



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2024

Fakultet for realfag og teknologi

Beregning av eksplosjonslaster i oljekjølte trafobbygg

Geir Viste

Henrik Skjerven Petersen

Byggeteknikk og arkitektur

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved NMBU, våren 2024. Oppgaven er utført som avsluttende oppgave for studiet, byggeteknikk og arkitektur. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Multiconsult.

Vi vil benytte muligheten til å takke Karl-Jørgen Kristiansen ved Multiconsult for forslag til tema for masteroppgave og inspirerende veiledning. Vi vil også rekke en takk for tilsendt litteratur og personene du satte oss i kontakt med.

Til slutt vil vi rette en takk til vår interne veileder Einar Nathan for god veiledning, og jevnlig oppfølging gjennom semesteret.

Sammendrag

Målet med denne oppgaven har vært å analysere og kartlegge hva som påvirker og bør ivaretas ved beregning av ulykkeslast i trafosjakter med oljetransformatorer. Ulykkeslasten som er undersøkt nærmere er oljedamp sekundæreksplasjon i trafosjakter. Fokuset har vært å undersøke hvilke parametere som har betydning når man skal dimensjonere mot denne eksplosjonen ved å undersøke eksisterende beregningsmetoder for ulykkesforløpet. Det er mange kompliserte parametere som medgår til eksplosjonen som gjør den utfordrende å beregne og dimensjonere mot. Målet har vært å kartlegge disse parameterne og se på hvilke av disse som vil være mest avgjørende, og hvilke som vil være mer komplekse og vanskelige å ta høyde for. Det finnes flere forenklete metoder for å beregne denne ulykkeslasten. Det er her ønsket å analysere to av dem for å se hvordan de brukes for å dimensjonere mot sekundæreksplasjoner, og hvilke parametere som blir inkludert i disse beregningsmetodene.

Som del av oppgaven er det gjennomført flere intervjuer med fagpersoner innen fagfeltet for å få bedre innsikt i transformatorer og transformatorbygg, beregningsmetoder, risikovurderinger og ulykkesforløpet for oljedamp sekundæreksplasjoner. Intervjuobjektene har bidratt til å kartlegge parametere som inngår i ulykkesforløpet og som kan være viktige ved dimensjoneringen mot ulykkeslasten. Det er også gjennomført en sammenligningscasestudie der det er foretatt beregninger med forskjellige metoder for et trafobygg. Metodene som er benyttet er etter NFPA68 og SEBK metodikk. Med disse beregningseksemplene er det forsøkt å konkretisere betydningen av parameterne som er avdekket som viktige fra intervjuobjektene, samt å sammenligne metodene og svarene de gir. Metodene er brukt for å regne på flere type scenarier for tydelig fremstille forskjellen og svare de vil gi.

Det som kom frem fra intervjuobjektene som viktige parametere var effekten av lysbueenergi, romvolum og trykkavlastning som vil forekommer under eksplosjon. I tillegg ble det tydeliggjort viktigheten av, romgeometri med tanke på turbulens og forbrenningshastighet, i tillegg til gassammensetningen med gasskomponenter og mengde oljedamp.

Fra beregningene kom det frem overdrevent konservative resultater fra NFPA68 sammenlignet med SEBK metodikken. Metodene har i tillegg et veldig ulikt utgangspunkt til hvordan eksplosjonstrykket er beregnet. Det er derfor stor forskjell i hvordan metodene baserer seg på de kritiske faktorene og selve ulykkesforløpet forklart fra intervjuobjektene. NFPA68 vil holde seg veldig konservativ ved å ta utgangspunkt i et rom fylt med hydrogen, i tillegg til at det settes krav til avlastning. Dette har resultert i veldig høye trykk eller krav til avlastningsareal. Resultatet kommer ikke nødvendigvis av at standarden er dårlig, men heller av at den ikke er like godt egnet til formålet. Metodikken fra SEBK baserer seg mer på faktorer som er relevant basert på selve ulykkesforløpet og resulterer i en relativt lav last uten avlastning. Faktorene som inngår her, vil kunne knyttes til en del usikkerhet og det kan derfor være krevende å få beregnet en veldig presis last.

Abstract

The aim of this thesis has been to analyze and assess factors influencing and requiring consideration in the calculation of accident loads in transformer building with oil-filled transformers. Specifically, the accident load examined is a secondary explosion in transformer buildings caused by oil vapor. The focus has been to explore the parameters significant for calculating resistance against this explosion by examining existing calculation methods for the accidental scenario. Numerous complex parameters contribute to the explosion, making it challenging to calculate. The objective has been to examine these parameters, identifying the most critical ones and identify those more complex and challenging to account for. Several simplified methods exist for calculating this accidental load, and the aim has been to analyze two of them, to understand how they are utilized to calculate the pressure occurring from a secondary explosions and which parameters are included in these calculation methods.

Several interviews have been conducted with experts in the field to gain insight into transformers and transformer buildings, calculation methods, risk assessments, and the accident sequence for secondary explosions caused by oil vapor. The interviewees have helped to identify parameters involved in the accident sequence and essential for dimensioning against the accident load. Additionally, a comparative case study has been conducted, where calculations were performed using different methods for a transformer building. The methods used are according to NFPA 68 and SEBK methodology. Through these calculation examples, it is attempted to illustrate the importance of parameters identified as crucial by the interviewees and to compare the methods and the results they provide. The methods have been used to calculate various types of scenarios to clearly demonstrate the differences and the answers they provide.

The important parameters highlighted by the interviewees included the effect of arc energy, room volume, and pressure relief occurring during the explosion. Additionally, the significance of room geometry concerning turbulence and combustion rate, as well as gas composition with gas components and the amount of oil vapor, was clarified.

The calculations showed excessively conservative results from NFPA 68 compared to the SEBK methodology. Additionally, the methods have very different approach in how the explosion pressure is calculated. That is why there is a significant difference in how the methods rely on critical factors and the accident sequence explained by the interviewees. NFPA 68 remains highly conservative by assuming a room filled with hydrogen, in addition to imposing requirements for relief vents. This has resulted in very high pressure or relief area requirements. The result may not necessarily arise from the inadequacy of the standard but rather from its lack of suitability for the purpose. The SEBK methodology relies more on factors relevant to the accident sequence, resulting in a relatively low load without relief vents. The factors included here, may come with some uncertainty, making it challenging to calculate a very precise load.

Innhold

Forord.....	I
Innhold.....	IV
Figurliste.....	VII
Tabelliste.....	VII
Formelliste.....	VIII
Forkortelser.....	IX
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn og formål.....	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Forutsetninger og Avgrensninger.....	2
2 Teori.....	3
2.1 Transformatorer.....	3
2.1.1 Generelt.....	3
2.1.2 Oppbygning og virkemåte.....	3
2.1.3 Kjerne.....	4
2.1.4 Viklinger.....	4
2.1.5 Gjennomføring.....	4
2.1.6 Olje.....	4
2.1.7 Utkoblingsmekanismer.....	5
2.2 Lysbue, Brannteori og Eksplosjonsteori.....	5
2.2.1 Lysbue.....	5
2.2.2 Brannteori.....	6
2.2.3 Eksplosjonsteori.....	8
2.2.4 Eksplosjonsteori.....	11
2.3 Konstruksjonsteori.....	13
2.4 Spesifikk teori tilknyttet sekundær eksplosjon.....	14
2.4.1 Primær eksplosjon.....	14
2.4.2 Sekundær eksplosjon.....	17
2.5 Standarder og beregningsmetoder.....	18
2.5.1 NFPA.....	18
2.5.2 SEBK.....	23
3 Metode.....	24
3.1 Forskningsmetoder.....	24
3.1.1 Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode.....	24

3.1.2	Ustrukturert intervju	25
3.1.3	Research by design.....	25
3.1.4	Case-studie.....	25
3.2	Valgt Metode.....	25
3.2.1	NFPA 68.....	27
3.2.2	SEBK.....	27
3.2.3	Microsoft Excel.....	27
3.2.4	Nettskjema-Diktafon	27
3.3	Metodekritikk.....	27
3.3.1	Reliabilitet	27
3.3.2	Validitet	27
3.3.3	Objektivitet.....	28
3.3.4	Generaliserbarhet	28
3.4	Valgt case	28
3.5	Beregningsmetoder.....	29
3.5.1	NFPA68	29
3.5.2	Adiabatisk metode basert på SEBK	32
4	Resultat	34
4.1	Intervjupersoner	34
	Produsent.....	34
4.1.1	Intervjuobjekt 1.....	34
	Fagpersoner	36
4.1.2	Intervjuobjekt 2.....	36
4.1.3	Intervjuobjekt 3.....	39
4.1.4	Intervjuobjekt 4.....	43
4.1.5	Intervjuobjekt 5.....	46
4.2	Parametere knyttet til ulykkesforløpet	49
4.2.1	Parametere med tilknytning til komplikasjoner og usikkerhet	49
4.2.2	Parametere av betydning med mindre usikkerhet.....	51
4.3	NFPA68-metode	52
4.3.1	Beregninger	52
4.4	Adiabatisk praktisk metode basert på SEBK-prosjektet	56
4.4.1	Beregninger	56
4.5	Risiko	58
4.5.1	Ansvar.....	58
4.5.2	Statistikk.....	58

5	Diskusjon	59
5.1	Ulykkeslasten og mest kritiske parametere	59
5.1.1	Parametere.....	59
5.1.2	Utfordringer ved prosjektering	64
5.2	Resultater fra NFPA68	64
5.2.1	Parametere og sentrale faktorer	64
5.2.2	Analyse av beregningene	65
5.2.3	Usikkerhet/Problematikk	67
5.2.4	Tid, kostnad og brukervennlighet NFPA68	69
5.3	Resultater fra Praktisk tilnærming ved bruk av SEBK metodikk	69
5.3.1	Parametere/Faktorer som inngår	69
5.3.2	Analyse av beregninger	70
5.3.3	Usikkerhet/Problematikk	70
5.3.4	Tid, kostnad og brukervennlighet SEBK.....	72
5.4	Sammenlikning.....	73
5.4.1	Resultater fra utregning	73
5.4.2	Ansvar, risiko og kredibilitet	76
5.4.3	Tid, kostnad og brukervennlighet	77
5.5	Viktigheten av å dimensjonere for eksplosjon.....	77
5.6	Styrker og svakheter.....	78
5.7	Muligheter for en forbedret løsning	79
5.8	Videre forskning	83
5.9	Oppsummerende diskusjon	83
6	Konklusjon.....	85
7	Kildeliste.....	87
	Vedlegg.....	91
	Vedlegg 1.....	91
	Vedlegg 2.....	93
	Vedlegg 3.....	95
	Vedlegg 4.....	96
	Vedlegg 5.....	97
	Vedlegg 6.....	99
	Vedlegg 7.....	110
	Vedlegg 8.....	144
	Vedlegg 9.....	163
	Vedlegg 10.....	174

Figurliste

Figur 1 – Illustrasjon av transformator-kjerne (Valmot, 2020) . Illustrasjon: kjersti magnussen/ TU	4
Figur 2 Ulike typer lysbuer	6
Figur 3 Ulike typer antennelse	8
Figur 4 Konstant gass og volumutvikling (Bjerketvedt et al, 1992, s.45)	10
Figur 5 Gassutvikling (Muller, 2008).....	16
Figur 6 Konservativ gassutvikling (Heudier, 2019)	16
Figur 7 Ulykkesforløp for sekundæreksplosjoner (Westberg, 2017).....	17
Figur 8 Mulige ulykkesforløp (El-Harbawi, 2022)	18
Figur 9 Gassammensetning og oksygenforhold (Hansen, 2002, s.74)	24
Figur 10 illustrasjon av metoden research by design.....	26
Figur 11 Illustrasjon av valgt case.....	28
Figur 12 Beregning av obstruksjonsareal	31
Figur 13 Beregning av formfaktor	31
Figur 14 Avlastningsareal og dimensjonerende trykk.....	52
Figur 15 Avlastningsareal og innvendig overflate	55
Figur 16 Innvendig overflate og trykk under deflagrasjon	55
Figur 17 Beregning inklusivt oljedamp.....	56
Figur 18 Resultater for endret volum.....	57
Figur 19 Sammenheng mellom volum og trykk	57
Figur 20 Sammenheng mellom trykk og lysbueenergi.....	58
Figur 21 Eksempel på forskjell mellom innvendig overflate og volum	65
Figur 22 Sammenheng mellom volum og trykk med SEBK metodikk	70
Figur 23 Gassutvikling basert på lysbuespenning (m^3/MJ)	71
Figur 24 Sammenlikning av trykkutvikling fra NFPA68 og SEBK.....	75
Figur 25 Sammenheng mellom ventilasjonskonstant og avlastningsareal	81
Figur 26 Sammenheng mellom avlastningsareal og romvolum etter redusert blandingsforhold	82

Tabelliste

Tabell 1: Oljetyper med egenskaper (Møre Trafo,2014)	5
Tabell 2 Trykkutvikling og volumutvikling for ulike gasser (Baker, et al. 1983)	10
Tabell 3 Skade ved overtrykk (FEMA, 2003).....	14
Tabell 4 Parametere tilknyttet 2.6.....	19
Tabell 5 Parametere tilknyttet 2.7.....	20
Tabell 6 Parametere som inngår i formel 2.8 - 2.13	21
Tabell 7 Parametere som inngår i 2.16 og 2.17	23
Tabell 8 Teknisk data for bygget	29
Tabell 9 Teknisk data for transformator og strømnnett	29
Tabell 10 Variabler som inngår i beregningen for C	30
Tabell 11 Inngående variabler i lysbueenergi.....	32
Tabell 12 Resultater for scenario 1 og 2	53
Tabell 13 Inngangsverdier for scenario 5	53
Tabell 14 Inngangsverdier for scenario 6	54
Tabell 15 Resultater fra scenario 3 - 7	54
Tabell 16 Totalt gassvolum fra forbrenningsprodukter	56

Tabell 17 Endring i trykk.....	56
Tabell 18 Variabler benyttet i NFPA68 som innehar usikkerhet.....	68
Tabell 19 Ulike utgangspunkt for gassutvikling.....	71
Tabell 20 Forskjell i avlastningsareal ved tilnærmet likt trykk.....	73
Tabell 21 trykk og avlastning ved gunstige forhold.....	74
Tabell 22 Nødvendig energi for å fylle rommet med reaktive gasser.....	76
Tabell 23 Resultater fra scenario 8.....	79
Tabell 24 Gasskonstanter basert på Annex D i NFPA68 (NFPA68, 2023, Annex D).....	80
Tabell 25 Nye vaktede gasskonstanter for scenario 9.....	80
Tabell 26 Sammenlikning av scenario 4 og 9.....	80
Tabell 27 Resultater fra scenario 10.....	81
Tabell 28 Resultater fra scenario 11.....	82

Formelliste

(2.1).....	10
(2.2).....	11
(2.3).....	13
(2.4).....	13
(2.5).....	13
(2.6).....	19
(2.7).....	20
(2.8).....	21
(2.9).....	21
(2.10).....	21
(2.11).....	21
(2.12).....	21
(2.13).....	21
(2.14).....	22
(2.15).....	22
(2.16).....	22
(2.17).....	23
(3.1).....	29
(3.2).....	31
(3.3).....	32
(4.1).....	54
(4.2).....	56
(5.1).....	79
(5.2).....	83

Forkortelser

Eq	Equation
A_v	Avlastningsareal (m^2)
A_s	Innvendig overflate (m^2)
P_{red}	Trykket som forekommer under ventilering av en deflagrasjon (kPa)
P_{es}	Dimensjonerende trykk (kPa)
DLF	Dynamic load factor, dynamisk lastfaktor for statiske laster
C	Ventilasjonskonstant ($bar^{1/2}$)

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

Transformatorer er avgjørende komponenter i strømmettet for overføring og distribuering av elektrisk energi. Det benyttes i stor grad oljetransformatorer på grunn av gunstig pris og oljens gode isolerende og kjølede egenskaper (Longva, 2014). Haken med oljetransformatorer er faren de utgjør ved at det kan oppstå en intern kortslutning og lysbue i transformatoren. Dette kan få fatale konsekvenser hvis transformatorboksen revner og det oppstår en sekundæreksplosjon når ulike gasser kommer i kontakt med oksygen. Disse eksplosjonene kan være livstruende og kan føre til tap av strømforsyninger til samfunnskritiske komponenter. Det er derfor kritisk å minimere nedetiden til transformatorer og sikre at bygget er robust nok til å motstå en eventuell eksplosjon.

At sekundæreksplosjoner kan oppstå i trafosjakter er noe man i lang tid har vært klar over. Det er forsøkt å finne forebyggende tiltak både for å hindre den interne kortslutningen som kan oppstå og minimere konsekvensene dersom den først oppstår med påfølgende sekundæreksplosjon (SEBK, (2002; Westberg, 2017)). Men faren for at en oljedamp sekundæreksplosjon vil kunne inntreffe vil trolig alltid være til stede for trafosjakter med oljetransformatorer. Det er derfor ønskelig å inkludere det i prosjekteringen av bygget som en ulykkeslast. For å beregne ulykkeslasten så presist og realistisk som mulig kan det benyttes avanserte CFD analyser. Denne programvaren er svært dyr og noe få i bransjen har tilgang på. I tillegg er det veldig vanskelig å gjøre endringer i etterkant ettersom hele CFD analysen må gjøres på nytt, noe som også resulterer i en veldig kostbar prosess. Det er derfor mer foretrukket å benytte en forenklet metode. To eksempler på dette kan være den amerikanske standarden NFPA68 og metoden benyttet i forskningsprosjektet SEBK. Dette er to praktiske metoder som tidligere har blitt brukt til dette formålet og blir ansett til å være konservative, og beregningene vil derfor inneha en god sikkerhetsmargin.

I dag finnes det ingen bransjestandard på hvordan denne ulykkeslasten skal håndteres. Det er derfor opp til byggherre for hvilke krav som settes til prosjektering. Det finnes flere forenklede metoder som kan benyttes, men metodene varierer i anvendelse og innehar noen motstridende faktorer. På grunn av de begrensede forenklede metodene for å regne på ulykkeslasten, har det vært av interesse å gå dypere ned i selve ulykkesforløpet til denne eksplosjonen for å finne hvilke parametere som er viktige når man skal dimensjonere et trafobygg mot denne eksplosjonslasten.

For å finne ut dette er det gjennomført flere intervjuer med både leverandører av trafoer, rådgivere innenfor eksplosjon og fagpersoner med relevant bakgrunn. I tillegg er det utført en casestudie basert på et transformatorbygg, hvor beregningsmetodene fra NFPA68 og SEBK prosjektet er benyttet for å finne en ulykkeslast. Intervjuene blir så brukt for å validere beregningsmetodene basert på hvilke parametere som vil være mest realistiske og dominante i ulykkesscenarioet. Det blir deretter diskutert metodenes styrker og svakheter, knyttet opp mot sekundæreksplosjoner.

Formålet med oppgaven vil være å se på hvilken metodikk som vil være best egnet til hensikten, og om metodene har noen motstridende faktorer til ulykkesscenarioet. I tillegg til å se på potensielle forbedringer som kan føre til en praktisk metode som vil være enda bedre egnet i fremtiden.

1.2 Problemstilling

Hovedproblemstillinger:

1. *Kartlegging av hvilke faktorer som påvirker og bør ivaretas ved beregning av ulykkeslasten oljedamp sekundærexplosjon i oljekjølte transformatorer.*
2. *Evaluere hvordan dagens beregningsmetodikk fra NFPA 68 og SEBK egner seg for beregning av trykk under ulykkesforløpet.*

For å svare best på problemstillingen er det valgt følgende underproblemstillinger:

- Hvilke komplikasjoner og usikkerheter knyttes det opp til beregning av den gitte ulykkeslasten og selve ulykkesforløpet
- Hvilke parametere vil ha mest betydning
- Hvilke resultater vil forekomme fra NFPA68 metodikken og SEBK metodikken
- Hva vil være forskjellen i anvendelsen av beregningsmetodene og svarene de gir
- Finnes det muligheter for forbedringer av metodene i tilknytning sekundærexplosjoner

1.3 Forutsetninger og Avgrensninger

Vi vil ta utgangspunkt i følgende aspekter:

- Det er flere ulike ulykkeslaster som vil kunne forekomme i oljekjølte transformatorer blant annet diverse former for brann (El-Harbawi, 2022). Denne oppgaven vil kun ta utgangspunkt i ulykkeslasten som forekommer under en sekundær oljetransformator eksplosjon. Dette forutsetter at kapslingen rundt transformatoren vil ryke i hvert scenario som blir vurdert, i tillegg til at det alltid er en form for antenneskilde til stede.
- Under ulykkesforløpet vil det bli sett bort fra årsaken til kortslutningen.
- Beregningsmetodene som vil brukes er NFPA68 og metodikk basert på forskningsprosjektet SEBK.
- Manglende verdier i beregningene vil bli hentet fra tidligere prosjekter.
- Beregningene fra casen vil kun resultere i trykket som forekommer og derfor ikke ta hensyn til kapasiteten til selve bygget, eller nødvendige dimensjoner dette vil resultere i.

Alle andre forutsetninger tilknyttet de ulike metodene vil nevnes under 3.5 Beregningsmetode i tillegg vil alle forutsetninger tilknyttet casen vil nevnes i kapittel 3.4 Valgt case.

2 Teori

2.1 Transformatorer

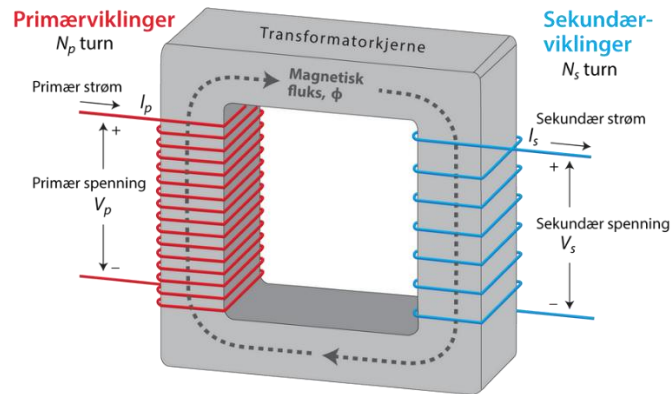
2.1.1 Generelt

Transformatorer er avgjørende komponenter i strømmettet for overføring og distribuering av elektrisk energi. Det er et apparat som har til hensikt å øke eller redusere spenningen i et elektrisk kretsløp. Spenningen kan økes eller reduseres alt etter formålet med transformatoren. Spenningen kan økes for å kunne frakte elektrisk energi over lengre avstander med minimalt tap ved å bruke høyspentkabler for overføring, og deretter redusere spenningen til et tryggere nivå til det ordinære spenningsnivået i stikkkontakten. Uten transformatorer ville det vært vanskelig å overføre og distribuere elektrisk energi på en effektiv og trygg måte i strømmettet (Saugstad, 2023).

Transformatorer genererer mye varme på grunn av strømmen som passerer gjennom dem og ved effekttap. Kjøling er viktig for å opprettholde en trygg driftstemperatur. Det vil også være nødvendig å isolere transformatoren, både for å forebygge mot indre kortslutninger og beskytte mot fukt, støv og for støtfarer mot mennesker. Det finnes både tørrisolerte og oljeisolerte transformatorer. For oljeisolerte transformatorer benyttes det olje for kjøling og isolering, mens for tørrisolerte brukes ofte et epoxymateriale rundt viklingene for isolering og lufting for kjøling. Oljeisolerte transformatorer er det vanligste på grunn av lavest tap, lavest pris og lavest støy. Men i områder der det kan ha store konsekvenser ved en oljeeksplosjon som for eksempel i en tunnel eller kjøpesenter, skal en tørrisolert transformator vurderes. Oljefylte transformatorer utgjør en mye større eksplosjonsfare fordi ved en eventuell indre kortslutning og trykkdannelse i transformator-kassen, vil det i en oljefylt transformator spaltes olje som kan danne en sekundær eksplosjon etter at transformator-kassen revnes. Dette vil bli forklart ytterligere videre i teorikapittelet. En tørrisolert transformator vil også kunne eksplodere, men omfanget og den potensielle skaden vil være i mye mindre omfang (Longva, 2014; REN, 2022).

2.1.2 Oppbygning og virkemåte

Oppbygningen av en transformator kan forenklet deles inn i to viklinger som er viklet på en metallkjerne som illustrert på figur 1 nedenfor. Ut fra hvilken hensikt og hvilket spenningsnivå transformatorene skal driftes på, kan oppbygningen av viklingene og metallkjernen variere. Det finnes typer der viklingene omgir kjernen som kalles kjernetransformator og typer der kjernen omgir viklingene som kalles manteltransformatorer. De to viklingene skilles ved en primærvikling og en sekundærvikling som vist på figur 1 nedenfor. Gjennom primærviklingen går det en vekselstrøm som genererer en magnetisk flux i metallkjernen. Denne metallkjernen som ofte er en lukket kjerne, utgjør den magnetiske banen som tillater strømning av magnetisk felt. Fluxen i metallkjernen inducerer en elektromotorisk spenning i sekundærviklingen. Antall vindinger referer til hvor mange ganger de ulike viklingene omgir kjernen. Forskjellen i antall vindinger på primær- og sekundærviklingen utgjør hvilket forholdstall som spenningsnivået endres til. Er det for eksempel dobbelt så mange vindinger i sekundærviklingen, vil strømmen som sendes inn på den, komme ut med halve spenningen (Valmot, 2020; Electrical-Technology, u.å.).



FIGUR 1 – ILLUSTRASJON AV TRANSFORMATOR-KJERNE (VALMOT, 2020) . ILLUSTRASJON: KJERSTI MAGNUSSEN/ TU

2.1.3 Kjerne

Kjernen er den viktigste delen av en transformator. Hensikten til kjernen er å skape en magnetisk sti for fluxen generert av strømmen som kommer gjennom primærviklingen, som er essensiell for å induisere en elektrisk spenning i sekundærviklingen. Det brukes ofte materialer med høy permeabilitet for å lette strømmen av magnetisk fluks, som reduserer tapene og forbedrer effektiviteten. For å redusere strømtap i kjernen, lamineres det vanligvis. Laminering hjelper med å redusere energitapene ved å begrense banen for virvelstrømmene, som igjen fører til en mer effektiv transformator (Electrical-Technology, u.å.).

2.1.4 Viklinger

Det vil alltid være minst to viklinger i en transformator, primærvikling og sekundærvikling. Viklingene er viklet rundt metallkjernen og antall vindinger på de forskjellige viklingene avgjør hvilket forhold spenningsnivået endres til. Det skiller mellom høyspentviklinger og lavspenningviklinger. Høyspentviklinger er tynne kobbertråder der det brukes et høyt antall vindinger rundt kjernen. Lavspenningviklinger er tykke kobbertråder der det brukes et lavt antall vindinger rundt kjernen. Kobber er som regel materialet som brukes i viklingene. Kobber har god elektrisk ledningsevne og dermed får en minimalt med tap i form av varme (Electrical-Technology, u.å.).

2.1.5 Gjennomføring

Gjennomføringene på transformatoren benyttes som tilkoblingspunktene for eksterne kretser eller systemer. Gjennomføringene er viktige for å opprettholde elektrisk isolasjon og for å beskytte mot ytre påvirkninger som fuktighet og generell forurensing. Design på gjennomføringene varierer ut fra behov og spenningsnivå. For kobling til gjennomføringene er det ofte brukt rør med isolerende materiale som lederen går gjennom. Gjennomføringene finnes som oftest på toppen av transformatoren og det skiller mellom koblingspunkt for de forskjellige viklingene (Electrical-Technology, u.å.).

2.1.6 Olje

I oljeisolerte transformatorer benyttes olje for å isolere og kjøle. Transformator-kjernen er bygget inn i en beholder/kasse som er fylt med olje. Oljen som kjøler transformatoren pumpes inn og ut av beholderen og kjøles med vann eller uteluft. Ved å foreta oljeanalyser av oljen i transformatorer kan en avdekke feil som forurensing, som kan svekke egenskapene til oljen. På kritiske transformatorer kan det foretas jevnlig oljeprøver for analyse for å avdekke nettopp feil som dette. Det finnes flere typer olje som kan benyttes som mineralolje, silikonolje, syntetisk ester og naturlig ester (Electrical-Technology, u.å.). Egenskapene til væskene er ulike som vises i tabell 1.

TABELL 1: OLJETYPER MED EGENSKAPER (MØRE TRAFØ,2014)

	Mineralolje	Silikonolje	Syntetisk ester	Naturlig ester
Tapsfaktor $\times 10^{-4}$ v/ 25 °C	5	0,9	10	5
Dielektrisitetskonstant v/ 25 °C	2,2	2.7	3,3	3,2
Gjennomslagsspenning [kV]	60	50	75	62
Brennpunkt °C	150	360	322	360
Flammepunkt °C	140	315	275	324
Flytepunkt (stivnepunkt) °C	-45	-53	-60	-21 (-31)
Forbrenningsvarme kJ/kg $\cdot 10^3$	46	32	37	39
Termisk utvidelseskoeff. °C $\cdot 10^{-3}$	0,75	1,04	0,75	0,74

2.1.7 Utkoblingsmekanismer

Det er normalt at det monteres utkoblingsmekanismer på transformatorer. Gassvakten er en av disse, som benyttes til å overvåke transformatorens tilstand, ved å overvåke gassutviklingen. Dersom det oppstår gassutvikling i transformatoren, stiger gassen til toppen av transformatoren hvor instrumentet befinner seg. Gassvakten fungerer slik at den har et alarmsystem som kan koble ut transformatoren og varsle. Det finnes også utkoblingsmekanismer som sensorer. Disse sensorene kan blant annet overvåke transformatoren ved at de kan spore feilkilder, overvåke temperatur i oljen og sjekke trykket i transformatoren. En viktig egenskap ved disse utkoblingsmekanismene, er hvor fort de kan koble ut transformatoren ved en eventuell feil. Utkoblingsmekanismer som skal koble ut transformatorer blir ofte omtalt som effektbryterer. Transformatorer er ofte tilkoblet generatorer, som også trenger utkoblingsmekanismer, og disse omtales som generatorbryterer (Norsk Transformator, u.å.; Eibabo, u.å.).

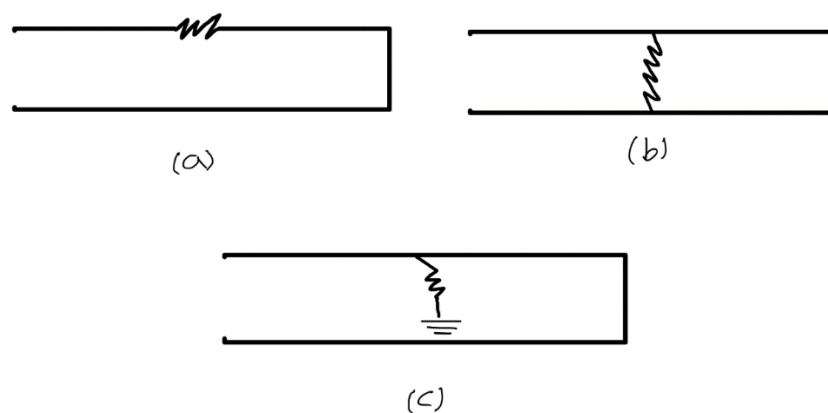
2.2 Lysbue, Brannteori og Eksplosjonsteori

2.2.1 Lysbue

Lysbuer er en elektrisk utladning over en spalte eller sprekk som vil medføre veldig høy energi og høye temperaturer. Dette vil påvirkes av mengden ampere, volt og typen metall. Med slike høye temperaturer kan en lysbue ofte medføre ulykker som brann grunnet antennelse av brennbart materiale i direkte kontakt, deflagrasjon av materiale i nærheten grunnet varmestråling, utvikling av brennbare gasser fra lysbuen eller varme metallbiter fra strømkilden. Det vil da være stor ulykkesfare helt til strømmen stoppes og lysbuen brytes.

Det finnes to hovedformer for lysbuer, serielysbue(a) eller parallelllysbue(b), men en jordfeilsbue(c) blir også ansett som en egen lysbue selv om dette i hovedsak er en parallelllysbue som går ned i bakken. Disse tilfellene blir illustrert i figur 2. Her blir parallelllysbuer ansett som mer risikable. Dette er fordi det er mer energi i lysbuen og lysbuen kan alene oppleves eksplosjonsartet. Her vil det også kunne oppstå en fragmenteringseffekt fra smeltet metall grunnet den høye temperaturen hvis lysbuen oppstår i det fri. En lysbue vil normalt sett ikke vedvare veldig lenge ettersom sikkerhetsfunksjoner i transformatoren vil bryte strømmen så fort det blir oppdaget feil på nettet.

Dette reduserer derfor sjansen for antennelse ettersom mange materialer ikke har muligheten til å antenne etter så kort tid. Materialer med stor overflate eller høyt antennebare gasser vil derfor være mer utsatt.



FIGUR 2 ULIKE TYPER LYSDUER

Det kan være mange grunner til at det oppstår lysbuer. De vanligste kan være Lysbue-krypestrømdannelse som følge av svekkelse i isolasjonen også kjent som «arc tracking», eksternt induisert ionisering av luften, kortslutning på grunn av metallkontakt. Dette er alle metoder som spiller på hverandre til en viss grad.

Lysbue-krypestrømdannelse kommer av svekking i isolasjonsmaterialet som fører til lysbuedannelse. Dette kommer av at strømmen søker minst motstands vei eller å utlade spenningsforskjeller med nærmeste overfalte. En vanlig form for lysbue-krypestrømdannelse kan være forkulling i isolasjonsmaterialet, spesielt når det benyttes PVC isolasjonsmateriale. En annen måte er hvis det blir benyttet en oljeblanding som isolasjonsmateriale, da vil oljen over tid eldes i tillegg til at det kan oppstå forurensning i oljen som kan føre til at oljen kan miste sine dielektriske egenskaper og føre til dannelsen av en lysbro (Stensaas, 2007; Muller, 2009, s. 365).

Lysbroer oppstår lettere når det er mindre motstand i omgivelsene som luften rundt. Dette skjer blant annet når det har fremkommet eksternt ionisering av luften, da enten gjennom flammer eller en allerede oppstått lysbro som vil ionisere luften. Når luften er ionisert vil lysbuer lettere oppstå for lavere spenninger ned mot mellom 230 – 400V. For høyere spenninger vil det være mulig å oppstå selv om det ikke finnes noe form for nærliggende ionisert gass.

Kortslutning er også en grunn til at det oppstår en lysbro. I dette tilfellet vil det dannes en direkte vei mellom to elektriske ledere med lavere motstand enn ønsket retning (Muller, 2009, s. 361).

2.2.2 Brannteori

Forbrenning og Brannfirkanten

Brann er definert som «ukontrollert forbrenningsprosess som kjennetegnes av varmeavgivelse, ledsaget av røyk, flamme eller gløding» (KBT, u.å.).

Brann er en forbrenningsprosess og derfor en reaksjon som krever et brennbart materiale, høy nok temperatur til at prosessen skal kunne vedvare, i tillegg til tilstrekkelig med oksygen for reaksjonen. Dette er tre faktorer som er essensielt for dannelsen av brann og blir kalt branntrekanten. Hvor omfattende brannen blir vil derfor avhenge av bidraget til hver av faktorene. For å forstå helheten til

en slik forbrenningsreaksjon må også kjedereaksjonen i seg selv inkluderes som en faktor. Dette er en faktor som kan påvirkes med eksterne kjemikalier, og kjedereaksjonen vil derfor kunne bli kalt den fjerde siden i en brannfirkant (Liebe, 2015, s. 37; Hagen, 2018, s.151).

Oksygenindeks og blandingsforhold

Faktorene Oksygenindeks og blandingsforhold spiller også på hverandre. Med økt temperatur vil den kjemiske prosessen gå raskere og det vil derfor kreve både mer brennbart materiale og oksygen. Mengden materiale vil være avhengig av hvilket materiale som inngår i reaksjonen, men også mengden oksygen som til kreves i reaksjonen som igjen kan knyttes opp til den spesifikke temperaturen. Dette kalles oksygenindeksen og måles ved minste mulige konsentrasjon av oksygen for å kunne få en forbrenning ved 23 grader celsius. Oksygenivåer under dette nivået vil kunne redusere eller kvele den kjemiske prosessen (Liebe, 2015, s.40, s.45).

Antennelse og flammepunkt

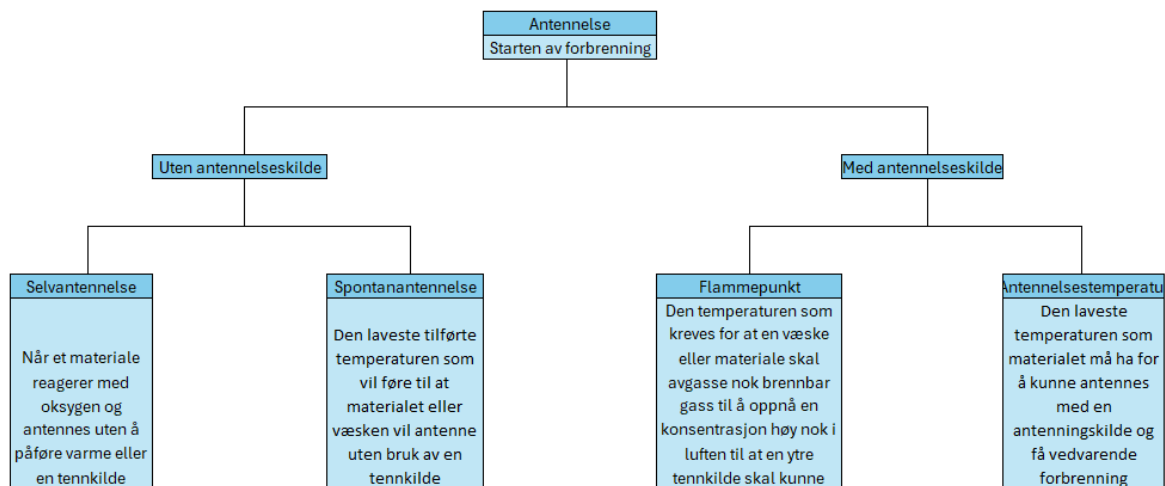
Et materiale kan antennes både ved bruken av antenneskilde, men også uten. Dette blir kalt flammepunkt eller antennelsestemperatur, og selvantennelse eller spontanantennelse for væsker. Som nevnt tidligere er temperatur en viktig faktor for at en forbrenningsprosess skal forekomme. Antennelsestemperaturen er den laveste temperaturen som materialet må ha for å kunne antennes med en antenningskilde og få vedvarende forbrenning.

Flammepunkt er temperaturen som kreves for at en væske eller materiale skal avgasse nok brennbar gass til å oppnå en konsentrasjon høy nok i luften til at en ytre tennkilde skal kunne antenne gassblandingen.

Det er to måter en gass eller et materiale kan antennes uten en tennkilde.

Selvantennelse er et fenomen som oppstår når et materiale reagerer med oksygen og antennes uten å påføre varme eller en tennkilde. Et eksempel på dette er hvis et materiale inneholder mye oksygen eller er i kontakt med en kilde av rent oksygen og når en temperatur er høy nok. Da vil materialet begynne å oksidere på egenhånd og etter hvert begynne å brenne.

Spontanantennelse er den laveste tilførte temperaturen som vil føre til at materialet eller væsken vil antenne uten bruk av en tennkilde. Denne spontanantennelsestemperaturen vil normalt sett være høyere enn antennelsestemperaturen (Liebe, 2015, s.46). Alle antenningsformene er illustrert på figur 3.



FIGUR 3 ULIKE TYPER ANTENNELSE

Antennelsesenergi

Antennelsesenergi er den minste mengden energi som kreves for å kunne antenne et materiale. Denne karakteristiske verdien vil ikke være avhengig av antennelsestemperaturen, men heller være et mål på hvor mye energi det må tilføres, ofte fra gnist eller en pilotflamme, og må til for at oksygenet skal begynne å reagere med materialet. For gasser vil denne antennelsesenergien variere med konsentrasjonen i luften. Både veldig høy konsentrasjon og veldig lav konsentrasjon vil kreve en høyere antennelsesenergi for å iverksette oksidasjonen (Liebe, 2015, s.53).

2.2.3 Eksplosjonsteori

Detonasjon, deflagrasjon og eksplosjon

Detonasjon og deflagrasjon er to kjemiske forbrenninger som forekommer i et stoff. Det som skiller dem, er hastigheten, men også måten reaksjonen utvikler seg. Detonasjon foregår over lydens hastighet mens deflagrasjon foregår under lydens hastighet. Grunnen til forskjellig hastighet kommer av hvordan reaksjonen sprer seg. Deflagrasjon skjer ved at materialet brenner og antenner materialet som er i kontakt med reaksjonen. Dette kommer av energien som avgis under forbrenningsreaksjonen vil fungere som antennelsesenergi for reaksjonen videre. Hastigheten vil her variere etter hvor høy antennelsesenergi som kreves for det spesifikke materialet (Liebe, 2015, s.170).

Detonasjon fungerer annerledes ved at en det oppstår en forbrenningsbølge som propagerer med supersonisk hastighet i forhold til den uforbrente gassen i forkant av flammen. Dette vil oppleves som en trykkbølge som umiddelbart følges av en flamme. Kompresjonen foran trykkbølgen varmer opp gassen nok til at det trigger en antennelse. Hastigheten på detonasjonen kan nå opp til 2000 m/s og trykket som kan oppstå kan nå opp til 20 bar. En detonasjon kan enten oppstå ved at reaksjonen antennes med en annen detonasjon, eller av at en deflagrasjon akselererer opp til en høy nok hastighet, grunnet turbulens eller andre effekter, til at reaksjonen går over i en detonasjon (Bjerketvedt et al., 1992).

Både detonasjon og deflagrasjon vil avgi en form for trykk og kan derfor kunne resultere i eksplosjoner. Men da i ulik hastighet som også vil resultere i ulike krefter.

Gassbrann og eksplosjonsområde

Gasser brenner på to måter, diffusjonsforbrenning eller som en forblandet forbrenning. Forblandet forbrenning er når en brennbar gass allerede er blandet sammen med oksygen og konsentrasjonen ligger mellom eksplosjonsområdet, noe som vil forklares ytterligere nedenfor. Da vil forbrenningen foregå i alle retninger og reaksjonen kan foregå svært raskt og vil ofte kunne defineres som en eksplosjon. Diffusjonsforbrenning er når det kun foregår en forbrenning i skillet mellom den brennbare gassen og oksygenet. Forbrenningen vil deretter spre seg innover i den brennbare gassen så lenge det er tilført tilstrekkelig med oksygen.

Når det gjelder antenning av gasser vil kombinasjonen av oksygen og brennbart materiale ha et mer komplekst samspill. Her vil prosentandelen av gassen ha mye å si på hvor reaktiv den vil være. Hver gass vil ha tre unike grenseverdier som indikerer hvor reaktiv gassen er og hvordan den opptrer i et volum fullt med luft.

- nedre eksplosjonsgrense
- øvre eksplosjonsgrense
- optimal blanding.

Nedre grenseverdi er den minste konsentrasjonen av brennbare gasser i luft som skal til for at blandingen skal kunne antennes. For konsentrasjoner under denne grensen vil det ikke være mulig å starte en forbrenningsprosess grunnet en minimal mengde brennbart materiale for reaksjonen.

Øvre eksplosjonsgrense er den høyeste konsentrasjonen gassen kan ha for at blandingen skal antennes. Dette skyldes at det ikke vil være tilstrekkelig med oksygen til at reaksjoner over denne konsentrasjonen. Alt mellom nedre og øvre eksplosjonsgrense vil bli sett på som eksplosjonsområdet. Som et eksempel har hydrogen eksplosjonsområde mellom 4-77 % (SG SAFETY, u.å.).

Optimal blanding er det optimale forholdet mellom brennbar gass og tilgjengelig oksygen til at reaksjonen vil gå best mulig. Dette vil være punktet hvor gassen er på sitt mest reaktive og derfor vil utvikle mest energi. Den optimale blandingen tar derfor utgangspunkt i den kjemiske reaksjonslikningen for forbrenningen (Liebe, 2015, s. 111 s.173 + s.40 + s.75).

