttelse på struktur/rør/utstyr

4.7.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

Inngrep i passiv brannbeskyttelse på struktur/utstyr/rør (epoxybasert) der ny brannbeskyttelse påføres kan føre til svekkelser/nedsatt funksjonsevne, da gammel og ny isolasjon ikke vil blandes og binder seg til hverandre.

Hvilke prosedyrer/rutiner benyttes for reparasjoner av PBB?

4.7.2 Svar fra operatørene

2/8 operatører overlater til leverandører å sørge for at reparasjoner utføres i henhold til standarder, for eksempel NORSOK M-501. Den ene av operatørene nevner at de følger opp med egne inspeksjoner.

Det henvises til manualer for påføring PBB produktene. Eksempler er “Pyroclad X1 application manual” og «Coating Procedure Specification» for det produktet som blir benyttet ved reparasjonen.

4/8 operatører nevner at de har sementbasert PBB (som regel på gamle installasjoner) som skal repareres. Da velger man å gjøre små reparasjoner med sementbaserte produkter som er compatible med opprinnelig produkt. Ved større reparasjoner fjernes det sementbaserte produktet og det bygges opp med epoxybaserte produkter.

For å forhindre heftproblemer, legges det ikke overlappende belegg, men det sikres at epoksybelegget har heft direkte mot stållate/primer.

En operatør refererer til et program startet av Akzo Nobel kalt «PBB severity assessment» i samarbeid med noen operatører. Dette prosjektet har så langt involvert over 60 branntester for å vurdere effekten av skader eller avvik i installerte PBB-systemer. Branntestene ble bevitnet av tredjepart. Som en del av dette prosjektet, har Akzo Nobel testet

reparasjoner av PBB for betong ved hjelp av to forskjellige reparasjonsløsninger (et betongreparasjonsmateriale og en epoxy-PBB) under jetbrann og andre brannforhold. Disse testene skal verifisere integriteten ved å bruke et annet materiale som reparasjon, slik at kompatibilitet kan garanteres. Arbeidet pågår og inkluderer vurdering av reparasjoner av andre former for PBB.

En operatør presiserer at de i veldig liten grad påfører epoxybasert PBB direkte på rør, men heller bruker prefabrikkerte skall som festes med strammebånd. Med prefabrikkerte skall er det ikke erfart utfordringer med reparasjoner, siden de i stor grad utføres på samme måte som opprinnelig reparasjon. Det påpekes at den største utfordringen er der man må reparere gammel sementbasert PBB med epoxybasert PBB. Disse to typene PBB beskytter stålet på ulik måte i et brannscenario og det medfører utfordringer i overlappsonen. I dag er den reparasjonsmetoden mer eller mindre ute av bruk da mye av den gamle sementbaserte PBB er fullt ut erstattet med epoxybasert PBB, eller blir erstattet når det meldes inn mangler på eksisterende sementbasert PBB.

En operatør svarer at når det kommer opp en skade i PBB så blir det vurdert hvor stort omfang som skal utbedres, i enkelte tilfeller blir det bare en flekkvis reparasjon, i andre tilfeller som typisk ved adhesjonssvikt eller delamineringer så vil det bli byttet ut et større areal. Det viktigste her er at ny PBB oppfyller kravene til brannmotstand og at overlappsonen mot gammel PBB gjøres iht. leverandørens anbefalinger. «Application Manual» for PBB fra leverandøren vil vise hvordan dette skal håndteres i de fleste tilfeller. I disse påføringsmanualene er det beskrevet i detalj, og også vist med skisser hvordan reparasjoner skal utføres. Rådgøring med teknisk personell hos leverandøren av PBB forekommer også i tilfeller der vi er i tvil om løsning. Normalt benyttes også leverandøren av PBB for å beregne tykkelser som trenges av ny PBB gitt brannscenario og varighet.

I sammendrag er det usikkert om kompatibilitet mellom sement og epoksybasert er ivarettatt, og et pågående arbeid på dette er ikke konkludert. Endel operatører viser også til spesifikasjoner fra leverandører når det gjelder slike reparasjoner.

4.7.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

Dette kapittelet omhandler reparasjon av skader på passiv brannbeskyttelse.

Ved testing ser man ofte at detaljer er viktige, og at mindre endringer i testoppsettet kan medføre betydelig forskjellig ytelse. De svake punktene er ofte tilslutninger og overganger i den passive brannbeskyttelsen.