Den optimale blandingen er basert på volumforholdet mellom reaktantene i den kjemiske prosessen for en fullstendig reaksjon. Dette forholdet kalles støkiometrisk blanding og vil være den mest energirike blandingen. Dette er riktignok før utvendige påvirkninger som trykk og temperatur vil anses å påvirke reaksjonen (Eaton, 2016).

Pyrolyse

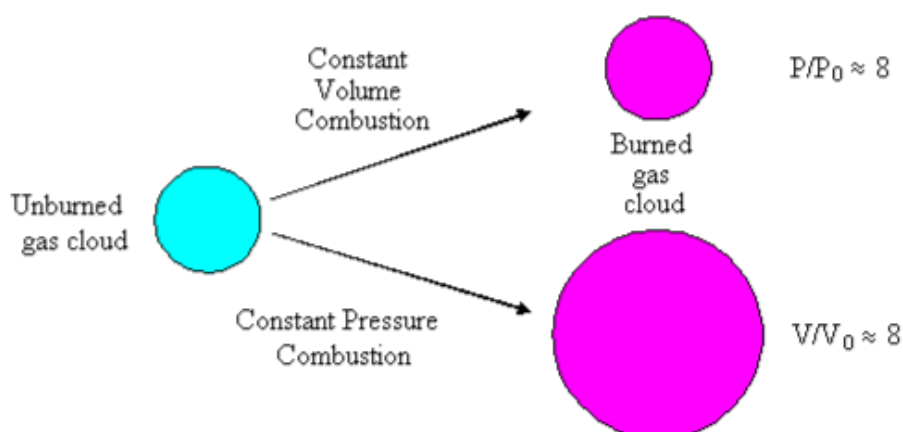
Under høye temperaturer og ved fravær av oksygen vil det derimot oppstå noe som kalles pyrolyse. Dette er en termokjemisk prosess av primært organisk materiale hvor den høye temperaturen bryter større kjemiske bindinger og vil dermed danne mindre kjemiske bindinger. Et eksempel vil være tyngre kjemiske oljer som spaltes ned i mindre hydrokarboner (UIO, 2022)

Volum og trykkutvikling

Når en blandet gassky antenner vil det forekomme en konstant volumøkning eller trykkøkning basert på typen gassblanding. Dette kommer fra termodynamikkens lover, og i dette tilfellet hvordan forholdet mellom trykk, temperatur og densitet er konstant som illustrert i formel 2.1 (Bjerketvedt, 1992, s. 45).

$$\frac{p}{\rho * T} = \text{konstant} \quad (2.1)$$

Densiteten vil derfor bestemme volumendringen på gassen dersom trykket holdes konstant. Denne prosessen er illustrert i figur 4.



FIGUR 4 KONSTANT GASS OG VOLUMUTVIKLING (BJERKETVEDT ET AL, 1992, S.45)

Videre er det gjort testing for trykkutvikling og volumutvikling ved støkiometriske blandingsforhold. Dette er verdier som vil variere basert på typen gass som reagerer. Noen av tallene som vil forekomme er illustrert på tabell 2 (Baker, et al. 1983).

TABELL 2 TRYKKUTVIKLING OG VOLUMUTVIKLING FOR ULIKE GASSER (BAKER, ET AL. 1983)

Pressure, P, (absolute) and volume ratio (V/V₀) for Stoichiometric fuel-air mixture at initial conditions 25° C and 1 atm (1.013 bar) (Baker et al. 1983).

	Hydrogen	Ethylene	Propane	Methane
P (bar)	8.15	9.51	9.44	8.94
V/V ₀	6.89	8.06	7.98	7.72

Oljebrann

Oljebrann er også noe av det samme som gassbrann. Dette er fordi oljen må fordampe til gassform for å kunne starte en fullstendig oksidasjon. Når oljen er i væskeform, vil ikke materialet ha muligheten til å reagere fullstendig med oksygenet. Når reaksjonen først har oppstått vil reaksjonen produsere nok energi i form av varme til å fordampe mer olje og det vil derfor forekomme en kontinuerlig forbrenning. Her vil det variere på oljen hvor lett antenkelige de er. Det er flere lettere oljer som bensin eller ulike alkoholer som kun trenger en tennkilde i form av en gnist for å starte reaksjonen. Andre «tyngre» oljer som petroleum eller fyringsolje må varmes opp til flammepunktet før de kan antenne, for så å holde en kontinuerlig forbrenning (Industrivernet, 1984, s.12).

Jetbrann

Jettbrann kan oppstå ved lekkasje av prosessanlegg eller lagringstanker under høyt gasstrykk av brennbare gasser, ofte som et resultat av en rift eller avlastningsluke. Hvis disse frigjorte gassene antennes vil det oppstå en jettbrann når forbrenningsmaterialet reagerer med oksygenet på utsiden. Denne forbrenningen kan ha en «hale» på 5-50 meter. Jettbranner kjennetegnes av en høy momentstrøm som er sterkt turbulent.

Hvis hastigheten på strømmen med gasser blir for høy kan dette føre til en blow-off. Dette skjer ved at hastigheten går for fort til at gassen som forekommer i åpningen rekker å forbrenne med oksygenet. Over denne hastigheten vil gassen kveles. Her har alle gasser en maksimal diameter på hva som er den minste åpningen hvor dette fenomenet kan forekomme (Andreassen et al., 1992, s. 6-8).

2.2.4 Eksplosjonsteori

Eksplosjon defineres som en brå utvidelse av gass som forårsaker en trykkøkning. Selv om en slik trykkøkning kan komme av flere ting vil en eksplosjon være forårsaket av en kjemisk forbrenningsreaksjon. Det vil si at reaksjonen trenger et reaktivt materiale, oksygen og en tennkilde. Forskjellen mellom en vanlig forbrenningsreaksjon og en eksplosjon er at varmen fra forbrenningen ikke unnslipper, ofte grunnet et avgrenset volum, og temperaturen vil derfor stige og reaksjonen vil derfor gå raskere og derfor produsere mer varme. Med denne økte varmen vil alle gasser som er til stede, som luft, eller har oppstått fra forbrenningen i form av et reststoff, utvide seg med temperaturen, som nevnt under gassbrann. Dette vil bygge opp et trykk som til slutt vil være høyere enn hva det avgrensede området tåler. Når dette avgrensede området bryter vil dette trykket unnslippe i form av en trykkbølge (Liebe, 2015, s. 169).

Eksplosjonstrykk og trykkbølge

Detonasjon eller deflagrasjon innenfor et lukket volum vil føre oppbygging av trykk som følge av gassloven. Dette er illustrert i formel 2.2.

$$\frac{P_1 * V_1}{T_1} = \frac{P_2 * V_2}{T_2} \quad (2.2)$$

Med dette menes at forholdet mellom trykk, volum og temperatur vil være konstant. Ved å bevare det samme volumet før og etter forbrenningsreaksjonen, men med endret temperatur vil også

trykket endre seg. Hvis forbrenningsreaksjonen hadde foregått i det fri, ville heller volumet endret seg og trykket holdt seg konstant. Fra denne formelen vil det også være mulig å se forholdstall i for eksempel endring av temperatur. Hvis volumet er konstant vil trykket ha samme forholdstall som temperaturen for at formelen skal holdes konstant. Med andre ord vil trykket øke med en faktor på 5 hvis temperaturen øker med en faktor på 5.

På kjemisk nivå i en slik reaksjon vil blant annet oksygen inngå i reaksjonen og danne andre stoffer som et produkt. Her vil det være mulig at reaktant-stoffene kan ha mindre totalvolum enn produkt-stoffene, men generelt sett vil denne forskjellen i volum være såpass liten i forhold til den totale volumøkningen fra temperaturendringen. Kjemiske endringer i forbrenningen vil ha såpass liten innvirkning på utvidelsen av gassene at det blir neglisjert (Liebe, 2015, s.171).

BLEVE og VCE

Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion eller BLEVE er en eksplosjon forårsaket av en lukket beholder som svikter og derfor gir slipp på trykket av væske eller gass. Dette skyldes ofte en ytre påvirkning i form av varme som vil påvirke innholdet i beholderen. Trykket i beholderen vil heve kokepunktet på væsken og vil umiddelbart synke ned til normalkokepunkt når beholderen svikter ettersom trykket unnslipper. Dette vil umiddelbart fordampe væsken ytterligere og resultere i en trykkbølge. Videre kan varmen fungere som en tennkilde til en antennelse av forbrenningsreaksjonen til gassen hvis blandingsforholdene er innenfor eksplosjonsområdet, noe som vil føre til en enda sterkere trykkbølge (Liebe, 2015, s.179).

For en mer generell gasseksplosjon omtales ofte VCE (vapor cloud explosion). I en VCE vil forekomme ved antennelsen av en gassky med tilstrekkelig med oksygen. Denne hastigheten på denne forbrenningsreaksjonen vil akselerere og derfor også produsere en sterkt overtrykk (CCPS, u.å.).

Eksplosjonsavlastning

Eksplosjonsavlastning er å redusere trykket som oppstår under en eksplosjon. En måte å oppnå dette på er ved trykkavlastning i form av en luke som har som hensikt å ha en lavere motstandsevne mot trykket i forhold til resten av konstruksjonen og derfor gi etter når trykket blir for stort. Her vil arealet og motstanden til luken ha noe å si for hvor stor effekt den vil ha. (Liebe, 2015, s.198).

CFD

CFD står for computational fluid dynamics. CFD bruker matematiske modeller og numeriske metoder for å analysere og løse problemer relatert til strømning av væsker og gasser. Formålet med CFD er å studere og kunne forutsi bevegelsen av væsker og gasser, men også andre fenomener som varmeoverføring, turbulens og kjemiske reaksjoner. Hvis en analyserer et rom, deles ofte rommet inn i grid av mange celler, hvor programvaren beregner numerisk de partielle differensialligningene innenfor hver enkelt celle i et grid.

Formålet med bruk av CFD kan være flerfoldig, men et eksempel kan være designoptimalisering for faktorer som effektivitet, ytelse og sikkerhet. Det kan også benyttes til feilsøking, prosessoptimalisering og forskning (Simscale, 2023).

2.3 Konstruksjonsteori

Statisk og dynamisk last

Når det er snakk om last på en konstruksjon kan den som regel deles inn i to kategorier, statisk last eller dynamisk last. Statisk last er en last som er konstant og uforandret på et bestemt punkt. Disse lastene endrer ikke retning, størrelse eller anvendelsepunkt over tid. Eksempler på dette kan være tyngdekraften eller egenvekten til en bygning. Dynamisk last er laster som varierer i størrelse, retning og anvendelsepunkt over tid. Disse lastene endrer seg kontinuerlig, og de kan være periodiske eller tilfeldige. Eksempler på dynamiske laster kan være en bro som opplever trafikkbelastninger eller en bygning utsatt for vind (Gundersen, 2020).

Elastisitet

Elastisitet refererer til egenskapen til et materiale eller legeme som gjør at det kan deformeres under påvirkning av en ytre kraft, men som deretter kan gjenopprette sin opprinnelige form når kraften fjernes. Dette betyr at materialet kan strekkes, bøyes eller komprimeres under en kraftpåkjønning, men vil returnere til sin opprinnelige form når kraften blir fjernet.

Elastisiteten til et materiale kan beskrives ved Hookes lov, som sier at deformasjonen av et elastisk materiale er direkte proporsjonalt med den påførte kraften, så lenge det holdes innenfor materialets elastiske grense. Over denne grensen kan materialet begynne å vise plastisk deformasjon, som betyr at det ikke lenger returnerer til sin opprinnelige form fullstendig. Elastisitet spiller også en viktig rolle i materialvalg og design av strukturer for å sikre at de kan tåle påkjønninger og belastninger uten permanent deformasjon (Ormestad, 2021).

Respondering i bygg, trykkabsorpsjon

Når en struktur blir eksponert for en trykkbølge, vil strukturen respondere avhengig av hvordan geometrien til strukturen er og varigheten på eksplosjonen. Her kan det skilles mellom impulsregime, kvasistatisk regime og dynamisk regime. Strukturens naturlige periode (T) bestemmes av geometrien til strukturen. Varigheten til eksplosjonen angis som t_d .

$$\text{Impulsregime: } \frac{t_d}{T} < 0.4 \quad (2.3)$$

Trykkbølgens varighet er veldig kort sammenlignet med strukturens naturlige periode, som illustrert i 2.3. På grunn av dette vil energien påført strukturen overføres til kinetisk energi. Det er dermed ikke like viktig å være nøyaktig på formen til trykkbølgen eller hvor på strukturen det største overtrykket treffer. Det meste av strukturens deformasjoner skjer etter at trykkbølgen har inntruffet.

$$\text{Kvasistatisk regime: } t_d \gg T \quad (2.4)$$

Når varigheten av trykkbølgen er betydelig lengre enn strukturens naturlige periode kalles det en kvasistatisk last, som illustrert i 2.4. I dette tilfelle vil trykket fra trykkbølgen nesten være konstant frem til strukturens maksimale elastisitet er nådd. Her vil varigheten på trykkbølgen ikke ha innvirkning på strukturens respons fordi den vil gi etter så fort elastisitetsgrensen er nådd. I dette tilfelle vil trykkbølgens maksimale trykk være interessant.

$$\text{Dynamisk regime: } 0.4 < \frac{t_d}{T} < 2 \quad (2.5)$$

Denne kategorien samsvarer med når trykkbølgens varighet delt på strukturens naturlige periode ligger mellom 0.4 – 2, som vises i 2.5. Dette er altså en mellomting mellom de to andre kategoriene og denne type trykkbølge er mer kompleks å analysere (Heudier, 2019).

For at det skal være lettere å danne seg et bilde av hvor mye overtrykk ulike konstruksjonsdeler tåler er det angitt i tabell 3 nedenfor hvor mye overtrykk angitt i bar de forskjellige konstruksjonsdelene tåler før de gir etter.

TABELL 3 SKADE VED OVERTRYKK (FEMA, 2003)

Skade	Overtrykk (barg)
Glassvinduer ødelegges	0,010 - 0,015
Mindre skader på enkelte bygninger	0,034 - 0,076
Metallpaneler bøyes	0,076 - 0,124
Svikt i vegger av betongblokker	0,124 - 0,200
Bygg med rammeverk av tre kollapser	Over 0,345
Alvorlig skade på bygg med rammeverk av stål	0,276 - 0,483
Alvorlig skade på strukturer av armert betong	0,414 - 0,621
Sannsynlig total ødeleggelse av de fleste bygg	0,689-0,827

2.4 Spesifikk teori tilknyttet sekundær eksplosjon

Det er flere ulykker som kan oppstå i en transformator, hvor da også utfallet kan variere i stor grad. Dette kan være bassengbrann, jet brann eller en sekundær eksplosjon. Her vil risikoen variere i både sannsynlighet og utfall for de ulike tilfellene, men utfallet vil også kunne variere i hvert enkelt ulykkestilfelle.

Den mest kritiske ulykken for trafobygget vil være en sekundær eksplosjon spesielt med tanke på skade den kan forårsake på materiell og helse. Dette vil derfor være en viktig ulykkesfaktor å dimensjonere bygget for. (El-Harbawi, 2022; Westberg, 2017).

2.4.1 Primær eksplosjon

Kortslutning

Transformatorer er blant de aller farligste elektriske komponentene som eksisterer grunnet den høye spenningen som går gjennom viklingene og mengden energi som er til stede. Transformatoren holdes kjølig ved hjelp av en olje som også bidrar med å forhindre kortslutninger fra parallellslybuer grunnet sine dielektriske egenskaper. Under slike forutsetninger vil det fortsatt være mulig for en kortslutning å oppstå. Dette kommer gjerne som et resultat av at oljen over tid mister sine dielektriske egenskaper. Dette vil da resultere i at strømmen eller en del av strømmen vil finne en vei med mindre motstand og derfor gå fra en vikling til en annen, eller fra en vikling til grunn. Oljen vil kunne miste sine dielektriske egenskaper over tid ved at metallet oksiderer og det oppstår korrosjon, ved ytre miljøpåvirkninger som termiske svingninger (Muller, 2008; Heudier, 2019).

Statistikk

Statistiske beregninger viser at indre kortslutninger årlig vil inntreffe i ca 15 av de 3000 krafttransformatorene som finnes i Norge. I disse situasjonene vil det oppstå en lysbue som får oljen til å fordampe og utvide seg. Denne trykkøkningen kan få transformator-kassen til å sprekke (SINTEF, 2014).

Lysbro

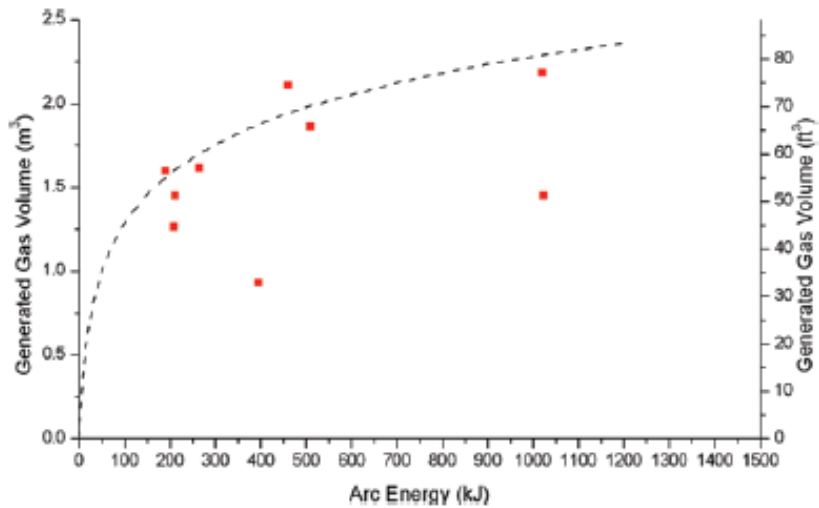
Hvis det skulle forekomme en kortslutning i en slik transformator, vil det føre til dannelsen av en lysbro mellom to viklinger eller vikling og grunn. Dette vil resultere i en enorm mengde frigjort energi som igjen vil påvirke oljen rundt. Mengden frigjort energi vil i hovedsak baseres på lengden på lysbroen, spenning(Volt), ampere(I) og varigheten. For større transformatorer vil energimengden kunne nå høye nok energimengder til at temperatur havner over 10000 grader kelvin. (Heudier, 2019)

Vaporisering

Ved slike ulykker vil energimengden være stor nok, som følge av en lysbro, til at oljen i kontakt med lysbuen umiddelbart vil omformes til plasma som et resultat av pyrolyse. Olje nærliggende lysbuen vil bryte bindingene oljens molekylære struktur som vil resultere i mindre kjemiske forbindelser som karbon, hydrogen og acetylen gjennom pyrolyse. (Brady, 2008; Heudier, 2019).

Denne umiddelbare fordampingen av olje vil føre til en volumutvikling etter faseovergangen til damp i form av en gassboble. Denne umiddelbare volumendringen fra boblen vil bli forhindret av oljen sin bevegelsesmotstand. Dette vil skape en trykkforskjell som videre vil resultere i en trykkbølge. Denne trykkbølgen vil forplante seg i transformatoren og propagere innad i kapslingen rundt transformatoren, i en hastighet høyere enn lydens hastighet. Basert på energimengden fra lysbuen vil mengden fordampet olje kunne resultere i et trykk stort nok til at kapslingen svikter og gassen som har oppstått fra lysbuen vil kunne unnsnippe sammen med potensiell uspaltet oljedamp (Muller, 2008).

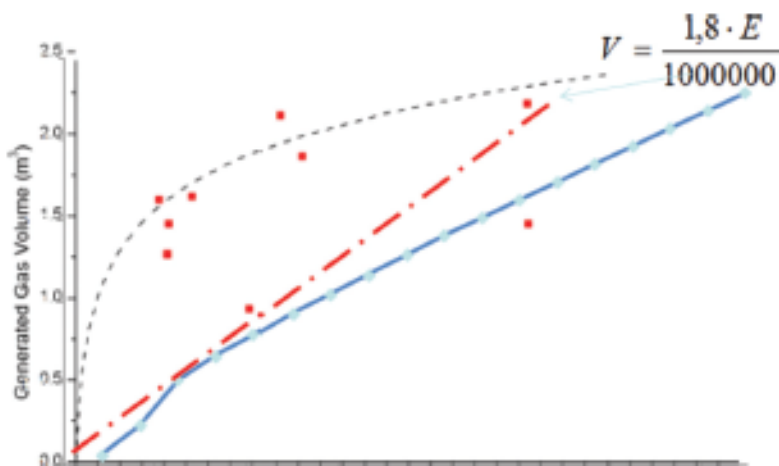
Figur 5 viser et tidligere forsøk fra CEPEL (Center for Energy Research i Rio de Janeiro) som illustrerer gassutvikling(m^3) basert på energi(J) fra lysbuen.



FIGUR 5 GASSUTVIKLING (MULLER, 2008)

Her forklares det også at etter hvert som energien øker vil mer av energien gå over til pyrolyse av olje til mindre og mindre molekyler, helt ned til rene hydrogen og karbon atomer. En mindre andel av energien vil derfor gå med til volumarbeid. Men ettersom det teoretisk ikke finnes noen øvre grense for volumet som vil oppstå kan det bli ansett som tryggere å sette et konstant forholdstall for høyere energinivåer (Muller, 2008; Heudier, 2019).

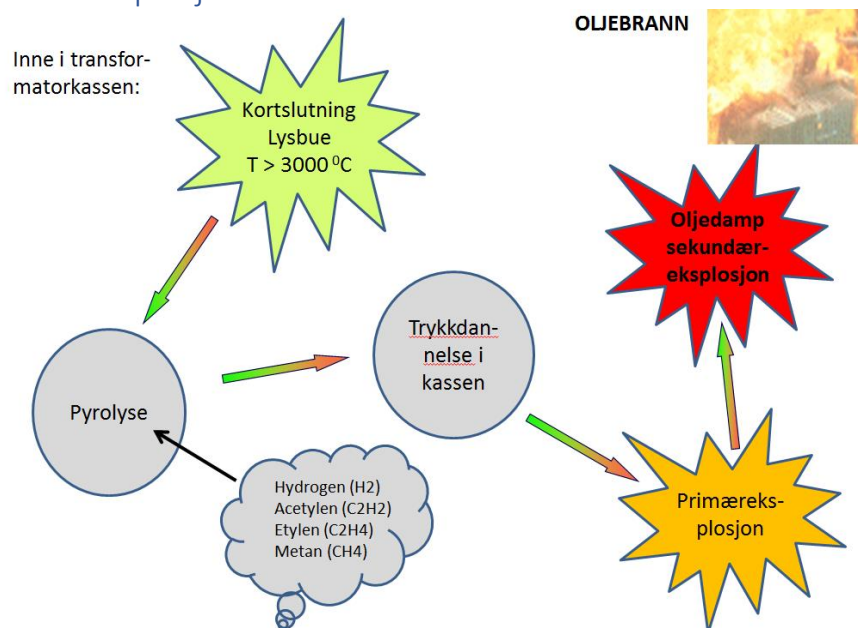
Et eksempel på en slik antagelse er illustrert på figur 6, og er illustrert i rødt.



FIGUR 6 KONSERVATIV GASSUTVIKLING (HEUDIER, 2019)

Med tanke på at impulsen på trykket er så kort og trykket bygger seg opp så fort vil ikke trykkavlastningsventilen til selve transformatoren ha noen effekt på trykkavlastning og kapslingen vil derfor kunne ryke.

2.4.2 Sekundær eksplosjon



FIGUR 7 ULYKKEFORLØP FOR SEKUNDÆREKSPLOSJONER (WESTBERG, 2017)

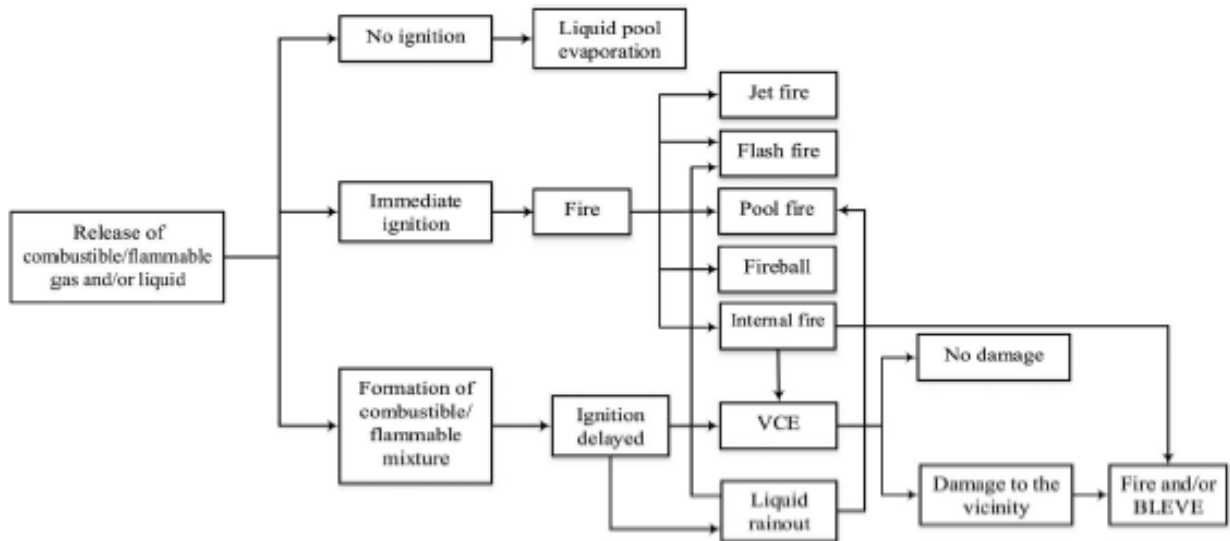
Ulykkesforløpet for en oljedamp sekundæreksplisjon, som illustrert i figur 7, starter med at en elektriske feil oppstår i transformatoren. Som nevnt ovenfor vil denne feilen videre kunne føre til en kortslutning i form av en parallelllysbue mellom viklingene, eller viklinger og kasse. Deler av omkringliggende olje i transformatoren vil da spaltes og det produseres reaktive gasser inne i transformator-kassen, som i hovedsak vil være hydrogen og acetylen. Gasstrykket som oppstår, vil kunne skade eller sprengte ut gjennomføringer i transformator-kassen. Hvis transformator-kassen ryker, vil en blanding av reaktive gasser og oljedamp lekke ut av transformator-kassen. Denne gassblandingen vil etter hvert bli eksplosiv, og hvis det da foreligger en tennkilde vil det oppstå en sekundæreksplisjon i rommet (Westberg, 2017).

Gasslekkasje og antennelse

Basert på ulykkesforløpet og bruddet på kapslingen vil det variere hvordan og hvor mye olje og gass som har blitt frigjort fra transformatoren.

Hvis spaltet gass og oljedamp unnslipper og antennes umiddelbart kan det oppstå en jetbrann fra bruddåpningen. Denne antennelsen kan blant annet skyldes gnist fra brudd på tanken eller selvantennelse grunnet høy termisk stråling fra lysbuen som kan heve temperaturen høyt nok til at en kan få en spontanantennelse.

Hvis gassen og oljedampen som unnslipper har en forsinket antennelse vil det kunne samles større mengder gass og oljedamp før forbrenningsreaksjonen forekomme og gass/oksygen forholdet har mulighet til å nærme seg et støkiometrisk blandingsforhold. Hvis den brennbare blandingen antennes og det oppstår en VCE når blandingsforholdet har nådd støkiometrisk blanding vil det føre til en mer voldsom og kritisk forbrenningsreaksjon som vil føre til et voldsomt trykk. De ulike ulykkesforløpene blir illustrert på figur 8 (El-Harbawi, 2022).



FIGUR 8 MULIGE ULYKKEFORLØP (EL-HARBAWI, 2022)

2.5 Standarder og beregningsmetoder

Energiloven

Energiloven er en norsk lov som har til hensikt å regulere produksjon, overføring, omforming, omsetning, fordeling og bruk av energi. Dette handler om elektrisk kraft og fjernvarme. Det er en samfunnskritisk infrastruktur, kraftforsyningen til Norge. Formålet med loven er å sikre at det som omhandles energi nevnt ovenfor foregår på en samfunnsmessig rasjonell måte. Bakgrunnen for å opprette loven var å samle forskjellige lover som var spredt rundt. Ved å samle alt av lover kunne en forenkle energiregelverket og effektivisere energimarkedet og bedre organiseringen av energiforsyningen (Askheim, 2023).

Kraftberedskapsforskriften

Strømnettet er omfattet av kraftberedskapsforskriften. Kraftberedskapsforskriften skal sikre at kraftforsyningen opprettholdes og det sørges for normal forsyning ved ekstraordinære situasjoner, og at forsyningen gjenopprettes på en effektiv og sikker måte etter de ekstraordinære situasjonene. «Forskriften gjelder forebygging, håndtering og begrenning av virkningene av ekstraordinære situasjoner som kan skade eller hindre produksjon, omforming, overføring, omsetning og fordeling av elektrisk energi eller fjernvarme» (Kraftberedskapsforskriften, 2023, § 1-1 - 1-5).

2.5.1 NFPA

NFPA står for National Fire Protection Association, som er en amerikansk organisasjon som har til formål å fremme brannsikkerhet og forebygge skader forårsaket av branner. NFPA utvikler og publiserer standarder og retningslinjer for brannsikkerhet, elektrisk sikkerhet, og andre relaterte områder. Organisasjonen ble grunnlagt i 1896 og har hovedkontor i USA. NFPA involverer eksperter fra ulike felt, inkludert ingeniører, brannmenn, forskere, forsikringsfolk og myndighetsrepresentanter for å utvikle sine standarder og retningslinjer. NFPA-standarder dekker mange emner, som for eksempel brannforebygging, bygningstilstand, elektrisk systemdesign og mer (NFPA, u.å.).

NFPA68

Applikasjon

NFPA 68 er en standard utviklet av National Fire Protection Association (NFPA) som gir retningslinjer for design, installasjon, vedlikehold og testing av eksplosjonssystemer. Denne standarden har spesielt fokus på beskyttelse mot eksplosjoner i industrielle anlegg som er eksplosjonsutsatte. Hovedformålet til standarden er å sørge for kriterier innen design av installasjoner, og vedlikehold av deflagrasjonsluker og komponenter (NFPA, 2023, 1.1, 1.2).

For standardene er det satt en rekke forutsetninger. Blant annet i kapittel 1.3.1:

“This standard does not apply to detonations, bulk autoignition of gases, or unconfined deflagrations, such as open-air or vapor cloud explosions.” (NFPA68, 2023, 1.3.1)

Videre i kapittel 1.3.3 blir det nevnt:

“This standard does not apply to emergency vents for pressure generated during runaway exothermic reactions, self-decomposition reactions, internal vapor generation resulting from electrical faults, or pressure generation mechanisms other than deflagration” (NFPA68, 2023, 1.3.3).

Med dette menes det at standarden er spesifikt ment for lukkede eksplosjoner, i tillegg til at den ikke er ment for eksplosjoner forårsaket av damp generert fra elektriske kortslutninger.

Metodikk

Den mest sentrale formelen i standarden er 7.2.1a og er illustrert i formel 2.6. Denne formelen tar utgangspunkt i forholdet mellom A_{v0} som er avlastningsarealet for eksplosjonen, A_s , P_{red} og C . Det innvendige arealet A_s vil være det totale arealet som utgjør flaten som stå imot eksplosjonen. P_{red} er det minste mulige trykket bygget må håndtere under ventileringen av deflagrasjonen for en sekundær eksplosjon. C er en ventilasjonsparameter som baserer seg på gassen til stede og dens egenskaper som brennbarhet, turbulens og densitet. Formelen for å beregne C er beregnet i 7,2.1b og vist på formel 2.7.

$$A_{v0} = \frac{A_s C}{\sqrt{P_{red}}} \quad (2.6)$$

TABELL 4 PARAMETERE TILKNYTTET 2.6

Variabel:	Beskrivelse:
A_{v0}	Avlastningsareal (m ²)
A_s	Innvendig overflate (m ²)
P_{red}	Maksimalt trykk utviklet under ventileringen av en deflagrasjon (bar-g)
C	Ventilasjonskonstant (bar-g ^{1/2})

For å beregne faktoren C må det antas en gass ettersom formelen inkluderer verdier for brennbarhet. Kapittel 6 del 2.1.2 forklarer “Where the gas mixture composition is not certain, the vent size shall be based on the component having the highest fundamental burning velocity.” Og det blir derfor ofte antatt hydrogen ettersom det inngår i gassmiksen. (NFPA68, 2023, 7.2.1)

$$C = \frac{S_u \rho_u \lambda}{2G_u C_d} \left[\left(\frac{P_{max} + 1}{P_0 + 1} \right)^{1/\gamma_b} - 1 \right] (P_0 + 1)^{1/2} \quad (2.7)$$

TABELL 5 PARAMETERE TILKNYTTET 2.7

Verdi:	Forklaring:
S_u	Fundamental forbrenningshastighet for gass-luft blanding (m/s)
ρ_u	Densitet til uforbrent gass-luft blanding (kg/m ³)
λ	Forholdet mellom brenningshastigheten av gass-luftblandingen, med hensyn til turbulens og flammeustabiliteter, i en ventilert deflagrasjon til den fundamentale (laminære) brenningshastigheten
G_u	Sonisk strømnings-massestrøm for uforbrent gass-luftblandings (kg/m ² -s)
C_d	Utslippskoeffisient for ventilasjonsluke
P_{max}	Maksimalt trykk utviklet under en lukket deflagrasjon ved antennelse av den samme gass-luft-blandingen (bar-g)
P_0	Trykk før antennelse (bar-g)
γ_b	Forholdet mellom spesifikke varmekapasiteter for forbrent gass-luft blanding

I NFPA68 er det lagt med tabellene D.1 og D.2. Dette fungerer som et oppslagsverk for verdiene S_u og P_{max} for ulike typer gasser blant annet Hydrogen, Acetylen, Metan og Etylen (NFPA68, 2023, Annex D).

Turbulensfaktoren λ er en faktor som tar utgangspunkt i flere parametere som er med på å påvirke turbulens effekten og blir inkludert i kapittel 7.2.6. Som vist nedenfor i formlene 2.8 – 2.13 tar λ_0 utgangspunkt i parametere som blant annet D_{ne} (forholdstall for diameteren), U_v (maksimal hastighet gjennom avlastningsluken) og S_u (fundamental brennbar hastighet av gassblandingen). Videre blir alle parameterne som inngår i formlene illustrert i tabell 6. Det blir videre forklart i NFAP68 at beregningene i 2.8-2.13 kun gjelder for gasser med lavere forbrenningshastighet enn 3 meter per sekkund (NFPA68, 2023, 7.2.6).

$$\lambda_0 = \varphi_1 \varphi_2 \quad (2.8)$$

$$\varphi_2 = \max \left\{ 1, \beta_1 \left(\frac{\text{Re}_v}{10^6} \right)^{\left(\frac{\beta_2}{S_u} \right)^{0.5}} \right\} \quad (2.9)$$

$$\text{Re}_v = \frac{\rho_u u_v (D_v / 2)}{\mu_u} \quad (2.10)$$

$$u_v = \min \left\{ \sqrt{\frac{2 \times 10^5 P_{\text{red}}}{\rho_u}}, a_u \right\} \quad (2.11)$$

$$\text{Re}_f = \frac{\rho_u S_u (D_{he} / 2)}{\mu_u} \quad (2.12)$$

$$\varphi_1 = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{Re}_f < 4000 \\ \left(\frac{\text{Re}_f}{4000} \right)^\theta, & \text{if } \text{Re}_f \geq 4000 \end{cases} \quad (2.13)$$

TABELL 6 PARAMETERE SOM INNGÅR I FORMEL 2.8 - 2.13

Verdi:	Forklaring:
ρ_u	Densitet til uforbrent gass-luft blanding (kg/m ³)
S_u	Fundamental forbrenningshastighet for gass-luft blanding (m/s)
D_{he}	Ekvivalent diameter for innelukket hydraulikk (m)
μ_u	Dynamisk viskositet for uforbrent gass-luft blanding
β_1	1.23
β_2	2.37×10^{-3} (m/s)
D_v	Ventilasjonsdiameter fastslått gjennom iterative beregninger
u_v	Maksimal hastighet gjennom ventilasjon (m/s)
P_{red}	Maksimalt trykk utviklet under ventileringen av en deflagrasjon (bar-g)
a_u	Lydhastighet for uforbrent gass-luft blanding (m/s)
θ	0.39

Videre blir også obstruksjonsareal tatt i betraktning for turbulensen som vil forekomme. Forutsetningene for denne delen av NFPA68 er det satt krav om mengden obstruksjonsareal for å kunne ha noen betydelig effekt. Kravet for obstruksjonsareal er 20% av totalt innvendig overflate. Dette obstruksjonsarealet vil komme fra 4 kategorier: rør med diameter større enn 0,5 inch, strukturelle obstruksjoner som søyler eller bjelker, tapper og gelender, eller utstyr med dimensjoner 5,1 til 51 cm. For obstruksjonsareal mindre enn 20% av innvendig overflate vil dette bidraget ikke vurderes (NFPA68, 2023, 7.2.6).

Videre tar turbulensfaktoren utgangspunkt i formen på rommet. L/D er et forholdstall for hvor avlangt rommet er. Der den lengste flaten på rommet er 2,5 ganger lenger enn den proporsjonale diameteren vil det bli ytterligere vurdert en faktor som tar hensyn til formen på rommet. Verdien for L/D vil ta utgangspunkt i en egen beregning. Hvis L/D er mindre enn 2,5 vil formelen for romgeometri tilknyttet turbulens ikke bli vurdert (NFPA68, 2023, 7.2.6).

Som nevnt tar standarden utgangspunkt i en formfaktor for geometrien til stede ved å anse lengde dividert på diameter (L/D). Standarden vil derfra kartlegge om rommet enten er avlangt eller nærmere kubisk. Beregningene av en effektiv diameter D_{he} vil variere litt basert på romgeometrien, og i denne oppgaven vil det være mest relevant å se på formelen som er illustrert i formel 2.14 som er ment for rom nærmere kubiske. A_{eff} vil her være gulvareal.

$$D_{he} = (A_{eff})^{0.5} \quad (2.14)$$

Etter D_{he} er beregnet vil denne verdien erstattes med D og det vil benyttes verdien H/ D_{he} der det er oppgitt L/D. Høyden som vil benyttes er høyden opp til toppen på de lavest monterte avlastingslukene (NFPA68, 2023, 6.4.3).

Etter trykket P_{red} er beregnet fra formel 2.6 vil det være ønskelig å multiplisere inn en DLF ettersom lasten blir ansett som dynamisk. Formelen for det dimensjonerende trykket er derfor vist i formel 2.15. NFPA68 antar også en DLF på 1,5 hvis det ikke er dokumentert noe annet (NFPA68, 2023, 6.3.2).

$$P_{red} \leq \frac{P_{es}}{DLF} \quad (2.15)$$

Videre gjør NFPA68 det også mulig å ta hensyn til redusert blandingsforhold basert på formel 2.16 og 2.17. Her vil alle parametre som vil inngå listes opp i tabell 7.

$$X_r = \frac{V_{gas} / (V_{enc} - V_{solid})}{x_{st}} \quad (2.16)$$

$$A_{v1} = A_{v0} X_r^{-1/3} \cdot \sqrt{\frac{X_r - \Pi}{1 - \Pi}} \quad (2.17)$$

TABELL 7 PARAMETERE SOM INNGÅR I 2.16 OG 2.17

Verdi:	Forklaring:
V_{gas}	Maksimalt volum av gass som kan blandes med luft innenfor lukket rom (m^3)
V_{enc}	Volum på lukket rom (m^3)
V_{solid}	Volum av solide objekter (m^3)
X_{st}	Støkiometrisk konsentrasjon basert på gassvolum
A_{v1}	Avlastningsareal basert på redusert blandingsforhold (m^2)
A_{v0}	Avlastningsareal som resultat fra formel 2.6 (m^2)
X_r	Fyllingsgrad ($X_r > \Pi$)
Π	P_{red}/P_{max}

Denne delen av standarden vil ta utgangspunkt i en redusert gassblanding, i motsetning til å anse et rom fult med reaktiv gass ved mest gunstig blandingsforhold. Her blir det antatt en mindre gassblanding som blander seg ut i resten av rommet. Denne beregningen vil kreve ytterligere undersøkelse ettersom standarden ikke kan stille med informasjon om gassen som vil forekomme eller den støkiometriske blandingen til gassen. Det vil derfor kreves ytterligere undersøkelse for å spesifikt finne ut hvor mye gasse som vil være til stede. Dette er noe standarden har kommet seg utenom tidligere ettersom rommet blir ansett som fult. (NFPA68, 2023, 7.3)

Videre har også standarden lagt til rette muligheten for å beregne flammeball og fareområde utenfor avlastningsflatene fra eksplosjonen. I tillegg til tidsforløpet til eksplosjonen (NFPA, 2023, 6.8.2, 6.3.5.5).

2.5.2 SEBK

SEBK står for Sikkerhetstiltak mot eksplosjoner og brann i kraftanlegg. SEBK-prosjektet ble igangsatt 1999 av blant annet Norconsult, der Gexcon stod for forskningen og testene som ble utført. Motivasjonen for å igangsette dette prosjektet var for å bedre forståelsen av fenomenene og dermed kunne foreta risikoreduserende tiltak for eksplosjoner i oljefylte transformatorer. I 1973 omkom tre personer ved en eksplosjonsulykke på en trafosjakt på Tonstad. Flere store eksplosjonsulykker fant sted etter 1973, og det var i 1999 ingen grunn til å tro at disse ulykkene ville inntreffe sjeldnere, noe som også var en motiverende årsak til igangsettelsen av prosjektet.

Prosjektet utførte eksplosjonstester som skulle etterligne en reell situasjon best mulig. Hensikten med disse første forsøkene var å finne sammenhengen mellom gassmengde, mengde oljepartikler og resulterende eksplosjonslaster.

Videre ble det utført undertrykkingstester der formålet var å teste sikkerhetssystemer ved eksplosjoner i transformatoren. Tre ulike leverandører testet sine systemer på ulike tester med ulike variasjon i størrelse på eksplosjonen (Hansen, 2001, s.9).

Noe av det som bli kommer frem i forskningen er et forholdstall mellom mengden energi som forekommer og hvor mye gass som blir produsert. Denne verdien er på 0,0993 MJ/m³ med gass per MJ lysbueenergi (Hansen, 2002, s. 43).

Videre kommer det også frem hvilken gassammensetning som vil forekomme etter en slik lysbue. På figur 9 er det illustrert hvilke komponenter gassen består av, hvilken prosentandel de har av gasskyen, hvilke støkiometrisk blandingsforhold komponentene har med luft og hvor stort volum luft hver gassandel krever for å nå en støkiometrisk blanding. Det kommer her derfor frem at 1 m³ gass vil kreve 5,881 m³ luft for at alle gasskomponentene vil nå et støkiometrisk blandingsforhold.

Gases generated	Volfrac	1 m3 fuel	O2 deman	%stoich	Volume/m3
Hydrogen	730	0.735146	0.5	0.295278	2.489671
Acetylene	207	0.208459	2.5	0.077321	2.696039
Methane	35	0.035247	2	0.094818	0.371731
Ethylene	21	0.021148	3	0.065275	0.323984
CO	0	0	0.5	0.295278	0
Total	993				5.881425

FIGUR 9 GASSAMMENSETNING OG OKSYGENFORHOLD (HANSEN, 2002, s.74)

SEBK tar også for seg tema oljedamp. Dette er oljepartikler fra oljen inni transformatoren som ikke har blitt spaltet og sprutes ut i luften når kapslingen på transformatoren sprekker fra primæreksplasjonen. Oljedamp vil ha en tregere forbrenningshastighet og derfor fordele trykklasten over lenger tid og øke reaksjonstiden. Dette fører til at ved bruk av avlastningsareal vil oljen kunne bli ventilert ut av bygget før all oljen rekker å forbrenne. Det finnes derfor erfaringsdata fra fase 2 i SEBK-prosjektet på hvor mye olje som vil forårsake mest trykk uten å svekke forbrenningshastigheten for mye før oljen blir ventilert ut og ikke vil ha mer effekt. I SEBK prosjektet blir det benyttet en faktor på 0, 1, 2, 4 eller 8 ganger volumet til gass-luft blandingen. Denne faktoren er for å representere bidraget til oljedampen som er til stede i luften. For lukkede rom vil ikke reaksjonshastigheten ha noe å si ettersom det ikke er noe form for ventilasjon. (Hansen, 2002, s.43).