Ptil har tidligere utgitt en studie på dette temaet som er mer omfattende enn det vi klarer å dekke i denne rapporten, selv om denne rapporten er fra 2006 så har vi vurdert den til fortsatt å være aktuell og relevant:

- SINTEF - Norges branntekniske laboratorium. Langtids holdbarhet av offshore passive brannbeskyttelse. Rapportnr.: NBL A06124. Dato 20.12.2006. /21/

4.8 Bruk av midlertidig passiv brannbeskyttelse

4.8.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

Vi har erfaringer med at midlertidig passiv brannbeskyttelse blir brukt i lengre perioder før beskyttelsen erstattes med permanent.

a) Der midlertidig passiv brannbeskyttelse brukes, hvilke vurderinger utføres med tanke på brannmotstand (tåleevnen til isolasjon utsatt for definerte designulykkeslaster for brann), begrensninger, varighet av bruk, omfang osv.?

b) Hvilke retningslinjer/prosedyrer har dere for bruk av midlertidig passiv brannbeskyttelse?

c) Inneholder disse retningslinjene/prosedyrer krav eller anbefalinger for tidsbegrensning?

d) Hvem har ansvaret for å vurdere om bruken er innenfor retningslinjene?

4.8.2 Svar fra operatørene

Oppsummering av operatørenes svar på spørsmål 8a

Der midlertidig passiv brannbeskyttelse brukes, hvilke vurderinger utføres med tanke på brannmotstand (tåleevnen til isolasjon utsatt for definerte designulykkeslaster for brann), begrensninger, varighet av bruk, omfang osv.?

De fleste operatørene (6/8) uttrykker i relativt klar tekst at de tilstreber at midlertidig passiv brannbeskyttelse skal ha like god brannbeskyttelse som permanent beskyttelse. To operatører viser til at de har sertifiserte løsninger for midlertidig brannbeskyttelse. En operatør har prosedyrer for midlertidige reparasjoner beskrevet (eller dekket av) internt dokument.

Oppsummering av operatørenes svar på spørsmål 8b

Hvilke retningslinjer/prosedyrer har dere for bruk av midlertidig passiv brannbeskyttelse?

Alle operatørene har et system som holder styr på avvik i forbindelse med reparasjoner. Ikke alle har et system som gjelder spesielt for reparasjon av PBB, men det dekkes da opp av mere generelle avvikssystemer eller arbeidstillatelsesprosedyrer.

En operatør svarer at de har ingen spesifikke retningslinjer ut over AT (arbeidstillatelse) systemet som definerer arbeid på PBB som utkobling av sikkerhetssystem, slik at lengre perioder med svekkelser vurderes spesielt. Operatøren har også utarbeidet og testet en løsning for midlertidig PBB i henhold til ISO 22899-1 for bruk på et spesifikt prosjekt.

En operatør svarer at ved reparasjoner eller andre inngrep som krever midlertidig fjerning av permanent passiv brannbeskyttelse, skal det legges på midlertidig beskyttelse. Denne skal erstattes av permanent beskyttelse så snart som praktisk mulig. Det er ikke formaliserte prosedyrer, overflateansvarlig offshore oversender forslag til løsning på kompenserende tiltak til saksbehandler for teknisk sikkerhet, når det er godkjent får leder for overflatebehandling offshore en oppfølgingsaksjon i avvikssystemet som de følger opp ukentlig.

En operatør svarer at fjerning av brannisolasjon er styrt i prosedyre for midlertidig avisolering. Små volum av PBB i kortere perioder kan fjernes uten ytterligere tiltak. Ved avisolering av PBB i lengre perioder skal utstyret midlertidig isoleres. Fjerning av større volum, f.eks. ved større inspeksjonskampanjer, turnaround, kreves en egen risikovurdering eller avvikshåndtering i samråd med teknisk sikkerhet.

En operatør referer til internt dokument som beskriver krav til utførelse. Midlertidige løsninger for brannisolering er testet og dokumentert for brannlaster på lik linje med permanente løsninger.

En operatør har tatt i bruk et verktøy som gir totaloversikt over mengde PBB som er midlertidig fjernet og en har implementert maks tillatte mengder med PBB som kan fjernes i områder for å begrense totalomfanget til PBB som er fjernet til enhver tid.

Oppsummering av operatørenes svar på 8c

Inneholder disse retningslinjene/prosedyrer krav eller anbefalinger for tidsbegrensning?

En operatør svarer ja, en svarer nei på spørsmål om retningslinjer/prosedyrer inneholder krav eller anbefalinger om tidsbegrensninger. Ut fra svar på andre spørsmål kan et nei tolkes som om det ikke anses som nødvendig å ha en egen

spesifikk prosedyre for tidsbegrensning av midlertidige reparasjoner på passiv brannbeskyttelse siden dette i er dekket av andre systemer for avviksbehandling eller arbeidstillatelser.