3 Metode

I dette kapittelet vil det redegjøres for hvilken metode som er benyttet. Metode forklarer hvilke fremgangsmåter som brukes, og hvordan datainnsamlingen er utført for å løse den gitte problemstilling, i tillegg til hvordan dette vil påvirke resultatene som blir funnet. Valgt metode er basert på problemstillingen og tema for å best mulig innsamle relevant informasjon (Grønmo, 2021).

3.1 Forskningsmetoder

3.1.1 Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode

Oftest deles forskningsmetoder opp i to hovedgrupper, disse er kvalitative og kvantitative metode. Eksempel på kvalitative forskningsmetoder er observasjon, intervju, fokusgrupper, spørreskjemaer og sekundær forskning. Det handler om observasjoner i avgrensede miljøer eller tema. Kvalitative forskningsmetoder kan ikke tallfestes og knyttes ofte opp til tolkning og selvstendig analyse. Det benyttes datainnsamling for å forstå og tolke fenomener i dybden. Kvantitativ metode er forskningsmetoder som benyttes ved analyse og innsamling av kvantitative data. Dette er data som tall eller andre mengdetermer, som i motsetning til kvalitative data, ofte uttrykkes med tekst. (Lysio, 2023; Grønmo, 2023).

3.1.2 Ustrukturert intervju

Ved en kvalitativ metode, er intervju et nyttig virkemiddel for å innhente informasjon. Ved å snakke med personer med kompetanse innenfor fagområder kan en innhente god informasjon om tema og muligens informasjon fra bransjen som en ikke vil finne tilgjengelig på nett. Ustrukturert intervju er intervjuer der intervjueren ikke tar styringen i alt for stor grad. Intervjuobjektet skal få snakke fritt om temaene som tas opp, og eventuelt ta samtalen over på andre tema informantene mener er nyttige. Det er i forkant laget en intervjuguide med stikkord og tema som skal være veiledende for intervjuet. Intervjueren kan stille oppfølgings spørsmål og sørge for at samtalen holder seg innenfor relevante tema. Fordelen med et slikt intervju er at en kan innhente mer informasjon og kan gå dypere ned i ulike tema som informantene kan være uvisst om (Larsen, 2017, s.100).

3.1.3 Research by design

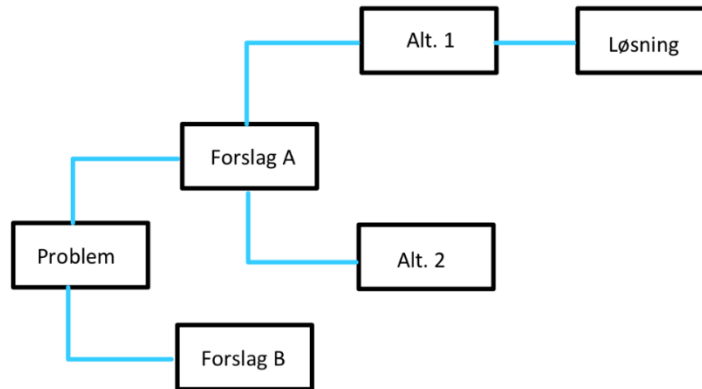
Dette er en metode som kan benyttes i oppgaver der det brukes både kvalitative og kvantitative forskningsmetoder. Hensikten med denne metoden er å finne delkonklusjoner som kan bekrefte, avkrefte eller lede videre mot en endelig løsning. Etter hvert som en innhenter ny informasjon og får bredere innsikt i tema, kan en ta oppgaven videre i retningen som blir naturlig. Metoden kan bli sett på som en iterativ prosess, der ulike tilnærminger avdekkes med sine fordeler og ulemper (Roggema, 2016, s.3).

3.1.4 Case-studie

En case-studie er en forskningsmetode som innebærer en grundig undersøkelse av et enkelt tilfelle. Tilfellet er vanligvis innenfor en bestemt kategori eller kontekst som kan være en person, en hendelse, en organisasjon eller en metode. Målet med en case-studie er å få innsikt i fenomener som er komplekse, og forstå bedre hvordan de fungerer i sin kontekst. Case-studier kan også benyttes for sammenligning av flere tilfeller. Målet her vil ofte være å trekke paralleller og finne ulikheter, og få større innsikt i det enkelte tilfellet. I disse tilfellene kan det være hensiktsmessig å opprette et rammeverk for hvordan sammenligningen skal gjennomføres. Rammeverket kan inkludere dimensjoner, spesifikke variabler eller temaer en ønsker å analysere og belyse (Sander, 2023).

3.2 Valgt Metode

Metoden som vil være best for denne oppgaven er *Research by Design* som illustrert i figur 10. Oppgaven vil benytte seg av en kombinasjon av en kvantitativ case-sammenligning av to valgte beregningsmetoder og kvalitativ forskningsmetode. Over tid har oppgaven endret kurs underveis da oppgaven i startfasen opprinnelig hadde en annen problemstilling, men som etter hvert ble avdekket fra fagfolk og egen research, ville bli for komplekst og nærmest ikke-gjennomførbart med tiden og resursene til rådighet. Oppgavens retning har dermed blitt preget av informasjon innhentet fra intervjuer og egen research. Anskaffet teori og forskning i kombinasjon med intervju av fagpersoner har dannet en naturlig struktur for oppgaven, og problematikken vi har ønsket å ta tak i.



FIGUR 10 ILLUSTRASJON AV METODEN RESEARCH BY DESIGN

Det er blitt benyttet kvalitativ forskningsmetode for å innhente informasjon og erfaringer fra tema. En sekundær eksplosjon i transformatorbygg er en ulykkessituasjon som inndrar flere ulike fagfelt og er derfor sjeldent noe enkeltrådgivere har komplett kunnskap om. For å derfor klare å kartlegge hele ulykkesforløpet er det foretatt intervjuer med de fleste av fagområdene som inngår og har relevant kompetanse å bidra med. Intervjuene er gjennomført som ustrukturerte intervjuer, der vi i forkant har lagt intervjuguider som finnes i vedlegg 1. Grunnen til valg av ustrukturert intervju kommer av manglende bakgrunnskunnskap i enkelte deler av tema. Det vil derfor være mer hensiktsmessig å la personen med dypere kunnskap snakke om det de mener er mest relevant, istedenfor at intervjuer med noe svakere bakgrunnskunnskap leder intervjuet i feil retning. Av intervjuene er det blitt foretatt lydopptak med godkjenning og senere blitt transkribert. Opptak av intervju er gjennomført på universitet i Oslos diktafon. Utvalget av informanter vi har intervjuet er listet under.

- Fagperson fra leverandør av transformatorer - ansatt i Siemens Energy.
- Konsulent fra fagfelt innen brann og fluiddynamikk – ansatt i Multiconsult
- Konsulent med kompetanse innen gass og eksplosjonsberegning – ansatt i Gexcon.
- Konsulent fra byggebransjen med prosjekterende bakgrunn (RIB) – ansatt i Multiconsult.
- Fagperson med kompetanse i risiko-analyser av transformatorer – involvert SEBK-prosjekt.

Valg av intervjuobjekt er nøye knyttet til formålet med å innhente informasjon. Målet var å tilegne innsikt i transformatorer, ulykkesforløpet til oljedamp sekundærexplosjoner, beregningsmetoder for ulykkeslaster i trafosjakter, generelt om gass og eksplosjoner, i tillegg til de mest kritiske parameterne. Det ble derfor søkt kontakt med eksperter innen disse områdene. Tidlig i prosjektet ble det avdekket en begrenset tilgang på omfattende kompetanse innen dette spesifikke feltet, som medbragte et begrenset utvalg på intervjuobjekter. Informasjonen og kunnskapen som var ønsket å innhente, ble derfor dekket av de intervjuobjektene som er listet ovenfor. I tillegg til intervjuobjektene listet ovenfor, ble det gjennomført flere samtaler med andre kompetente personer, men som ble valgt å ikke inkludere grunnet relevans til oppgaven, men fikk bidratt til en mer generell forståelse.

Videre blir informasjonen som er innhentet brukt til å analysere ulike beregningsmetoder som benyttes i bransjen. I oppgaven er det valgt å gjennomføre en enkel case-sammenligning med to forskjellige valgte beregningsmetoder for å så beregne trykket som vil oppstå i en sekundærexplosjon. Resultatene som skal analyseres er fra metoden etter NFPA 68 og en adiabatisk

metode basert på SEBK prosjekt. Disse metodene har ulik opprinnelse og gir forskjellige svar. Hensikten med beregningene her er å belyse parameterne som vil være relevante for ulykkeslasten, i tillegg til å sammenligne resultatene fra beregningene for å diskutere hvilken metode som vil være best egnet. Formålet er ikke nødvendigvis bare å analysere ulikhetene ved metode, men ved å analysere metodene kan en gjøre seg opp tanker om hvilke parametere som er viktige for beregningen av eksplosjonslasten.

3.2.1 NFPA 68

NFPA 68 er den amerikanske standarden som er beskrevet ytterligere i teorikapittelet. For oppgaven er NFPA 68 brukt som en veiledende standard til å utføre en beregning for ulykkeslast i en trafosjakt. For å gi en god og forsvarlig framstilling av standardene er beregningene hentet direkte fra standarden uten endringer på metodikken.

3.2.2 SEBK

SEBK er en rapport som står for Sikkerhetstiltak mot eksplosjoner og brann i kraftanlegg, og rapporten er beskrevet ytterligere i teorikapittelet. For oppgaven er SEBK brukt som veiledning for beregning av ulykkeslast ved den adiabatisk praktiske metoden.

3.2.3 Microsoft Excel

Microsoft Excel er regnearkprogram som kan benyttes til å foreta beregninger, sette opp avanserte tabeller, fremstille data og grafer. I oppgaven brukes Microsoft excel til å utføre beregninger for ulykkeslast i traforommet I case-studiet. (Microsoft, u.å.)

3.2.4 Nettskjema-Diktafon

Nettskjema diktafon er en ressurs fra universitet i Oslo som kan brukes til å gjennomføre lydopptak og autotranskribering av intervjuer. Lydopptaket tas opp via nettskjemas egen app og sendes til et nettskjema knyttet til brukerens id. I oppgaven er nettskjema diktafon brukt til å utføre lydopptak av intervjuene og få det autotranskribert. Lydfilene er også brukt til lyttmateriell for å korrigere og strukturere det autotranskriberte intervjuet i etterkant. (UIO, 2023)

3.3 Metodekritikk

3.3.1 Reliabilitet

Reliabilitet handler om oppgaven er pålitelig, og om prosessen har vært nøyaktig. Sikring av reliabilitet er enklere for en kvantitativ undersøkelse, da forsøket enklere kan ettersejkes av andre i etterkant. Men for en kvalitativ undersøkelse, er det ikke like enkelt å sikre reliabilitet. Gjennom observasjon og tolkning vil det ofte være forskjell i hvordan ulike personer tolker og oppfatter same type informasjon. For å bevare reliabiliteten i oppgaven er det nettopp av denne grunn utført en case sammenligning for å tydeligere utpeke pålitelige resultater (Larsen, 2017, s.94).

3.3.2 Validitet

Validitet i forskning omhandler relevans eller gyldighet. Men i kvalitative studier handler det mer om oppgaven er bekreftbar, troverdig og har overføringsverdi. Av den grunn er det viktig at det innhentes data som er relevant for problemstillingen i oppgaven, for å sikre bekreftbarhet og validitet. Det skilles ofte på intern og ekstern validitet. For case-studier er det mest aktuelt å se på intern validitet. Intern validitet tar for seg om det finnes sammenheng mellom funnene som blir gjort og teorien som er brukt. For å bevare validitet i oppgaven er det gjort case-beregninger som støtter opp om det som er innhentet av informasjon fra de gjennomførte intervjuene (Larsen, 2017, s.93).

3.3.3 Objektivitet

Objektiviteten i oppgaven vil preges av de som blir intervjuet og interessentene i oppgaven. Om de som intervjues har egne agendaer eller individuelle mål kan en ikke vite. Men om de har det, vil de presenterte vurderingene og tolkningene deres i intervjuet påvirkes av dette. Det aspektet må tas med i betraktning både ved planlegging og bearbeidelsen av intervjuene. Videre kan forfatterne av oppgavens kunnskap, erfaringer og verdier spille en rolle i hvordan svarene fra intervjuobjektene blir tolket. Det er en uunngåelig realitet at fullstendig objektivitet er vanskelig å oppnå i forskning. Likevel har forfatterne av oppgaven prøvd å være transparent om deres tilnærming til forskningsarbeidet. Det er gjennomført flere intervjuer for å sikre objektivitet i informasjon som hentes, fordi det er da mulig å sammenligne svarene som gis av de ulike intervjuobjektene. Her vil også case-sammenligningen være fordelaktig for objektiviteten i oppgaven, ettersom funnen herifra vil kunne samsvarer med informasjonen som er innhentet fra intervjuer (Larsen, 2017, s.14).

3.3.4 Generaliserbarhet

Resultatene som presenteres i oppgaven vil både være spesifikke for beregningseksemplene tilknyttet den anonyme trafosjakten, men også inneholde generaliserbare resultat som ulykkestilfelle og risiko, samt bransjekunnskap fra intervjuobjekter. Selv om noe av resultatene er spesifikke, er beregningsmetodikken fra NFPA 68 og mye av teorien bak resultatene standardiserte. Deler av oppgaven baserer seg på case studie, så det blir vanskelig å generalisere resultatene derfra. På grunn av oppgavens problemstilling og hensikt har det vært ønskelig å finne resultater som på et tidspunkt kan generaliseres innenfor bransjen.

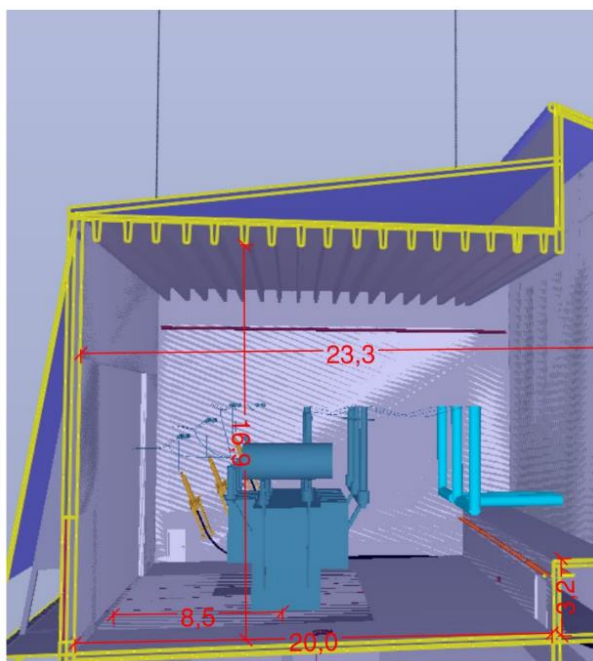
3.4 Valgt case

Det er valgt å basere oppgitt case på et reelt prosjekt som har blitt utført av Multiconsult tidligere. Prosjektet som er valgt er underlagt kraftsensitiv informasjon og vil derfor bli presentert som en anonym case og omtalt som «casen».

Casen vil ikke være nøyaktig identisk til det originale prosjektet, men veldig lik på parametere som romvolum, teknisk data for transformatoren og muligheter for avlastning. Eksempelet vil ha som hensikt å fungere som en illustrasjon for en mer realistisk situasjon.

Figur 11 er en enkel illustrasjon av transformatorrommet som skal analyseres. Angitt romgeometri på figur 11 vil bli benyttet, der verdiene er listet i tabell 8. Det vil bli sett bort ifra omliggende forhold, annet enn at 3 av veggene grenser til andre rom og derfor ikke kan brukes til ventilasjon/trykkavlastningsareal.

Casen vil bli brukt som et grunnlag for å lettere kunne illustrere og sammenligne de ulike beregningsmetodene som kan bli benyttet. Metodene som vil bli benyttet og sammenlignet er som nevnt NFPA68 og en adiabatisk metodikk basert på erfaringstall fra SEBK-prosjektet.



FIGUR 11 ILLUSTRASJON AV VALGT CASE

TABELL 8 TEKNISK DATA FOR BYGGET

Parametere:	Verdier:
Innvendig lengde (m)	20
Innvendig bredde (m)	23.3
Innvendig høyde (m)	16.9
Ventilasjons areal (m ²)	4
Tilgjengelig areal mot det fri (m ²)	Én vegg(vest) + Tak

TABELL 9 TEKNISK DATA FOR TRANSFORMATOR OG STRØMNETT

Transformator:	Verdier:
Kortslutningsstrøm (kA)	40
Isolasjonsavstand (mm)	125
Lysbuespenning (kV)	1
Tid før vern slår inn (ms)	100
Antall lysbuer	1

Teknisk data for transformatoren vil i denne casen bli satt som fast, men vil i en reel case vil det være tilknyttet mye mer usikkerhet. Teknisk data for transformatoren er listet i tabell 9.

Rommet vil utenom transformatoren bli ansett som tomt, med unntak av noen rør og ledninger med tilkobling til transformatoren. Dette vil blant annet være gjennomføringene, ventilasjonskanaler eller sprinkelanlegg. For en konservativ antagelse er det satt 20 cm i diameter og en total lengde på 80 meter. Dette er verdier som i utgangspunktet mangler for casen, men er derfor satt som et antatt konservativt estimat.

3.5 Beregningsmetoder

Som nevnt tidligere vil beregningsmetodene som er brukt her være basert på NFPA68 i tillegg til en adiabatisk metode basert på SEBK prosjektet. Både NFPA 68 metodikken og SEBK metodikken er benyttet i tidligere prosjekter til beregning av ulykkeslast for sekundæreksplosjoner i trafojakter.

3.5.1 NFPA68

Metoden benyttet fra NFPA68 baserer seg på formelen 2.6 hentet fra standarden. Formelen kan både brukes for å beregne A_v ved å sette trykket P_{red} konstant, men også beregne P_{red} ved å sette A_v konstant. Dette er illustrert i formel 2.6 og 3.1.

$$A_v = \frac{As * C}{\sqrt{P_{red}}}$$

$$P_{red} = \left(\frac{As * C}{A_v}\right)^2 \quad (3.1)$$

Som illustrert i formel 2.15 hentet fra NFPA68 vil P_{red} multipliseres med en DLF på 1,5 for å få det dimensjonerende statiske trykket P_{es} .

C vil beregnes ut ifra formelen 2.7 hentet fra NFPA68. I beregningen av C vil brennbarhetshastigheten S_u og trykket P_{max} hentes fra tabell D.1 og D.2 i NFPA68. For hydrogen, som blir antatt, vil det da være $S_u = 312\text{cm/s}$ og $P_{max} = 6.8\text{ bar-g}$ (NFPA68, 2023, Annex D). Densiteten ρ_u blir antatt lik densiteten til luft ved normale forhold, og derfor satt lik $\rho_u = 1.2\text{ kg/m}^3$. Dette vil ikke være helt nøyaktig ettersom

Luften er blandet inn med hydrogen og derfor vil teoretisk sett ha en lavere densitet enn ren luft. Massefluksen til uforbrent gass-luftblanding ved sonisk strømming G_u settes lik 230.1 kg/m²-s og er hentet fra tidligere prosjekter utført av Multiconsult. Ventilutslippskoeffisienten C_d er en koeffisient som skiller mellom den faktiske ventilasjonsstrømmingen gjennom en ventilasjonsluke og den teoretiske og den skal her settes lik 0,7 med begrunnelse i at avlastningslukene ikke er heldekkende. Trykket før antennelse P_0 settes lik 1 atm og derfor også lik 0 bar-g. Forholdet for spesifikke varmekapasiteter for forbrente gass-luftblanding γ_b er benyttet lik 1.2 som også er hentet fra tidligere prosjekter utført av Multiconsult. Turbulensfaktoren λ beregnes med en annen formel som vist i teori. Verdiene er tydeligere illustrert i tabell 10.

TABELL 10 VARIABLER SOM INNGÅR I BEREGNINGEN FOR C

Variabel:	Verdi:	Enhet:
$S_u =$	3.12	m/s
$S_u =$	312	cm/sek
$\rho_u =$	1.2	kg/m ³
$\lambda =$	1	Fra formel 7.2.6
$G_u =$	230.1	kg/m ² -s
$C_d =$	0.7	
$P_{max} =$	6.8	bar-g
$P_{max} =$	680	kPa
$P_0 =$	0	bar-g
$\gamma_b =$	1.2	

For beregningen av λ vil det benyttes formlene 2.8 - 2.13 i tillegg til en vurdering rundt obstruksjonsareal og formfaktor hentet fra NFPA68. Da må det først beregnes en λ_0 gjennom formlene 2.8 – 2.13 som vist under teori. I denne oppgaven ble λ_0 her satt lik 1. Dette er et valg som kommer av manglende verdier på D_v , μ_u og a_u , i tillegg til manglende kunnskap rundt hvordan å beregne dem. Dette førte til at φ_1 og φ_2 ble satt lik 1, som igjen førte til at λ_0 ble satt lik 1.

Videre beregninger er basert på en turbulensformel som kommer av mengden obstruksjonsareal som forekommer i bygget. Rommet i casen er et tomt og åpent rom med kun rør som obstruksjonsareal, annet enn selve transformator-kassen. Selve overflaten til transformator-kassen vil bli neglisjert ettersom forbrenningsreaksjonen vil antennes omkring transformatoren og eksplosjonen vil ekspandere vekk fra den, i tillegg til at en transformator ikke går under en av kategoriene for hva som anses som obstruksjonsareal. Som nevnt i teori, hvis det totale obstruksjonsareal lavere enn 20% av total innvendig overflate vil denne turbulensformelen neglisjeres. Som vist i figur 12, vil obstruksjonsarealet være under 25% av kravet for formelen og λ_1 blir derfor satt lik λ_0 og derfor lik 1. Beregningen av obstruksjonsmateriale er beregnet etter formelen for overflate til en søyle. For sammenlikning er det også inkludert 20% av innvendig overflateareal for et bygg med lengde, bredde og høyde lik 10 meter. Også der vil formelen obstruksjonsformal bli neglisjert.

0.2*As =	479.108	m2					
0.2*As10 =	120						
Aobs =	100.531		Rør:	gjennomsnittlig r =	0.2	m	
0.2*As > Aobs				Samlet lengde =	80	m	
--> λ1 = λ0 = 1				Aobs =	100.5309649		
--> λ = λ1 = 1							

FIGUR 12 BEREGNING AV OBSTRUKSJONSAREAL

Gjennom beregninger fra formel 2.14 hentet fra standarden som omhandler «forholdet mellom lengde og diameter til det avlukkede området», blir det beregnede forholdstallet H/D_{he} til å være 0.254 og derfor lavere enn 2.5. Den endelige λ settes derfor lik λ_1 , som igjen er lik λ_0 og er lik 1. Utrekningene for dette er illustrert i figur 13.

	Veff1 =	2551.35	m3
	H =	5.475	m
	Aeff =	466	m2
	R =	1.165	
	Dhe =	21.5870331	
L/D =	H/Dhe =	0.25362448	

FIGUR 13 BEREGNING AV FORMFAKTOR

Ettersom beregningene ved bruk av formel 2.6 både tar hensyn til trykk og avlastningsareal vil det bli laget to scenarier hvor det ene setter en realistisk verdi for P_{red} (trykk) som utgangspunkt og det andre setter en realistisk verdi for A_v (avlastningsareal) som utgangspunkt og derfor bruke formel 3.1 (inspirert av 2.6).

Scenario 1

Dette tilfelle tar utgangspunkt i en vanligere last benyttet i dimensjonering av transformatorbygg. Her blir det tatt utgangspunkt i et dimensjonerende trykk på 4 kPa. Dette er en last mye brukt i bransjen ettersom det er satt som et krav av kraftberedskapsforskriften (NVE, 2022, s.18). Dette vil være et scenario som vil gi resultater av relevans for transformator bygg som skal bygges, men også for bygg som allerede er bygget og stilles det samme kravet. Det vil da kunne argumenteres for om det vil være nødvendig med ettermontering av flere avlastningsluker, ved bruken av NFPA68 som metode og 4 kPa som dimensjonerende krav.

Scenario 2

Dette scenarioet tar utgangspunkt i en mer naturlig prosjekteringsvennlig fremgangsmåte. Hvor det blir sett på hvor mye tilgjengelig avlastningsareal som er tilgjengelig og vil være realistisk å benytte, for så å finne det dimensjonerende trykket derifra. Det realistiske avlastningsarealet ble satt til 270 m² for casen. Dette kommer fra arealet til den veggen på casen som grenser til det fri, i tillegg til at det er ganget inn en utnyttingsfaktor på 0.8 for å ta hensyn til karmen på avlastningslukene og veggarealet som er krevet for oppheng.

$$A_v = L * H * 0.8 = 20m * 16.9m * 0.8 = 270m^2 \quad (3.2)$$

3.5.2 Adiabatisk metode basert på SEBK

Denne metoden er basert på forskning fra SEBK prosjektet og utledet av Gexcon. Denne metoden tar utgangspunkt i, og følger selve ulykkesforløpet. Metoden er også tidligere blitt benyttet i prosjekter for å beregne eksplosjonslaster i transformator bygg.

Metoden baserer seg på følgende punkter:

- Beregningsmetoden tar utgangspunkt i lysbueenergien som oppstår under kortslutningen.
- Denne energien vil deretter fordampe et gitt volum basert på et forholdstall fra SEBK prosjektet.
- Videre er det mulig å estimere luftvolumet som vil være nødvendig for å nå en støkiometrisk blanding.
- SEBK prosjektet illustrerer også hvor mye oljedamp som vil være med i reaksjonen basert på energien i spaltegassene.
- Fra forbrenningsmengden gass og oljedamp vil det være mulig å estimere volumet av reaksjonsprodukter som vil forekomme.
- Endring i trykk blir da det nye produserte gassvolumet delt på det originale romvolumet.

Beregning av lysbueenergi

For å kunne utføre en beregning av lysbueenergien er det en del parametere som er nødvendige. Formelen som blir benyttet er formelen for elektrisk energi som tar utgangspunkt i utkoblingstid basert på utkoplingsmekanismen og en eventuell risikovurdering, kortslutningsstrøm per lysbue, i tillegg til lysbuespenningen (Hofstad, 2022). Formelen som blir benyttet tar i tillegg utgangspunkt i antall lysbuer. For å finne energien avgitt til oljen vil formelen for effekt bli brukt, for så å gange inn tiden før utkoblingen slår inn, og slik få energimengde. Denne formelen er vist i 3.2. Verdiene som er valgt kommer fra case-verdiene som er satt, og er illustrert i tabell 11.

$$E = P * t = U * I * (n) * t \quad (3.3)$$

TABELL 11 INNGÅENDE VARIABLER I LYSBUEENERGI

Parametere:	Symbol:	Verdi:
Antall lysbuer	N	1
Lysbuespenning	U (kV)	1
Kortslutningsstrøm	I (kA)	40
Utkoblingstid	t (s)	0.1

Beregning av spaltet gassky

Etter energien fra lysbuen er beregnet finnes det flere forholdstall for hvor mye olje som fordampes og hvor mye gass som spaltes ned i mindre molekyler, i tillegg hva den nye gassblandingen består av. Her er det også en del variasjon grunnet kompliserte og uforutsigbare variabler som eksakt energi fra lysbuen, i tillegg til en ekstrem nøyaktig måling av tid.

Forholdstallene for gassvolumet som utvikles for hver MJ kan variere, men det er her valgt forholdstallet benyttet i SEBK på $0.0993 \text{ m}^3/\text{MJ}$, i tillegg til at det vil bli antatt at trykkbølgen fra denne volumøkningen vil være nok til å ryke kapslingen. Dette er på bakgrunn av utgangspunktet for verste ulykkestilfelle i form av en sekundær eksplosjon som er satt for oppgaven.

Videre er det benyttet en gassammensetning og blandingsforhold som antatt i SEBK prosjektet og nevnt i figur 9. Med disse verdiene er det mulig å beregne hvor stort volum luft som må inngå i reaksjonen for å nå støkiometrisk blanding. På figuren kommer det frem at det vil være nødvendig med $5,881 \text{ m}^3 \text{ luft} / \text{m}^3 \text{ brennstoff}$.

Verdien for mengden gass kommer derfor som et resultat av å multiplisere energimengden med mengden gass som produseres fra lysbuen på $0,0993 \text{ m}^3/\text{MJ}$, luftmengden som kreves for å nå støkiometrisk blanding $5,881 \text{ m}^3 \text{ luft}/\text{m}^3 \text{ brennstoff}$, i tillegg til å legge til ønsket oljemengde ved å multiplisere inn faktor for oljedamp.

Bidrag av oljedamp

I SEBK prosjektet kommer det frem at oljedamp utgjør en stor andel av forbrenningseksplisjonen og blir estimert som en faktor basert på energimengden fra spaltet gassblanding. Ettersom rommet er lukket og det ikke er noen form for ventilasjon vil all oljedampen inkludert ha tid til å forbrenne og det blir derfor satt en konservativ faktor på 8, ettersom dette er den største faktoren. Denne faktoren vil da ganges med volumet fra spaltet gass i kombinasjon med nødvendig mengde luft for å nå støkiometrisk blanding.

Forbrenningsprodukt

Etter det er kalkulert en ferdig blandet gassky inklusivt oljedamp vil denne gasskyen ha en konstant endring i trykk eller endring i volum basert på hva det velges å sette som konstant. I dette tilfellet vil gassen som blir produsert komme ut i et åpen rom og derfor ikke ha et begrenset volum. Det vil derfor heller bli satt et konstant trykk lik 1 atm. Forbrenningsproduktet vil derfor ha fri mulighet til å øke i volum gjennom forbrenningsreaksjonen som oppstår. Som vist i teorikapittelet vil ulike gasser ha ulik ending i volum. Gjennom rådgivning fra Gexcon vil et konservativt estimat være en volumøkning på 9 ganger originalt gassvolum. Med andre ord $V/V_0 = 9$. Dette kommer av hydrogen sin faktor på ca. 7 og de andre oljekomponentene nærmere 8 som vist i tabell 2. Et konservativt estimat vil derfor være 9.

Endring i trykk

For å finne det endelige trykket blir det nye volumet fra forbrenningsproduktene delt på totalvolumet i bygget, som er hentet fra original case. Dette vil resultere i en endring i trykk. Etter endringen i trykket er funnet blir det multiplisert inn en DLF, ettersom lasten er en dynamisk last over kort tid. Denne DLF-faktoren blir satt konservativt lik 1.5 liknende formel 2.15 hentet fra NFPA68.

4 Resultat

Innhentet resultat vil her i hovedsak bli tredelt etter benyttet metode. Intervjuobjekter med ulik bakgrunn, beregning som tar utgangspunkt i NFPA68 og adiabatisk metodikk basert på SEBK prosjekt.

4.1 Intervjupersoner

Intervjuobjektene er sortert etter deres kjennskap i ulykkesforløpet. Med el-rådgiver/produsent i starten for selve transformatoren og den elektriske kortslutningen. Deretter konsulenter/prosjekterende med kompetanse innen fluiddynamikk og kunnskap rundt eksplosjonsforløpet. Deretter rådgivende konsulent innen bygg, med erfaring rundt prosjektering av transformator bygget. Til slutt er det presentert et intervjuobjekt med en mer helhetlig kunnskapsbakgrunn rundt ulykkesforløpet.

Produsent

4.1.1 Intervjuobjekt 1

Erfaring

Jeg er utdannet elkraftsingeniør i 1988. Med doktorgrad i 1993. Tok doktorgraden min på feil i transformatorer, i oljefylte transformatorer. Jeg har jobbet i Siemens og senere i Siemens Energy hele min yrkeskarriere. Jeg har jobbet med transformatorstasjoner, hovedsakelig knyttet til brytere og effektbrytere i koblingsanlegg.

Hensikt med trafobygget

De store transformatorene som Statnett bygger, bygges jo utendørs. Og der er det jo bare med vegger av betong rundt, som skal gå i en viss høyde over lokket på transformatoren, muligens også over gjennomføringene. Det er for skuddsikring, mot terrorisme med skudd, og så er det for å hindre at oljen skal sprute utover hvis du får en eksplosjon.

Statistikk

En eksplosjon, skjer fra tid til annen. Det har vært en del store trafoeksplosjoner og branner også i Norge. Også i senere tid faktisk. Det er cirka 3000 krafttransformatorer i drift i Norge. Og sånn statistisk sett så skal cirka 15 av dem kortslutte i året.

Hvordan forebygge skade fra eksplosjoner ved en trafosjakt

For å hindre er det jo to forhold. Det ene er å prøve å unngå at transformatoren skal totalhavarere, der det er en eksplosjon som følger. Sørge for godt dimensjonerte transformatorer. Godt vedlikehold, ettersyn og kontroll. Og ha baller til å ta trafoen ut av drift, når forventet teknisk levetid er ute. Så den ikke står helt til den eksploderer. Og så er det å hindre, altså redusere konsekvensen hvis du får en eksplosjon. Og det siste er ikke så lett å gjøre noe med altså, for en eksplosjon vil være rå og brutal. Etter en eksplosjon vil det også som regel oppstå brann.

Eksplosjon i oljefylte transformatorer, ulykkesforløp

Det er jo mye som kan skje inni en transformator som kan føre til en eksplosjon. Men de fleste starter ikke momentant med en eksplosjon. De fleste feil starter med feil i vindingene, mellom vindingene i transformatoren. Da vil det begynne å gå store strømmer lokalt i en del av vindingene. Og det fører til at omkringliggende olje vil spaltes. Og det dannes gasser, inne i transformatoren. Typisk hydrogen og acetylene. Og så stiger de gassboblene og så kan de videreføre til at du får overslag, for eksempel

mellom to faser i transformatoren. Da begynner det å gå stor strøm, og du vil få en effektlysbue, som vi kaller det. Da stiger trykket veldig raskt. Da snakker vi millisekunder før trykket har steget så mye at kassa ikke lenger vil tåle det, og vil revne på de svakeste punktene. Så ved en intern lysbue i en transformator, når den først har oppstått, så kan trykket typisk bygges opp til 10 bar hvis kassen er stiv. Men tanken tåler, jeg vil si maksimalt 1,2 bar trykk. Så da vil transformator-kassen eksplodere etter noen titalls opp til rundt 300 millisekunder. Når kassa har revnet, så vil det blåse ut både gasser, altså de gassene som har blitt dannet av lysbuen, og olje, det kan være litt forstøvet og varm olje. Da skal det veldig lite til før en får en antennelse, i tillegg til at det kan selvantenne faktisk. Hvis temperaturen er over en cirka 300-320 grader Celsius, og du har tilstrekkelig oksygen til stedet, så kan det også selvantenne. Men så har du jo da lysbuen og varme, smelten kommer inn i trafoen når feilen pågår. Så det må påregnes at du kan få en brann, altså en eksplosjon, og da får du en stor trykkstigning i hele rommet hvor transformatoren står. Men nå står jo ikke krafttransformatorer i helt tette rom. Du må ha varmeutveksling med omgivelsene for å gi transformatoren tilstrekkelig kjøling. Så du har innluft og utluft en får igjennom ventilasjonsrister til transformatorrommet.

Varighet på lysbue

Du må sørge for å koble ut på et sekund. Men ved kortslutning, ofte ligger det på kanskje ned mot 0,1 sekund faktisk. Men vi sier maks 1 sekund.

Gassblanding

Det er ikke bare acetylene og hydrogen, det er en mengde forskjellige gasser som dannes under spaltningen av olje. Det avhenger også litt av hva type olje det er, om det er mineralolje, silikonolje eller andre typer.

Vil mindre brennbare oljer kunne redusere faren for en sekundærexplosjon?

Nei, jeg tror ikke det. Du kan nok få mer brannbelastbarheter, og lengre brann, og mye energi som genereres. Men da må du se på hvilke typer gasser som dannes med den og den temperaturen på lysbuen inne i oljen. Temperaturen på lysbuen er jo typisk oppi 30 000 Kelvin, altså 30 000 grader, i kjernen på lysbuen. Og alt spaltes av omkringliggende medium der med så høye temperaturer. Jeg vil være litt forsiktig med å svare hverken ja eller nei på det der med eksplosjonsfaren og om du vil kunne få en mye lavere trykkstigning - jeg tror egentlig ikke det.

Tanker om en standardisering av eksplosjonslasten, sånn at det blir lettere å dimensjonere trafosjakter

Om transformatoren er stor eller liten, det har nok liten betydning for hvor stort trykk du vil få i rommet altså. Det er først og fremst volumet på rommet. For om du har en liten transformator, og den eksploderer, så vil det gi omtrent samme brannmengder, men energimengder til brann er mye, mye mindre. Men akkurat i de her millisekundene der eksplosjonen inntreffer, så kan det bli like ille med en liten som en stor transformator. For rommene vil du ikke kunne standardisere, størrelsen for dem, bredde, dybde og høyde. Det avhenger av byggets utforming. Det varierer veldig på hvor stor transformator du skal ha. Typisk i transformatorstasjoner ute på landsbygda, så har du kanskje bare en 15 MVA trafo. Mens du i Oslo by, der Hafslund eller Elvia heter det nå, de bruker 50 MVA transformatorer. Nei, jeg tror ingen vil klare å standardisere, i hvert fall ikke romstørrelsen, men tykkelsen på vegger, der vil jeg si ja. Jeg vil bruke 25 cm kraftig armert betong. Bjelkestengsel i betong, og ventilasjonsrister.

Fagpersoner

4.1.2 Intervjuobjekt 2

Erfaring og bakgrunn

Jeg har jo først og fremst bakgrunn i brann. Men jeg har jo god kjennskap til eksplosjon og gass-eksplosjoner. Gexcon kjenner jeg veldig godt til. Jeg var selv student i Bergen på prosessikkerhet, og det er tett opp til CMR og Gexcon-miljøet. Og det er jo midt i hjertet av, kjernen på det studiet jeg tok. Det er jo CFD, forbrenning og flammepropagering i gassblanding og sånt. Nå jobber jeg i Multiconsult.

Erfaring fra NFPA 68

Ikke veldig mye fra NFPA 68. Jeg kjenner mest til den som student og har regnet på den mange ganger. Det i tillegg til mye annet innen eksplosjonssikring. Jeg har jo bakgrunn fra akademiet, og har forelest selv i branddynamikk, brannmodellering og teknisk sikkerhet.

Utfordringer med beregning innen eksplosjonssikkerhet

Utfordringen generelt med eksplosjonssikkerhet er at det fort blir veldig komplekst, og man er helt avhengig av å bruke mer avanserte modeller, altså CFD. Og da er det ganske kostbart med lisenser. Man snakker mange hundre tusen i året. Og da hjelper det ikke å gjøre et oppdrag av og til med eksplosjonssikring for at man skal være i stand til å drive butikk på det viset. Men så ser vi jo da at det er noen former for rådgivning og sånt vi likevel er i stand til å gjøre relatert eksplosjonssikring, selv om man ikke har en CFD-kode. Og deriblant så er det jo NFPA 68.

Lite empiri på eksplosjonsberegning

Det er det som er det dumme med eksplosjonssikring, det er at eksplosjonsforsøk er for mye standardisert i små skalaer, og hvis det er noe interessant og relevant, så er det ofte direkte knyttet mot olje- og gassindustrien, og typisk direkte knyttet mot validering av CFD-modeller, og flammepropagering i eksplosive atmosfærer. Det er litt for lite forskning som går på empiri og direkte anvendelse, sånn som det er med branddynamikk.

Sentrale parametere ved NFPA 68

Jeg kan fortelle litt om svakheter i NFPA 68. Det er jo noen parametere knyttet direkte til eksplosjonsfysikk som er interessante. Med tanke på dimensjonering av avlastningsareal. Jeg kan nevne for eksempel deflagrasjonskonstanten, K eller K_g , kan nevne ventilasjonskonstanten, C . Også kan man nevne laminær flammehastighet. De her er litt knyttet til hverandre. Også kan man nevne det med maksimalt eksplosjonstrykk. Jeg tror det er de fire som er veldig sentrale her.

Hva kan endres ved NFPA 68

Noe som er litt uklart av og til med NFPA 68, det er hva som legges til grunn. Man klarer å tyde noe, og det er jo veldig konservativt. Så har jeg prøvd å se litt på hva man kan endre på i NFPA 68, i stedet for å bruke den rett frem. Så det første jeg tenker på, er det med flammehastighet. Når du har en blanding av flere gasskomponenter, så vil en for flammehastigheten ta utgangspunkt i den gasskomponenten med høyest flammehastighet. Det er vel veldig konservativt? Det kunne vært interessant å sammenligne. Bruke laminær flammehastighet for høyeste gasskonstanten, og så kunne man prøvd å vekte laminær flammehastighet etter konsentrasjon av ulike gasskomponenter. Og det jeg ser videre, nå ser vi på ventilasjonskonstanten C . Det jeg ser videre her, det er at man kan regne C , også med en annen laminær flammehastighet her, som er vektet etter en gassblanding.

Går man på flammehastighetene bakerst i vedlegget, så er det jo tabeller med masse ulike konstanter. Men den flammehastigheten, den vil jo egentlig være avhengig av gassammensetningen her. Jeg er nesten helt sikker på at om du går i de tabellverdiene i vedlegget her, så er det for

støkiometrisk blanding, altså maksverdien her på toppen. Så det som er litt interessant her, det er at jeg antar at NFPA 68 her legger til grunn, støkiometrisk blanding, i et volum innenfor hele rommet.

Ekspløsjonsforløp og antennelighet

Når du ser på transformatorer, årsaken til eksplosjon i transformatorer er jo i all hovedsak en eller annen form for kortslutning, uansett grunn. Typisk lynslag. Og det som skjer da, det er jo det at du vil få en lysbue, og en lysbue er karakterisert ved ekstremt høye temperaturer. Og da skjer det litt sånn pussige effekter ved så høye temperaturer. Det ene er at olja vil jo umiddelbart gå over i gassfase, så du vil få en trykkøkning i transformator-kassen der olja er lagret. Man vil få molekylær spaltning ved så høy energi. Med molekylær spaltning vil man få flyktigere komponenter, som man forenklet kan si vil øke antenneligheten.

Sammenligningsforslag til NFPA 68

Den molekylære spaltningen her vil resultere i en gassblandingssammensetning, med typisk hydrogen, acetylen, metan og etylen. Men jeg synes dette her kan være interessant å knytte til NFPA 68. Også se på hvordan man kan anvende NFPA 68 veldig slavisk eller konservativt. Og hvordan kan man tyne NFPA 68 ved å ta høyde for en eller annen gassblanding. Der du kompenserer med laminær forbrenningshastighet. Kompenserer med den ventilasjonskonstanten C. Og også regne på maksimaltrykket. At du ikke henter P-maks fra en tabell, men at du regner faktisk på det. Også den gasskonstanten Kg, den kan man også regne på.

Kan man kompensere for det her med å si at man ikke har en støkkemetrisk blanding? Eller kan man si at du bare har blandet ut den blandingen her jevnt i hele rommet? At du har understøkiometrisk blanding? Her er det antydning av gassmengde. Kanskje man kan fordele den gassmengden med den gassammensetningen her jevnt over i rommet. For skal man være helt konservativ, så må man bruke hydrogen. Og det er jo veldig, veldig konservativt.

Modifisering av NFPA 68

På grunn av kompleksiteten av å beregne eksplosjonslasten og så mange faktorer som spiller inn, vil det være enkelt å kritisere hvis man prøver å gjøre endringer i anvendelsen av NFPA 68.