En operatør definerer ikke tidsbegrensninger for de midlertidige løsningene med følgende begrunnelse: De antas å ivareta brannintegritet så lenge de er i henhold til testet utførelse. Antatt levetid for midlertid isolering må vurderes i hvert enkelt tilfelle basert på de belastningene den utsettes for, eks værbelastninger.

Varighet på midlertidig PBB er knyttet til mulighet for vanninntrenging og påfølgende korrosjon så man søker å holde varigheten så kort som mulig.

Tidskrav for permanent reparasjon av midlertidig PBB vil hos noen av operatørene inngå i deres system for håndtering av avvik.

En operatør svare at det vedrørende tidsbegrensninger for bruk av midlertidig PBB, eksisterer det per dags dato ingen klare krav til tidsbegrensning. Vurdering av tidsbegrensning foretas i hvert enkelt tilfelle. Samme operatør oppdaterer for tiden gjeldende prosesser/dokumentasjon for avvikshåndtering for gjeldende innretninger. I dette arbeidet inngår blant annet vurdering av midlertidig(e) arbeid/ barrieresvekkelser. Iht. gjeldende prosesser/dokumentasjon skal ansvarlig IP-ingeniør for relevant IP være inkludert i håndtering av midlertidig endring, inkludert IP-ingeniør relatert til bruk av midlertidig PBB.

Oppsummering av operatørenes svar på 8d

Hvem har ansvaret for å vurdere om bruken er innenfor retningslinjene?

Alle operatøren ser ut til å ha plassert ansvaret for å vurdere om bruk av midlertidig brannisolering er innenfor retningslinjene enten til en stilling eller grupper innenfor organisasjonen. Det ganske stor variasjon i hvordan det svares:

- Teknisk sikkerhet vil være ansvarlig for brannintegritet, og eventuelle avvik knyttet til bruken av både midlertidig og permanent isolasjon. Integritet/ISO vil ha ansvar for å installere både midlertidig og permanent installasjon samt å prioritere utskiftning fra midlertidig til permanent løsning i samarbeid med «asset».
- Leder for overflatebehandling eller annet offshore personell.
- I første omgang er dette plattformsjef.
- Teknisk integritet ved teknisk sikkerhets kompetanse er ansvarlig for vurdering av egenskap og teknisk tilstand til barrieren for passiv brannbeskyttelse.
- Fjerning av PBB er gjenstand for avviksbehandling i henhold til etablert prosedyre, der vurderinger av bruk gjøres av flere disipliner for å konkludere med om det er en akseptabel løsning.
- Relevant IP-ingeniør for material har ansvaret for at anvendt material for midlertidig PBB er innenfor retningslinjene. Overordnet vurdering av anvendt material for PBB foretas som en samlet vurdering av involvert personell (inkludert blant annet IP-ingeniør for material, teknisk sikkerhet etc.).
- Ansvaret for å sikre akseptable løsninger ligger hos operasjonsansvarlig. Ved større reparasjoner vil normalt personell ansvarlig for ytelsesstandarden som omfatter PBB bli involvert.

4.8.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

Midlertidig passiv brannbeskyttelse kan være nødvendig å bruke der det må fjernes passiv brannbeskyttelse og det ikke er mulig å få installert ny passiv brannbeskyttelse umiddelbart. Denne midlertidige brannbeskyttelsen må kunne legges på raskt og med tilgjengelige materialer. Det er gjennomført jetbranntester etter ISO 22899-1 for en midlertidig isolasjonsmetode på oppdrag for en operatør. Denne isolasjonsmetoden bestod av AES-ull, sveiseduk eller aluminiumsfolie og strammebånd. Ved å gjennomføre en jetbranntest på denne isolasjonsmetoden unngikk operatøren

å behandle avvik når denne midlertidige isolasjonsmetoden ble benyttet. Denne metoden ble beskrevet i interne retningslinjer og ble gjort tilgjengelig for andre. Senere ønsket også en annen operatør å kunne benytte denne isolasjonsmetoden, men kunne ikke basere sin dokumentasjon på det interne dokumentet fra den andre operatøren. Testen ble dermed repetert med noen mindre variasjoner. Resultatet av testen ble derimot merkbart dårligere enn i den tidligere testen uten at det var noen åpenbar årsak til hvorfor dette skjedde. Dette kan skyldes variasjoner i testbetingelser, eller i måten isolasjonen ble montert. Denne typen isolasjonsmetode baserer seg på AES-ull direkte i kontakt med stålrøret. Dersom det kommer vann inn i isolasjonen vil dette gi svært gode forhold for korrosjon. Det er derfor viktig å sørge for at isolasjonen holder seg tørr så lenge denne isolasjonsmetoden er i bruk.