Tid før sekundærantennelse

Jeg vil bare sterkt gå ut ifra og anta at dersom du får en dannelse av eksplosive gasser som dette, og det så lekker ut, at det kan bli eksponert for oksygen, som man må ha, så vil du ha lysbue og en tennkilde til stedet allerede tidlig i den fasen. Så jeg vil jo gå sterkt ut ifra at i en reell situasjon, så vil du få antennelse umiddelbart etter at transformator-kassene vil revne, og du vil få en volumekspansjon, og kanskje mens du har den volumekspansjonen til og med, at du vil få en antennelse. Så jeg tror ikke det er reelt at den gasskyen vil ekspandere fort, og så sakte ut i hele rommet, jevnt fordelt, og så antennes. Det tror jeg ikke er reelt, men det er der forenklingen vil være på en vis at du fordeler de 15 kubikkene på 100 kubikk. Og det er det som gjør det ikke konservativt, for da anvender du eksplosjonsvariabler for en tynnere blanding, rett og slett. Men igjen, hvordan klarer du å anvende NFPA 68 og si at du har eksplosjon innenfor 15 kubikk, inni et 100 kubikksrom? Du klarer ikke å få det inn i en så enkel modell.

20 liters bombeforsøk. Usymmetriske rom

Det er gjort forsøk på 20 liters bomber med støkiometriske gassblandinger, der det er analysert trykkøkning og makstrykk. Dette kan hentes ut av tabellverdier. Men disse verdiene baserer seg på at det er symmetrisk i alle retninger slik forsøkene er utført. Så dersom verdiene skal anvendes for et rom, vil det bli feil for rom som ikke er symmetrisk i alle retninger.

Propagering og størrelse på gassky

15 kubikk gassky i et 100 kubikk rom antennes. Men det vil ikke være riktig heller, for kritikken man kan få, det er at du har en antennelse, men hva skjer da? Da vil jo flammen utvide seg og propagere, og så vil den utvide seg også fordi du vil få høyere temperatur, og så skyver du gasskyen foran deg, så mens flammen propagerer, så vil jo de her 15 kubikkene øke og øke. Det er jo ikke en statisk sky på 15 kubikk som bare eksploderer, den vil jo ekspandere mens flammen propagerer. Så man kan få kritikk på det, men det er bare en måte å regne flere forskjellige metodiske måter i henhold til NFPA 68 på, ved å gjøre noen modifikasjoner, og så kanskje man får et spennende resultat der som kan si noe om usikkerheten.

Propagering og turbulens

Det er så vesentlig at når en flamme propagerer forbi et hinder, typisk på en plattform, og du har masse rør og tanker og ventiler, når en flamme propagerer så blir det turbulens som blir generert, da øker flammehastigheten og trykkøkningen eskalerer mye hurtigere.

Tanker om hierarki av ulike metoder for beregning

Om du ser på et hierarki av type modeller, eller metodikk, så kan man si at aller lavest nede, så kan man lene seg på erfaring og kvalitative vurderinger. Så har du kanskje noen nøkkeltall/tommelfingerregler, og så kommer man opp på empiri, at du gjør noen forsøk og curve-fittings til eksperimentelle data, iblandet litt med fysikk av og til. Og så kommer man gjerne opp på... Jeg liker ikke analytiske metoder, for det eksisterer nesten ikke i den praktiske verden. Men la oss kalle det hele numeriske modeller, for det er jo approksimasjoner, som ofte har begrensninger, kanskje til en en-dimensional modell. Og når du er på det nivået der, da er det sånn at det er anvendelig, men da må du begynne å programmere, og hvem som helst er ikke i stand til å gjøre det. Helt på toppen, da har du CFD, og da løser det jo i all hovedsak strømmingene i 3D, basert på konserveringsligningen, massemomentumenergi i hvert fall, og gasskonsentrasjoner, som er et minimum, i tillegg til en hel del sub-modeller.

Energi for å spalte oljen

Men det jeg stusser litt på og tenker det kan være litt usikkerhet rundt, det er at det koster energi å gå fra en fysisk tilstand til en annen – fra væske til gass. Hvis man har en gitt lysbueenergi, og det går fra oljevæske til oljegass. Vil det stjele energi? Det er jo olje, altså tunge hydrokarboner til lettere hydrokarboner.

Ta høyde for gassblanding

Når det kommer til gasskyen, tas det indirekte høyde for at du har støkiometrisk blanding. Det vil si at du tar utgangspunkt i makstrykket, og du tar utgangspunkt i maksimal flammehastighet. Det vil jo variere med konsentrasjon. Så man kan si at den er forenkla ved at det er støkkiemetrisk blanding, men også at hele rommet er fullt.

Kan man gjøre forutsetninger før man tar i bruk NFPA 68 (frihåndsarbeid)

Ja, men da stilles det høyere krav ved dokumentasjon, kildehenvisning til forskning osv, og bygge generell troverdighet.

Og da vil jeg gå ned til verks selv, og se om jeg kanskje kan modifisere litt selv, kanskje ikke følge NFPA68 100%, kanskje følge den 40%, og så finner jeg noen forskningsartikler og gjør noen modifikasjoner, som jeg er sikker på er korrekt, og som ikke er for mye hjemmesneka til at det møter mye kritikk av alle som skal lese det. Men at det har litt forankring i litteratur og henvisning.

Realistisk risiko

Man dimensjonerer etter verste tilfelle. Men man må jo sette grenser et sted. Og man må akseptere en viss form for risiko, men den grensen er veldig høy. Det er egentlig bare fantasien på worst case som begrenser hva du dimensjonerer etter.

Ekspertuttale på at hele rommet ikke fyller seg før det eksploderer?

Hvis noen uttaler seg om det, er det veldig viktig å undersøke hvem som sier det. Det blir fort tverrfaglig og krever kunnskap fra flere felt for å kunne uttale seg trygt om. Men her vil det også være viktig å dokumentere godt og utføre egen research dersom en skal bruke det til beregning og rapport. Kanskje det antas en lysbueenergi som legges til grunn og en argumenterer for en maks gassmengde som kan produseres ut fra den. Men alt vil avhenge av hvem som uttaler seg om det og om en kan sikre seg kredibilitet ved å bruke det.

4.1.3 Intervjuobjekt 3

Kan du si litt kort om deg selv og din erfaring med transformatorer.

Jeg har bakgrunn fra prosessikkerhet på Universitetet i Bergen. Det er ca 20 år siden jeg begynte i Gexcon og har vært noe innom andre selskaper. Og har vært involvert i trafoprosjekter fra 2004. Gexcon var involvert i SEBK prosjektet på begynnelsen av 2000-tallet. Så siden da har vi hatt en del aktivitet rundt transformatorer. I de første årene hadde vi 4-5 prosjekter. Og så har vi til og fra hatt 2-4 prosjekter årlig siden da. Jeg har da vært involvert i veldig mange av disse studiene.

Når dere jobber med transformatorulykker, er det da hovedsakelig sekundære eksplosjoner, eller er det også andre mulige ulykker som måtte oppstå?

Det ene er lysbuer i luft. Det er bare en håndfull prosjekt vi har vært inne og gjort det. Det har typisk vært lysbuer i luft bak en skjerm, og mer personell og skadepotensialer.

Også når det kommer til disse sekundære eksplosjonene, så er det egentlig to typer ting vi gjør. Det ene er at vi gjør det litt mer omfattende, litt større analysene. Da typisk av kraftstasjoner. Dette blir mer en risikoanalyse. I en risikoanalyse ser vi både på konsekvensene av sannsynlighet, som små eksplosjoner eller store eksplosjoner, så du prøver å summere og akkumulere hva dette betyr i risiko. For så å gjøre noen overslag om forventet tap av liv, gitt hvor mye folk er inne i anlegget og hvilke områder som blir påvirket. Da modellerer vi gjerne kraftstasjon, og så kjører vi rundt 30-40 simuleringer. Målet er å kunne si noe om risikoen.

Den beregningen vi kan foreta er når det kommer til risikoanalyse knyttet til nybygg. Dette kan være vanskelig hvis byggfolkene kommer med endringer underveis. Dette gjør at alle beregninger må gjøres om igjen. I en sånn design-situasjon ønsker du derfor å gjøre det enklere. Det beste er å ha en dimensjonerende hensikt. Du har et bygg, du kan kjøre en simulering eller en beregning på det, og så konstaterer du at det er av trygg kvalitet, deretter gjør noen endringer, for så å kjøre det om igjen flere ganger. Dette gjelder ofte traforom, gjerne også i trafostasjoner som står ute.

Har dere foretatt noen mer avanserte analyser av sekundære eksplosjoner?

Ja, vi har vel sikkert gjort det for de fleste kraftselskapene. Ofte er det kraftselskapene som kommer med prosjekter. Dette er fordi de ofte er mer avanserte ettersom de typisk befinner seg ned i bakken. Når du da har en eksplosjon, så har ikke den energien noe sted å gjøre av seg, så du får trykkbølger i korridorer og tunneler som kan gå ganske langt. Da har du også mye større geometri å forholde deg

til. For eksempel si at du får trykk som går ut i en korridor, da forplanter den seg bortover, til den kommer til enden av gangen, så må det reflektere tilbake. Dette vil kunne resultere i høyt trykk i andre deler av anlegget.

SEBK basert beregningsmetode

SEBK prosjektet tar for seg denne risikoanalyse-delen. Den foretar seg ulike feil som en en-pole, to-pole feil, feil på høyspent- og lavspent-side, for så å utvikle en matrise som er basert på lysbueenergi. Vanligvis så benyttes det intervaller på 1, 2, 4 eller 8. Når du spalter gassen, gjennom pyrolyse, så danner du gass, som består av en dekomponering av store oljemolekylene til hydrogen, acetylen, som er veldig reaktive gasser. Men i tillegg kan du også få en god del oljetåke, oljesprut, dette er jo da dråper som kan holde seg i luften ganske lenge. Den spalta gassen, hydrogen og acetylen er en gass som brenner veldig, veldig raskt, mens oljen er derimot veldig tung, og nesten ikke brennbare, og har derfor høyt flammepunkt. Man kan se for seg at på ene ekstremen har du bare den spalta gassen, og derfor har en sky som er veldig reaktiv og brenner veldig fort. I andre enden har du fått masse oljetåke, og da får du en stor sky, men som brenner veldig langsomt. Hvis du da er inne i et helt lukket rom, så spiller det ikke stor rolle om den brenner fort eller langsomt, det kan brenne så langsomt det vil. Hvis all denne gassen brenner, så blir den veldig varm, og da utvider den seg, så får du et trykk. I teorien er det sånn at når man er inne i et lukket rom, så vil du alltid få et høyt trykk når du antar at du har veldig mye olje. Mens hvis du har åpninger så utvider gassen seg, og strømme ut. Så hvis du har åpninger, og det brenner langsomt, da er det tid til at oljen kan strømme ut før den antennes. Brenner det veldig fort, så er det mye mindre tid. Rene hydrogeneksplosjoner, hovedsakelig i andre sammenhenger enn det vi snakker om nå, så kan det brenne så fort at det nesten ikke er hjelp med avlastningsluker. Fra disse eksperimentene i SEBK-prosjektet, kom det frem at du fikk høyest trykk når du hadde fire deler oljetåke. Men dette vil også være avhengig av romgeometrien og turbulens.

Hvis man har et lukket volum i tillegg til en gassky. Når den brenner så kan du regne på at den utvider seg 8 ganger ca, det gjelder nesten uansett hva slags gass det er snakk om, og kommer an på mengden oksygen, som brenner, sånn at du får en gitt volumekspansjon. Dette kan man regne adiabatisk og ganske greit regne hvilket trykk du får dersom det er helt lukket. Med en åpning kan du da ved hjelp av strømningsligninger regne hvor fort det går ut. Her vil det bli noe vanskelig å beregne strømningsmotstand på luka, men heller sette luka til å gi etter når trykket blir høyt nok eller bare simplifisert og regnet det som en åpning.

Men du kan jo gjøre det enkelt adiabatisk, i tillegg til at det er 8 ganger mer energi i oljedampen. Du får for eksempel 10 kubikkmeter gass. Det utvider seg 8 ganger, og så i forhold til rommet på 2.000 kubikkmeter, så blir det veldig lite. Så det er klart med trange transformatorrom, du ser det gjerne på gamle stasjoner, så får du plutselig veldig høye trykk, og da kan du være oppe i 1 bar, eller noe sånt.

Case

Her ble det veldig lave trykk, for det er jo et veldig stort transformatorrom. Dette er basert på hva slags spenningsnivå du har, og så lysbuespenningen. Det vi har oppfattet er jo at det er ganske mye konservatisme også legger man til litt konservatisme på hvert steg da. Dette er fordi at det er en veldig ukontrollerbar hendelse, det er også litt idealisert i disse eksplosjonsberegningene. I virkeligheten så spruter olje samtidig som det brenner. Også er det sånn at du har noen steder der det er passe blanding med luft og andre steder hvor du har for lite blanding med luft. I tillegg så er det dråper som spruter, og får turbulens. Selv om vi kjører simuleringer med en flacs modell, så er det også nokså idealisert.

Lysbue

Lysbuespenningen kommer fra gitt spenningsnivå, i tillegg til at du har et krav om avstand mellom ledende komponenter inni transformatoren. Det er derfor mulig å gå inn å se på spenningsnivået, for så å finne forventet avstand mellom disse lederne. Energien fra lysbuen er nemlig basert på lengden. Vi pleier så å ta utgangspunkt i volt per millimeter. En feilkilde kan være at lysbuen beveger seg mye. Og sikkert kanskje enda mer i olje, ettersom det går fra olje til gass, og det er en voldsom volumekspansjon. Det kan dytte en sånn lysbue ganske mye i denne tilfellet. Våre eksperimentelle data har denne effekten inkludert. Men hvis du for eksempel bruker en antagelse om at det er to volt per millimeter, så legger du kanskje til 50%. Men det som egentlig er viktig er ikke nødvendigvis lysbueenergien, men hvor mye energien som går over i oljen.

Avkoblingstid

Det ligger jo typisk i et intervall hvor jeg tror det har vært opptil 200 millisekunder, men det er typisk mellom 80 og 200. Dette kommer litt an på hvor konservativ du vil være. I disse kraftstasjonene så er det alltid en generator. Og en del av de eldre anleggene har de ikke bryter mellom generatoren og transformatoren, så da kan det være oppe på 1,5 sekunder. Dette er da tiden det tar å avmagnetisere transformatoren.

Arealpåvirkning

Det er klart når du har lite rom og masse lysbueenergi så får du høye trykk, og når rommet øker så blir trykket lavere, men når rommet blir stort nok så faller trykkene ned på samme nivå for alle caser. Når rommet er lite og det er lite avlastningsåpninger, så er det romvolum og energi som styrer, og så etter hvert, når rommet blir veldig stort, så er det egentlig strømning, blant annet ut av rommet, som styrer. Høyre trykkfører til raskere utstrømning. Når rommet blir stort, får du et relativt lite trykk, og så blir da også kraften som flytter ting ut av rommet svakere, så strømmingen blir mindre.

NFPA68

Hvis du som RIB ikke kunne sagt noen ting om de elektriske feilstørrelsene, så kunne du få til en slags logikk, som et designkrav, at du tenke på at det er en tredjedel av rommet fyller seg. I tillegg ønsker du å virkelig være konservativt, så bør det være sånn. Det vil nok resultere i at vi vil komme til en mindre avlastningssåpning enn NFPA 68. Nå er jeg litt usikker på hvordan NFPA68 håndterer denne forbrenningshastigheten, men den betyr ganske mye. Hydrogen brenner med ca. 3 m/s mens disse oljetåkene brenner med 40-50 centimeter/s hvis det er karbondioksid, og kanskje enda langsommere hvis det er enda større molekyler. Og når du får det her med turbulenseffekt, så vil det føre til at det blir veldig stort spenn på en ren hydrogensky kontra en som har mye oljetåke i seg. På hvor raskt den brenner. NFPA 68 prøver å ta høyde for en del parametere med romvolum og alt sånt, så i en sånn enkel situasjon, hvor du har volum og en trykkavlastningsåpning, så er det ikke så veldig mange parametere. Da vil en empirisk modell kunne være ok, men en empirisk modell vil sjelden klare å ta noe høyde for geometrieffekt. Ja, altså jeg vil jo tenkt det fort kan bli veldig feil, hvis du har veldig store transformatorrom.

Risiko

Risikovurdering er også en viktig del. Hvor man må kartlegge hvor ofte de ulike ulykkesforløpene kan oppstå. Noe vi har gjort da er å sette opp disse ulike feilscenariene, med ulik kortslutningsenergi og sannsynlighet, for så å regne på disse skyene, og så kjøre simuleringer. Man har også en generell antagelse, om hvor ofte sånne hendelser skjer. Man ender da opp med en matrise på skystørrelse og sannsynlighet. Deretter fra beregningene og simuleringene kan man si noe om hva trykket blir. Derifra kan det lages eksidenskurver, eller trykksannsynlighetskurver. I enkelte bransjer som offshore stilles det krav til hvilke sannsynligheter som stilles som krav. Risikoanalyser i tilknytning trafosjakter

vil derfor være mindre kompliserte ettersom ulykken kun vil påvirke inne i anlegget, eller innenfor eierens anlegg. Folkene i kraftselskapene sier ofte at det skal benyttes en dimensjonerende hendelse som skjer en gang hvert 10 000 år, noe som kan oppleves veldig abstrakt. Men hvis du da tenker på en stor aktør, for eksempel Statkraft, som kanskje har 100 transformatorer, med et dimensjoneringskrav som går på 10^{-4} , så betyr det egentlig at de vil ha en stor eksplosjon hvert 100 år. Det er heller ikke helt ideelt å vite hva slags trykk du har til en eksplosjon etter at den er ferdig. I forhold til andre type ingeniørberegninger, så er det klart at usikkerheten her er ganske stor. Men for kraftstasjoner, så kan det kompenseres med litt mer armering og litt tykkere betong.

Gassky: Spalting

Lysbueenergien produserer spaltegass, så mengden spaltegass, den er fast hele veien. I tillegg så har du oljetåke. Det finnes eksperimentell data på dette med 73% hydrogen og 21% acetylen, det er det vi bruker som standard. Eldre kilder vil kunne ha andre verdier. Det kommer også litt an på oljen. Silikonoljer eller esteroljer eller sånn, de er oljer som produsentene sier skal brenne dårligere, og de brenner nok helt sikkert dårligere. Ved en pyrolyser, for eksempel grunnet en lysbro, da får du noen tusen grader. Deler av oljen vil da gå over til plasma og rekombinerer seg til gass, i tillegg er det knusing av de molekylene, så vi har ikke egentlig skilt så mye på det. Vi antar i utgangspunktet, i alle analysene våre, at når den transformatoroljen spalter, så får du en fast sammensetning på den gassen. Hvis vi får spesifisert en olje i tillegg til hvor mye hydrogen som spaltes så er det mulig å heller basere beregningene på det, men fordelene av å benytte den samme tommelstokken, så kan du lettere gjøre vurderinger og sammenlikninger med andre resultater. Derfor har vi ønsket å holde en konsistent metodikk, for da blir det mer meningsfullt å sammenligne. Hvis disse analysene var gjort med helt forskjellig metodikk, eller forskjellige antagelser, så vil du egentlig ikke kunne sammenligne dem.

Volum

Når det kommer til volumet fra gassutviklingen i en blanding mellom hydrogen med luft, får man omtrent åtte ganger volumekspansjon, og hvis du har hydrokarboner så har du kanskje åtte, ni. Det er ganske likt for nesten alle, og grunnen til det, er at det er mengden oksygen som reagerer, og energien som gis ut er ganske lik, sånn at det er varmen som gjør at det øker i volum. Men det er bare en ren volumøkning-betraktning. Skulle du regne presis på det, så må du regne antall mol før og etter reaksjonen din, og så må du regne på energien som frigjøres, og så må du regne på varmekapasiteten på den gassen der. Sannsynligvis få man da ganske likt tal for de ulike.

Kostnad

Det er sånn at man fort kan komme i en situasjon hvor det koster mer å ha folk til å sitte å regne på det, enn å bare dimensjonere litt opp. For en full metodikk koster det deg sikkert et sted mellom 50-100 000 kroner ekstra. Hvor mye betongarmering får du for det, ikke sant? Bruker du de pengene på armering og betong, så er du jo sikker på at du er trygg på et vis. Men hvis du prøver å gjøre en veldig nøyaktig beregning, så er du avhengig av at han som beregner gjorde det riktig. Når du gjør den større analysen, er det kanskje tre gangeren i forhold til når vi gjør de enklere.

Tid

Hvis det er et enkelt traforom så er det kanskje en ukes arbeid vi regner. Når vi gjør disse litt enklere analysene, så sier vi gjerne at hvis vi hadde fått all inputen på en gang, og hatt møte på mandag, og ikke har noe andre prosjekter, så kunne vi hatt det klart på fredag. Det er ikke mer enn en ukes arbeid, så det blir når det er på en måte de litt enklere rommene. Når vi gjør disse litt større anleggene, så er det klart det blir litt mer tid. Altså, simuleringene er stort sett veldig kjappe. I prinsippet så hadde noen klart å gjøre en sånn litt større analyse på to uker, i hvert fall tre uker. I praksis så regner vi ofte fire, det er litt grunnet kommunikasjon. Du sender noen spørsmål til kunden og så venter du på at hva han har å si, og så sitter du og gjør andre ting ved siden av.

CFD: Flacs

Når det kommer til parametere, er programmet flacs egentlig bare avhengig av lysbueenergien og størrelsen på traforommet. Vi har et prosjekt hvor vi ser litt på dette, sammenhengen mellom lysbueenergi, volum og avlastningsåpninger og kjører simuleringer i flacs. Da tar det deg rundt en time å kjøre en simulering, i tillegg til at det tar en halvtime å sette opp modellen hvis du har alle dataene dine. Det flacs gjør er å ta et traforom, og så deler du det inn i mange mange små celler. Trolig noen hundre tusen kanskje, og så i hver av disse cellene så regner du masse konserveringsligning, sånn at hvis det brenner gass inn i en ligning da, så må den energien gå til nabocellene, så da får du blant annet strømning og varme. Her er turbulensen veldig avgjørende, så hvis du modellerer disse tingene, så er det i prinsippet en analytisk modell. Da skulle du kunne klare å predikere noe også utenfor der du har eksperimentelle data.

Dynamisk

Etter å ha gjort noen strukturberegninger på trafostasjoner, typisk dynamiske modeller, tror jeg det kom frem at varigheten ofte er lang nok til at du kan betrakte det som, statisk last. Med da en trykkpuls på typisk 100 millisekunder som typisk er mye lenger enn egenfrekvensene til elementene.

Turbulens

Offshore, og satt en sky i et åpent område, kontras, da snakker du mye høyere utstyrstetthet, så er det natt og dag, som går fra 0,1 til 3 bar, på grunn av turbulenseffekt. Fordi laminær forbrenningshastighet er jo typisk i størrelse av 0,5 meter eller 2-3 meter. Mens når det kommer til turbulent forbrenning, så snakker du jo mange hundre meter i sekundet. På turbulensen så brenner det raskere. Da flytter du enda mer og det blir raskere og raskere, så det går eksponentielt. Altså, som sagt, hvis det er helt innelukket, så spiller det ingen rolle hvor raskt du brenner, men i de fleste tilfeller så er det trykkavlastningsåpning, og da er det på en måte avgjørende hvor raskt det brenner. For eksempel når du har mye hydrogen, så kan det gå så raskt opp til at du kommer til det punktet der du vil få en detonasjon.

Mulig med praktisk tilnærming eller standardisering?

Dilemma er på en måte at du lager gjerne en sånn metodikk basert på at du har et rom som er firkantet, eller liknende, og så kommer du plutselig til situasjoner hvor det ikke er det, eller trykkavlastningsåpningen er oppe i et hjørne. Men for en sånn enkel romberegning så er det nok helt greit. Når det er snakk om for eksempel trykkbølgeforplantning mot korridorer. Da tror jeg egentlig ikke du har noen sjanse med noen sånne enkle løsninger. Også er det sånn at du må i stor nok grad klare å demonstrere at det er riktig. Du må overbevise brukeren, at vi stoler på det.

4.1.4 Intervjuobjekt 4

Jobbtittel og tidligere erfaringer knyttet til eksplosjon

Jeg jobber i Multiconsult. Jeg har jobbet i prosjekt hvor vi har prosjektert trafobygg og har noe spesifikk relevant bakgrunn fra utdanningen på NTNU.

Kjennskap til NFPA68 og erfaringer fra tidligere prosjekter

Jeg har ganske lite erfaring med NFPA 68, så jeg ble jo egentlig kjent med den standarden når jeg begynte i det prosjektet som jeg jobber i nå, som har store trafosjakter.

Vårt mest utsatte rom var et rom med en transformator som skulle tilføre bygget med strøm. Fra NFPA 68 så regner vi ut ifra ventilasjonsarealet, og volumet av rommet. Og det er i hovedsak de to

inputsparameterne du trenger. Dette er veldig dårlig for en innbygd trafo. I vårt tilfelle endte det med at vi måtte ha hele fronten bestående av rister som kan slå ut under en eksplosjon for å kunne redusere lasten til hva som vil være realistisk for bygget. Vi fikk utfordringer med de resultatene av eksplosjonsberegningene, fordi det ble så store eksplosjonslaster ut av det. Det følte overdrevet konservativt å bruke.

Vi var i kontakt med andre firmaer for å gjøre mer detaljert beregning, av mer ikkelinert element type beregning. Da fikk vi vite at hvis man gjør det, så får man veldig ofte mye lavere eksplosjonslaster, reelle laster. Her liknet det en situasjon der man nærmest fyller hele trafosjakten med hydrogengass, og så tenner du på fyrstikken. I vårt tilfelle er jo helt utenkelig, blant annet med en sjakt som også har åpent tak.

I konstruksjonen er det veldig stor plass rundt transformatoren. Det er nesten tre meter på hver side. I tillegg til at det er veldig høyt her. Det er nesten fem meter under taket. Så det gjør jo at i denne beregningen her blir volumet veldig stort. Så hvis man hadde kunnet senke ned høyden, så vil du få en Av0 som er mye mindre.

Romvolumet kan derfor være noe å tenke på under designet. Her ble rommet bare designet for å være praktisk med dekket slik at taket her er på samme nivå hele veien. Slik ble romstørrelsen bestemt veldig tidlig. I tillegg måtte det være god klaring til alle sider, i tilfelle Hitachi kommer med en kjempesvær transformator, og da kan vi ikke gjøre endringer i designet vårt å sent. Det er lettere å bare putte inn en liten transformator i et stort rom. Men det igjen får konsekvenser for eksplosjonslasten.

Fra verste ulykkesscenario må vi da regne med 33 kN per kvadrat her, i en eksplosjonslast, uten lastfaktor grunnet ulykke. Og det medfører blant annet en god del mer armering i veggene. Hvis du regner på et Statnett-prosjekt, som ikke har noen krav om å bruke NFPA standarden, så regner du med en eksplosjonslast på 4 kN per kvadrat.

Det er egentlig opp til prosjektet, om man ønsker, eller om man blir påkrevd å bruke NFPA68 standarden. Det er ikke en standard som ligger under plan- og bygningsloven, eller som vi er forpliktet til, med mindre vi mener det er mer riktig å gjøre. Så Statnett bruker 4kN/m², og så her regner vi med NFPA68, og da fikk vi rundt 7,5 kN per kvadrat, som jo er mer, men det er ikke avskrekkende mye. Så på disse sjaktene kunne man sikkert spart noe, men kanskje ikke for mye, ettersom de må være ganske robuste uansett.

Men hvis man virkelig trenger å spare med tanke på materialforbruk og miljø og sånne ting, så er det mulig å få ned veggtykkelser og armeringsmengder. Det kan godt argumenteres for at disse veggene her kunne ha vært både 300mm og 250mm, kanskje til og med. Hvis man hadde fått lav nok eksplosjonslast.

Valg av beregningsmetode

For vår case var vi også i kontakt med en annet firma for beregningene. De skulle de ha rundt 100 000 for å regne på de to mest kritisk sjaktene og kunden vår ønsket derfor ikke å gjøre det. En konsulent vi har vært i kontakt med er Gexcon.

Slik tilbudet ble lagt frem var at de kan gjøre noen enkle beregninger, og så komme med et foreløpig svar. Vi kan så takke ja til dette hvis vi vil at det skal ferdigstilles, for at de så bruker f.eks. 40 ekstra timer til på det. Eller så kan vi si nei, vi ser at vi tjener ikke noe på det. Så i vårt tilfelle var det kanskje

litt sånn. Det var et kostnadsspørsmål. Med tanke på hvor høye laster vi fikk med NFPA68 tror jeg at de hadde definitivt spart penger på å gjøre denne analysen.

Utfordringer ved prosjektering

Du har denne P_{red} , det er den lasten som konstruksjonen må stå imot, men ettersom dette er en dynamisk last så skulle man gange den med en sånn DLF. Så vi valgte et avlastningsareal og fikk ut P_{red} . For vårt tilfelle ble det 22 kN pr. kvadrat som så må ganges med en DLF på 1,5 og vi endre opp med 33. Måten jeg gikk frem var ved at jeg gikk inn i geometrien på bygget, hvilket avlastningsareal er det jeg har til rådighet, og da måtte jeg ta arealene og trekke fra disse fastfeltene til feste av lukene, sånn at jeg ser hva er det vi har mulighet til å gjøre her. Vi har mulighet til å oppnå et Av0 på 27. Ved å bruke 27m² da får jeg P_{red} på 22 og da må jeg klare 33 kN pr. kvadrat etter å gange inn DLF. Og så hadde jeg en FEMdesign-modell som beregna betongen, for så å se at betongen klarer det. En fordel her er det at dekket over er det som var det mest sårbart. Men dekket er relativt tungt, så det reduserer eksplosjonslasten som presser oppover. Derfor var ikke 33 kN pr. kvd. så voldsomt for den betongkonstruksjonen.

Vi gikk derfor andre veien rundt. Så hva slags ventilasjonsareal har vi, hvilken last får vi da, og klarer vi den? Hvis vi ikke hadde klart den, måtte vi kanskje tenkt annerledes og brukt taket, for så prosjektere noe avlastning der.

På en av de andre konstruksjonene gjør vi noe av det samme, men bruker taket som avlastningsareal. For så å få en P_{red} som igjen må ganges med DLF for dimensjonerende last og får her 6,5.

Utgangspunkt i tilgjengelig avlastningsareal eller nødvendig avlastningsareal

Når jeg kom inn i prosjektet følte jeg at dette ikke var helt gjennomtenkt. Da var det satt inn to små luker, nede på hver side av døra, som tilfredsstilte ventilasjonsbehovet til transformatoren. Og så var det laget en beregning, som viste at det rommet måtte ha en eksplosjonslast på 450 kN per kvadrat. Men det sier seg selv at en klarer ikke å lage en betongkonstruksjon som tar det. Svaret er vel egentlig at ventilasjonsarealet er langt mindre enn det arealet vi trenger for å tilfredsstille eksplosjonslasten. Iallfall i dette prosjektet.

Parametere tilgjengelig tidlig i prosjektet

Akkurat i det prosjektet vi har hold på med nå har det vært veldig viktig at man får bygget ferdig i tide. Så vi hadde ikke tid til å vente på alle informasjonen. Vi måtte bare bygge noe, og fortløpende justere designet, og da må man ha litt slakk, så det har blitt litt store dimensjoner på ting.

Hvordan er det å revurdere designet i etterkant?

Vi spurte kunden når vi fikk transformatoren og så at den var veldig liten. Skal vi revurdere designet? Men da fikk vi beskjed om at det prioriterer vi ikke. For det blir jo større prosjekteringskostnader, men jeg tror nok de hadde spart på det. Men det fører til mye følgefeil for andre detaljer. Designet er ofte låst ettersom det er mange andre fag til stede. Noe som gjør at det er vanskelig å endre ting i sånne store prosjekter.

Det faktumet at vi ikke har tilstrekkelig med informasjon om transformatoren tidlig nok i prosjektet gjør det også vanskeligere for eksterne konsulenter ettersom vi ikke satt på all informasjonen de opprinnelig trengte. Men de kunne kompensere med noen konservative antagelser.

Ulykkesområde

Ja det var med i vurderingen. Her er det nok dørene som er de svakeste punktene. De må kunne motstå den eksplosjonslasten. Men vi kan heller ikke risikere at alle disse panelene smeller av hengslene fordi det går en vei på utsiden og det kan muligens være folk her. De må riktignok kunne slå ut så hvis du står rett på utsiden vil du kunne ta skade. Men de er hengslet på oversiden, sånn at de slår ut. Og da vil de, i teorien hvertfall, bare slå ut og slenge tilbake.

Bytte av transformator

Det for noen prosjekter lagt opp til et kjapt utbytte av transformator dersom det skulle oppstå en ulykke. Ved et slikt prosjekt blir det plassert tykke brannelementplater på innsiden av trafosjakten som enkelt kan byttes ut og vil beskytte betongveggene. På gulvet i trafosjakten er det montert skinner slik at en ødelagt trafo enkelt kan ruller ut av trafoen og erstattes med en ny. Litt enklere reparasjoner på trafosjakten må forventes, men i lite omfang. Her er det lagt opp til at en skal kunne ha en transformator i reserve, som enkelt kan erstatte den ødelagte transformatoren dersom det skulle inntreffe en ulykke

4.1.5 Intervjuobjekt 5

Erfaring

Jeg har jobbet med dette i veldig mange år. Jeg har veldig mye underlag, dokumentasjon på disse tingene jeg uttaler meg om. Jeg har jobbet med mange kraftanlegg i Norge. Jeg har vært på 120 kraftanlegg og gjort mye risikoanalyser og sånne ting og har ledet SEBK-prosjektet.

Beregninger for ulykkesforløpet

Gexcon er veldig dyktige og er vel de eneste som kan dette med sekundære eksplosjoner, bortsett fra Norsk Hydro som har mye kompetanse der. Det er ganske kostbart det programmet som man benytter for å beregne disse trykkene. Jeg har engasjert Gexcon eller Hydro når jeg har behov for å komme nærmere et presist trykk. For det er ganske dyrt å sikre seg hvis trykkene blir store. Når det gjelder eksplosjoner, så er det to typer eksplosjoner. Det ene er lysbue-eksplosjoner uten olje. Det er greit å beregne, og finnes sikkert en formler for det. Å vite energien som tilføres lysbuen, hvor lenge den står på, og så videre. Det er enkelt å beregne, og det kan dere fastslå ganske nøyaktig, hvor stort det trykket blir. Verre er det med lysbuer i olje, inne i trafoen. Der er det mye vanskeligere å beregne.

Lysbuen og ulykkesforløp

Mange parametere må med for å beregne lysbueenergi. Hvis du har en transformator som står i drift, så kan det oppstå en feil. Det er ofte en fase mot jord, men det kan også være to faser mot jord. Det er litt forskjellig, men det kan oppstå en feil og en lysbue. Der skjer det ingen eksplosjon inni transformatoren. Det oppstår bare et voldsomt trykk. Og det trykket utvikler seg, der lysbuen står. Lysbueenergien er viktig. Korslutningsenergien som oppstår, den er jo først og fremst avhengig av hvor lang tid lysbuen varer. Det utvikles 0,1 kubikkmeter gass per megajoule lysbueenergi. Det er et ganske konstant tall. Slik at når du finner ut hvilken lysbueenergi som foreligger, så vet du også hvor mye gass som utvikles. Det er gassen som er farlig når transformator-kassen sprenges. Da er det skjedd en alvorlig sak. Da blir det, når den sprenges på grunn av trykket, ikke på grunn av noe annet. Ikke av eksplosjon, ikke av forbrenning. Det er bare trykk som oppstår. Når trykket sprenger transformator-kassen, da sprutes det oljedamp og disse reaktive gassene ut av den transformator-kassen. Hvis transformatoren står i et transformatorrom, så er det slik at gassene blander seg med luften i det rommet. Man får på et eller annet tidspunkt en antennelse. Hvis gassen

er for feit, så blir det ikke antennelse. Hvis den er for lite, så blir det ikke antennelse. Hvis den er innenfor eksplosjonsområdet, får man en veldig stor eksplosjon i transformatorrommet. Det trykket, eksplosjonstrykket, er det vanskelig å beregne hvis du ikke bruker sånne flacsmetoder som Gexcon for eksempel bruker, og Hydro.

Risiko og sannsynlighet

Gexcon lager grafer hvor en kan se trykket med en viss sannsynlighet. Sannsynligheten er vesentlig her. Med en veldig liten sannsynlighet, så blir trykkene større. Men med store sannsynligheter, så blir de mindre. Kraftselskapene har vel sagt, i alle fall i Statkraft og andre kraftselskaper, også i oljeindustrien, for de har jo de samme sakene offshore, så har man sagt at sannsynlig på 10^{-4} , er den man skal legge seg på. Den kurven som jeg har vist dere, der har jeg lagt en sannsynlighet på 10^{-5} . Det er fordi oppdragsgiver der ville ha det sånn. Det anlegget var veldig kritisk.

Sånne hendelser som dette her. Problemet med det her, hvis det er et problem, det er positivt også forstådd. Det er veldig sjeldent at oljedamp sekundærexplosjon inntreffer. NVE har jo sagt at kraftselskapene skal legge frem risikoanalyser hvor det skal tas hensyn til at slike transformatorexplosjoner kan inntreffe. Selv om de er veldig sjeldne, så kan de få veldig store konsekvenser. Det er en mulighet for at kassen kan sprenges, så må man ta høyde for og seksjonere transformatorer. At man har noen eksplosjonssperringer mellom transformatorene. For eksempel i ***** transformatorstasjon så har man gått ut fra at man kan tillate, der er det 11 store krafttransformatorer som står nede i bakken. Man tillater at en eksplosjon inntreffer på en av de transformatorene, uten at det skal innvirke på de andre 10 transformatorene slik at stasjonen skal fortsette å levere kraft. Det er mange nye stasjoner som sier at hvis det er to transformatorstasjoner, så må man tillate at en går i filler og den andre fortsetter å levere kraft. Dette er nye krav som man stiller til slike ting.

Konsekvens og forsikring

Sannsynligheten må alltid medregnes, og man må bli enig med seg selv og andre - hvilken sannsynlighet man legger til grunn. Og hvis man gjør dette korrekt, jeg tenker på forsikringsaker og sånt. Hvis et kraftselskap, for eksempel det skjer noe veldig alvorlig, og det er jo avbrytskostnadene som er vesentlig her. Så hvis du mister et elvekraftverk hvor du er avhengig av hva den produserer til, så kan avbrytskostnadene bli veldig store. Hvis du mister en trafo og du må vente et år på å få levert en ny, hvis det ikke er noen tilgjengelig, så kan kostnadene bli store. Og da kan erstatningen, hvis selskapet ikke har foretatt risikoanalyser, for eksempel av anlegget, så ligger de veldig dårlig an. Og hvis du gjør en risikoanalyse hvor du er nøyaktig og dokumenterer hvorfor du har kommet frem til verdien du har kommet frem til, og er klar på det, så er det lov å gjøre feil. Men da har du i alle fall gjort så godt du kan. Ikke sant?

Beregning av lysbueenergi

Det regner man ut fra mange kriterier. Det er avstander mellom vikling og jord og det er kortslutningsenergi fra primærsiden på trafoen, og sekundærsiden på trafoen som man må se på. Hvis du har et feilsted på den ene eller den andre siden så må man regne ut hvilken energi det blir ut av dette her også med tanke på generatoren. Og når du får da den energien der, så er det en inngangsverdi for Gexcon å beregne.

Faktorer ved beregning av eksplosjonstrykk

Ja, det er en del ting som er veldig viktig. For eksempel turbulensfaktoren. Hvor mye turbulens får dette trykket som oppstår, det er avhengig av størrelsen på transformatorrommet i forhold til transformatorstørrelsen. Hvis det er et veldig stort transformatorrom, så får man et mindre trykk enn hvis det er et trangt rom. Tidligere bygde man jo kraftstasjonene slik at volumene skulle være så små

som mulig. Man måtte ale seg på de transformorkassen rundt i rommet. Dette skaper mye turbulens og høyere trykk. I moderne, i nye transformatorstasjoner er rommene mye større. Man sparer ikke på så mye. Det er jo blitt billigere å sprengte ut også, så man må passe på å få rommene store nok slik at man tåler mer.

Utførelse på gamle kraftstasjoner vs nye kraftstasjoner

Hvis du ser på alle disse gamle kraftverkene, så er det jo ikke tatt hensyn til dette i det hele tatt, at traformommene bør være seksjonert. Der ligger transformatorene inn mot maskinsalen, de ligger i maskinsalen og de ligger i ankomsttunnelen. På nye kraftstasjoner, så lager man egne sjakter for transformatorene. Slik at hvis en transformator smeller, så blir det bare transformatoren som blir skadet. Det er slik at man gjør det når man lager nye stasjoner. Og når man skal utbedre gamle stasjoner, så må man se hvordan det står til. Prøve å legge eksplosjonsbarriere mellom trafoene, slik at ikke maskinsalen ødelegges.

Avlastningsluker

Det har jeg en del erfaring med. Hvis du ikke kan stenge trykket inne, så må man sørge for at trykket kommer ut et eller annet sted. Da kan man helst lage avlastningsåpningen så stor som mulig, for eksempel en hel vegg mot en gang eller korridor ryker ut. Så man må vurdere litt hva som kan skje. Problemet er ofte at du ikke vet hvor transformatoren sprekker. Det er størst sannsynlighet for at det skjer noe i toppen, for der har du de største temperaturene. Det er ofte at det sprenges i øvre del av transformatoren, men det er ikke helt sikkert. Det kan være hvor som helst egentlig på trafoen. Så man må regne med at det kan skje hvor som helst, og ta det mest ugunstigste stedet hvor det inntreffer, og regne ut ifra det.

Kostnad CFD

Pris er grunnen til at mange ikke benytter det. For det koster 150 000, og det tar ikke folk seg råd til.

Effektbryter og generatorbryter

Det som er helt vesentlig, er bidraget fra generatoren. Det var en tid, i veldig gamle anlegg, så begynte de å inkludere en generatorbryter. Og så var det noen som fant på, at de skulle spare den kostnaden. Og så var det en periode, 50-60 år, hvor man hadde anlegg der man sparte generatorbryteren. Men da har man det problemet med energien. Når det gjelder effektbryteren som ligger på sekundærsiden av trafoen, den slår ut på nye anlegg, kanskje på 60-80 millisekunder. Og det reduserer jo energien vesentlig. Men hvis du har en generatorbryter også, som slår ut på samme tidspunkt, så er jo lengden på energien under 100 millisekunder, og det er jo veldig gunstig. Men der hvor du har en generator, som ikke har generatorbryter, så ligger jo generatoren og mater inn, i alle fall et sekund, og det øker jo energien vesentlig. Så det er jo også noe, nå lager man jo aldri kraftstasjoner lenger uten generatorbryter. Man har jo innsett at det var en feilvurdering. Ja, typisk verdi er 60-80 millisekunder på nye effektbrytere.

Vil utkoblingsmekanisme koble ut

Når det kommer til disse bryterne, så har du også en usikkerhet inni bilde. Vil bryteren koble ut? Med hvilken sannsynlighet vil bryteren koble ut? Det kan være feil på bryteren også. Og der kommer jo bryter-leverandøren inn med sine statistikker, og hvis han kan garantere at den vil slå ut i 99,95 prosent av tilfellene, så kan man glemme det. Så man må også se litt på det. Hvilken sannsynlighet er det for at bryteren kan feile?

Transformorkasser ikke ryker

Det har vært flere alvorlige hendelser, hvor kassen ikke røyk, men den har bulet ut. Jeg har sett kasser som har sett ut som en fotball. Den bulet ut i alle ender, men veggene har holdt. I Oslo var det

tre-fire transformatorer en gang som greide, effektbryteren slo ut. Heldigvis tidsnok. Like før det hadde skjedd noe. Det viktige er at energien blir stoppet under 100 millisekunder hvis det er en generatorbryter. Dette må man jo vurdere sannsynligheten for. Hvis energien blir for stor og energien varer for lenge, er sannsynligheten større.

4.2 Parametere knyttet til ulykkesforløpet

Det er flere parametere tilknyttet en sekundæreksplasjon. Nedenfor er parameterne som omtales som viktige gjennom intervjuobjektene og fordelt etter om de er varierende variabler eller faste variabler.