4.9 Bruk av passiv brannbeskyttelse på kun tre sider av stålbjelker

4.9.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

Bruk av passiv brannbeskyttelse på kun tre sider av stålbjelker, der toppflens ikke er PBB beskyttet, kan medføre til at bjelke siger/taper av bæreevne.

- a) *Hvilke vurderinger utføres der passiv brannbeskyttelse brukes på kun tre sider av stålbjelken?*
- b) *Hvordan dokumenteres det at bjelker med denne utførelsen har tilstrekkelig brannmotstand?*

4.9.2 Svar fra operatørene

Svarene på disse spørsmålene er todelt. Et fåtall svarer at de ikke har eksempler på slik utførelse på sine installasjoner. Flertallet svarer at slik utførelse vurderes ved hjelp av numeriske verktøy og metoder. Dette vurderes enten som selvstendige studier eller som en del av større studier på dokumentasjon av strukturell integritet. De metodene og verktøyene som beskrives av operatørene er veletablert og anses som velegnet for den typen vurdering som gjennomføres. Spesifikt nevnes programmene Kameleon FireEx, FAHTS og USFOS.

Ingen av operatørene nevner tester av bjelker med beskyttelse på tre sider, det er ikke klart om de har gjennomført tester av de bjelkene med den passive brannbeskyttelsen som faktisk er benyttet. De numeriske verktøyene som beskrives er imidlertid stand til å beregne temperaturutvikling og kapasitet i bjelker som er beskyttet på tre sider.

4.9.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

Det er ikke uvanlig at stålbjelker beskyttes på tre av fire sider. Typisk er oversiden av bjelker ubeskyttet. Dette kan være av praktiske hensyn eller fordi det forventes mindre varmeeksponering på oversiden av bjelken. Dersom stålbjelken bærer et tett dekk, kan dette være en grei løsning. Dersom dekket består av «grating» bør stålbjelken isoleres på alle sider, siden det er ingen grunn til å forvente mindre varmelast fra oversiden.

I tilfeller hvor slik utførelse er valgt er det uklart hvordan det dokumenteres at bjelken oppfyller de kriteriene som stilles til brannintegritet.

Det er gjennomført testing av bjelker der oversiden av toppflensen var uisolert. Dette gav svært rask temperaturstigning i toppflensen og også raskere oppvarming øverst i steget enn i resten av bjelken.

4.10 «Firenuts» (PBB) beskyttelse av bolter/mutter

4.10.1 Spørsmål fra Ptil

For å innhente dokumentasjon om temaet har Ptil stilt følgende spørsmål til operatørene på norsk sokkel:

I designfasen kan det være spesifisert at brannbeskyttelse av bolter og muttere (ved bruk av «firenuts») på flenser er nødvendig for å unngå uakseptable brudd. Vi har i senere tid observert at flere innretninger i drift tar av beskyttelsen av boltene/mutterne. Dette fordi brannmotstand til flenser/bolter/mutter er bedre enn først antatt ved å ta hensyn til trykkavlastning.

- a) *Har selskapet eksempler på om dette er praktisert for deres innretninger?*
- b) *Hvis «firenuts» er tatt av i drift, hvordan er tilstrekkelig brannmotstand dokumentert?*

4.10.2 Svar fra operatørene

Svarene Ptil har mottatt indikerer at et fåtall av operatørene på norsk sokkel har erfaring med «Firenuts». Det beskrives at det på noen installasjoner er observert korrosjon på bolten under den passive brannbeskyttelsen. I noen tilfeller hvor dette er observert er «Firenuten» blitt fjernet for å utbedre korrosjonen og så ikke påført igjen. Dette er motivert av resultater fra tester og numeriske beregninger utført av operatøren.

Det er ikke klart i hvilken grad dokumentasjonen som ligger bak beslutningen om å ikke gjenpåføre «Firenutsene» er generelt tilgjengelig. Det er heller ikke klart om resultatene kan benyttes av andre operatører som vurderer å bruke «Firenuts».

Svarene tyder på at firenuts er lite utbredt. Der det finnes og firenuts er tatt ut av drift er det mangel på dokumentasjon av resterende brannmotstand.