4.2.1 Parametere med tilknytning til komplikasjoner og usikkerhet

Det er utfordrende å forutse eksakt hvor stor en eksplosjonslast fra en slik sekundær eksplosjon vil kunne være. I dette delkapittelet legges det frem noen komplikasjoner og usikkerhet rundt viktige parametere for beregning av selve eksplosjonen som har kommet frem gjennom intervjuene.

Oljedamp, gassblanding og gassutvikling

Gassblandingen som dannes fra spalting av oljen er avhengig av blant annet oljetypen. Intervjuobjekt 3 forklarer at gasskomponentene som oljen vil spaltes ned til vil variere i stor grad på energimengden som er til stede, hvor høyere energimengde vil spalte oljen i mindre molekyler helt ned til plasma. Ifølge intervjuobjekt 3 finnes det noen standardiserte verdier fra eksperimentelle data, som de selv bruker. Men selv om oljetypen skal ha betydning for hvilken gassblanding som dannes, forteller intervjuobjektet at de bruker samme standardiserte gassblanding uansett hvilken oljetype som legges til grunn for å lettere kunne sammenligne resultater.

Det vil også forekomme mye oljedamp fra en primæreksplasjon, hvor oljen i transformatoren spruter ut i rommet i form av små dråpepartikler. Intervjuobjekt 3 forklarer at det normalt sett blir benyttet en faktor på 0, 1, 2, 4 eller 8 ganger volumet reaktiv gassblanding for å representere bidraget til oljedampen. For lukkede eksplosjoner uten avlastning vil derfor et konservativt estimat være at all oljen får tid til å forbrenne og det settes derfor en faktor på 8.

Ifølge intervjuobjekt 1 og 5 utvikler det seg ca. 0,1 kubikkmeter gass per megajoule lysbueenergi. Hvor intervjuobjekt 3 kommer med et liknende tall på 0.0993. Slik at når du finner ut hvilken lysbueenergi som foreligger, så vet du også hvor mye gass som utvikles.

Tid før sekundærantennelse

Intervjuobjekt 1 forklarer at hvis transformator-kassen ryker, vil det blåse ut både gasser, olje og muligens forstøvet olje. Det skal veldig lite til for å få en antennelse, enten fra en direkte tennkilde eller ved en selvantennning. Dette blir også bekreftet av intervjuobjekt 2, hvor det blir nevnt at det er veldig stor sannsynlighet for at det vil forekomme en antennelse så fort gassen kommer i kontakt med oksygen. Tidspunktet for antennelse etter at transformator-kassen revner kan ha betydning for utfallet av eksplosjonen ut fra gassblandingen, og dersom rommet har god ventilering.

Variierende lysbueenergi

Mengden olje som blir spaltet til gass inne i transformator-kassen som følge av en lysbue, er avhengig av hvor stor lysbueenergien er. Verdien for kortslutningsstrøm er basert på hvor i transformatoren kortslutningen oppstår og er mulig å beregne ifølge intervjuobjekt 5. Lysbuespenningen er en verdi som er vanskeligere å beregne, spesielt i oljeblandinger. Intervjuobjekt 1 forteller at dette skyldes flere variabler, blant annet hvor svekket oljen sine dielektriske egenskaper er når lysbuen oppstår.

Intervjuobjekt 3 og 5 meddeler at gjennom erfaringsdata har det kommet frem at den mest pålitelige faktoren som påvirker lysbuespenningen og selve energien i lysbuen er lenden på lysbuen. Videre er det derfor funnet noen approksimasjoner i form av grafer eller forholdstall på energi per millimeter, men dette er data som er upresis i tillegg til at lysbuen alltid er i bevegelse og derfor vil variere i avgitt energi. Lysbuen kan bevege seg mye i olje, så det er normalt å legge på en faktor oppå antagelsen om volt per millimeter i lysbuen. Hvis isolasjonsavstanden ikke er oppgitt, vil det også være mulig å finne den basert på original spenning i transformatoren og generelle krav for transformatorer, så å bruke det videre til å finne lysbuespenningen ifølge intervjuobjekt 3. Andre faktorer som vil påvirke lysbueenergien i lysbuen er varigheten på lysbuen basert på utkoblingstid.

Intervjuobjekt 3 forteller også at de trøblet litt rundt betydning av antall lysbuer. Det viktigste er hvor mye energi som går over i oljen. Man kan skille på kortslutningsstrøm og energien som går over til oljen. Hvis man ser på energien som kan gå fra systemet til jord eller leder, da tenker de at det er irrelevant med antall lysbuer. Men hvis man ser direkte på energien som går over til oljen, kan antall lysbuer være av betydning. Om man tar høyde for kort utkoblingstid kan man sette en lysbue som premiss fordi det etter liten sannsynlighet vil rekke å forplante seg flere lysbuer ifølge intervjuobjekt 3.

Varierende utkoblingstid

En viktig faktor for hvor mye lysbueenergi som dannes er varigheten på lysbuen. Transformatorer har utkoblingsmekanismer som skal koble ut transformatoren hvis det oppstår en lysbue inne i transformatorboksen. Intervjuobjekt 3 sier at utkoblingstiden ligger mellom 80-200 millisekunder. Intervjuobjekt 5 sier derimot at den ligger mellom 60-80 millisekunder, hvertfall under 100 millisekunder medregnet generatorbryteren. Men en faktor som må medregnes er om utkoblingsbryteren faktisk vil koble ut, eller om det oppstår en feil med selve bryteren og at transformatoren ikke blir koblet ut.

Intervjuobjekt 5 forteller at en del transformatorer også har en generator som mater inn strøm til transformatoren, selv etter at effektbryteren har koblet ut. Dersom generatoren ikke har en generatorbryter, vil det mates på strøm i rundt et sekund, og det øker energien vesentlig. Intervjuobjekt 3 forteller at det være opp mot 1,5 sekund uten generatorbryter.

Risikoforløp, vektet last med sannsynlighet

Å si noe om risiko for en slik sekundær eksplosjon kan være krevende. Det foretas ofte risikoanalyser hvor det blant annet hensyntas sannsynlighet for hvilke lysbueenergier som kan oppstå og konsekvens av en eventuell eksplosjon. Mer om dette står i kapittel 4.5 om risiko.

Turbulens

Ifølge intervjuobjekt 3 vil turbulens ha stor betydning på konsekvensene av eksplosjonen dersom det er ventilert/trykkavlastningsåpning. I et lukket rom vil forbrenningshastigheten ikke ha noen betydning, men for et ventilert rom vil forbrenningshastigheten ha stor betydning. Ifølge intervjuobjekt 3 kan det ved turbulens på grunn av høy utstyrstetthet gå fra 0.5-3 m/s til mange hundre meter per sekund forbrenningshastighet. I tilfeller som dette kan relativt lave overtrykk som 0.1 bar utvikle seg til 3 bar overtrykk. Turbulens fører til høyere forbrenningshastigheter og kan påvirke utfallet av eksplosjonen i stor grad.

Intervjuobjekt 3 forteller også at ved rene hydrogeneksplosjoner, så kan det brenne så fort at det nesten ikke er hjelp med avlastningsluker ettersom med noe form for turbulens vil forbrenningsreaksjonen gå over i en detonasjon.

4.2.2 Parametere av betydning med mindre usikkerhet

Ifølge intervjuobjektene er det flere viktige parametere når det kommer til å beregne ulykkeslasten ved en sekundær eksplosjon i et transformatorrom. Dette er derimot parametere med mindre usikkerhet, men med like stor betydning.

Romvolum

Ifølge intervjuobjektene har størrelsen på romvolumet stor betydning ved en potensiell eksplosjon i traforommet. Intervjuobjekt 5 forteller at det tidligere ble bygd trafostasjoner så små som mulig, der det var liten plass mellom transformatoren og veggene rundt. Men de fant ut at dette var en dårlig løsning som skapte mye turbulens og høyere trykk, så i dag bygges det store transformatorrom.

Intervjuobjekt 3 forteller at ved mindre romvolum får en høyere trykk, og når romvolumet økes vil trykket bli lavere. Men etter hvert som rommet blir stort nok, faller trykkene ned mot samme nivå for alle caser.

En annen utfordring med transformatorrommet kan være utformingen av det. Intervjuobjekt 5 forteller at en ikke kan vite hvor transformatoren kommer til å sprekke. Utforming av rommet og plassering av trykkavlastningsluker i forhold til plasseringen av transformatoren kan ha betydning for utfallet av sekundær eksplosjonen.

Intervjuobjekt 3 forteller at NFPA68 sjelden vil kunne ta høyde for geometrieffekt, og tror at det kan bli veldig feil på store transformatorrom.

Intervjuobjekt 2 forteller at NFPA68 ikke tar hensyn til romutforming, der et avlangt rom kan ha samme volum som et kubeformet rom. I et avlangt rom vil flammen ha lengre distanse å akselerere. Men NFPA 68 prøver å kompensere dette med at standarden sier at det på den lengste veggen jevnt skal fordeles med avlastningsluker.

Trykkavlastning

Intervjuobjektene forteller at det er vanlig å benytte trykkavlastning i transformatorrom. Uten ventilering og god trykkavlastning kan det være dårlige forutsetninger for å kunne motstå overtrykket som oppstår ved en eksplosjon inne i transformatorrommet.

Intervjuobjekt 3 forteller at forbrenningshastigheten kan ha betydning for virkningsgraden av trykkavlastningsluker og ventilering. Ved høye forbrenningshastigheter kan trykkstigningen være raskere enn hvor raskt avlastningslukene rekker å ventilere ut avlaste det innvendige trykket. En tilleggsfaktor som også kan påvirke, er åpningstiden til avlastningslukene.

Oljedamp vil ha en tregere forbrenningshastighet og derfor fordele trykklasten over lenger tid og øke reaksjonstiden. Dette fører til at oljen vil kunne bli ventilert ut av bygget før all oljen rekker å forbrenne. Fra intervjuobjekt 3 blir det forklart at det finnes erfaringsdata fra fase 2 i SEBK-prosjektet på hvor mye olje som rekker å reagere før den blir ventilert ut og ikke ha mer effekt. Denne erfaringsdataen er basert på oljedampfaktorene på 0 til 8 som blir benyttet. Og for ventilerte rom har det kommet frem fra SEBK at den mest energirik oljedampblandingen er på ca. 4 ganger volumet til gassmengden, men vil også basere seg på mengden ventilasjon og turbulens. Det blir også forklart at for lukkede rom vil ikke reaksjonshastigheten ha noe å si ettersom det ikke er noe form for ventilasjon. All oljen som er til stede, vil kunne ha tid til å reagere og det blir derfor satt et konservativt bidrag fra oljedampen lik 8 ganger volumet til gassblandingen.

4.3 NFPA68-metode

Som nevnt tidligere er NFPA68 en eksplosjonsstandard som kan brukes til veiledning under prosjekteringsfasen eller vedlikehold av bygg. Slik standarden er benyttet blir det i hovedsak tatt hensyn til fylte rom med gass og avlastningsarealet som vil kreves basert på trykket bygget tåler eller trykket som vil utvikles basert på et bestemt avlastningsareal.

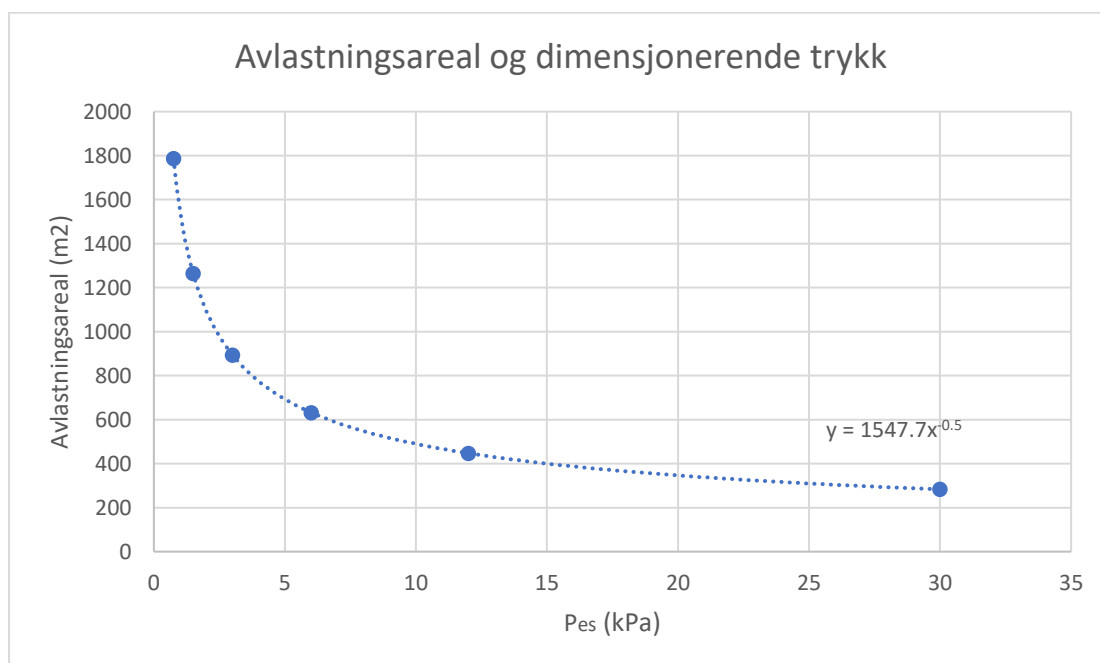
4.3.1 Beregninger

Resultatene er innhentet ved bruk av metoden beskrevet i metodekapittelet og benytter formler hentet fra NFPA68 og er illustrert i teorikapittelet 2.5.1. Den primære formelen 2.6 som er illustrert nedenfor er sentral i beregningene.

$$Av = \frac{As * C}{\sqrt{Pred}}$$

Etter beregning av C ved bruk av formelen 2.7 fra NFPA68 endte den opp med å bli 0.053 bar-g^{1/2}. Denne verdien vil bli brukt i alle scenarioene med mindre noe annet blir påpekt.

Med en verdi på 0.053 bar-g^{1/2} for C og en verdi på innvendig areal A_s hentet fra casen resulterer det et bestemt forhold mellom A_v og P_{red} som illustrert på grafen på figur 14.



FIGUR 14 AVLASTNINGSAREAL OG DIMENSJONERENDE TRYKK

Resultatene fra scenario 1 og 2 er deretter beregnet ved å bruke metoden illustrert i metodekapittelet. Verdiene vil også kunne leses av fra figur 14 og er notert i tabell 12.

TABELL 12 RESULTATER FOR SCENARIO 1 OG 2

Scenario	A _s (m ²)	P _{red} (kPa)	P _{es} (kPa)	Retning Av Beregning	Avlastningsareal A _v (m ²)
1) Realistisk trykk (basert på sikkerhetstrykk)	2396	2.7	4.0	→	774
2) Realistisk avlastningsareal	2396	21.8	32.8	←	270

Fra intervjuobjekt 4 kommer det frem at slik NFPA68 blir brukt for deres prosjekter har den merkbare svakheter. Dette er i form av romvolum og dens påvirkning på dimensjonerende trykk i tillegg til bruk av små eller ingen avlastningsareal. Det er derfor laget ytterligere scenarioer som setter lys på disse svakhetene.

Scenario 3

Scenario 3 baseres på et tilnærmet tett rom. Det settes ikke krav til avlastningsareal for trafobygg og det kan derfor flere ganger være økonomisk gunstig å prosjektere et bygg uten avlastningsareal, så lenge trykket er lavt nok eller bygget er sterkt nok til å stå imot ulykkeslasten. Grunnen til at det ikke er satt avlastningsareal lik 0m² er både fordi transformatoren trenger ventilasjon for å regulere varmen i rommet og denne ventilasjonsluken kan da også brukes som ventilasjon for eksplosjonen, men også fordi fra formel 2.6 er det mulig å se at NFPA68 ikke gjør det mulig å sette som null siden det ikke er mulig å dele på 0 i selve formelen. Det er derfor benyttet 4 m², noe som tilsvarer 1,7 promille av innvendig overflate og kan være et realistisk estimat for nødvendig ventilasjon for varme.

Scenario 4

For å se på hvor avgjørende romgeometri er som en parameter er det tatt utgangspunkt i en last på 8kPa. Dette er et noe ekstremt tilfelle, men intervjuobjekt 4 kan vise til at det er brukt dimensjonerende laster opp mot 8 tidligere. Denne lasten vil benyttes som et utgangspunkt for videre testing av blant annet romvolum. Her blir det også, som tidligere, benyttet A_s til casen.

Scenario 5

Her blir det benyttet det samme lasttilfellet som scenario 4 på 8kPa, men endret volumet i transformatorbygget med 2 meter i alle retninger. Dette betyr at tilgjengelig avlastningsareal også endres. Verdiene for scenarioet er listet i tabell 13.

TABELL 13 INNGANGSVERDIER FOR SCENARIO 5

Nye parameter :	Ny verdi:
L (m)	20 + 2 = 22
H (m)	16.9 + 2 = 18.9
B (m)	23.3 + 2 = 25.3
A _s (m ²)	2 901
Volum (m ³)	10 519.7
Tilgjengelig avlastningsareal (m ²)	L * H * 0.8 = 332.6

Scenario 6

Ettersom transformatorbygget har som hensikt å romme og beskytte selve transformatoren vil det være logisk å dimensjonere bygget for å kun romme selve transformatoren og nok plass til at det skal være mulig å operere den. Som nevnt i intervjuobjekt 5 har dette blant annet vært tilfelle for eldre trafobygg. Dette blir derfor satt som utgangspunkt for scenario 6. Verdiene for scenarioet er listet i tabell 14.

TABELL 14 INNGANGSVERDIER FOR SCENARIO 6

Nye parameter:	Ny verdi:
L (m)	10
H (m)	10
B (m)	10
A _s (m ²)	600
Volum (m ³)	1000
Tilgjengelig avlastningsareal (m ²)	L * H * 0.8 = 80

Scenario 7

Her blir det tatt utgangspunkt i maksimal mulig avlastningsflate. I denne casen er det en hel yttervegg som blir benyttet som avlastningsflate i tillegg til et åpent tak. Det er alt areal som har tilknytning til det fri. Veggene er det teoretisk mulig å bytte ut med en heldekkende avlastningsluke, og taket kan i teorien være åpent, men da må veggene være høye nok til at det ikke skal være mulig å skyte inn på transformatoren grunnet sikkerhet for terrorisme. Maksimal avlastningsflate er vist ved formel 4.1.

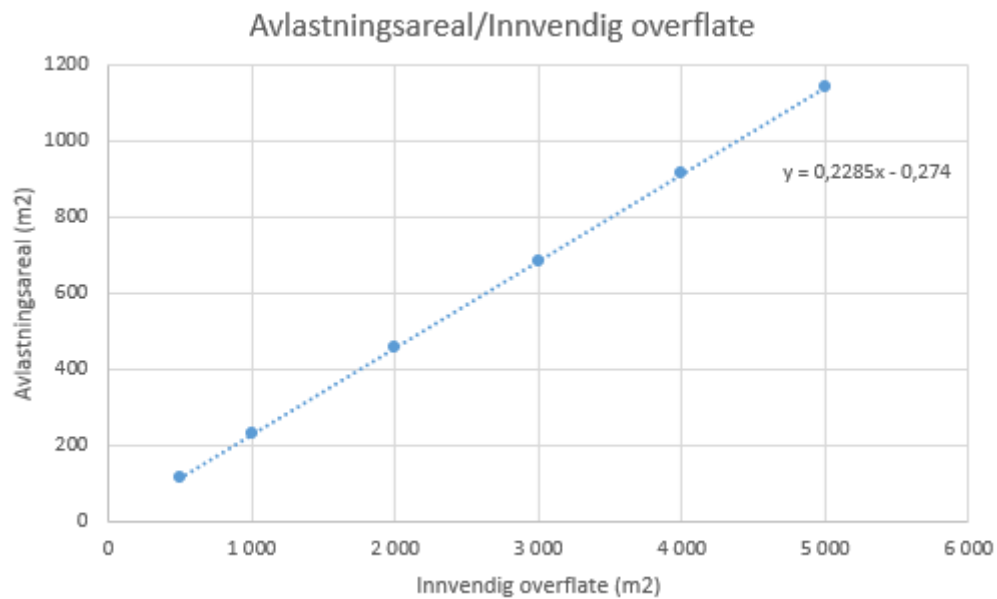
$$A_v = L * B + L * H = 804 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$

I tabell 15 er det illustrert resultatene fra beregningene på scenario 3 til 7.

TABELL 15 RESULTATER FRA SCENARIO 3 - 7

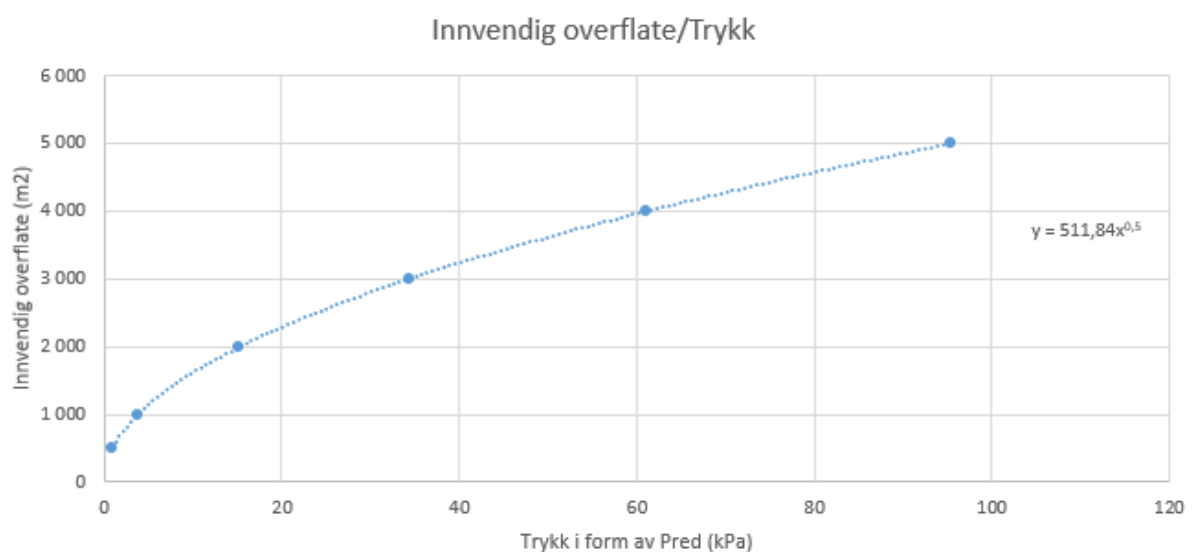
Scenario	A _s (m ²)	P _{red} (kPa)	P _{es} (kPa)	Retning Av beregning	Avlastningsareal, A _v (m ²)
3) Tilnærmet tett rom (2m ² avlastning)	2396	99802.8	149704.2	←	4
4) Konservativt trykk fra tidligere prosjekt	2396	5.33	8.0	→	547
5) Utvidet volum med (L,B,H)+2	2901	5.33	8.0	→	663
6) Redusert volum	600	5.33	8.0	→	137
7) Maksimalt mulig avlastningsflate	2396	2.47	3.7	←	804

Fra beregningene gjort i NFPA68 er det mulig å illustrere forholdet mellom avlastningsareal og innvendig overflate ved et gitt dimensjonerende trykk P_{es} lik 8 kPa. Dette forholdet er illustrert på figur 15. Forholdet vil være linjert og kommer i tillegg fram fra resultatene for scenario 4 -6.



FIGUR 15 AVLASTNINGSAREAL OG INNVENDIG OVERFLATE

Videre er det også mulig å beregne forholdet mellom innvendig overflate og P_{red} ved et satt avlastningsareal på 270 m². Dette er det innvendige arealet som opprinnelig ble satt som mest gunstige avlastningsareal. Merk at hva som vil ansees som gunstige avlastningsareal trolig vil endres med innvendig overflate. Forholdet mellom innvendig overflate og P_{red} er illustrert i figur 16 og vil til en viss grad kunne illustrere forholdet mellom trykk og volum, hvor volum er fremstilt med innvendig overflate.



FIGUR 16 INNVENDIG OVERFLATE OG TRYKK UNDER DEFLAGRASJON

4.4 Adiabatisk praktisk metode basert på SEBK-prosjektet

Beregningsprosessen er basert på rådgivning fra Gexcon, og er ansett som en forenklet beregning som i hovedsak vil bli brukt for å estimere en konservativ last og tar utgangspunkt i ulike parametere fra transformatoren, spaltegassen som dannes og romvolum. En del av erfaringstallene her er innhentet tidligere forskning fra SEBK prosjektet.

4.4.1 Beregninger

For casen er det, som nevnt ovenfor, satt noen faste parametere for både kortslutningsstrøm og lysbuespenning. Dette er verdier som kan finnes gjennom beregninger eller estimeres fra tidligere erfaringer. Her blir derfor energien fra lysbuen beregnet til 4MJ.

$$E = U * I * n * t = 1kV * 40kA * 1 * 0.1s = 4MJ \quad (4.2)$$

Denne energimengden vil alene resultere i en brennbar sky bestående av oksygen og brennstoff og oljedamp på 21,02 m³. På figur 17 blir det illustrert ulike verdier for ulike oljemengder.

Faktor oljetåke	0	1	2	4	8
Mengde oljetåke(m3)	0	2.34	4.67	9.34	18.69
Energi(MJ)	4				
Mengde reaktiv gass(m3)	2.34	4.67	7.01	11.68	21.02

FIGUR 17 BEREGNING INKLUSIVT OLJEDAMP

Videre blir det reaktive gassvolumet ganget med en volumfaktor på 9 som forklart i metode. V_{gass} vil da bli 189.2 m³ som illustrert i tabell 16.

TABELL 16 TOTALT GASSVOLUM FRA FORBRENNINGSPRODUKTER

Forbrenningsvolum(m ³):	Volumfaktor:	Totalvolum til forbrenningsprodukter(m ³):
21.02	9	189.2

Selv om det er flere variabler som er knyttet opp til beregningene av eksplosjonslasten er det bare volum parameteren som er knyttet opp til selve bygget og derfor også den eneste parameteren som kan endres i prosjekteringsfasen til bygget. Ved å benytte det originale volumet til casen vil det utvikle seg et trykk som vist i tabell 17. Dette kommer av å dele produsert gassvolum på romvolum og dermed få endring i trykk.

TABELL 17 ENDRING I TRYKK

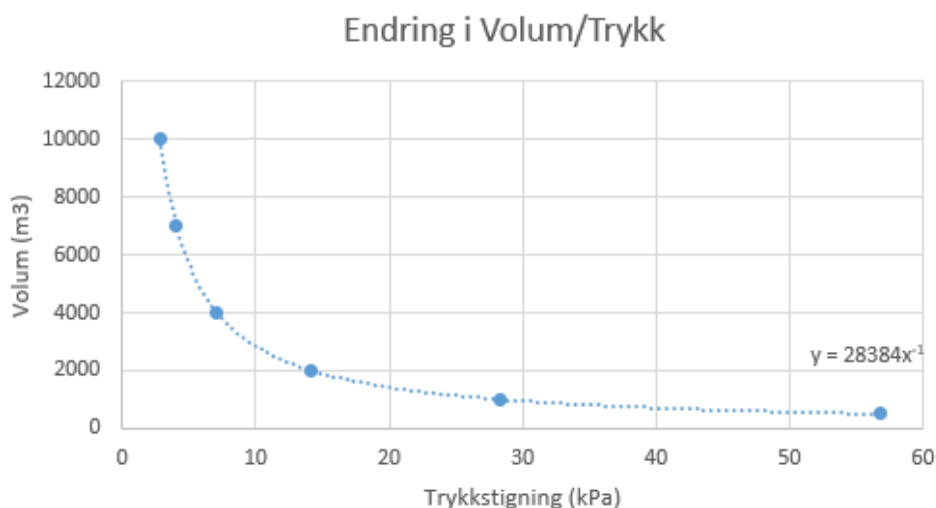
Volum(m ³):	Produsert gassvolum(m ³):	Trykkstigning(bar-g):	Trykkstigning(kPa):
7875.4	189.2	0.024	2.4

For å lettere kunne illustrere volumet som en parameter er det også beregnet endring i trykk basert på endret volumparameter likt scenario 5 og 6 brukt i beregningene for NFPA68 som illustrert på figur 18. Det kommer her frem at det vil bli en veldig stor trykkøkning ved å redusere romvolumet,

	Volum(m3):	Produsert gassvolum:	Trykkstigning(bar-g):	Trykkstigning(kPa):	Inklusiv DLF (kPa)
Senario 5((L,B,H)+2):	10519.74	189.223812	0.017987499	1.798749893	2.698124839
Senario 6 (L,B,H = 10):	1000	189.223812	0.189223812	18.9223812	28.3835718

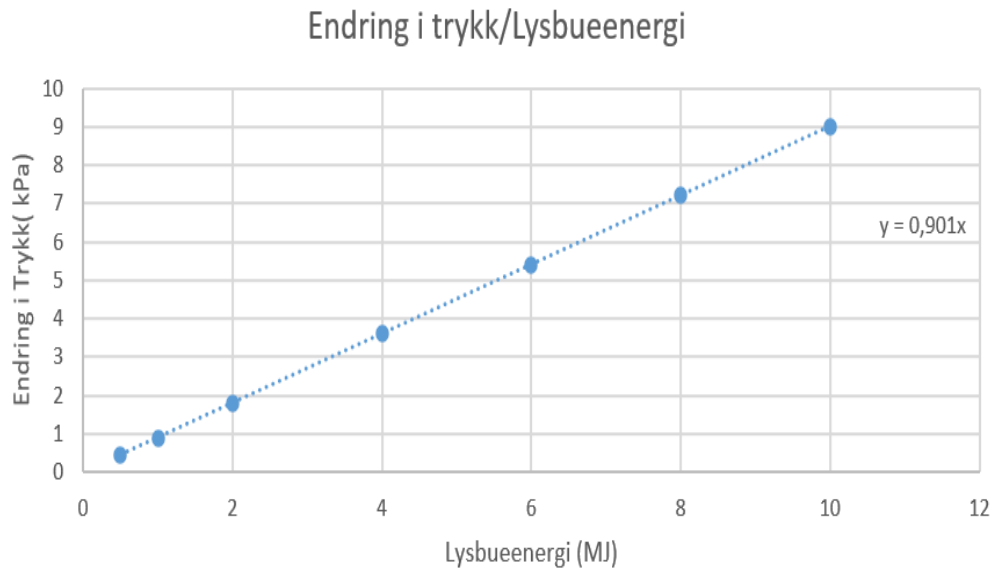
FIGUR 18 RESULTATER FOR ENDRET VOLUM

Basert på endring i trykk fra volumendringen illustrert på figur 18 er det også laget en graf som illustrer dette enda tydeligere. På figur 19 blir det illustrert sammenhengen mellom romvolum og dimensjonerende trykk inkludert en DLF faktor.



FIGUR 19 SAMMENHENG MELLOM VOLUM OG TRYKK

Ettersom lysbueenergi også er en sentral faktor som inngår i beregningene er det også laget en graf som illustrerer effekten den har på trykkutviklingen og vist på figur 20. Her kommer det frem at lysbueenergien vil ha en linjer påvirkning på det dimensjonerende trykket som vil forekomme.



FIGUR 20 SAMMENHENG MELLOM TRYKK OG LYSBUEENERGI

4.5 Risiko

For å kunne si noe om hva som vil være realistisk å beregne for bør man basere seg på statistikk fra tidligere transformatoreksplosjoner. Men det finnes dessverre ikke tilgjengelig konkret statistikk på dette. Intervjuobjektene kan imidlertid fortelle litt om statistikk og risiko.

Ifølge intervjuobjekt 3 er det normale innenfor bransjen å legge seg på dimensjoneringskrav 10^{-4} , som vil si at en forventer en dimensjonerende hendelse hvert 10000 år. Hvis en aktør for eksempel besitter 100 transformatorer, så vil de kunne forvente en stor eksplosjon hvert 100 år.

4.5.1 Ansvar

Intervjuobjekt 5 forteller at ved utføring og prosjektering av trafosjakter og kraftanlegg er det viktig å foreta en risikoanalyse. Selv om man har dimensjonert etter standard og er konservativ, kan allikevel konstruksjonen gi etter for en eksplosjon. Skjer dette uten at du har foretatt en risikoanalyse, kan man stille dårlig i møte med et forsikringsselskap ifølge intervjuobjekt 5. Det er normalt å foreta risikoanalyser i samarbeid med kunde og forsikringsselskap.

4.5.2 Statistikk

Ifølge flere av intervjuobjektene finnes det lite eller ingen statistikk på eksplosjoner i transformatorer i Norge. På nettsider som Statnett og NVE finnes det statistikk på feil i transformatorer, men ikke konkret statistikk på eksplosjonsulykker (NVE, 2023; Statnett, 2018). Noen av intervjuobjektene forteller likevel om statistikk og brukte statistikk i prosjekter.

Ifølge intervjuobjekt 1, vil ca 15 av de 3000 krafttransformatorene som finnes i Norge eksplodere per år. Ifølge intervjuobjekt 5 regnes det med at på verdensbasis vil det inntreffe en transformatoreksplosjon årlig.

Ifølge intervjuobjekt 5 finnes det ikke statistikk på hvor ofte en sekundær eksplosjon fra en transformator vil inntreffe i Norge. Ifølge samme intervjuobjekt har forsikringsselskaper, Statnett og Statkraft tall på at det er anslått en sannsynlighet på én kassesprenging i Norge hvert tjuende år fra tidligere prosjekter.

Intervjuobjekt 5 forteller også om motvilje mot å erstatte gamle eller utslitte transformatorer på grunn av kostnadene det medfører. Selv om transformatorer har forventet levetid, er det transformatorer som står i drift lengre enn dette. Med en transformatorpark som begynner å bli gammel øker også risikoen for transformatorhavarier.

5 Diskusjon

I dette kapitlet skal de ulike delene av oppgaven og problemstillingen diskuteres og vurderes.

Gjennom oppgaven er det presentert diverse teori knyttet opp mot problematikk og beregning av sekundære eksplosjoner i trafosjakter. Videre vil resultatene bli diskutert basert på tolkningene som er gjort derifra.

5.1 Ulykkeslasten og mest kritiske parametere

Ut fra intervjuobjektene finnes det ikke særlig tvil om hvordan det verst tenkelige ulykkestilfelle vil se ut for en oljefylt transformator i et traforom. Det er en oljedamp sekundæreksplasjon i et traforom.

Intervjuobjektene har fortalt om viktige parametere for ulykkesforløpet og estimering av ulykkeslasten. Viktigheten og kompleksiteten av disse parametere er varierende og vil bli diskutert ytterligere i dette delkapitlet.

5.1.1 Parametere

Romvolum, trykkavlastning og lysbueenergi

Noen parametere som virker å være ekstra betydningsfulle ved en beregning av en oljedamp sekundæreksplasjon er romvolum, trykkavlastning og lysbueenergi.

Dette skyldes at parametere vil være utgangspunkt for det meste som skjer under eksplosjonen. Dette kommer av at energimengden i hovedsak avgjør hvor mye gass som vil bli produsert gjennom pyrolyse og derfor også størrelsen på eksplosjonen. Videre vil romvolumet avgjøre hvor stort trykk denne eksplosjonen vil forårsake. Dette gjelder spesielt for lukkede rom hvor turbulens og forbrenningshastighet ikke har noen effekt ettersom all gass vil ha tid til å reagere med oksygenet.

Ved å justere romvolum og trykkavlastning har en muligheter til å påvirke eksplosjonstrykket i stor grad, og det knyttes liten usikkerhet rundt disse. Romvolumet har stor betydning for hvilket totaltrykk som vil oppstå og om det vil være effektivt med trykkavlastning. I noen tilfeller vil et stort nok romvolum være nok i seg selv til å motstå trykket uten bruk av trykkavlastningsareal. Avlastningsluker viser seg at også kan være avgjørende. Uten noen form for trykkavlastning under en sekundæreksplasjon vil trykket inne i traforommet rekke å bygge seg opp til et kritisk punkt uavhengig av forbrenningshastigheten, med mindre rommet er stort nok, eller robust nok til å håndtere det. Trykkavlastningsluker kan sørge for å ventilere ut tilstrekkelig slik at trykket som bygger seg opp inne i traforommet ikke blir kritisk for byggkonstruksjonen. Men da vil også mengden avlastningsareal være avgjørende slik at ventileringen vil foregå raskt nok. Bruken av trykkavlastning

vil ha stor effekt på mengden oljedamp som vil forbrenne grunnet dens lave forbrenningshastighet. Avlastningen vil resultere i at en større andel av gassen blir ventilert ut før den rekker å reagere med oksygen, noe som vil føre til en lavere ulykkeslast.

Utformingen av transformatorrommet kan også ha betydning for utfallet av sekundæreksplosjonen. Stedet hvor transformator-kassen revner kan ha betydning for hvilken del av konstruksjonen som tar mest skade og hvor stor effekt avlastningslukene vil ha. Dersom den sprekker på motsatt side av hvor trykkavlastningslukene befinner seg og inn mot resten av trafostasjonen, kan konstruksjonen ta mer skade enn dersom den sprekker på siden vendt mot trykkavlastningslukene. Som intervjuobjekt 2 forteller vil også romutformingen ha betydning for hvordan eksplosjonen vil opptre. En kan ha mange forskjellige romtyper med samme totale romvolum, men hvor eksplosjon vil opptre forskjellig. Romutformingen vil ha betydning for hvordan gasstrømninger vil forekomme i rommet og vil derfor også turbulensen. Dette vil videre ha stor betydning for forbrenningshastigheten ettersom gassen vil ha lettere for å reagere med oksygenet, noe som vil påvirke hvor fort eksplosjonen vil utvikle seg. Dette vil videre påvirke effekten av avlastningslukene.

Lysbueenergi er energien som bestemmer hvor mye olje som blir spaltet inne i transformator-kassen, som dermed er en vesentlig faktor. Dette er en viktig faktor for beregningen av ulykkeslasten fordi den avgjør hvor mye spaltet olje en kan forvente, som igjen benyttes for å regne på selve ulykkeslasten i rommet. En viktig komponent som inngår i beregningen av lysbuen er lysbuespenningen. Som forklart av intervjuobjekt 3 er det ingen enkel prosess å beregne denne spenningen. Det er derfor ikke uvanlig å benytte erfaringsdata basert på lengden av lysbuen. Ved å se på lengde mellom strømledende komponenter i transformator-kassen skal en kunne danne seg en formening om hva lysbuelengden til lysbuen vil kunne bli. Men lysbuer har en tendens til å bevege seg friere og lengre enn korteste vei, og muligens bevege seg enda friere i olje. Dette vil ha implikasjoner på lysbuelengden. En løsning benyttet av intervjuobjekt 3 er å legge på en sikkerhetsfaktor for å korrigere for dette, men usikkerheten vil fremdeles være der. En annen viktig faktor for lysbueenergien er varigheten på lysbuen. Det finnes utkoblingsmekanismer som kan koble ut transformatoren rimelig kjapt, men det er fortsatt vanskelig å si noe om eksakt verdi på utkoblingsmekanisme. I tillegg er det problemet med at det vil tilfeller hvor det er en feil med utkoblingsmekanismene, hvor transformatoren ikke blir koblet ut umiddelbart. Dette vil veldig sjeldent inntreffe, men sannsynligheten vil være der. Hvor i transformator-kassen lysbuen oppstår har også betydning for hvor mye energi lysbuen vil ha, et eksempel på dette vil være om lysbuen inntreffer på høyspent eller lavspent side av transformatoren. Man kan ut fra sted lysbuen oppstår og spesifikasjoner på transformator-kassen komme frem til et estimat på lysbueenergien. Men man vet aldri hvor i transformator-kassen lysbuen vil oppstå. Det er steder det er mer sannsynlig den vil oppstå enn andre, men man kan ikke være sikker. Et annet poeng er hvor mange lysbuer som vil oppstå. Normalt settes det en lysbue som premiss for beregningen når det antas kort utkoblingstid. Men selv om utkoblingstiden oftest vil være pålitelig, kan det hende at utkoblingsmekanismen svikter og at en ikke får koblet ut transformatoren. I disse tilfellene øker sannsynligheten for at det kan forplante seg flere lysbuer i transformator-kassen. Dette vil føre til at det blir avgitt mer energi til oljen og derfor gi et helt annet bilde på ulykkeslasten som kan oppstå som følge av mengde spaltet olje. Men det er veldig sjeldent det vil oppstå flere lysbuer og at utkoblingsmekanismen vil svikte.

Oljedamp, gassblanding og tid før sekundærantennelse

Gassblandingen som dannes fra spaltingen av oljen i transformator-kassen er som nevnt avhengig av oljetyper. Det finnes ulike oljetyper som silikon og ester, som har vesentlig høyere brennpunkt enn mineralolje. Intervjuobjekt 1 og 3 mener derimot at valg av oljetype ikke vil ha betydningsfull påvirkning for en primæreksplosjon eller sekundæreksplosjon. Ved en lysbue vil det dannes flere

tusen grader som vil spalte oljen, uavhengig av hvilken oljetype det er. Når det kommer til gassblandingen som oppstår vil oljetyper ha betydning. Hvilken sammensetning av gass som oppstår vil ha betydning for hvor stor eksplosjon som kan inntreffe. Men intervjuobjekt 3 forteller at de stort sett benytter seg av en standard gassammensetning fra eksperimentelle data, uansett hvilken oljetype som legges til grunn. Grunnen til dette er fordi det knyttes usikkerhet til å kunne forutse eksakt hvilken gassammensetning som oppstår, i tillegg til at muligheten for sammenlikning av resultater forsvinner. Intervjuobjekt 3 forteller at ved så høye temperaturer som oppstår ved en lysbue, kan det gå over til plasma og deretter rekombineres til gass, så dette medbringer usikkerhet i resultert gassblanding. Hvilken gassblanding som vil oppstå vil ha betydning for hvordan sekundærekspløsjonen vil opptre og hvor farlig den er. Fordi det er vanskelig å forutse eksakt hvilken gassblanding som oppstår, vil det være naturlig å tenke at det gjøres konservative antagelser om gassblanding, som ved bruken av NFPA68. Intervjuobjekt 3 forteller at ved rene hydrogenekspløsjoner så kan det brenne så fort at det nesten ikke er hjelp med avlastningsluker. Så hvis det settes som premiss at det er en ren hydrogenekspløsjon, som en normalt gjør i for eksempel NFPA68, så kan det være unødvendig å ha avlastningsluker fordi det kanskje ikke er til hjelp i det hele tatt.

Intervjuobjekt 3 forklarer hvordan gasskomponentene som forekommer under pyrolysen ikke er de eneste gasskomponentene som vil ta del i sekundærekspløsjonen. Fra bruddet på transformatoren vil det sprute ut mye oljedamp som vil holde seg i lufta. Denne oljedampen vil føre til at det vil være enda mer reaktiv gass som forekommer under eksplosjonen. Oljedampen vil bestå av lengre hydrokarboner som vil kreve mer energi for å spaltes, som nevnt fra intervjuobjekt 2, og derfor ha en mye tregere forbrenningshastighet. Det vil være en del usikkerhet knyttet til mengden oljedamp som vil forekomme ettersom mengden oljetåke blant annet vil være knyttet opp mot selve bruddet på transformatorboksen hvor den mest konservative faktoren er på 8. Ved bruk av ventilasjon vil det da, som nevnt fra intervjuobjekt 3, heller bli benyttet en oljedampfaktor på 4, istedenfor 8. Dette vil være den mest optimale mengden oljedamp for en eksplosjon, for å bidra med mest mulig energi uten å forsinke den totale forbrenningsprosessen for mye.

En viktig faktor for beregningen av ulykkeslasten er hvor mye gass som utvikles som følge av lysbueenergien. Fra intervjuobjekt 1 og 5 henvises det til at det produseres 0.1 kubikkmeter per mega joule lysbueenergi. Intervjuobjekt 3 henviser til 0.0993 kubikkmeter per mega joule. Disse intervjuobjektene henviser til samme verdi om at det utvikles ca. 0.1 kubikkmeter gass fra 1 MJ lysbueenergi. I og med at flere oppgir samme verdi, kan verdien ses på som mer troverdig. Dette er verdier som står i stor strid med forskningsresultatene fra CEPPEL nevnt i kapittel 2.4.1. Størrelsen på gasskyen som er produsert fra lysbuen i transformatoren er vesentlig for hvor stort overtrykk som kan dannes i traforommet. Men mengde gass utviklet, baseres på lysbueenergien, så det er igjen en viktig faktor.

En annen viktig faktor for utfallet av ulykkeshendelsen er på hvilket tidspunkt gassen som har lekket ut fra transformatorboksen antennes. Dersom antennesen skjer etter en stund vil gassen rekke å blande seg med luften og det blir en forblandet forbrenning. Videre kan noe av gassen også ha blitt ventilert ut av rommet, og dermed vil overtrykket som oppstår inne i rommet bli mindre enn det kunne ha blitt. For større romvolum vil også gassen kunne blande seg jevnt ut i rommet, noe som resulterer i en tynnere eksplosiv blanding. Er rommet stort nok vil konsentrasjonen være under nedre eksplosjonsnivå. Men som intervjuobjekt 1 forteller, skal det veldig lite til for å få en antenne som et resultat av primærekspløsjonen. Det kan oppstå veldig høye temperaturer under en slik hendelse, så dersom det ikke antennes med en direkte tennkilde, kan den selv antennes ved temperaturer rundt 300 grader celsius. Intervjuobjekt 2 forteller også at han sterkt vil gå ut ifra at det

vil oppstå en umiddelbar antennelse rett etter at transformator-kassen revner som følge av primærekspløsjonen. Intervjuobjekt 2 har ingen tro på at gassen vil sive ut av transformator-kassen og jevnt fordele seg utover rommet før den antennes. Så det er dermed liten sannsynlighet for at det vil gå betydningsfull lang tid før gassen som lekker ut av transformator-kassen vil antennes, og det oppstår en sekundærekspløsjon. Som nevnt har tidspunktet før antennelse noe å si for gassblandingen og blandingsforholdet til oksygen. Ifølge intervjuobjekt 5 forteller at på et tidspunkt vil gassblandingen gå fra å være fet blanding rett etter primærekspløsjonen, til å nå optimal blanding med oksygen lik støkiometrisk blanding som vil gi den meste energirike blandingen, for så til slutt nå en tynn blanding. Antennelsestiden har derfor noe å si på hvor reaktiv gassblandingen vil være når den antennes.

Utkoblingstid

Intervjuobjektene oppgir litt forskjellig informasjon om utkoblingstid på transformatorer. Intervjuobjekt 3 mener utkoblingstiden ligger mellom 80-200 millisekund, mens intervjuobjekt 5 forteller derimot at den ligger mellom 60-80 millisekund, hvertfall under 100 millisekund medregnet generatorbryteren. Utkoblingstiden kan ha betydning for hvor mye olje som spaltes hvis lysbuen får virket lenge uten brudd som nevnt tidligere. Intervjuobjekt 5 har derimot jobbet mer direkte opp mot transformatorer, så en kan anta at informasjonen om 60-80 millisekunder er mer troverdig. Disse utkoblingsmekanisme er stadig i utvikling, så det er ikke usannsynlig at det var normalt med 80-200 millisekunder tidligere, men at de nå blitt forbedret til 60-80 millisekunder. Valg av hvor kjapt man vil at utkoblingsmekanismen skal fungere, vil også påvirkes at risikokrav for transformatoren. Disse utkoblingsmekanismene skal være pålitelige, men det vil alltid være en sannsynlighet for at det vil kunne oppstå en feil og at en ikke får koblet ut transformatoren ved en kortslutning. Intervjuobjekt 5 forteller at det tidligere ikke var ansatt som veldig viktig å inkludere generatorbryter på trafoanlegget. Mens i dag vil alle nye trafoanlegg bygges med en generatorbryter og erkjenner at det var en feilvurdering fra tidligere. Uten generatorbryteren ved en kortslutning kan effektbryteren ha liten betydning, dersom generatoren fortsetter å mate inn strøm til transformatoren i rundt 1 sekund. For generatorbryteren gjelder det samme som for effektbryteren, at den kan svikte og ikke få koblet ut når den skal.

Risiko

Risiko er en viktig faktor ved dimensjonering av traforom. Det er forskjell i hvilke risikokrav som legges til grunn i ulike prosjekter. Risikoen knyttes til konsekvensene det har for personell og nærliggende transformatorer dersom det oppstår en sekundærekspløsjon i trafosjakten. Noen trafosjakter ligger øde og langt fra bebyggelse og der mennesker ferdes. Risikoen i disse tilfellene vil være for personene som jevnlig utfører sjekk på trafosjakten i tilfelle det skulle oppstå en ekspløsjonsulykke mens de er i traforommet eller i nærheten. Den andre typen risiko vil være for hvilken konsekvens det har for forsyningene av strøm hvis trafoen eksploderer og går ut av drift. Hvordan vil dette påvirke nærliggende transformatorer og resten av anlegget vil kunne fungere uten den. Noen trafosjakter og trafostasjoner er mer kritiske enn andre og vil kunne skape store konsekvenser bare om de er ut av drift.

Men uansett hvor godt dimensjonert bygget rundt en transformator er, vil transformatoren ved en indre kortslutning og primærekspløsjon mest sannsynlig ødelegges. Transformatoren vil mest sannsynlig revne og være ubrukelig etter en slik ulykke. Du vil muligens få minsket faren for omliggende bebyggelse og materiell, og potensielt personer som skulle vært i nærheten, men transformatoren vil mest sannsynlig havne ut av drift. Dette kan håndteres med flere tiltak, som å ha en transformator i reserve som kan settes inn og erstatte den ødelagte. Men dette krever at bygget

står gjennom eksplosjonen og kan brukes videre etterpå med enkle reparasjoner. På større trafostasjoner kan en annen løsning være å ha enkeltransformatorer i hver sine rom, at de er separert i hver sine soner. Intervjuobjekt 5 henviser til dette som seksjonering av transformatorene. Så hvis en eksplosjon oppstår, kan det dimensjoneres slik at bare det ene rommet skal ta skade, og at resten av stasjonen står fungerende igjen. Dette krever igjen at forholdene legger til rette for det. Veggene mellom traforommene og andre grensede rom må ha tykke dimensjoner og robuste design, og traforommene må ha mulighet for nok trykkavlastningsareal for å kunne avlaste trykklasten vekk fra resten av stasjonen.

For å kunne beregne etter risiko for ulykkeslaster som sekundærexplosjoner i trafosjakter, hadde det vært best å basere dette på statistikk. Men det finnes dårlig med statistikk på dette, som gjør det vanskelig å kunne si noe konkret om hyppigheten av ulykkene. Så selv om man velger et risikokrav å dimensjonere etter, vil det være vanskeligere å si hvilken dimensjonerende last som vil ha en realistisk sannsynlighet til å inntreffe eksempelvis en gang hvert 10000 år. Intervjuobjekt 3 forteller at ved å kjøre rundt 40 CFD-simuleringer kan en få ut en sannsynlighetskurve på hvor ofte ulykkeslaster med tilhørende overtrykk vil inntreffe. Men dette krever CFD-analyser, og er noe mange ikke tar seg råd til ifølge intervjuobjekt 5 og 4.

Intervjuobjekt 5 forteller også om motvilje mot å bytte ut transformatorer når de blir gamle på grunn av kostnaden det medfører. Med flere og flere eldre transformatorer i drift øker sannsynligheten for transformatorhavarier, og dermed sekundærexplosjoner. Intervjuobjekt 5 forteller at han opplever at transformatorer står for lenge i drift etter at de burde ha blitt byttet ut på grunn av aldring. Dette er et punkt som kan tas med i risikovurderinger når det kommer til sannsynlighet for sekundærexplosjoner i oljetransformatorer.

Et poeng som intervjuobjekt 5 forteller om er viktigheten av å foreta en risikoanalyse. Selv om man har foretatt en konservativ beregning og fulgt en anerkjent standard, men konstruksjonen gir allikevel etter for en sekundærexplosjon. Dersom trafosjakten ødelegges som følge av sekundærexplosjonen, kan man stille dårlig i møte med et forsikringselskap. Så av denne grunn vil det bli ansett som viktig å utføre en skikkelig risikoanalyse ved prosjektering av en trafosjakt.

Turbulens

Turbulens vil bare være av betydning for beregningen av trykket dersom det er snakk om et trykkavlastet traforom. Dersom det er snakk om et lukket rom, vil forbrenningshastigheten ikke ha betydning ettersom all gass vil ha tid til å reagere med oksygen og det vil forekomme en fullstendig forbrenning. Turbulens er et veldig komplekst problem som det er vanskelig å ta høyde for, uten en omfattende cfd analyse, men som allikevel kan være av stor betydning. Turbulenseffekten vil resultere i økt forbrenningshastighet, som forklart fra intervjuobjekt 3. Dette vil igjen føre til en hyppigere trykkoppbygning. NFPA 68 har en forenklet metode som tar høyde for turbulens, men den skal kun anvendes dersom overflatearealet på turbulensskapende overflater i rommet overstiger 20 % av innvendig areal. NFPA 68 tar ikke høyde for hvilke former de turbulensskapende overflatene har, men bare på den totale overflaten summert. Dette vil ikke gi det riktige bildet på hvilken turbulens som vil oppstå i rommet. Det vil også være turbulens i rommet selv med turbulensoverflater mindre enn 20 % av innvendig areal, så dette blir ikke tatt hensyn til i det tilfelle ved NFPA 68.

5.1.2 Utfordringer ved prosjektering

Eneste stedet hvor ulykkeslasten blir tatt til hensyn er under prosjekteringen av bygget.

Prosjekteringen av bygget er ofte den første delen av et prosjekt som blir utført og utført av rådgivende ingeniører innenfor bygg. Under prosjekteringen blir de fleste avgjørelser tatt på bakgrunn av kundes interesser. Hvilket budsjett og risikokrav som legges til grunn, bestemmes ofte av kunden. Hvis en vil få gjennomført mer presise analyser og beregninger i forhold til ulykkeslast for en trafosjakt, koster det mer enn for enklere beregninger, og må ofte være noe kunden selv ønsker for at skal bli gjort. Men for visse prosjekt der det for eksempel settes strenge risikokrav er det ikke alltid en enkel beregningsmetode vil være tilstrekkelig. Dette er fordi de enklere metodene ofte er veldig konservative for å sørge for at man havner godt innenfor på trygg side. Med trygg side, menes det at den prosjekterte konstruksjonen skal tåle ulykkeslastene den er dimensjonert for. I disse tilfellene kan en bli tvunget til å måtte få beregningene gjort av selskaper som har god kompetanse på dette og kan gjennomføre presise beregninger i tillegg til risikoanalyser.

Intervjuobjekt 4 forteller også at i noen tilfeller vil parametere bli fastsatt tidlig i prosjektfasene. Design blir ofte låst tidlig fordi dette er tverrfaglig, og dermed blir det krevende å endre sent i prosjektet. Dermed kan romutforming bli fastsatt tidlig i et prosjekt før en vet transformatorstørrelse eller har regnet på ulykkeslasten. I tillegg forteller han at i visse prosjekter blir trafosjakten prosjektert før transformatoren som skal stå der er bestemt. Som igjen gjør det veldig vanskelig å dimensjonere trykket uten parametere fra transformatoren.

5.2 Resultater fra NFPA68

Det er vanskelig å kritisere beregningene eller formlene som forekommer i NFPA68, men det er fullt mulig å diskutere om hvor godt de egner seg i sammenheng med transformatorbygg basert på intervjuene som er foretatt og resultatene fra beregningene.

5.2.1 Parametere og sentrale faktorer

Det er flere parametere som inngår i beregningen av en eksplosjonslat ved bruk av NFPA68, men det er i hovedsak fire sentrale. Og det er parametere som inngår i formelen 2.6.

$$Av = \frac{As * C}{\sqrt{Pred}}$$

Her vil faktoren C igjen inneha flere faktorer hvor alle tar hydrogen som utgangspunkt og blir satt som konservative. Dette vil være likt for alle beregninger av sekundærekspløsjoner i trafobygg ettersom hydrogengassen som oppstår vil være den mest kritiske gassen. Det er mulig å optimalisere faktoren C ytterligere på hvert prosjekt, som igjen vil ha betydning på beregningen av lasten, men da må det inkluderes eksterne rådgivere for å analysere gassen som oppstår og komme med eksakte verdier på hvert prosjekt. Men hvis man først skal inkludere eksterne rådgivere vil det være mer naturlig å overlate hele beregningsprosessen til rådgivere som kan kartlegge hele ulykkesforløpet, og mye av hensikten med NFPA68 forsvinner. Det eneste som vil være hensiktsmessig å utbedre for hvert prosjekt er faktoren λ basert på at innvendig obstruksjonsoverflate kan være ulik for hvert prosjekt. Dette vil påvirke turbulensen til reaksjonen og derfor øke C. Som nevnt tidligere er obstruksjonsfaktoren for turbulens basert på hvor mye tilgjengelig innvendig obstruksjonsoverflate. Intervjuobjekt 2 forklarer hvordan turbulens er et veldig komplisert tema og derfor vil formelen for turbulens ikke samsvare med resultatene i realiteten eller i en avansert CFD modell ettersom den

ikke har hensyn til geometrien på rommet eller obstruksjonsarealet, men heller bare størrelsen på overflaten som vil gjøre motstand.

Innvendig overflate A_s vil ha stor betydning på trykket som utvikler seg. Intervjuobjekt 4 forklarer at ved å bruke NFPA68 til beregning oppleves det som at størrelsen på lasten kommer av innvendig overflate. Det oppleves som at hele rommet fyller seg med hydrogen med et støkiometrisk blandingsforhold, for så å «tenne fyrstikken», noe som kan anses som den absolutt mest konservative antagelsen som er mulig for en slik eksplosjonslast.

Denne konservative antagelsen om at hele bygget fylles med hydrogen med støkiometrisk blandingsforhold basert på innvendig overflate vil bli feil på flere måter. Et problem er det faktumet at innvendig overflate ikke har en direkte sammenheng med romvolumet og derfor ikke en direkte sammenheng med hva som vil være gassmengden som er til stede. Et eksempel på dette kan være en lengere smal gang eller avlangt rom hvor du kan ha mye innvendig overflate og lite innvendig romvolum. Et kubeformet rom vil da i motsetning til en lang gang kunne ha samme innvendig overflate, men da et større volum, som illustrert på figur 21.

	Rektangel	Kube med samme volum	Kube med samme areal
L (m)	10	2.714417617	3.265986324
B (m)	1	2.714417617	3.265986324
H (m)	2	2.714417617	3.265986324
A (m ²)	64	44.20837798	64
V (m ³)	20	20	34.83718745

FIGUR 21 EKSEMPEL PÅ FORSKJELL MELLOM INNVENDIG OVERFLATE OG VOLUM

Et avlangt rom vil derfor ha samme krav til avlastningsluker som et kubeformet rom som igjen vil kunne romme mer gass.

Som nevnt under delkapittelet 5.1.2 vil det kunne oppstå situasjoner hvor det ikke er tid til å vente på informasjon om transformatoren eller vente på beregningene fra en rådgivende konsulent. Romvolum og stivhet på veggen må da settes før ulykkeslasten fra en sekundær eksplosjon er beregnet, i tillegg til at det er vanskeligere å gjøre endringer i etterkant. Dette gjør fleksibiliteten til NFPA68 til en fordel, hvor det da er mulig å sette avlastningsareal som variabel hvis alt annet allerede er bestemt. Intervjuobjekt 4 forteller her at det var det som ble gjort for deres prosjekter hvor ulykkeslast fra en sekundæreksplosjon ikke ble vurdert før senere i prosjektet og det resulterte i at volum og robusthet var satt. Det ble derfor etter prosjektert inn flere avlastningsluker i etterkant for å ventilere en eventuell eksplosjon. Dette vil også være en mulighet for eksisterende bygg som ikke har tatt ulykken fra en sekundæreksplosjon med i betraktning. Det vil da være mulig å ettermontere avlastningsluker basert på den eksisterende innvendige overflaten og robustheten til konstruksjonen.

5.2.2 Analyse av beregningene

Etter å beregne trykket i transformatorbygget for scenario 1 og 2 ved å benytte NFPA68 kom det fram i resultatkapittelet en ganske vesentlig forskjell. Som illustrert i tabell 12. Ved å ta utgangspunkt i 4 kPa fra kraftberedskapsforskriften (NVE, 2022, s.18) i scenario 1 og noe som kan bli sett på som et bestemt realistisk avlastningsareal i scenario 2, kommer det frem to veldig forskjellige resultater. Her har en last på 4 kPa resultert i et avlastningsareal på 774 m² og et realistisk avlastningsareal basert på mulig avlastningsflate tilgjengelig på 270 gir en last på 32,8 kPa. Dette kan bli ansett som uvanlig store laster, men i intervjuobjekt 4 kommer det frem at laster opp på 33 kPa er noe de har håndtert

tidligere og er derfor ikke helt uforsvarlig. Dette er to motsetninger når det kommer til prioriteringer, hvor det ene scenarioet prioriterer avlastningsluker, mens det andre scenarioet prioriterer stivhet i bygget.

For å håndtere trykket som oppstår ved bruk av avlastningsluker kommer det frem at nødvendig areal for avlastning er på 774 m². Dette er mer areal enn ytterveggene som er satt av som opprinnelig mulig areal, som er ansett som 80% av ytterveggen på 338 m². Hvis det tas hele veggen med i betraktning i tillegg til åpent tak vil det resultere i et areal på 804 m² som er noe kvadratmeter høyere enn nødvendig avlastningsareal fra beregningene. Dette vil være veldig store inngrep for en konstruksjon som allerede er prosjektert eller et eldre prosjekt som allerede er konstruert. Å fjerne taket vil også kunne påvirke resten av takkonstruksjonen og bygget som en helhet med tanke på vind, regn eller gjennomgående bæring av taket.

Endringen vil også kunne svekke bygget på andre måter. Nå er det ikke spesifisert noe mer i casen om resten av bygget, men en slik endring vil kunne svekke bygget sin evne til å stå imot vind. Ofte benyttes det skjærvegger i ytterveggene for best effekt. Fjerne ytterveggen vil derfor kunne redusere motstandsmomentet mot vridning forårsaket av vind.

Et annet problem med å fjerne så stor andel av bygget er det faktumet at transformatoren nesten ikke lenger står innvendig i et lukket volum. Med veggen og taket fjernet vil ikke transformatoren lenger anses som å stå inni bygget, men heller stå ved siden av det. Eksplosjonen som oppstår, vil derfor begynne å gå mot en utvendig open-explosion istedenfor en innvendig enclosed-explosion. NFPA 68 er en standard kun ment for enclosed-explosions, som forklart i kapittel 2.5.1.

Intervjuobjekt 4 påpeker et scenario hvor avlastningslukene som ble vurdert var satt lik ventilasjonslukene som er nødvendige for å holde transformatoren avkjølt. Ettersom P_{red} er et resultat av blant annet A_v^{-1} er det interessant å utforske hvordan funksjonen reagerer på å redusere avlastningsarealet ytterligere til tilnærmet ikkeeksisterende. Dette er interessant ettersom det ikke settes noe krav om avlastningsluker, kun at bygge skal håndtere trykket som vil oppstå. Ved å se på scenario 3 kommer det frem at ved å sette A_v lik 4 vil det resultere i en dimensjonerende last på 149704,2 kPa. Dette er en last langt over hva noe bygg vil klare å håndtere og er fullstendig urealistisk å benytte. Etter som formelen som blir brukt opprinnelig er en formel ment for å estimere A_v gir det mening at formelen ikke tar høyde for verdien for A_v lik 0. Eneste måten det er mulig å sette en verdi på A_v nær null er hvis også A_s settes nær null, noe som ødelegger hele hensikten med formelen.

Intervjuobjekt 4 påpeker også at en stor innvendig overflate A_s vil ha en veldig dramatisk påvirkning på P_{red} og A_v . Det er derfor blitt beregnet flere ulike scenarioer som utforsker problematikken. Scenario 4, 5 og 6 basert på en noe konservativ last på 8 kPa hvor det blir utforsket hvor stor påvirkning arealet A_s vil ha på arealet A_v . Med det originale arealet for casen vil det resultere i A_v på 547 m². Dette indikerer en avlastningsflate som dekker 22,8% av hele det innvendige avlastningsarealet. Hvis både lengden, bredden og høyden på rommet utvides med 2 meter vil det føre til i en A_s på 2901 m² som vil resultere i en A_v på 663 m². Likt som scenario 4 vil dette også føre til 22,8% avlastningsprosent i forhold til innvendig overflate. Videre er det tatt utgangspunkt i et bygg med lengde, bredde og høyde lik 10 meter i scenario 6. Dette vil føre til en A_s på 600 m² og A_v lik 137 m², med da en lik avlastningsprosent på 22,8%. I alle scenarioene vil avlastningsarealet kreve mer enn den opprinnelige tilgjengelige utvendige veggen som er tilgjengelig, basert på målene i hvert scenario. Denne sammenhengen kommer tydelig frem på figur 15 fra resultatkapittelet.

Dette kommer av at faktorene C og kvadratroten av P_{red} har samme benevning og vil derfor kunne sees på som en forholdsfaktor mellom A_s og A_v i formelen for A_v . Denne faktoren vil derfor være basert på trykket bygget vil kunne stå imot under ventilasjonen av en deflagrasjon og ventilasjonsfaktoren C.

$$\frac{C}{\sqrt{P_{red}}} \text{ med benevning: } \frac{(bar - g)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{bar - g}}$$

Her vil en økning av P_{red} resultere i en mindre faktor og en økning i C resultere i en økt avlastningsfaktor. Det er også interessant å påpeke at endringen i C vil ha en større påvirkning i avlastningsfaktoren enn hva endring i P_{red} vil ha. Dette drar også inn en mulig feilkilde i oppgaven ettersom de fleste parameterne som ble valgt i formelen for C er satt som faste i casen. Dette vil påvirke viktigheten i å utvikle en presis faktor for C i hvert prosjekt som nevnt tidligere. Denne feilkilden vil riktignok ikke påvirke forholdet mellom resultatene gitt av NFPA68, men heller påvirke det generelle forholdet mellom A_s og A_v .

For scenario 7 er det beregnet trykket som oppstår av absolutt maksimalt mulig avlastningsflate. Som nevnt tidligere er casen tilkoblet flere rom og har derfor kun en yttervegg og tak som er eksponert mot det fri og A_s blir satt lik 804 m². Det kan være mulig å implementere ekstra avlastning inn i andre nærliggende rom som nevnt av intervjuobjekt 5, men dette er mer vanlig for transformatorrom under bakken hvor det ikke er mulig å ventilere mot det fri. Intervjuobjekt 3 nevner også at forplantning av trykk videre inn i bygget også kan være et problem. Dette vil være ekstra problematisk hvis deler av eksplosjonen avlastes videre inn i bygget og vil gjelde både hvis det blir avlastet til horisontalt nærliggende rom eller vertikalt underliggende rom. 804 m² er derfor maksimalt avlastningsareal uten en videre analyse av resten av bygget. P_{red} vil da bli 2,47 kPa, noe som er noe lavere enn scenario 1.

5.2.3 Usikkerhet/Problematikk

NFPA68 er en standard som blir benyttet for å utvikle et konservativt estimat. Det er derfor lagt lite tid i å dokumentere eksakte gasskonstanter eller turbulensfaktorer ettersom dette vil kreve ekstern rådgivning og ulike undersøkelser for å kartlegge, i tillegg til at resultatene vil være ulike for ulike oljer. Det er noen variabler i standarden som krever ytterligere undersøkelse enn det som er gjort i oppgaven for en mer presis beregning. Dette er konstanter som vist i tabell 18.

TABELL 18 VARIABLER BENYTTET I NFPA68 SOM INNEHAR USIKKERHET

Variabel:	Verdi:	Beskrivelse:	Grunn til usikkerhet
ρ_u (kg/m ³)	1.2	Massetetthet til uforbrent gass-luft-blanding	Verdien som er valgt tar utgangspunkt i densitet for luft og ikke gass-luft blandingen med hydrogen som vil ha lavere densitet.
G_u (kg/m ² -s)	230.1	Massefluks for uforbrent gass-luft-blanding ved lydets hastighet	Verdi valgt er tidligere benyttet av Multiconsult
γ_b	1.2	Forholdet mellom spesifikke varmekapasiteter for forbrent gass-luft-blanding	Verdi valgt er tidligere benyttet av Multiconsult
μ_u (kg/m-s)		Den dynamiske viskositeten til uforbrent gass-luft-blanding	Manglende data
D_v (m)		Ventildiameteren bestemt gjennom iterativ beregning	Manglende data
a_u		Lydhastigheten i uforbrent gass-luft-blanding.	Manglende data

Grunnet manglende data for beregning av turbulensfaktor λ vil dette påvirke resultatet for dimensjonerende trykk utviklet i bygget.

I tillegg til usikkerhet i beregningen av λ påpeker standarden i kapittel 2.5.1 også at beregningen ikke gjelder for gass med høyere forbrenningshastighet enn 3 m/s, noe som er lavere enn forbrenningshastigheten til hydrogen på 3.12 m/s. Dette igjen setter enda mer usikker med λ ettersom om det ville vært mulig å innhente bedre dokumenterte faktorer vil ikke beregningene være ment for hydrogen utgangspunktet.

Som nevnt i starten av kapittel 2.5.1 påpeker standarden at den i utgangspunktet ikke gjelder for trykk som oppstår som et resultat av dampgenerering forårsaket av elektriske feil. Og er derfor i utgangspunktet ikke ment for sekundære eksplosjoner i oljetransformatorer ettersom det i utgangspunktet er akkurat det som vil være tilfellet.

Tidligere empiriske tester for trykk P_{max} som er benyttet i NFPA68 har tatt utgangspunkt i 15 liter sirkulære kuler. Intervjuobjekt 2 nevner derfor at resultatene fra testene ikke direkte kan overføres til rektangulære rom, hvertfall ikke av den størrelsen. Dette vil også være en usikkerhet i empirien som er lagt bak beregningene i NFPA68.

5.2.4 Tid, kostnad og brukervennlighet NFPA68

Bruk av NFPA68 vil kreve lite til ingen økonomiske ressurser, ettersom det eneste som kreves under prosessen er selve standarden. Ved å benytte et elektronisk verktøy som microsoft excel basert på formlene i standarden vil det redusere tidsbruken og brukervennligheten for å kartlegge ulykkeslasten. Med et slikt standardiserte rammeverk av formler og variabler vil det inngå få parametere som inngangsverdier, da hovedsakelig lengde, bredde og høyde, i tillegg til noen verdier basert på gassen som antas å ville oppstå. Ettersom det er ønskelig å forholde seg konservativ, blir det enda færre variabler når det kun antas hydrogengass under ulykkesscenarioet. Metodikken kan derfor anses veldig brukervennlig.

5.3 Resultater fra Praktisk tilnærming ved bruk av SEBK metodikk

Det er flere ting som gjør det vanskelig å utvikle en beregningsmetode basert på ulykkesforløpet til en sekundæreksplosjon i et oljetrafobbygg. Flere parametere vil kunne være veldig varierende i tillegg til at det kan knyttes en hel del risikovurderinger opp mot hvor konservativ det er ønsket å være. Gexcon har tidligere utført konservative beregninger basert på ulykkesforløpet hvor det blir tatt utgangspunkt i gassutvidelsen etter sekundæreksplosjonen basert på gasskyen som blir produsert under primæreksplosjonen. Denne metodikken baserer seg på erfaringstall fra SEBK prosjektet og kompetanse fra Gexcon og er fra deres side omtalt som meget konservativ.

5.3.1 Parametere/Faktorer som inngår

Det er her flere viktige parametere som kan knyttes opp til selve ulykkesforløpet. En av de mest utslagsgivende parameterne er lysbueenergien. Lysbueenergien er ansvarlig for hvor mye gass som er med i eksplosjonen og vil derfor være en betydelig faktor. Energimengden fra lysbuen baserer seg på flere ting som spenningen til lysbuen, kortslutningsstrømmen og varigheten. I beregningene er det i tillegg valgt antall lysbuer som en parameter.

Fra intervjuobjekt 3 kommer det frem at metoden for å beregne lysbueenergi ikke er helt ønskelig ettersom den kan være noe upresis. Det er gunstigere om beregningene for lysbueenergi blir gjort av produsenter eller eksterne rådgivere med bedre kompetanse. Intervjuobjekt 5 forklarer også at beregningene for lysbuespenning og energi er greit å beregne i det fri, men er mye mer komplisert i oljefylte transformatorer. Intervjuobjekt 3 forteller at de benytter en forenklet metode for å beregne spenningen ved å ta utgangspunkt i isolasjonsavstanden og empirisk data for sammenhengen mellom isolasjonsavstand og lysbuespenning hvis spenningen ikke oppgis av kunden. Det er mulig å foreta mer avanserte utregninger av lysbuespenning med bedre nøyaktighet gjennom labforsøk eller mer detaljert forskning gjennom andre bedrifter, men dette igjen vil kreve mer tid og utgifter.

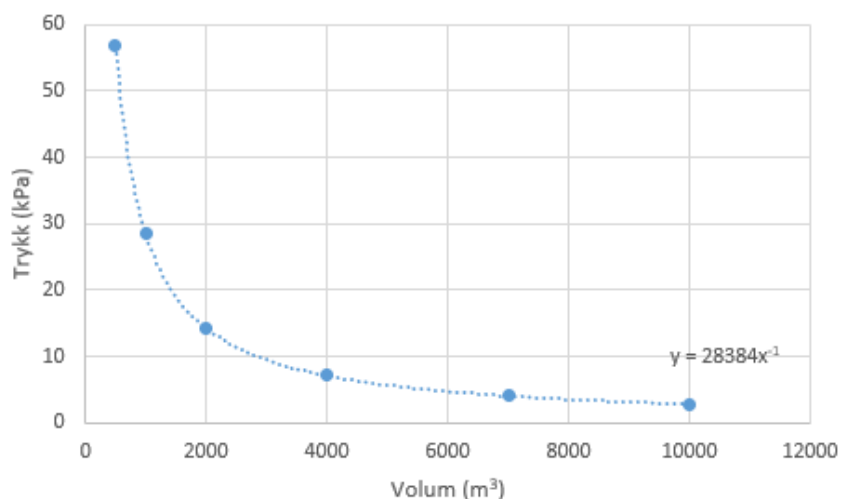
En annen sentral faktor er forholdstallet mellom spaltet gassky og energimengde. Fra SEBK er den satt som fast, selv om tidligere forskning tyder på at den vil avta med energinivået ettersom mer av energien vil gå med til pyrolyse og mindre energi gå over til volumarbeid. Et konstant forholdstall på $0.0993 \text{ m}^3/\text{MJ}$ vil derfor være ansett som mer konservativt for høyere energimengder.

5.3.2 Analyse av beregninger

Fra beregningene for den originale casen kommer det frem at det vil oppstå en trykkendring på 2,4 kPa, som med en DLF på 1,5 ender opp på 3,6 kPa. Som nevnt i metode er dette en last som forekommer helt uten avlastningsareal ettersom beregningene er basert på at all energi forblir i rommet og er derfor en adiabatisk fremstilling. Et trykk på 3,6 kPa vil bli sett på som en relativ lav last og vil oftest være overkommelig å dimensjonere etter, uten bruk av overdrevent mye byggematerialer.

Når det kommer til inngangsverdier i beregningene er kun romvolum og parametere for beregning av lysbueenergi som vil endres for hver ulik case. Romvolum kan enkelt endres etter hvert som en case eventuelt vil endre seg. Parameterne som er nødvendige for å estimere energien fra en potensiell lysbue vil ikke endres så fort transformatorene er bestemt.

Hvis det antas romvolum fra scenario 5 og 6, med volum på 10520 m³ og 1000 m³, er det mulig å se at i motsetning til NFPA68 vil trykket stige når volumet minker, og minke når volumet stiger. Som illustrert på figur 22.



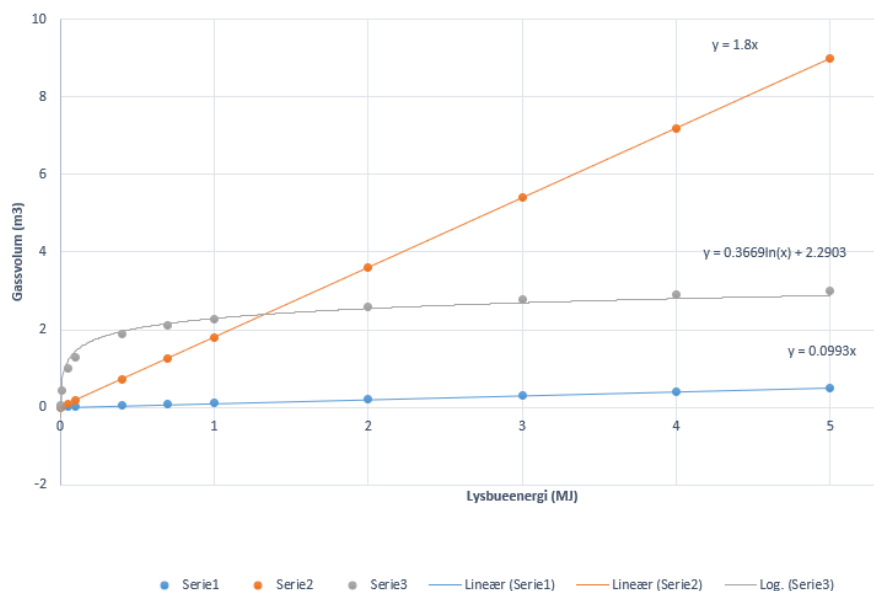
FIGUR 22 SAMMENHENG MELLOM VOLUM OG TRYKK MED SEBK METODIKK

Dette kommer av at gassen som dannes under kortslutningen i transformatoren er fast uavhengig av volumet til rommet. Ved å redusere volumet på rommet vil derfor reaksjonsproduktene fra forbrenningsreaksjonen utgjøre en større andel i det totale volumet til rommet. Dette er noe som vil ha større påvirkning for mindre volum. Det er her også mulig å se at volumparameteren også vil ha mye større betydning for mindre volum ettersom trykket stiger eksponentielt med en reduksjon i volum.

5.3.3 Usikkerhet/Problematikk

Som nevnt fra intervjuobjektene er det flere usikkerhetsmomenter til stede. Både fordi det er et kompliserte tema, men også fordi ulykken er veldig sjelden og det er derfor lite resultater å vise til. Usikkerheten ligger blant annet i beregning eller antagelse av spenning til lysbuen, varigheten til lysbuen, mengde spaltet gass, bidrag fra oljedamp og komponentene som inngår i den spaltede gassen. For å redusere usikkerheten er det derfor gjort flere konservative antagelser og benyttet erfaringstall der det er mulig, basert på tidligere undersøkelser fra SEBK prosjektet.

Verdien benyttet for å estimere gassproduksjon fra lysbueenergi er 0,0993 m³/MJ og kommer fra SEBK prosjekter i tillegg til at intervjuobjekt 1, 3 og 5 nevner det samme. Forskning fra CEPEL (Muller, 2008, s.3) mener derimot at det er et logaritmisk forholdstall ettersom mer av energien vil gå med til spalting istedenfor volumarbeid ved høyere energimengder. Kilde (Heudier, 2019, s.65) baserer seg på forskningen fra CEPEL, men har laget en linjer graf basert på meningen at det ikke finnes noen øvre grense basert på teoretiske analyser. På figur 23 er alle forholdstallene illustrert.



FIGUR 23 GASSUTVIKLING BASERT PÅ LYSBUESPENNING (M³/MJ)

TABELL 19 ULIKE UTGANGSPUNKT FOR GASSUTVIKLING

	Kilde:	Formel: (E i MJ)
Serie 1	SEBK	$V = 0.0993 * E$
Serie 2	(Heudier, 2019, s.65)	$V = 1.8 * E$
Serie 3	CEPEL (Muller, 2008, s.3)	$V = 0.44 * \ln(E * 1000000 + 5473.3) - 3.8$

På tabell 19 illustreres hvilke serier og funksjoner som er illustrert i figur 23.

Samtlige intervjuobjekt påpeker at 0.0993 er det beste estimatet på gassutvikling fra lysbuen. Serie 2 og 3 er derimot mye mer konservative å anta. Begge kildene har kredibilitet fra kjent forskning og vil være relevante. Ved 4 MJ vil serie 1 bli 0.4 m³ gass, som brukt i beregningene for oppgaven. Serie 2 og 3 vil da være 18 og 7 ganger større, som igjen vil føre til at lasten blir 18 og 7 ganger større. For serie 2 vil lasten da bli 43,6 kPa, noe som vil påvirke bygget betraktelig. Serie 3 vil resultere i en last på 17,5 kPa. Dette er verdier før en eventuell DLF er multiplisert inn så den dimensjonerende lasten vil kunne bli enda større.

Mye usikkerhet forsvinner fra beregningene av lysbueenergi ved å sette en fast verdi for lysbuespenningen og utkoblingstiden i casen. Fra SEBK prosjektet og intervjuobjekt 5 kommer det frem at det er knyttet en risiko til når utkoblingstiden vil forekomme. Gjennom intervjuobjekt 1 og 3 kommer det frem at det er mye usikkerhet tilknyttet lysbuespenningen og lysbueenergien, da spesielt i oljeblanding.

Valget av mengde oljetåke er som nevnt under metodikk valgt som 8 deler basert på metodikken fra SEBK prosjektet. SEBK prosjektet forklarer at mengden oljetåke som vil forekomme er veldig usikkert og valget på en faktor på 8 er ansett som et konservativt estimat, men der er i utgangspunktet ikke basert på tidligere tester, men er heller basert på en antagelse som er blitt gjort av de involvert i forskningsprosjektet (Hansen, 2002, s.56).

Liknende NFPA68 vil heller ikke beregningene basert på SEBK ta utgangspunkt i romgeometri annet enn det totale volumet. Det blir derfor ikke tatt hensyn til faktorer som turbulens inni i rommet eller hvordan forbrenningshastigheten vil propagerer raskere innover i avlange ganger, som nevnt i intervjuobjekt 2. Dette er faktorer som blir vanskelig å beregne uten mer avanserte beregningsverktøy som CFD-verktøy. Dette vil ikke være relevant for metodikken ettersom turbulensen og romgeometrien kun vil påvirke forbrenningshastigheten. Dette hadde vært en viktig parameter om det hadde vært avlastningsluker til stede, men for SEBK metodikken blir rommet satt som tett og all gass vil ha tid til å reagere med oksygen uavhengig av forbrenningshastighet. Videre er det heller ikke direkte tatt hensyn til tiden for antennelse av sekundæreksplosjonen. Dette blir derimot håndtert ved at sekundæreksplosjonen antennes når gassblandingen har nådd et støykiometrisk blandingsforhold, noe som vil anses som det mest konservative tidspunktet for sekundæreksplosjonen ettersom det er da blandingen vil være mest energirik.

I hovedsak er det kun volumendringen fra reaksjonsproduktene etter forbrenningsreaksjonen som ikke er et resultat av tidligere forskning fra SEBK. Faktoren på 9, etter rådgivning fra Gexcon, vil anses som konservativ ettersom alle gassene, inklusivt oljedampen, vil ha en lavere volumøkning enn 9. Dette kommer frem fra verdiene i tabell 2 i teorikapittelet. Dette er verdier som er vanskelig å beregne på egenhånd ettersom temperaturen under forbrenningsreaksjonen vil kunne variere veldig, men intervjuobjekt 3 nevner hvordan det kan gjøres.

Når det kommer til valg av DLF faktor er det her ikke noen mulighet for å beregne den på egenhånd. Beregningene for lasten tar ikke hensyn til tidsforløpet og det er derfor ikke mulig å beregne maksimal dynamisk deformasjon. Hadde det vært mulig å beregne den dynamiske deformasjonen ville det vært mulig å finne en mer eksakt verdi for DLF. Intervjuobjekt 3 mener derimot at ulykkes forløpet er såpass langvarig med den trege forbrenningshastigheten til oljetåken og at den vil kunne ansees som for treg til å være dynamisk last, som illustrert i formel 2.5. Ettersom det ikke er noe tidsintervall vil det være vanskelig å estimere, men for å være konservative i beregningene blir det antatt at lasten er dynamisk.

5.3.4 Tid, kostnad og brukervennlighet SEBK

Beregningen som er utført er basert på tidligere åpen forskning og vil derfor ikke være tilknyttet noen kostnad. Det er også mulig å utvikle beregningsverktøy som gjør både tidsaspektet kortere og metoden mye mer brukervennlig. Men ettersom dette er et særegent tema er det ofte mer naturlig å oppsøke konsulenter med god kompetanse for å være sikker på at utregningene blir utført riktig og at beslutningene som blir tatt er riktige, i tillegg til at svaret vil innehar mer kredibilitet. Fra intervjuobjekt 3 blir det forklart at om beregningene blir utført av eksterne rådgiver vil det kunne koste flere titalls tusen basert på timene det tar å kartlegge ulykkessituasjonen og beregne lasten. Dette vil kunne ta flere dager grunnet avventing på svar og noe forsinket kommunikasjon.

5.4 Sammenlikning

For å kunne gi best mulig sammenlikning ville det vært optimalt å sammenligne to identiske tilfeller med utgangspunkt i forskjellige beregninger. I dette tilfellet ville det vært optimalt å sammenligne lastene som forekommer ved et helt lukket rom eller ved samme mengde avlastningsareal. Som illustrert i metode og som fremkommer i scenario 3 i beregningene med NFPA68, vil det ikke være mulig å benytte metodikken med null eller veldig lav avlastning ettersom dette vil resultere i unaturlig store laster. Eneste måten da å kunne anta at lastene vil være noe liknende vil være hvis NFPA68 når et trykk lavere enn SEBK uten ekstreme mengder avlastning. For å kunne sammenligne metoder med et slikt ulikt utgangspunkt er derfor benyttet flere ulike metoder for å fremheve forskjellene.

5.4.1 Resultater fra utregning

Beregningsmetoden basert på SEBK tilbyr lite fleksibilitet og vil i hovedsak gi et svar basert på transformatoren og romvolumet til stede. NFPA68 stiller med mer fleksibilitet ved at det er mulig å velge hvilke parametere det er ønsket å sette som utgangspunkt for beregningene. Hvis veggene allerede er bestemt og bygget allerede tåler en spesifikk last vil NFPA68 kunne estimere hvor mye avlastningsflate som vil være nødvendig for å holde den ønskede lasten. Det samme hvis det er et begrenset avlastningsareal tilgjengelig, for så å få et svar på hva lasten vil være. For å representere beregningene fra NFPA68 er det derfor valgt flere ulike beregningsscenarioer, så også fleksibiliteten i beregningene er tatt med i betraktning. I sammenlikningene av lastene er det valgt å benytte lastene uten DLF ettersom det er en mer direkte representering av beregningene. Der det er nødvendig er trykket med DLF påpekt.

Sammenlikning ved identisk trykk

Metodikken basert på SEBK prosjektet resulterte i en last på 2,4 kPa. Dette er en veldig lik last som scenario 7 med NFPA68 beregningene, da med maksimal mulig avlastning. Når det ble satt maksimal avlastning i form av åpent tak og åpen yttervegg resulterer det i en last på 2,47 kPa. Beregningene fra NFPA68 hevder derfor at det vil være nødvendig med 804 m² avlastningsareal for å oppnå den samme lasten som SEBK metodikken hevder at vil være mulig ved et helt lukket rom. Dette kan derfor tolkes som veldig motstridenende resultater som illustrert i tabell 20.

TABELL 20 FORSKJELL I AVLASTNINGSAREAL VED TILNÆRMET LIKT TRYKK

	P _{red} (kPa)	A _v (m ²)
NFPA68	2.47	804
SEBK metodikk	2.4	0

I oppgaven er det ikke tatt utgangspunkt i SEBK metodikken med bruk av avlastningsoverflater, men fra intervjuobjekt 3 kommer det frem av avlastningsluker vil ha en stor påvirkning på beregningene. Lasten fra SEBK metodikken ville derfor blitt redusert betraktelig med en avlastningsoverflate på 804 m². Dette kommer av flere faktorer, blant annet oljedampen med sin trege forbrenningshastighet, som vil føre til at oljedampen rekker å bli ventilert ut av rommet før alt har rukket å forbrenne. Oljedampfaktoren vil derfor bli estimert til å bli redusert.