4.10.3 RISE og DNV sine kommentarer til spørsmålet

Boltede forbindelser anses som en komponent med svak brannintegritet. Det er fordi gjengene i boltene raskt varmes opp og mister styrke i en brann. Dette kan føre til at forbindelsen ikke holder tett. En serie med branntester av flenser med konstant trykk viste at gjengene i boltene gav etter og førte til at flensene åpnet seg i løpet av få minutter. «Firenuts» er en form for passiv brannbeskyttelse som dekker boltene på boltede forbindelser og forsinker oppvarmingen.

5 REFERANSER

/1/	"ISO 22899-1:2007 Determination of the resistance to jet fires of passive fire protection materials. Part 1: General requirements." ISO Copyright office, published in Switzerland, 01 Dec. 2007.
/2/	I. Bradley, D. Willoughby, and M. Royle, "A review of the applicability of the jet fire resistance test of passive fire protection materials to a range of release scenarios," Process Safety and Environmental Protection, vol. 122, pp. 185–191, Feb. 2019.
/3/	R. Stølen, R. Mikalsen, K. Glansberg, and W. Espen D., "Heat flux in jet fires, Unified method for measuring the heat flux levels of jet fires," in Nordic Fire & Safety Days 2018, Book of proceedings (with peer-review), Trondheim, Norway, 2018, vol. RISE Rapport 2019:54, pp. 65–69.
/4/	Forskrift 31. januar 1984 nr. 227 om sikringstiltak mot brann og eksplosjon på flyttbare innretninger
/5/	DNVGL-RP-C204 Structural design against accidental loads.
/6/	R. Wighus, A. Brandt, and C. Sesseng, "Flame Radiation from Large Flames," presented at the 8th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. Hefei, China, April 2016., 2016.
/7/	R. Stølen, A. W. Brandt, and R. Wighus, "Enclosure Fire Temperatures: Experimental Evidence and Standard Time-Temperature Curves," in ISFEH19 Book of Proceedings, St.Petersburg, Russia, 2019, pp. 501–510.
/8/	2010 FTP Code - International Code for Application of Fire Test Procedures, 2010, IMO Resolution MSC.307(88). International Maritime Organization, 2012.
/9/	OTI-95634 Jet-Fire Resistance Test of Passive Fire Protection Materials
/10/	ISO 834-1 - Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements
/11/	ISO/DIS 23693-1 Determination of the resistance to gas explosions of passive fire protection materials — Part 1: General Requirements
/12/	ISO 24817 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Composite repairs for pipework — Qualification and design, installation, testing and inspection
/13/	ISO 10497 – Testing of valves -Fire type-testing requirements
/14/	NORSOK M-004 – NORSOK Standard - Piping and Equipment insulation
/15/	NORSOK M-501 – NORSOK Standard – Surface preparation and protective coating.
/16/	NORSOK S-001:2020 NORSOK standard -Technical safety
/17/	UL1709 - Rapid Rise Fire Tests of Protection Materials for Structural Steel
/18/	EN-1363-2 Prøving av brannmotstand - Del 2: Alternative prosedyrer og tilleggsprosedyrer
/19/	API 6FA, B, D Standard for Fire Test of Valves, End Connections, Check valves
/20/	BS 6755-2 – British Standard – Testing of valves – Part 2: Specification of fire type-testing requirements.
/21/	SINTEF - Norges branntekniske laboratorium. Langtids holdbarhet av offshore passive brannbeskyttelse. Rapportnr.: NBL A06124. Dato 20.12.2006.

/22/	FABIG TN 13 Design Guidance for Hydrocarbon Fires
/23/	DNVGL-RP-G109 Recommended practice – Risk based management of corrosion under insulation.
/24/	FORSKRIFT OM UTFORMING OG UTRUSTNING AV INNRETNINGER MED MER I PETROLEUMSVIRKSOMHETEN (INNRETNINGSFORSKRIFTEN) (Sist endret 16. desember 2020)



Om DNV

Vi er et globalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering med tilstedeværelse i over 100 land. Vårt formål er å sikre liv, verdier og miljøet. Med vår unike tekniske ekspertise og uavhengighet bistår vi våre kunder med å forbedre sikkerhet, effektivitet og bærekraft.

Enten vi godkjenner et nytt skipsdesign, optimerer energiproduksjonen fra en vindmøllepark, analyserer sensordata fra en gassrørledning eller sertifiserer verdikjeden til en matprodusent, hjelper vi våre kunder med å ta gode og riktige beslutninger og øke tilliten til virksomheten, produktene og tjenestene deres. Verden er i endring. Vi kan påvirke utviklingen. Sammen skal vi takle de globale utfordringene og omstillingene vi vil møte.