Sammenlikning ved gunstige forhold

Ettersom det ikke er mulig å sammenligne lastene som forekommer ved identiske forhold ettersom NFPA68 krever avlastning og SEBK ikke kan ha avlastning, vil det være interessant å sammenligne trykkresultatene ved naturlige eller gunstige forhold. For bruk av NFPA68 i casen vil det være en realistisk mengde avlastningsareal som brukt i scenario 2 ettersom det hovedsakelig er ytterveggen som er gunstig å bruke til avlastning. NFPA68 vil da gi et resultat 21,8 kPa, mot SEBK sin 2,4 kPa. Det er her vesentlige forskjeller i lasten. Liknende sammenlikningen med identisk trykk burde NFPA68 også være lavere her ettersom det er benyttet avlastningsflater, satt opp mot en beregning av last i et lukket rom. Allikevel er lasten fra NFPA68 9 ganger større enn metodikken fra SEBK som illustrert i tabell 21. NFPA68 vil her være betydelig mindre gunstig både med tanke på trykket som vil forekomme, men også avlastningsareal.

TABELL 21 TRYKK OG AVLASTNING VED GUNSTIGE FORHOLD

	P_{red} (kPa)	A_v (m ²)
NFPA68	21.8	270
SEBK metodikk	2.4	0

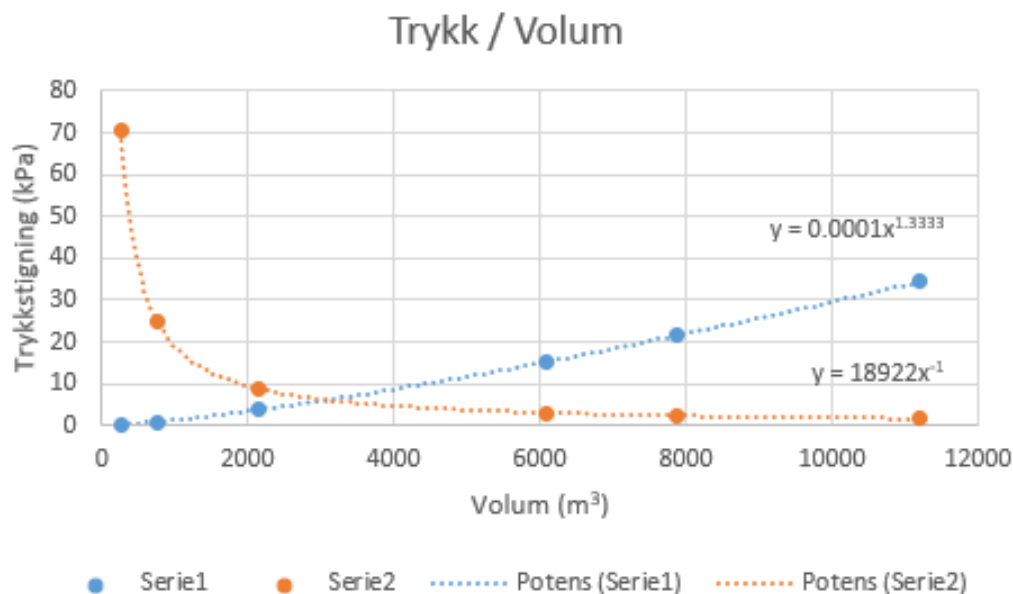
Sammenlikning av romvolum som parameter

Ved å se på redusert volum fra scenario 6 med lengde, bredde og høyde lik 10 meter, kommer det frem at NFPA68 vil gi et relativt liknende tall for mengden avlastningsflate basert på lasten på 5,33 kPa. Liknende scenario 4 så blir avlastningsarealet litt over en vegg, og derfor likt relativt til størrelsen. Dette tyder på at trykket fra eksplosjonen er redusert, men i tillegg er avlastningsareal redusert, slik at trykket forblir det samme. Hvis SEBK metodikken tar utgangspunkt i et slikt mindre volum med den samme informasjonen for transformatoren som i casen vil lasten stige til 18,9 kPa. Ved å redusere rommet vil derfor resultatene for NFPA68 holde seg identiske, gitt at avlastningsarealet forblir relativt lik til størrelsen. Metodikken fra SEBK resulterer i en last som øker nesten 8 ganger fra originalen ved en slik reduksjon i romvolum.

Fra disse sammenlikningene kommer det frem at metodene fungerer veldig forskjellig i hvordan de håndterer gassen som vil inngå i sekundærexplosjonen. Mye av forskjellen mellom NFPA68 metodikken og SEBK metodikken kommer trolig av det faktum at NFPA68 anser et rommet som er fullstendig fylt med gass. Dette igjen vil resultere i et økt trykk med økt romvolum. Metodikken fra SEBK anser en spesifikk mengde kubikk gass som resultat av lysbueenergien som vil frigjøres under en kortslutning, hvor gassen i forhold til romvolumet vil danne det totale trykket. Med et slikt størrelsesforhold med totalvolumet til rommet, vil trykket minke om rommet blir større, og øke eksponentielt om rommet minker. Denne effekten er illustrert i figur 22.

For å sammenligne disse effektene er det illustrert en graf for hver av metodene på figur 24. Serie 2 er en graf basert på SEBK metodikken og Serie 1 er en graf basert på NFPA68 metodikken. Ettersom metodikkene er såpass ulike, er det satt noen forutsetninger for parameterne i NFPA68 for å gjøre det sammenliknbart. Hvis volum skal settes som en variabel må avlastningsareal (A_v) settes som fast. I dette tilfelle ble den satt lik som scenario 2 med 270 m². I tillegg tar NFPA68 utgangspunkt i innvendig overflate, i motsetning til SEBK som baserer seg på innvendig volum. Ettersom det ikke er noen direkte sammenheng mellom overflate og volum er det i dette tilfellet antatt kubisk form på rommet i NFPA68. Grafene på figur 24 vil derfor kunne variere i verdi basert på romgeometrien som er valgt, men den generelle formen på grafen vil være lik. For NFPA68 vil et avlastningsareal på 270 også være

mindre realistisk for veldig små volum ettersom eksplosjonen da vil gå mot en åpen eksplosjon i motsetning til en lukket eksplosjon som standarden er ment for.



FIGUR 24 SAMMENLIKNING AV TRYKKUTVIKLING FRA NFPA68 OG SEBK

Som det kommer frem på figur 24 vil det være stor forskjell i bruk av NFPA68 eller SEBK ut ifra om romvolumet er relativt lite eller stort. Denne forskjellen vil kunne merkes spesielt godt for større konstruksjoner hvor vegger og tak vil ha større areal og derfor spenn, ved bruk av NFPA68. Ved å øke spennlengden i tillegg til det dimensjonerende trykket på konstruksjonen vil stivheten til konstruksjonen måtte forsterkes både for å stå imot et lengere spenn, men også et større trykk. Derfor ved å gå opp i volum vil bruken av byggematerialer for bygningskomponenter øke eksponentielt. Ut ifra grafen kommer det også frem at SEBK metodikken vil være mer konservativ for veldig lave romvolum. Dette er vanskelig å si med sikkerhet ettersom grafen for NFPA68 har satt en fast mengde avlastningsareal som vil ha en veldig stor prosentandel av innvendig overflate for små volum og derfor gi et veldig lavt trykk. I tillegg vil grafen for SEBK spesielt stige for volum lavere enn 1000 m³. Dette er volumer som her blir neglisjert ettersom rommet må være stort nok til å klare å romme en transformator.

Intervjuobjekt 2 hevder sterkt at det vil være urealistisk å anta at hele rommet fyller seg med gass etter primærekspløsjonen før antennelsen til sekundærekspløsjonen forekommer. Dette blir begrunnet blant annet i at en antenningskilde mest sannsynlig vil være til stede med en gang gassen slipper ut av transformatorboksen og reagerer med oksygen. Det påpekes derfor at det vil være veldig lite realistisk at gassen vil ha en voldsom gitt volumekspansjon etter lysbuen, for så å fylle hele rommet med forblandet gass. Dette strider også med hva som blir nevnt fra intervjuobjekt 1 med tanke på varigheten til lysbuen. Lysbuen vil ha en begrenset varighet basert på utkoblingsmekanismen og vil befinne seg et sted under ett sekund. All gassen som inngår i sekundærekspløsjonen, vil derfor forekomme i løpet av denne tidsperioden.

For å fylle hele volumet vil det da kreve en mye høyere energimengde enn det som er estimert i resultatene. Denne energimengden kan beregnes ved å sette den brennbare skyen som blir produsert i SEBK metodikken før sekundærantennelsen lik romvolumet, for så å finne ut hvor mye

energi det vil kreve å produsere. Ved å gjøre dette resulterte det i en energimengde på 1498,3 MJ, som illustrert på tabell 22.

TABELL 22 NØDVENDIG ENERGI FOR Å FYLLE ROMMET MED REAKTIVE GASSER

Energi:	Volum på brennbar sky (m ³):	Gassvolum uten oljetåke (m ³):	Energimengde (MJ):
Basert på case	21.02	2.34	4
Basert på fylt rom	7875.4	875.04	1498.3

Verdien på 1498,3 MJ er en ekstrem energimengde i forhold til beregningene som er gjort for casen. Energimengden beregnet i casen vil tilsvare 2,67 % av energimengden som kreves for å fylle rommet med reaktive gasser. For å illustrere hvor mye dette vil være, vil en lysbue med dobbel kortslutningsstrøm, dobbel lysbuespenning og 1 sekund utkoblingstid, trolig grunnet defekt utkoblingsmekanisme, kun resultere i en energimengde på 80 MJ og er kun 5,3 % av hva som er nødvendig for å fylle rommet.

5.4.2 Ansvar, risiko og kredibilitet

Metodene som vurderes er veldig ulike i form av bakgrunn for deres opphav og bruksområder. NFPA68 er laget som en eksplosjonsstandard og er revidert over lang tid, med jevne oppdateringer, og er godt utbredt rundt om i verden. SEBK er et forskningsprosjekt som ble vedtatt for å kartlegge risiko rundt spesifikt sekundæreksplosjoner (SEBK, 2002). Prosjektet tar derfor veldig konkret høyde for akkurat den eksplosjonen som forekommer i et transformatorbygg fra en sekundæreksplosjon. Begge metodene vil derfor ha hver sin form for kredibilitet til ulykkesscenarioet. NFPA68 ved å være en mer anerkjent og gjennomført standard, mens SEBK prosjektet er mye bedre rettet mot det spesifikke ulykkesforløpet til en sekundæreksplosjon.

Selv om NFPA68 er den metoden som er mest anerkjent i dette tilfellet forklares det blant annet fra intervjuobjekt 2 at slik NFPA68 opererer, ved å anse rommet som fullt av brennbar gass, vil være veldig urealistisk. Da spesielt for store rom. Ettersom gassen som fyller rommet, og er årsaken til sekundæreksplosjonen stammer fra selve oljen i transformatoren, så vil det kunne ansees som feil å anta at rommet vil fylles med gass helt uavhengig av størrelsen på romvolum og typen transformator. Denne påstanden kan underbygges av blant annet det intervjuobjekt 1 forteller om begrenset lysbuevarighet. Dette vil sette en tydelig begrensning for hvor mye energi som vil kunne fordampe gass og oljedamp. Intervjuobjekt 5 forteller i tillegg at kortslutningsenergien som vil forekomme kan direkte tilknyttes transformatoren. Dette vil tyde for at typen transformator må tas med i betraktningen for å kunne anta gassmengden som vil forekomme. Det vil derfor kunne argumenteres for at en beregning som tar utgangspunkt i transformatoren og gassdannelsen, liknende metodikken fra SEBK, vil være mer realistisk. NFPA68 kommer frem som konservativ sammenlignet med SEBK metodikken, som i seg selv anses å være konservativ. Både med tanke på trykket som vil forekomme, men også mengden avlastningsareal for å holde trykket ønskelig lavt.

Hvor konservativ det er ønskelig å forholde seg burde heller knyttes til risiko, slik som blir nevnt av intervjuobjekt 5. Et eksempel på dette er slik det er gjort i SEBK prosjektet. Der blir utkoblingstiden knyttet opp mot en sannsynlighet. Ulik varighet vil derfor resultere i ulike konsekvenser, noe som vil kunne føre til en enkel risikoanalyse med sannsynlighet knyttet opp mot konsekvens (Westberg, 2017). Intervjuobjekt 3 nevner også at det vil være mulig å knytte hele lysbueenergien til en sannsynlighet, noe som tidligere er gjort i oljebransjen for oljeplattformer. Problematikken rundt en

slik risikoanalyse kan være at det finnes så lite statistikk rundt sekundæreksplosjoner. Empirisk data vil da kunne være mer gunstig, men mye av dataen som er benyttet i blant annet NEFPA68 eller SEBK prosjektet kommer fra tester på mindre skala enn for ulykkesforløpet. Intervjuobjekt 2 forklarer da at mange av slike tester ikke vil være direkte overførbare for større eksplosjoner.

5.4.3 Tid, kostnad og brukervennlighet

Som nevnt tidligere vil både metodene etter SEBK og NFPA68 kreve lite eller ingen ekstra kostander. Det er mulig å lage gode beregningsverktøy for begge metoder som kan effektivisere prosjekteringsprosessen. Noe annet som metodene kan ha en direkte påvirkning på er kostnadene for selve prosjektet. Metodene avgjør hvilken dimensjonerende last som legges til grunn, og dermed hvordan trafosjakten bør utformes med tanke på materialkostnader. Med økende dimensjonerende last vil kostnadene knyttet til å bygge trafosjakten øke. Ved å se på figur 24, kan en se hvilken av metodene som gir større ulykkeslast for ulike volum. Dette kan være en faktor som kunden kan ha av interesse. Det kan det være av interesse å spare kostander på materialbruk til trafosjakten ved å bruke en metode som gir mindre dimensjonerende last. En redusert last vil også kunne føre til redusert bruk av potensielt unødvendig materialer på trafosjakten. Dette kan være en miljømessig faktor som kunden også kan være interessert i.

5.5 Viktigheten av å dimensjonere for eksplosjon

Man kan stille seg spørsmålet om hvor viktig det egentlig er å dimensjonere for eksplosjonslaster i trafosjakter når det så sjeldent inntreffer ulykker som sekundære eksplosjoner. Mange trafosjakter ligger på øde plasser der det ikke er fare for forbipasserende personer eller omliggende bebyggelse. Risikoen for disse trafosjaktene er for personene som utfører vedlikehold på trafoene og den potensielle nedetiden ved en ulykke der transformatoren havner ut av drift. Det er her risikokravene for de ulike trafosjaktene kommer inn i bildet. For noen trafosjakter settes det høye risikokrav og for andre lavere krav.

Det deles som nevnt ofte opp i to kategorier av konsekvens. Den ene går på den fysiske skaden eksplosjonen kan påføre mennesker, bygget og omliggende material. Trafosjakter er til en viss grad vedlikeholdsfrie, men det vil normalt utføres jevnlig kontroll på disse. Dette medfører risikoen for at en eksplosjonsulykke inntreffer mens personer er inne i eller nær trafosjakten. Så til tross for at noen trafosjakter kan plasseres øde og langt fra folk, vil dette fremdeles være en risiko. Den andre typen konsekvens vil være betydningen av nedetiden til trafosjakten. Noen trafostasjoner er ekstra kritiske fordi de kan forsyne hele eller store deler av byer med strøm. Kritiske punkt som sykehus, oljeplattformer og liknende kan også miste strømmen ved transformatorhavari. Nå i nyere tid settes det strengere krav til seksjonering av trafostasjoner ifølge intervjuobjekt 5. Hensikten med dette er at en enkelt transformator i en trafostasjon skal kunne eksplodere, men ikke påføre skade på resten av trafostasjonen slik av den fremdeles holdes i drift. Det er lang leveringstid for transformatorer, så det kan ta lang tid å få en trafosjakt i drift igjen etter en ulykke. Det kan ta kortere tid å få bygget opp trafobygget igjen enn det er å få levert en ny transformator. Intervjuobjekt 4 forteller om at det på enkelte prosjekt legges til rette for effektiv utskiftning av transformatorer. Da må trafobygget være robust nok til å tåle overtrykket fra en eksplosjonsulykke og fremdeles være operativ etter enklere reparasjoner. I disse tilfellene kan det kreves at en har en ekstra transformator stående som reserve. Denne skal kunne erstatte den ødelagte transformatoren og sørge for at trafosjakten kommer tilbake i drift kort tid etter ulykken.

5.6 Styrker og svakheter

Selv om NFPA68 syntes å indikere en mindre egnet metode for å beregne ulykkeslast tilknyttet sekundæreksplosjoner har den styrker som kan gjøre den brukbar i enkelte situasjoner. Punktene som gjør standarden gunstig er i hovedsak hvor få og hvilke type inngangsparametere som kreves, hvor brukervennlig den er og det faktum at den alltid vil være sett på som konservativ. For en rådgivende ingeniør som trenger ulykkeslasten i prosjekteringsfasen av et bygg er det veldig lett å jobbe med standarden. Dette kommer av at inngangsparametere i hovedsak består av innvendig overflate, samlet avlastningsflate og dimensjonerende trykk, ettersom alle gasskonstanter vil baseres på hydrogen i hvert prosjekt og derfor vil de fleste gasskonstanter være like i hver case. I tillegg vil en prosjekterende ingeniør stå med frihet til å bestemme hva som vil settes som de dimensjonerende parametere. Dette er alle parametere som er lett å forholde seg til og endre underveis i prosjekteringen. Parametere vil i tillegg være enkle å innhente tidlig i prosjektene, allerede før selve transformatorrommet er bestemt. Med tanke på at standarden alltid vil anta et rom fullt av den mest konservative gassen tilgjengelig ved støkiometrisk blanding, vil metoden ta utgangspunkt i absolutt verste utgangspunkt for en eksplosjon. Den mest åpenbare svakheten er det faktum at NFPA68 ikke tar utgangspunkt i ulykkesforløpet, og resulterer derfor i et urealistisk konservativt trykk som er helt uavhengig av transformatorrommet som er til stede. Standarden tar heller ikke hensyn til gassblanding som vil forekomme, men heller den mest reaktive komponenten av gassblandingen, som i dette tilfellet vil være hydrogen. Fra intervjuobjekt 3 blir det fortalt at en stor del av gassblandingen vil være oljedamp, noe som har en forbrenningshastighet langt under hydrogen og vil realistisk føre til en lavere trykkutvikling, spesielt når beregningene har krav til avlastningsflater. Videre vil det forekomme noe problematikk rundt kravet til avlastningsflater. Dette vil føre til problemer både for transformatorrommet uten direkte tilknytning til det fri, men også en unødvendig risiko for forbigående hvis bygget har avlastningsflater mot det fri, selv om bygget i utgangspunktet har kapasiteten til å unngå det. Vil fordelene veie opp for ulempene?

SEBK metodikken er mer egnet til ulykkesforløpet. Hvor energimengden og gassblandingen vil være tatt i betraktning og derfor være basert på en mer realistisk fremstilling av eksplosjonen. I motsetning til NFPA68 vil denne lasten reduseres med volumet, gitt at verdiene for transformatorrommet forblir den samme, som illustrert på figur 22. Ettersom eksplosjonen stammer fra transformatorrommet vil dette være et mer troverdig utgangspunkt. Med tanke på at en god del av forskning i tilknytning til sekundæreksplosjoner allerede er utført er metodikken relativt brukervennlig med tanke på endringer i ettertid. Noe ulempene med å benytte en slik SEBK metodikk er det faktum at en god del av parametere tilknyttet lysbueenergien vil være veldig vanskelig å estimere nøyaktig eller innhente i tidlig fase av prosjektet. Dette er også verdier som kan knyttes opp mot en sannsynlighet for en mer omfattende risikovurdering. Denne oppgaven har gått rundt dette med å sette verdiene som faste innenfor et realistisk område, basert på rådgivning fra intervjuobjekt og tidligere forskning. Videre vil det ikke være mulig å benytte avlastningsareal hvis det skulle vise seg at lasten som forekommer under eksplosjonen blir for stor for konstruksjonen.

5.7 Muligheter for en forbedret løsning

For å oppnå en gunstigere løsning for beregning av trykket fra en sekundæreksplosjon er det flere tiltak som er undersøkt. Som intervjuobjekt 2 nevner er noe av problematikken rundt det å gjøre endringer på eksisterende metodikk det faktum at kredibiliteten fra metodikken svekkes. Dette kan bli et problem hvis det først vil oppstå en sekundæreksplosjon og bygget ikke tåler eksplosjonen som utvikler seg. Dette vil kunne resultere i problematikk knyttet til forsikringsansvar. Spesielt hvis personen som har gjort en egen tolkning eller endring av eksisterende metodikk mangler tilstrekkelig kredibilitet knyttet til tema.

Videre er det hentet inn resultater for ulike beregninger basert på en kombinasjon av de ulike metodene. Noen av scenarioene som er presentert er valgt basert på rådgivning fra de ulike intervjuobjektene, andre er valgt på bakgrunn av de diskuterte fordeler og svakheter ved de ulike metodene.

Scenario 8

Ettersom NFPA68 tar utgangspunkt i et fullt rom er det interessant å se på resultatet som vil forekomme hvis det totale rommet settes lik det samme gassvolumet som blir produsert gjennom metodikken fra SEBK. Ettersom SEBK dokumenterer at det vil kunne produseres en gitt mengde gass vil det da være mer realistisk å anta et fullt rom, om rommet er like stort som gasskyen. Noe av problemet her er at SEBK antar et volum, mens NFPA68 antar innvendig flate. For å kunne gjøre om volumet på 21,02m³, som er gassvolumet før forbrenning som forekommer i SEBK, til overflate vil det antas et kubisk rom. Dette vil resultere i en lengde, høyde og bredde på 2.76 meter som det kommer frem i formel 5.1.

$$L = B = H = \sqrt[3]{21.02 \text{ m}^3} = 2.76 \text{ m} \quad (5.1)$$

Liknende andre scenarioer er det benyttet en dimensjonerende last på 8 kPa og derfor en P_{red} lik 5.33 kPa. Resultatet fra

TABELL 23 RESULTATER FRA SCENARIO 8

Scenario	A_s (m ²)	P_{red} (kPa)	P_{es} (kPa)	C (bar·b ^{1/2})	Retning av beregning	Avlastningsareal A_v (m ²)
8) Gassvolum fra SEBK (antatt kubisk rom)	46	5.33	8.0	0.0528	→	10

Dette resultatet hentet fra tabell 23 fungerer som et interessant utgangspunkt for sammenlikning med metodikken fra SEBK ettersom det her vil bli anslått samme gassmengde. Her vil også NFPA68 fremstå som langt mer konservativ med både krav til 45 m² avlastningsareal i tillegg til at lasten er satt som 5,33 kPa, noe som igjen er over det dobbelte av SEBK metodikken på 2,4 kPa. Selv med en slik stor endring på beregningene til NFPA68 er beregningene mer konservative enn metodikken for SEBK med tanke på at trykket er over det dobbelte og det kreves likevel avlastning på 10 m².

Scenario 9

Fra intervjuobjekt 2 ble det forklart at noe av det som gjør NFPA68 upresis er det faktum at standarden kun tar utgangspunkt i mest reaktive gass. I slike sekundæreksplosjoner er det hydrogen,

en gass som er mye mer reaktiv enn andre gasser som inngår. Ettersom de andre gasskomponentene som inngår er mindre reaktive mente intervjuobjekt 2 at en vektet gassblanding vil være en mer realistisk tilnærming. Vektingen er basert på gassblandingen benyttet i fase 3 i SEBK prosjektet og forbrenningshastighet S_u i tillegg til makstrykk P_{max} er hentet fra tabell 24 basert på verdiene fra annex D i NFPA68. En slik vekting resulterte i en ny forbrenningshastighet S_u og maksimal trykk under lukket deflagrasjon P_{max} , som igjen resulterte i en ny ventilasjonskonstant C og er illustrert i tabell 25. Videre er det valgt samme dimensjonerende last som i scenario 4 på 8 kPa.

TABELL 24 GASSKONSTANTER BASERT PÅ ANNEX D I NFPA68 (NFPA68, 2023, ANNEX D)

Gass	S_u (cm/s)	P_{max} (bar-g)
Hydrogen	312	6.8
Acetylen	167	10.6
Metan	40	7.1
Etylen	47	7

TABELL 25 NYE VAKTEDE GASSKONSTANTER FOR SCENARIO 9

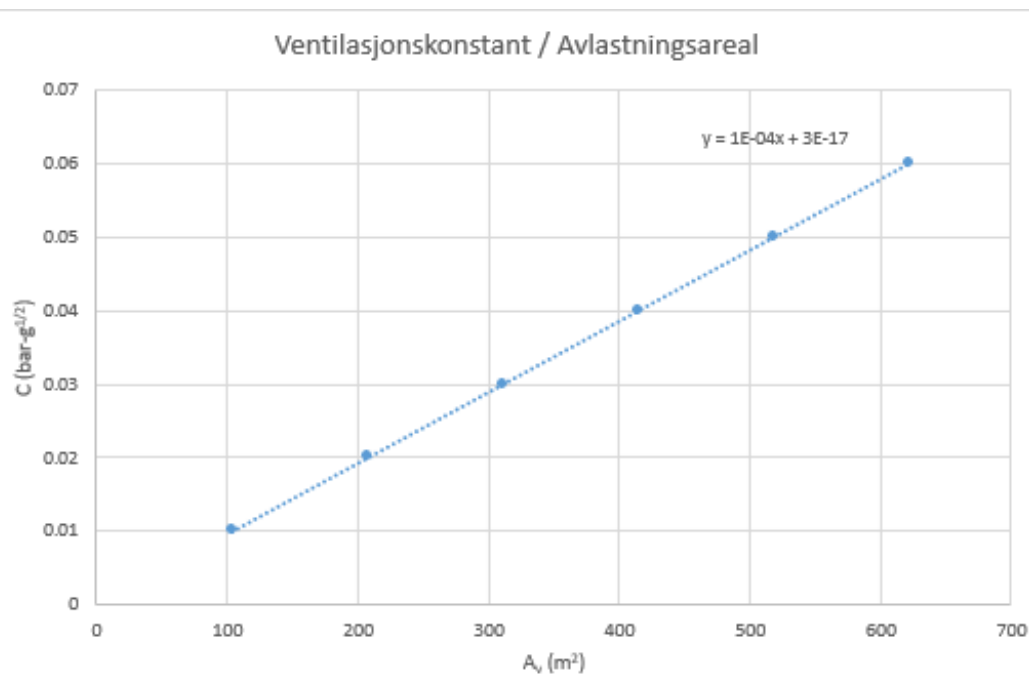
Parametere:	Verdi:
S_u (m/s)	2.67
P_{max} (bar-g)	7.61
C (bar-g ^{1/2})	0.0499

I tabell 26 er det illustrert scenario 8 og 9 sammen med scenario 4 for å sammenligne vektete gassblandinger med en ren hydrogenblanding. Dette vil ikke bli en helt fullstendig sammenlikning ettersom vektet løsning i hovedsak vil bestå av oljedamp, noe som vil redusere spesielt forbrenningshastigheten betraktelig. Men ettersom det ikke ble funnet noen god gasstilmærming for oljedamp ble dette fjernet. I dette tilfelle vil det derfor bli en relativ liten forskjell ettersom scenario 9 også vil bestå av for det meste hydrogen. Det er derfor i hovedsak bidraget av 6% metan og etylens som utgjør forskjellen. Forbrenningshastigheten S_u er derimot redusert nok til at beregningene for turbulens vil være gjeldene.

TABELL 26 SAMMENLIKNING AV SCENARIO 4 OG 9

Scenario	A_s (m ²)	P_{red} (kPa)	P_{es} (kPa)	C (bar-b ^{1/2})	Retning av beregning	Avlastningsareal A_v (m ²)
4) Konservativt trykk fra tidligere prosjekt	2396	5.33	8.0	0.0528	→	547
9) Vektet gassblanding	2396	5.33	8.0	0.0499	→	517

Forholdet mellom C og A_v kan illustreres med grafen på figur 25, gitt at A_s og P_{red} holdes konstante.



FIGUR 25 SAMMENHENG MELLOM VENTILASJONSKONSTANT OG AVLASTNINGSAREAL

Ved å gjøre endringer på ventilasjonskonstanten ved å endre gasskomponenter, vil det føre til store på utslag på avlastningsflaten, noe som direkte kan overføres til det dimensjonerende trykket, som vist i figur 25. Som illustrert i scenario 9 vil kun en liten endring i hydrogeninnholdet føre til en endring på ventilasjonskonstant C. Derfor ved å vekte gasskomponentene med en oljetåke, vil det få ganske store utslag.

Scenario 10

For scenario 10 er det ønsket å se på en løsning hvor NFPA68 vektas enda nærmere SEBK hvor både volumet blir redusert til realistisk gassky, i tillegg til at forbrenningshastighet og P_{max} vektas basert på SEBK og settes lik som i scenario 9. Dette resultatet er illustrert i tabell 27.

TABELL 27 RESULTATER FRA SCENARIO 10

Scenario	A_s (m²)	P_{red} (kPa)	P_{es} (kPa)	C (bar·b ^{1/2})	Retning av beregning	Avlastningsareal A_v (m²)
10) Gassvolum fra SEBK (antatt kubisk rom)	46	5.33	8.0	0.04987	→	10

Her vil det ikke forekomme noen forskjell fra resultatene i scenario 8 og 10. Dette kommer av at ny vektet ventilasjonskonstant ikke har tilstrekkelig verdi til å gjøre store endringer, spesielt når det i utgangspunktet er et lite avlastningsareal.

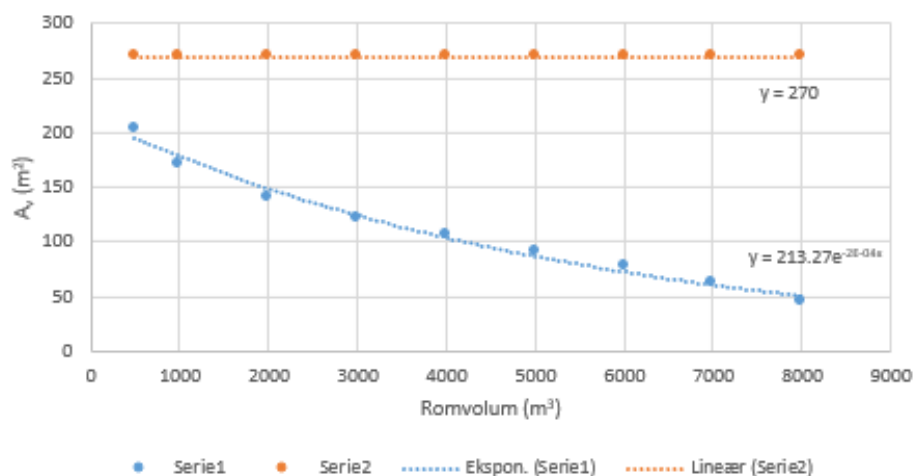
Scenario 11

NFPA68 gjør det mulig å beregne et avlastningsareal basert på redusert gassblanding fra formel 2.16 og 2.17 i kapittel 2.5.1. Dette vil kunne sammenlignes med et tilfelle hvor gassen som blir produsert gjennom primæreksplosjonen vil ha tid til å blande seg ut i resten av romvolumet, liknende en sekundæreksplosjon med en veldig forsinket antennelse. Likt som scenario 8 – 10 vil også dette scenarioet basere seg på verdier NFPA68 ikke vil kunne stille med på egenhånd og er derfor avhengig av eksterne undersøkelser og dokumentasjon.

Her blir det antatt en gassky på 21.02 m³ som fra SEBK beregningene, og et volum på transformatoren lik 150 m³. Videre er det tatt utgangspunkt i scenario 4 med en opprinnelig A_v på 547 m². Det vil også bli antatt en støkiometrisk blanding for hydrogen hentet fra SEBK prosjektet. Her er verdiene som inngår i beregningene for revidert avlastningsareal i tillegg til selve resultatet illustrert i tabell 28. I tillegg er det satt opp en graf som illustrerer denne trykkreduksjonen basert på økende volum på figur 26 (blå graf).

TABELL 28 RESULTATER FRA SCENARIO 11

Scenario	Vgass (m ³)	Volum (m ³)	Vsolid (m ³)	Stoichiometric (hydrogen)	Xr	Avo	Av1	Reduksjon
4)	21.02	7875.4	150	0.295278	0.00922	547	97	82.25%



FIGUR 26 SAMMENHENG MELLOM AVLASTNINGSAREAL OG ROMVOLUM ETTER REDUSERT BLANDINGSFORHOLD

Som illustrert på figur 26 vil økt romvolum resultere i redusert avlastningsareal. Her vil mengden avlastningsareal bli benyttet som en illustrasjon på endringen i trykk, ettersom trykket opprinnelig er satt som fast. Grafen vil da ende opp med en form som er mer lik SEBK metodikken, hvor trykket reduseres med volumet. Dette vil derfor være en ganske stor overgang fra hvordan grafen har sett ut i utgangspunktet. Hvis grafen sammenlignes med grafen på figur 15, vil grafen for avlastning originalt stige med volum, eller mer konkret, innvendig overflate. Selv om grafen her likner mer på grafen som forekommer i SEBK metodikken, vil det være noe ulik begrunnelse. I dette tilfelle vil trykket, illustrert med mengden avlastning, reduseres med volumet ettersom gasskonsentrasjonen tynnes ut i et større volum. I SEBK metodikken vil grafen for trykk minke med volumet ettersom

volumekspansjonen som forekommer i en sekundæreksplosjon vil ha relativt mindre påvirkning for større volum. Liknende som for scenario 8 blir det også her illustrert et høyere trykk i tillegg til krav om avlastning for samme mengde gass som SEBK mener skal bli relativt lav og ikke kreve avlastning.

Kritikk til denne metodikken vil forekomme ved å estimere blandingsforholdet som vil forekomme, i dette tilfelle av hydrogen. Dette kan beregnes ved å ta antatt gassvolumet fra SEBK og dele på totalvolumet fratrukket gassvolumet, som illustrert i formel 5.2.

$$\text{Blandingsforhold} = \frac{V_{\text{gass}}}{V_{\text{luft}}} = \frac{V_{\text{gas}}}{V_{\text{tot}} - V_{\text{gass}}} = \frac{21.02}{7875.4 - 21.02} = 0.267 \% \quad (5.2)$$

Dette blandingsforholdet vil være lavere enn det laveste eksplosive området til hydrogen på 4%, noe som kan tyde på en svakhet i standarden ettersom den allikevel hevder ha det vil forekomme et trykk på 5,3 kPa, i tillegg til at det vil være nødvendig med 97 m² avlastningsareal.

Videre utbedringer som kan utføres vil være å se på en vektet volumendring i SEBK metodikken basert på gassammensetningen som forekommer istedenfor den konservative verdien på 9 som blir benyttet. Dette er kjente verdier som finnes i tabellform i ulike oppslagsverk, blant annet tabell 2. Det vil kreve noe ytterligere undersøkelse på volumendringen til oljedampen.

5.8 Videre forskning

Videre er det undersøkelser som kan gjøres for videre forskning på tematikken i denne oppgaven. Relevante punkter til videre arbeid vil være:

- Sammenligne resultatene fra de ulike metodene med CFD-analyser.
- Utforske muligheten for en forbedret praktisk metode. Gå videre med SEBK metodikken og muligens få lagt inn noe konservativ empirisk data for turbulens og ventilasjonsluker.
- Gjennomføre forsøk der man simulerer CFD-analyser på flere ulike standardiserte romvolum og transformatorer for utvikling av bedre empirisk data eller referanseverdier.

5.9 Oppsummerende diskusjon

Fra intervjuobjektene kommer det frem at viktige faktorer som bør ivaretas ved beregningen av ulykkeslasten oljedamp sekundæreksplosjon for trafosjakter, er lysbueenergi, gassblanding og oljedamp, romvolum med tilhørende geometri i tillegg til risiko. Lysbueenergien er vesentlig fordi den avgjør hvor mye olje som blir spaltet til gass som følge av den indre kortslutningen. For lysbueenergien er varigheten på lysbuen, stedet hvor lysbuen oppstår i transformatorboksen, antall lysbuer, lengden på lysbuen som videre kan knyttes opp mot spenningen til lysbuen, viktige faktorer. Det vil være utfordrende å kunne fastslå eksakt lysbueenergi på grunn av usikkerhet rundt disse faktorene. Lysbueenergien kan videre knyttes opp mot gassblandingen og mengde gass, som også er viktige faktorer fordi de er med på å avgjøre størrelsen på eksplosjonen. Gassblandingen som oppstår vil bestå av hovedsakelig hydrogen og acetylen, i tillegg til at det vil forekomme store mengder oljedamp. Denne gassblandingen vil ha stor betydning på forbrenningshastigheten, og derfor eksplosjonslasten. Til slutt vil romvolum ha en stor påvirkning på makstrykket til eksplosjonen, der

større romvolum vil sørge for et mindre makstrykk. Risiko vil også være en avgjørende faktor for hvilket risikokrav som settes for trafosjakten. Dette har med hvor kritisk trafosjakten er og de potensielle konsekvensene av en sekundærexplosjon i forhold til fysiske skader og strømforsyning.

Beregningene som er utført er gjort med metodikken i NFPA68 og metodikken som forekommer i SEBK. Her tar NFPA68 utgangspunkt i rom fullt med gass og setter et krav i beregningene om bruk av avlastningsareal. Beregningene i SEBK metodikken baserer seg derimot på ulykkesforløpet, men setter krav for beregningene å ikke benytte avlastningsflater ettersom beregningene er ansett adiabatisk. Derfor med tanke på faktorer som inngår i beregningene er alle nevnt ovenfor med i SEBK metodikken, med unntak av romgeometri annet enn volum. Romgeometrien vil derimot ikke ha påvirkning når det ikke er brukt avlastning ettersom all gassen som er med i reaksjonen vil ha tid til å reagere med oksygen og derfor ikke bli påvirket av forbrenningshastigheten. Verdier som inngår i beregningene er fullt mulig å knytte opp mot en sannsynlighet, for så å resultere i konsekvens for en enkel risikoanalyse. NFPA68 vil ikke ta lysbueenergi, gassblanding eller oljedamp med i betraktning for eksplosjonen, men har løst dette med å fylle hele rommet med den mest reaktive gassen som er med i eksplosjonen, hydrogen.

Etter å ha benyttet de ulike beregningsmetodene på casen har det kommet frem veldig store forskjeller på trykket som vil oppstå. Det har vært noen problemer å sammenligne resultatene som forekommer i de ulike metodene ettersom resultatene har ulike forutsetninger, som avlastningsareal og hvordan de forholder seg til romvolumet. De mest illustrerende resultatene kommer derfor ved å se på resultatene som forekommer ved identisk trykk og resultater med identisk gassvolum. Her kommer det frem at NFPA68 vil kreve et betydelig bidrag fra avlastningsluker for å nærme seg trykket fra SEBK metodikken. Dette er avlastning med så store areal at eksplosjonen som forekommer er på grensen til en åpen eksplosjon istedenfor en lukket, noe som standarden i utgangspunktet ikke tillater. Hvis avlastningsarealet blir for stort vil dette kunne endres for NFPA68, men da vil en størrelse på avlastningsarealet med mer gunstige verdier for casen resultere i laster som kan være veldig krevende for bygget uten betydelige konstruksjonsmessige forbedringer. Forskjellen mellom NFPA68 og SEBK metodikken blir bare større ved økt volum som illustrert i figur 24, og skyldes mengden gass som blir antatt å ville inngå i eksplosjonen relativt til romvolumet. Da ved å anta et mindre rom i NFPA68 liknende den forventede gassen som vil forekomme i SEBK metodikken vil begge metodene ta utgangspunkt i samme gassmengde. Her også kom SEBK ut med minst i kombinasjon med avlastningsareal.

NFPA68 har en fordel ved at den legger seg så konservativ at all risiko blir ekskludert i tillegg til at gassen som blir forutsatt er mer enn hva som vil kunne produseres av en lysbue i en transformator. Men basert på beregninger og uttalelser gjort i intervjuobjektene vil NFPA68 kunne bli ansett som urealistisk konservativ av flere grunner. Den mest faktoren for at rommet ikke vil kunne fylle seg for større romvolum er den begrensede energimengden under kortslutningen til transformatoren.

Selv ved å gjøre forbedringer på NFPA68 for å gjøre utgangspunktet bedre tilrettelagt ulykkesforløpet basert på noen av resultatene fra beregningene av SEBK metodikk, vil ikke resultatene fra standarden være i nærheten av resultatene som kommer fra selve SEBK metodikken. Det er spesielt utforsket forbedringer av parameterne på gassvolum og gass sammensetning, men dette har ikke resultert i en bedre løsning i noen av tilfellene. Det virker derfor som at utbedring eller tilretteleggelse av NFPA68 standarden ikke vil være en optimal løsning.

6 Konklusjon

Hovedproblemstillinger:

1. Kartlegging av hvilke faktorer som påvirker og bør ivaretas ved beregning av ulykkeslasten oljedamp sekundæreksplasjon for oljekjølte transformatorer

Gjennom undersøkelsen basert på resultatene som er innhentet kommer det frem flere parametere av betydning for ulykkesscenarioet. Her vil de viktigste parametere som burde ivaretas ved beregning av ulykkeslasten være lysbueenergi, romvolum og eventuelt trykkavlastning. I tillegg vil det være flere parametere som burde ivaretas for en nøyaktig beregning, men som ikke vil ha like stor betydning. Disse parametere er romgeometri og dermed turbulenseffekt, tid før sekundærantennelse, gasskomponenter, mengde oljedamp og tilhørende risiko.

2. Evaluere hvordan dagens beregningsmetodikk fra NFPA 68 og SEBK egner seg for beregning av trykk under ulykkesforløpet

Metodikken i NFPA68 vil være brukervennlig og tar høyde for enkle parametere. Standarden er derimot ikke ment til å brukes for beregning av den gitte ulykkeslasten, men vil allikevel kunne garantere svært konservative resultater. Metoden vil kunne egne seg i situasjoner hvor det mangler informasjon på transformatoren, prosjekteringen er tidskritisk i tillegg til at man er nødt til å beregne svært konservativt, men vil ellers egne seg dårlig for beregning av sekundæreksplasjoner i oljekjølte trafosjakter.

Metodikken fra SEBK har moderat brukervennlighet. Metoden krever parametere tilknyttet usikkerhet og kan by på utfordringer i tidlig prosjekteringsfase. Metoden egner seg godt for beregning av den gitte ulykkeslasten, med unntak av situasjoner som krever trykkavlastning.

Videre er delproblemstillingene besvart:

Hvilke komplikasjoner og usikkerheter knyttes det opp til beregning av den gitte ulykkeslasten og selve ulykkesforløpet

Til nå forekommer det mye usikkerhet ved at det ikke har oppstått nok eksplasjoner til å innsamle god nok statistikk og erfaringsdata. En eksplasjon vil alltid inneha usikkerhet og vil være umulig å eksakt simulere eller beregne. En slik usikkerhet vil følge en del av parametere som inngår i eksplasjonen enten ved at det mangler tilstrekkelig med erfaringsdata eller fordi parameteren er for kompleks til å beregne uten avansert simuleringsverktøy. Dette gjelder i hovedsak for lysbuespenning, varighet på lysbue, gassblanding, turbulenseffekt og tid før antennelse av sekundæreksplasjon. Dette blir flere steder håndtert ved å holde flere antagelser konservative nok til å utelukke en del risiko.

Hvilke parametere vil ha mest betydning

Gjennom intervjuene kom det frem at det vil være flere parametere av betydning, men de mest betydelige, spesielt for casen, vil være: romvolum, lysbueenergi og eventuelt trykkavlastning.

Hvilke resultater vil forekomme fra NFPA68 metodikken og SEBK metodikken

Gjennom NFPA68 kom det frem at ved et lavt trykk på 4 kPa krevdes det 774 m² avlastningsareal. Når avlastningsarealet ble satt ned til en mer realistisk mengde på 270 m² gikk den dimensjonerende lasten opp til 32,8 kPa. Videre kom det frem at ved å sette en fast avlastningsflate vil trykket øke med det innvendige volumet.

Fra metodikken i SEBK kom det frem en dimensjonerende last på 3.6 kPa, da uten noen form for avlastningsflate. Ved å endre volumet kom det også frem at lasten vil minke med økende totalt romvolum.

Hva vil være forskjellen i anvendelsen av beregningsmetodene og svarene de gir

Forskjell på anvendelsene av beregningsmetodene går på hva metodene setter som utgangspunkt. NFPA68 vil sette et fullt rom med et støkiometrisk blandingsforhold av den mest brennbare gassen som vil inngå i forbrenningen, standarden vil da få et høyere trykk ved høyere romvolum. SEBK metodikken tar utgangspunkt i en mer realistisk gass som blir produsert av lysbuen i transformatoren for så å dele på totalt romvolumet. Metodikken vil få et lavere trykke ved høyere romvolum. Videre vil det være forskjell i hvordan metodene setter krav til avlastningsareal hvor NFPA68 har det som et krav og SEBK metodikken setter krav til at rommet er tett.

Gjennom beregningene fra casen kom det frem at for å kunne nå et likt dimensjonerende trykk på rundt 3,6 kPa vil beregningene fra NFPA68 kreve nok avlastningsareal til dekke nesten hele ytterveggen i tillegg til et åpent tak. I motsetning til dette vil SEBK metodikken ikke vil ha avlastning. Ved å redusere avlastningslukene til 270 m², som er mer gunstig for casen, vil da både trykket være 9 ganger høyere ved bruk av NFPA68 i tillegg til at det er 270 m² avlastningsareal mot SEBK sitt krav om ingen.

Finnes det muligheter for forbedringer av metodene i tilknytning sekundæreksplosjoner

I oppgaven er det utforsket mulighet for å kombinere metodene som er benyttet. Dette gjør spesielt NFPA68 bedre egnet for sekundæreksplosjoner ved å hente gassverdier og volum fra SEBK metodikken. Resultatene som er innhentet er basert på NFPA68, men med utgangspunkt i: redusert innvendig overflate basert på gassvolumet fra SEBK, en mer realistisk vektet gass istedenfor en ren hydrogenblanding, og et redusert blandingsforhold i transformatorrommet basert på gassvolumet fra SEBK metodikken. Alle modifiserte NFPA68 beregninger har resultert i en lavere last og vil derfor være mer gunstig sammenlignet med originalen, men resultatene har fortsatt vært mindre gunstige enn metodikken fra SEBK. Det er derfor totalt sett ikke funnet noen forbedringer av metodene.

7 Kildeliste

- Andreassen, M., Bakken, B. I., Danielsen, U., Haanes, H., Olshausen, K. D., Solum, G., Stenssas, J. P., Thon, H., og Wighus, R. (1992) Handbook for fire calculations and fire risk assessment in the process industry. SINTEF NBL, SCANDPOWER.
- Askheim, L. O., og Brænd, T. J. (2023, 6. september). Energiloven. Store Norske Leksikon
<https://snl.no/energiloven>
- Baker, W.E., Cox, P.A., Westine, P.S., Kulesz, J.J and Strehlow, R.A. (1983) «Explosion hazards and evaluation». Elsevier Scientific Publishing Company.
- Bjerketvedt, D., Bakke, J. R., og Wingerden, K. V. (1992). Gas Explosion Handbook - GEXCON.
- Brady, R, Muller, S, de Bressy, G, Magnier, P, & Pe´rigaud, G. (2008) "Prevention of Transformer Tank Explosion: Part 2 — Development and Application of a Numerical Simulation Tool." Proceedings of the ASME 2008 Pressure Vessels and Piping Conference. Volume 4: Fluid-Structure Interaction. Chicago, Illinois, <https://doi.org/10.1115/PVP2008-61453>
- CCPS (u.å.) Center for chemical process safety - Vapor Cloud Explosion (VCE). Hentet 3. mars 2024.
<https://www.aisce.org/ccps/resources/glossary/process-safety-glossary/vapor-cloud-explosion-vce>
- Eaton Electric Limited. (2016, oktober). Measuring the Air/Fuel Ratio for Pre-Mix Burners Used for Heating and Surface Treatment.
[TN08_520-1007_Rev3.pdf\(mtl-inst.com\)](TN08_520-1007_Rev3.pdf(mtl-inst.com))
- Eibabo (u.å.) Effektbrytere trafo-vern. Hentet 26. januar 2024.
<https://www.eibabo.com/no/elektrisk-materiell/stroemfordelingsanordninger/startapparater/effektbryter-trafo-vern/#>
- Electrical Technology (u.å.) 12 different parts of transformer and their functions. ElectricalTechnolgy. Hentet 20. januar 2024.
<https://electrical-technology.com/parts-of-transformer.html>
- El-Harbawi, M. (2022, april). Fire and Explosion Risks and Consequences in Eletrical Substations – A Transformer Case Study.
https://www.researchgate.net/publication/360148790_Fire_and_Explosion_Risks_and_Consquences_in_Electrical_Substations-A_Transformer_Case_Study
- FEMA. Federal Emergency Management Agency (2003) Primer to Design Safe School Projects in Case of Terrorist Attacks,
<https://www.hSDL.org/?view&did=443588>
- Gundersen, D. (2020, 28. juli) Dynamisk. Store Norske Leksikon

- <https://snl.no/dynamisk>
- Grønmo, S. (2021, 10. mai). Forskningsmetode. Store Norske Leksikon
- [https://snl.no/forskningsmetode - samfunnsvitenskap](https://snl.no/forskningsmetode_-_samfunnsvitenskap)
- Grønmo, S. (2023, 16.januar). Kvantitativ metode. Store Norske Leksikon.
- [https://snl.no/kvantitativ metode](https://snl.no/kvantitativ_metode)
- Hagen, B. C. (2018). Grunnleggende brannteknikk. [Haugesund]: Bjarne Christian Hagen
- Hansen, O.R., Wiik, A. og Wilkins, B. (2001, desember). Large-scale hybrid hydrogen and transformer oil explosions with and without suppression. Phase 4 and 5 project. SEBK-project. Ref. No.: GexCon-01-F36048-1.
- Hansen, O. R. (2002, januar). Modelling of explosions near oil-filled transformers – Explosion modelling, approach for risk assessment and example studies. Phase 3 project. SEBK-project. Ref. No.: GexCon-02-A36048-1.
- Heudier, L. (2019) Resistance to explosion assessment of an electric transformer building. Int. J. of Safety and Security Eng., Vol 9, No 1 (2019) 61-72
- <https://www.witpress.com/Secure/ejournals/papers/SSE090106f.pdf>
- Hofstad, K. (2022, 15. september). Elektrisk effekt. Store Norske Leksikon.
- [https://snl.no/elektrisk effekt](https://snl.no/elektrisk_effekt)
- Industrivernet. (1984). Industriens brannvern: Hva enhver bør vite.
- KBT. Kollegiet for brannfaglig terminlogi. (u.å.). Faguttrykk – brann. Hentet 15. Januar 2024.
- <https://kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=brann>
- Kraftberedskapsforskriften. (2023). Forskrift om sikkerhet og beredskap i kraftforsyningen, (FOR-2012-12-07-1157)
- <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-07-1157>
- Larsen. A.K. (2017). En enklere metode: veiledning i samfunnsvitenskapelig forskningsmetode. (2. Utg). Fagbokforlaget.
- Longva, K. (2014, 15. januar) Hvilken høyspent transformator bør man velge – en oljeisolert eller en tørrisolert epoxytransformator?. Møre Trafo
- <https://moretrafo.no/hvilken-hoyspent-transformator-bor-man-velge-en-oljeisolert-eller-en-torrisolert-epoxytransformator/>
- Liebe, G. (2015). Brannfysikk – fra teori til praksis. Brannvernforeningens forlag.
- Lysio Research. (2023, 30. mai). Kvalitativ metode – alt du trenger å vite. Lysio.
- <https://lysio.no/knowledgebank-post/kvalitativ-metode/>
- Muller, S, Brady, R, De Bressy, G, Magnier, P, & Pe'rigaud, G. (2008) "Prevention of Transformer Tank

- Explosion: Part 1 — Experimental Tests on Large Transformers." Proceedings of the ASME 2008 Pressure Vessels and Piping Conference. Volume 4: Fluid-Structure Interaction. Chicago, Illinois, USA. <https://doi.org/10.1115/PVP2008-61526>
- Muller, S., Petrovan-Boiaericiu, M., og Périgaud, G. (2009, desember). Pressure wave propagation induced by short circuits inside power transformers: Development of a simulation tool, comparisons with experiments and applications. The international Journal of Multiphysics 3(4):361-386
- https://www.researchgate.net/publication/245525480_Pressure_wave_propagation_induced_by_short_circuits_inside_power_transformers_Development_of_a_simulation_tool_comparisons_with_experiments_and_applications
- Møre Trafo. (2014, 1. september) Tekniske data for Transformatoroljer. Hentet 3 februar 2024.
- [Tekniske-data-oljer-for-Transformatorer-010914 \(1\).pdf](#)
- Microsoft. (u.å.). Microsoft Excel. Hentet 02. februar 2024.
- <https://www.microsoft.com/nb-no/microsoft-365/excel?market=no>
- NFPA. National Fire Protection Association. (u.å.). About us. NFPA. Hentet 3. februar 2024.
- <https://www.nfpa.org/about-nfpa>
- NFPA. National Fire Protection Association. (2023). Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting.
- <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-68-standard-development/68>
- Norsk Transformator. (u.å.) Tilleggsutstyr. Hentet 25. januar 2024.
- <https://www.nortrafo.no/default.asp?Mode=Meny&HovedMenyId=99&UnderMenyId1=120&ThisMenyId=120>
- NVE. (2023, juni). Driften av kraftsystemet 2022.
- https://publikasjoner.nve.no/rme_rapport/2023/rme_rapport2023_04.pdf
- NVE. (2022, 15. desember). Veiledning til forskrift om sikkerhet og beredskap i kraftforsyningen (Kraftberedskapsforskriften).
- <https://www.nve.no/media/14910/veileder-kbf-oppdatert-versjon-des-2022.pdf>
- Ormestad, H. (2021, 27. januar) Elastisitet. Store Norske leksikon
- https://snl.no/elastisitet_-_fysikk
- REN. (2022, 27. April) RENBLAD 6042 Prosjektering av transformator i nettstasjon. Versjon 1.6.
- <https://www.ren.no/renbladserie/serie-6000-nettstasjoner>
- Roggema, R. (2016, september). Research by Design: Proposition for a Methodological Approach. 3-5.
- https://www.researchgate.net/publication/308037775_Research_by_Design_Proposition_for_a_Methodological_Approach
- Saugstad, K. (2023, 25. januar). Transformator. Store Norske Leksikon

<https://snl.no/transformator>

Sander, K. (2023, 11. november). Casestudie. Estudie.

<https://estudie.no/casestudie/>

SEBK-PROSJEKT. (2001, 8. november). Fase 2: Eksperimentelt arbeid.

SEBK-PROSJEKT. (2002, 14 januar). Phase 1 Data collecting and evaluation of basic material.

SG SAFETY. (u.å.) Oversikt over eksplosjonsområder. Hentet 15. Februar 2024.

<https://www.sgsafety.no/lel-og-uel-oversikt-over-eksplosjonsomrader>

Simscale. (2023, 7. desember). What is CFD Computational Fluid Dynamics?.

<https://www.simscale.com/docs/simwiki/cfd-computational-fluid-dynamics/what-is-cfd-computational-fluid-dynamics/>

SINTEF. (2014, 16. oktober). Vil hindre trafo-smell. SINTEF.

<https://www.sintef.no/siste-nytt/2014/vil-hindre-trafo-smell/>

Stensaas, J. P. (2007, 12. februar). Branner på grunn av elektrisk installasjonsmateriell.

(SINTEF, NBL A06121). SINTEF NB.

<https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/nbl-a06121-branner-pa-grunn-av-elektrisk-installasjonsmateriell.pdf>

Statnett. (2018). Årsstatistikk 2018 Driftsforstyrrelser, feil og planlagte utkoplinger i 1-22 kV-nettet.

<https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/systemansvaret/arsrapporter-fra-feilanalyse/arsstatistikk-2018-1-22-kv.pdf>

UIO. Universitet i Oslo. (2023, 23. oktober). Lydopptak med røde data i Nettskjema-diktafon.

<https://www.uio.no/tjenester/it/adm-app/nettskjema/hjelp/fortroligedata-diktafon.html>

UIO [Universitetet i Oslo] (2022) Institutt for biovitenskap – Pyrolyse

<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/p/pyrolyse.html>

Valmot, O. R. (2020, 22. februar) Transformatorene er strømmens skjulte kraftkarer. Teknisk Ukeblad.

[Transformatorene er strømmets skjulte kraftkarer - Tu.no](https://www.tu.no/nyheter/2020/22-februar-transformatorene-er-strømmens-skjulte-kraftkarer)

Westberg, O. (2017, 2. februar). Risiko og sårbarhetsanalyser – helt nødvendig for sikkerheten i et kraftanlegg.

<https://docs.google.com/document/d/1MGC6rz8gjV1LayvY2ZYtpx76aTGLmMp4JhrvQRmickY/edit>

Vedlegg

Oversikt:

1. Intervjuguide intervjuobjekt 1
2. Intervjuguide intervjuobjekt 2
3. Intervjuguide intervjuobjekt 3
4. Intervjuguide intervjuobjekt 4
5. Intervjuguide intervjuobjekt 5
6. Transkriberte anonymiserte intervju 1
7. Transkriberte anonymiserte intervju 2
8. Transkriberte anonymiserte intervju 3
9. Transkriberte anonymiserte intervju 4
10. Transkriberte anonymiserte intervju 5

Vedlegg 1

Intervjuguide intervjuobjekt 1

Intervjumetode: ustrukturert intervju

Takk for at du tar deg tid til å stille opp på intervju. Intervjuet skal brukes som en del av masteroppgaven vår på NMBU. Formålet med denne oppgaven er å kartlegge ulykkesforløpet oljedamp sekundæreksplosjon og beregningsmetoder for eksplosjonslast i trafosjakter. Du/dere og dataene som blir samlet inn og brukt i oppgaven vil bli viktig for å få en helhetlig forståelse. Intervjuet består av spørsmål relatert rundt transformatorer og eksplosjonslaster. Intervjuet er frivillig og du/dere kan når som helst trekke dere fra intervjuet. Intervjuets varighet er cirka 60 minutter. Vi har samtykkeskjema siden vi tar opp noe av det som blir sagt. Vi samler inn data gjennom lydopptak av intervjuet, lydopptaket vil bli lagret midlertidig på enheten til vi får transkribert det i NSD/DMP, deretter slettes lydopptaket. All innsamlet data blir lagret i DMP/NSD, og slettes ved prosjektets slutt i begynnelsen av juni. Er det greit for deg at vi tar opp intervjuet på lyd?

Presentere oss selv:

Alder

Studieretning

Bakgrunnsinformasjon om informant:

Jobb/yrke

Kompetanse innenfor fagfeltet

Transformator

Trafo:

- Kan du kjapt si noe om hvilke oljefylte transformatorer dere spesifiserer dere i, eller selger?
- Kan du si noe om ulike spenningsnivå på lavspent og høyspent side?
- Hvor stor er faren for en lysbue-kortslutning?
 - Hvor i transformatoren er det vanligst at en slik lysbue forekommer?
- Vet du noe om hvor mye energi vil utløses i en slik kortslutning, basert på den originale spenningen?
- Er det noen måte på å beregne dette? Eller er det kun knyttet opp mot erfaring?

- Mengden energi som utløses vil knyttes opp mot varigheten til en slik lysbro. Kan du si noe om estimert varighet?
- Hvilke utkoblingsmekanismer benyttes det dersom det skulle skje en kortslutning?
 - Hvor lenge er en realistisk varighet av en eventuell lysbue ved bruken av en slik utkoblingsmekanisme? Hvordan påvirker dette varigheten?

Olje:

- Kan du fortelle oss litt om hvilke oljeblandinger som benyttes i en transformator?
- Hvilke egenskaper vil du si er de mest kritiske for en slik olje?
 - Vil disse egenskapene bli prioritert over brannfare rundt oljen? Eller det i det heletatt mulig å komme seg unna en olje som kan spaltes i brannfarlige gasser?
- Er det stor forskjell på brennbarheten til de ulike oljene?
- Vil olje av typen K (silikon eller naturlig ester baserte oljer (RENblad6042)) ha stor påvirkning på brannfare en eksplosjonsfare i en transformator?
 - Nok til å neglisjere faren?

Gass:

- Vil gassutvidelsen endre seg ut ifra hvilken olje som blir benyttet?
 - Har du noe ide om hvor mye eller om det er en måte å finne ut dette på?
- Hvor mye indre trykk tåler normalt sett en transformator?

Ulykkesforløp:

- Hva er de vanligste ulykkesformene for en transformator?

Olje-/gassblanding:

- Har du noe erfaring når det kommer til blandingsforholdet i gassen som vil kunne forekomme?
- Har du kjennskap til hvor mye lekkasje av gass som skal til for å nærme seg støkiometrisk blanding eller optimal blanding, (fet og mager)
 - Hvordan dette påvirkes av ulike oljeblandinger
- Vi har i hovedsak lest om dannelse av hydrogen og metan, men har nylig blitt informert om at det også kan dannes knallgass? Er dette en viktig faktor for en eventuell sekundær eksplosjon?

Forebyggende:

- Er det noen spesifikke forebyggende tiltak dere anbefaler?
 - Vil godt vedlikehold av olje forhindre en kortslutning?
- Vil det være realistisk å holde oksygen-nivået lavt nok i en trafosjakt til at det aldri vil kunne oppstå en oksidasjon med gassen?

Videre spørsmål:

- Tror du det vil være realistisk å utvikle en standard for ulykkes laster i transformatorer?
- Hva tror du vil være mest problematisk med å standardisere en slik prosess? Tenker du det er noen parametere som vil være noe for unike eller komplisert til å standardisere?
- Har dere noen erfaringstall eller statistikk på hvor ofte en slik ulykke oppstår, eller hva skadeomfanget på en slik ulykke er.

Avslutningsvis:

- Noe mer du vil utdype? Noe du vil nevne, som ikke har kommet opp?

- Er det noen andre personer eller bedrifter som du tenker det er lurt for oss å kontakte?

Vedlegg 2

Intervjuguide intervjuobjekt 2

Intervjumetode: ustrukturert intervju

Takk for at du tar deg tid til å stille opp på intervju. Intervjuet skal brukes som en del av masteroppgaven vår på NMBU. Formålet med denne oppgaven er å kartlegge ulykkesforløpet oljedamp sekundæreksplasjon og beregningsmetoder for eksplosjonslast i trafosjakter. Du/dere og dataene som blir samlet inn og brukt i oppgaven vil bli viktig for å få en helhetlig forståelse. Intervjuet består av spørsmål relatert rundt transformatorer og eksplosjonslaster. Intervjuet er frivillig og du/dere kan når som helst trekke dere fra intervjuet. Intervjuets varighet er cirka 60 minutter. Vi har samtykkeskjema siden vi tar opp noe av det som blir sagt. Vi samler inn data gjennom lydopptak av intervjuet, lydopptaket vil bli lagret midlertidig på enheten til vi får transkribert det i NSD/DMP, deretter slettes lydopptaket. All innsamlet data blir lagret i DMP/NSD, og slettes ved prosjektets slutt i begynnelsen av juni. Er det greit for deg at vi tar opp intervjuet på lyd?

Presentere oss selv:

Alder

Studieretning

Bakgrunnsinformasjon om informant:

Jobb/yrke

Kompetanse innenfor fagfeltet

Vi tenkte å starte med noen åpne tema.

- Hvis oljedamp lekker ut av transformatoren, etter en lysbuekortslutning, og deretter antennes. Vil du forklare litt rundt antenneses prosessen og dynamikken rundt forbrenningsreaksjonen.
- Hva tenker du er de viktigste parameterne rundt en slik eksplosjon?

Flyiddynamic

Antennelse og Forbrenning:

- (Kan du si noe om hvordan forbrenningsreaksjonen starter opp fra en gnist Gnist)
- Hva kan du si om flammehastighet?
- Hvordan vil flammehastigheten påvirkes av trykk og temperatur?
- Kan du si noe om trykkutviklingen i en slik reaksjon?
- Er det mulig å forutse noe av turbulensen som vil forekomme?
- Turbulensen vil vel øke flammehastigheten betraktelig ettersom luft og oljemolekyler beveger seg og blandes bedre.
- Vi ble fortalt at luften som presses ut av trykket vil være tyngre grunnet olje og overtrykk, og er litt usikker på hva som menes med dette. Har dette noe spesifikk betydning for din del?

Avlastingsflater/-luker: (ekspertuttalelse)

- Har du noen tidligere analytiske beregninger hvor du har benyttet avlastningsluker?
- Ved hvilket trykk burde avlastningslukene begynne å virke.

- Hvordan påvirker utslippet fra avlastningsluken hastigheten på gassen/flammene

Begrenset åpning i kombinasjon med høyt trykk fører til ekstrem hastighet på oljedampen og flammene.

- Kan du snakke litt om volumarbeidet til denne forbrenningsreaksjonen?
- Har du noe erfaring rundt problematikken om åpningstid og hvordan dette påvirker overtrykket?
- I denne perioden har vi blitt fortalt at det oppstår et «reflected pressure» på alle flater. Er dette noe du har kjennskap til?
- Er det vanlig å beregne med en faktor for åpningstid?
- Har du noe kjennskap på gjennomstrømsfaktor og hvordan den påvirkes av luftstrømmen.

NFPA68

- Eventuelle feil
- Hva kan forbedres
- Hva hadde vært optimalt?
- Tar noe høyde for turbulens
- Hava annet tar den ikke høyde for

Sammenlikning av CFD og NFPA68

Hvis du sammenligner cfd-analyser og NFPA68

- Hva vil du si er fordelene med en cfd-analyse
- Hva vil du si er fordelene med en NFPA68

Praktisk tilnærming

- Har du noe å legge til her?
- Vi du si det er en mer presis fremgangsmåte og beregning?

Litt om ansvar og nøyaktighet

Vi snakket litt om hvor nøyaktige cfd- analysene vil være sist gang vi snakket.

- Ettersom det går så sjeldent galt, vil det ikke være veldig vanskelig å si noe om hvor nøyaktige beregningene vil være?
- Kommer litt inn på det du nevnte angående ansvarsrett. Hvis det blir prosjektert en trafosjakt som ikke tåler eksplosjonen som oppstår.

Avsluttende:

- Tror du det vil være mulig å standardisere beregningen av en slik sekundær eksplosjon? Eller er det for mange faktorer i bildet og hver case blir for unik.
- Har du noe du vil tilføye til problematikken rundt eksplosjoner i transformatorer?
- Noe mer du vil utdype? Noe du vil si, men ikke har fått sagt?
- Er det noen andre personer som du kan tenke er lurt for oss å kontakte?

Vedlegg 3

Intervjuguide intervjuobjekt 3

Intervjumetode: ustrukturert intervju

Takk for at du tar deg tid til å stille opp på intervju. Intervjuet skal brukes som en del av masteroppgaven vår på NMBU. Formålet med denne oppgaven er å kartlegge ulykkesforløpet oljedamp sekundæreksplosjon og beregningsmetoder for eksplosjonslast i trafosjakter. Du/dere og dataene som blir samlet inn og brukt i oppgaven vil bli viktig for å få en helhetlig forståelse. Intervjuet består av spørsmål relatert rundt transformatorer og eksplosjonslaster. Intervjuet er frivillig og du/dere kan når som helst trekke dere fra intervjuet. Intervjuets varighet er cirka 60 minutter. Vi har samtykkeskjema siden vi tar opp noe av det som blir sagt. Vi samler inn data gjennom lydopptak av intervjuet, lydopptaket vil bli lagret midlertidig på enheten til vi får transkribert det i NSD/DMP, deretter slettes lydopptaket. All innsamlet data blir lagret i DMP/NSD, og slettes ved prosjektets slutt i begynnelsen av juni. Er det greit for deg at vi tar opp intervjuet på lyd?

Presentere oss selv:

Alder

Studieretning

Bakgrunnsinformasjon om informant:

Jobb/yrke

Kompetanse innenfor fagfeltet

Ulykkessituasjonen:

- Har dere mye kjennskap til ulykkesscenarioet "sekkundæreksplosjoner i transformatorer"?
- Kan du nevne hva du mener er de mest avgjørende parameterne for en slik ulykkeslast?

Programmet Flacs:

- Kan du forklare litt om programmet og hvordan det fungerer?
- Hvor brukervennlig
- Hvilke fordeler vil du si et slik avansert cfd-program har over empiriske beregninger form
- Vil du si NFPA 68 har noen fordeler ovenfor cfd-programmer som flacs

Prosess:

- Kan du forklare SEBK metodikken
- Hvor mye/ hvilken inngangs informasjon kreves for å lage en god analyse?
- Kan dere lage analyser av ulik kompleksitet?
- Deres metode vs NFPA 68
- Mulig å si noe om hvor presis den er eller forventet feilmargin?

Case:

- Har du noe kjennskap til denne casen eller analysen som er foretatt?
- Kan dere forklare hvordan det er foretatt beregningene på denne casen?

Økonomi:

- De fleste krafttransformatorer står på områder der det kan tillates en eksplosjon uten fatale konsekvenser, tror du at det kombinert med den lille sannsynligheten for en eksplosjon gjør at kunder tar dimensjoneringen mindre på alvor?

Praktisk tilnærming av eksplosjonslasten

- Vil det være mulig med en noe mer praktisk tilnærming mer presis enn NFPA68?
- Vil du anta at en slik tilnærming vil kunne bli presis nok til å benytte i prosjektering av en trafosjakt?
- Hvilke parametere vil da være mest avgjørende?
- Hvilke eventuelle feilkilder eller svakheter vil en slik beregning kunne ha?

Avsluttende:

- Tror du det vil være mulig å standardisere beregningen av en slik sekundær eksplosjon? Eller er det for mange faktorer i bildet og hver case blir for unik.
- Har du noe du vil tilføye til problematikken rundt eksplosjoner i transformatorer?
- Noe mer du vil utdype? Noe du vil si, men ikke har fått sagt?

Vedlegg 4

Intervjuguide intervjuobjekt 4

Intervjumetode: ustrukturert intervju

Takk for at du tar deg tid til å stille opp på intervju. Intervjuet skal brukes som en del av masteroppgaven vår på NMBU. Formålet med denne oppgaven er å kartlegge ulykkesforløpet oljedamp sekundærexplosjon og beregningsmetoder for eksplosjonslast i trafosjakter. Du/dere og dataene som blir samlet inn og brukt i oppgaven vil bli viktig for å få en helhetlig forståelse. Intervjuet består av spørsmål relatert rundt transformatorer og eksplosjonslaster. Intervjuet er frivillig og du/dere kan når som helst trekke dere fra intervjuet. Intervjuets varighet er cirka 60 minutter. Vi har samtykkeskjema siden vi tar opp noe av det som blir sagt. Vi samler inn data gjennom lydopptak av intervjuet, lydopptaket vil bli lagret midlertidig på enheten til vi får transkribert det i NSD/DMP, deretter slettes lydopptaket. All innsamlet data blir lagret i DMP/NSD, og slettes ved prosjektets slutt i begynnelsen av juni. Er det greit for deg at vi tar opp intervjuet på lyd?

Presentere oss selv:

Alder

Studieretning

Bakgrunnsinformasjon om informant:

Jobb/yrke

Kompetanse innenfor fagfeltet

Erfaringer:

- Har du mye erfaring med NFPA68 fra tidligere?
- Kjenner du til SEBK-metodikken?

Case:

- Kan du snakke oss gjennom prosjektet og eventuelt hva som er mest kritisk og unikt med det.
- Hvorfor benyttet dere NFPA 68 og ikke Gexcon/MGengeneering på dette prosjektet? Og hva gjør at dere benytter det ene eller det andre i ulike prosjekt?

- Det nevnes at noen av transformatorrommen er satt på pause og avventes videre beregninger på eksplosjonslast. Er det da snakk om en annen type beregning enn ved bruk av NFPA68?

Utgangspunkt for beregninger

- Vil du snakke deg litt gjennom beregningene og kommenter hva som har vært ekstra komplisert eller vanskelig å finne ut av?
- Hvor mye/ hvilken inngangs informasjon kreves for å lage en god analyse?
- Er det noen spesiell grunn til at du kun benytter hydrogen som gass?
- Er ventilasjon areal noe som dere får oppgitt i forkant eller noe dere velger for beregningene?
- Kan du si noe mer om gassberegningene som blir gjort?

Kalkulasjoner:

Arc calculations:

- Hvor har du hentet disse kalkulasjonene fra?
- Pleier dere å samarbeide med siemens for lysbue-energi? Eller var det produsenten på prosjektet?

Gassmiks

- Hvor har du hentet gassmiksen fra?

Bemerkninger til NFPA68:

- Tar ikke høyde for hvor eksplosjonen oppstår
- Tar ikke høyde for turbulens

Avsluttende:

- Tror du det vil være mulig å standardisere beregningen av en slik sekundær eksplosjon? Eller er det for mange faktorer i bildet og hver case blir for unik.
- Har du noe du vil tilføye til problematikken rundt eksplosjoner i transformatorer?
- Noe mer du vil utdype? Noe du vil si, men ikke har fått sagt?
- Er det noen andre personer som du kan tenke er lurt for oss å kontakte?

Vedlegg 5

Intervjuguide intervjuobjekt 5

Intervjumetode: ustrukturert intervju

Takk for at du tar deg tid til å stille opp på intervju. Intervjuet skal brukes som en del av masteroppgaven vår på NMBU. Formålet med denne oppgaven er å kartlegge ulykkesforløpet oljedamp sekundæreksplasjon og beregningsmetoder for eksplosjonslast i trafosjakter. Du/dere og dataene som blir samlet inn og brukt i oppgaven vil bli viktig for å få en helhetlig forståelse. Intervjuet består av spørsmål relatert rundt transformatorer og eksplosjonslaster. Intervjuet er frivillig og du/dere kan når som helst trekke dere fra intervjuet. Intervjuets varighet er cirka 60 minutter. Vi har samtykkeskjema siden vi tar opp noe av det som blir sagt. Vi samler inn data gjennom lydopptak av intervjuet, lydopptaket vil bli lagret midlertidig på enheten til vi får transkribert det i NSD/DMP,

deretter slettes lydopptaket. All innsamlet data blir lagret i DMP/NSD, og slettes ved prosjektets slutt i begynnelsen av juni. Er det greit for deg at vi tar opp intervjuet på lyd?

Presentere oss selv:

Alder

Studieretning

Bakgrunnsinformasjon om informant:

Jobb/yrke

Kompetanse innenfor fagfeltet

Erfaringer og utført forskning:

- Hvilken erfaring har du i tema
- Kan du kort fortelle om undersøkelsen du gjorde
- SEBK, kan du fortelle litt om hva som ble konkludert

Lysbue:

- Beregning av lysbue
- Risiko for ulik lysbueenergi
- Påvirkninger av lysbue

Gassmiks:

- Konstant tall på gassvolum fra lysbueenergi

Sekundæreksplosjon:

- Hvor mye trykk kan man forvente
- Hva er et realistisk trykk å beregne etter
- Parametere: Lysbueenergi, Turbulensfaktor i rommet og volumer
- Etterfølgende oljebrann, er det da etter eksplosjonen eller istedenfor eksplosjonen?

Sannsynlighet:

- Kan du fortelle litt om sannsynlighet
- Risiko og konsekvens

Avlastningsareal:

- Har du noen tanker eller mening rundt team avlastnings areal?
- Tanker rundt utvikling av en standardisert metode?

Avsluttende:

- Tror du det vil være mulig å standardisere beregningen av en slik sekundær eksplosjon? Eller er det for mange faktorer i bildet og hver case blir for unik.
- Har du noe du vil tilføye til problematikken rundt eksplosjoner i transformatorer?
- Noe mer du vil utdype? Noe du vil si, men ikke har fått sagt?
- Er det noen andre personer som du kan tenke er lurt for oss å kontakte?

Vedlegg 6

Intervju utført: 14.02.2024

Til stede:

- Intervjuobjekt 1 –
- Henrik Skjerven Petersen – student
- Geir Viste – student

Intervju tid: 09:00-10:00

Sted: Teams

Intervjuobjekt 1: God morgen, god morgen. Jeg sitter på hjemmekontoret til fru i dag

Henrik: Ja, det er så kult at du er villig til å bli med på samtale/intervju!

Intervjuobjekt 1: Ja, jeg er ikke sikker det kan hjelpe så mye, men må alltid prøve

Henrik: Ja, ja, ja. Det er alltid spennende å se hva du har å si, uansett.

Intervjuobjekt 1: Jeg kan si litt kort om meg selv, først da.

Henrik og Geir: Ja.

Intervjuobjekt 1: Det er helt greit at dere tar opp, det jeg har svart på i går.

Geir: Herlig, takk.

Intervjuobjekt 1: Jeg er utdannet elkraftsingeniør i 1988 fra NTA. Med doktorgrad i 1993. Tok faktisk doktorgraden min på feil i transformatorer, i oljefylte transformatorer. Jeg har ikke jobbet så mye med det etter at jeg dispeterte, det har jeg ikke gjort. Jeg har jobbet på Siemens og senere i Siemens Energy hele min yrkeskarriere. Jeg blir jo en gang 30 år i år. Jeg har jobbet med et transformatorstasjoner, hovedsakelig - Da knyttet til brytere og effektbrytere, koblingsanlegg. Hele veien. Ikke så veldig mye teknisk, egentlig. Jeg har jobbet med vakumbrytere de første fire årene. Og så ble jeg leder for salg, og da var det i mange år. Og så ble jeg leder for ingeniørsavdelingen 2010. Fram til i praksis fram til 2022.

Henrik: På NMBU. Ja, vi skriver nå en masteroppgave i samarbeid med en Multiconsult. Og det oppgaven går ut på er i hovedsak eksplosjoner i transformatorer. Ettersom det er et litt komplisert tema, og det er ikke mye særlig i fasit på hvordan du beregner den. Og derfor er det ofte et problem i tidlig prosjekteringsfase, når du skal beregne transformatorsjakten, som den skal stå i.

Intervjuobjekt 1: Ja, da snakker vi om innendørs monterte transformatorer, da? med tak?

Henrik: Riktig, riktig. Og da spesielt med tak, som tok opp, fordi grunnen til at det er et problem, ble et større problem nå enn før, var fordi nå er det kommet krav til innbruddssikkerhet og sånt. Og da kan man ikke lengre ha åpent tak som man gjorde før. Og da må selve en bygget tåle hele eksplosjonslasten. I stedet for å bare sende det rett opp i været.

Intervjuobjekt 1: De store transformatorene som Statnett bygger, de bygger jo dem utendørs. Og der er det jo bare med vegger, betongvegger rundt, som skal gå i en viss høyde over trafolokket hvertfall, muligens også over gjennomføringene. Det er jo med som, ja, det er for skuddsikring, altså mot

terrorisme med skudd, og så er det for å hindre at oljen skal sprute utover hvis du får en eksplosjon. Og en eksplosjon, det skjer fra tid til annen, altså. Også i Norge, det har vært endel store trafoeksplosjoner og branner også i Norge. Og i senere tid faktisk. Ja, ja, det har skjedd. Det er cirka 3000, jeg mener det er cirka 3000 krafttransformatorer i drift i Norge. Og sånn statistisk sett så skal cirka 15 av dem gå fløyten i året.

Henrik: Å, såpass ja? Det der er interessant, vi har ikke funnet statistikk på det, så det er veldig interessant å høre.

Intervjuobjekt 1: Hvis dere går inn på Youtube, så vil dere finne videoer av, i hvert fall at brann, jeg tror også av eksplosjonen av en trafo i Halden for noen år siden. Men å hindre at, det er jo to forhold. Det ene er å prøve å unngå at transformatoren skal totalhavare, det er en eksplosjon som følger. Og der er det jo da, det er godt dimensjonert transformator. Godt vedlikehold, ettersyn og kontroll. Og ha baller til å ta trafoen ut av drift, da forventa teknisk levetid er ute. Så den ikke står helt til den eksploderer. Og så er det å hindre, altså redusere konsekvensen hvis du får en eksplosjon. Og det siste er ikke så lett å gjøre noe med altså, for en eksplosjon den kan, vil være rå og brutal. Det vil jo oppstå brann, som regel etter en eksplosjon vil det oppstå brann. Men det det dere ser på er det mekaniske, altså bygget rundt? Er det slik å forstå?

Henrik: Ja, altså først når vi ser litt på eksplosjonen, hvordan den oppstår og litt om styrken på den, for å så kunne se på bygget rundt da.

Intervjuobjekt 1: Ja, men det er jo mye som kan skje inni en transformator som kan føre den eksplosjonen. Men fleste starter ikke momentant med en eksplosjon. De fleste feil starter med feil i vindingene, mellom vindingene i transformatoren. Det kan være feil i trinnkobleren på transformatoren. Da vil det begynne å gå store strømmer lokalt i en del av vindingene. Og det fører til at omkringliggende oljen vil spaltes. Og det dannes gasser da, inni transformatoren. Typisk hydrogen og acetylen. Og så stiger de gassboblene og så kan de videreføre til at du får overslag, for eksempel mellom to faser i transformatoren. Da begynner det å gå stor strøm, og du vil få en effektlysbue, som vi kaller det. Og da stiger trykket veldig raskt. Da snakker vi millisekunder før trykket har steget så mye at kassa ikke lenger vil tåle det, og vil remme med på de svakeste punktene. Så ved en intern lysbue i en transformator, så når den først har oppstått, så kan trykket typisk bygges opp til, hvis kassa var stiv, så kan det bygges opp til 10 bar. Cirka 10 bar trykk. Men tanken tåler, jeg vil si maksimalt 1,2 bar trykk. For det er jo store flater og ganske tynt metall dette her. Så da vil transformatoren eksplodere, altså kassa eksplodere, etter, fra noen titalls, så kanskje opp til 300 millisekunder. Når kassa har revnet, så vil det blåse ut både gasser, altså de gassene som har blitt dannet av lysbuen, og olje, det kan være litt forstøvet og varm olje. Da skal det veldig lite til før en får en antennelse, det kan også kjøleantenne faktisk. Hvis temperaturen er over en cirka 300-320 grader Celsius, og du har tilstrekkelig oksygen til stedet, så kan det også kjøleantenne. Men så har du jo da lysbuen og varme, smelten kommer inn i trafoen når feilen pågår. Så det må påregnes at du kan få en brann, altså en eksplosjon, og da får du en stor trykkstigning i hele rommet hvor transformatoren står. Men nå står jo ikke krafttransformatorer i helt tette rom. Hvis vi snakker vanligvis, om luftkjølte transformatorer. Du må ha varmeutveksling med omgivelsene for å gi transformatoren tilstrekkelig kjøling. Så du har innluft og utluft en får igjennom ventilasjonsrister til transformatorrommet. Det er nok sannsynligheter for at du skal sprengte en støpt betongvegg. Med betongtak, den tror ikke jeg er så stor. Støpt betong vil nok motstå dette hvis du har litt størrelse på ventilasjonsrister inn og ut. Typisk så tåler en 20 cm normalt armert betongvegg, sånn som du vil bygge i garasjen din hjemme. Men med støpt betong, den tåler til 0,2 bar overtrykk. En leka-vegg har... En uarmert, murt peggertegnsvegg. Den tåler ca. bare altså 0,05 bar. 0,05 bar er ca det samme som trommehinnen vil tåle. En teggelvegg tåler i lite altså. En normalt armert betongvegg tåler ca 0,2 bar. Ei utslående branndør tåler mellom 0,01-0,1 bar. Ei innslående branndør kan tåle opp mot 0,3-0,6 bar. Nå bygges

en trafostasjon med mer solid armering, enn når en bygger en garasje. Det bygningsfirma, Multiconsult kan mer om enn meg altså av hvor mye en betongvegg vil tåle.

Henrik: Ja, akkurat den biten har vi litt tall på. Det som det ofte er erfart, som du sier, at 20 cm betongvegg vil holde. Men hvis man beregner dette her, de konservative beregningsmåtene man har på lasten, sier at veggen må være mye tykkere. Sånn at man ønsker...

Intervjuobjekt 1: Men hensyntas det da at det er ventilasjon mot det fri? Eller regner dem det da som et tett rom?

Henrik: Ja, fordi det er det. Som slik Multiconsult har vært med på å prosjektere tidligere, så enten benyttes det avanserte analyser fra for eksempel Gexcon. Da blir ventilasjon og sånt tatt med, og da får du en ganske presis beregnet trykk.

Intervjuobjekt 1: Ja, men med en gang du tar på en ventilasjonsåpning, så reduserer du maksimalt trykket kraftig. Et transformatorrom uten ventilasjon, da må det være hvis du har en vannkjølt transformator, det har du jo typisk i fjellanlegg i kraftstasjoner. Der har du jo vannkjølte... Men der har du jo ofte... Da fjell på kanskje to sider, eller hva er det, på en side. I vanlige transformatorstasjoner i regionalnettet, altså i 66 og 132 kV nettet, så er det... Ja, der er det plaststøpt, eller det kan være elementer om en betongvegg, en betongtak, betong bjerkestengsel foran inngangen, eller fra ut og inn, der de kjører trafoen på skinne ut og inn. Og så har du ventilasjon ofte både oppe og nede. Jeg må bare og bytte.. jeg bruker høreapparat.. jeg må bytte batteri.

Henrik: Helt ok!

Henrik: Men jo, det du sier angående slike avlastningsluker. Det er også noe som er veldig relevant i oppgaven vår også! For akkurat dette har en ikke noe tall på, hvor effektive de er og akkurat hvor mye avlastning som kommer ved et gitt areal og slik.

Intervjuobjekt 1: Det er kompliserte ting du er inne på. Men det er gjort et arbeid der, på 80-tallet av det som i dag er Sintef energi. Som den gang hett efi. De gikk da på lysbuer inne i.. ja lysbuer i innendørs koblingsanlegg. Og de har laga noen nomogrammer, for å så ganske enkelt å kunne anslå hvor stor overtrykk du vil få. Altså du har et rom med en gitt størrelse, gitt avlastningsareal, og gitt lysbueeffekt. Jeg kan ta og vise deg en ... Jeg har ikke hele rapporten. Ser dere en skjerm, eller noe?

Henrik og Geir: Ja. Ja, interessant.

Intervjuobjekt 1: Dette er et nomogram. For å estimere trykkstigningen under en lysbue kortslutning, inni et rom, med romvolumets størrelse er angitt her 20 kubikk 40-60 i linja opp mot venstre her. Kortslutningseffekten er angitt oppover her, i Mva. Og avlastningsarealet er angitt ut til høyre her i kvadratmeter. Så hvis du har et rom ... Ja, du har en lysbueeffekt på 600 megawatt, 600 Mva. Hvis du har et rom med 200 kubikkmeter, og et rom med 5x5 meter, da er det 25 kubikkmeter. 25 kubikkmeter er 8 meter høyt, det er forholdsvis stort rom. Hvis vi da ender på det krysset her, så går vi ned, og så spør du hvor lang tid du tar før du ... Hvor lenge står lysbuen på? Hvis vi sier at lysbuen står på 0,3 sekund, så går vi ned hit, til vi krysser den linja her på 0,3, og ut til høyre, og da vil vi få kanskje 0,18 bar. Hvis veggene ikke tåler 0,18 bar, da må vi inn og ha på en trykkavlastning, og da går vi ut til høyre her, så sier vi at de skal tåle 0,2 bar. Så kryssen her, og går vi ned, så ser vi at vi må ta 0,3 kvadratmeter med trykkavlastning. Den rapporten vil jeg nesten anbefale at du kan ta kontakt med Sintef energi for å få tak i. Skal vi se ... om jeg har noen referanse på ... Jeg vet ikke hva han heter for noe. Det står et nummer nede, XRNR 7501-042.

Henrik: Jeg kan sjekke om det kommer noen når jeg søker på det.

Intervjuobjekt 1: Det er nok en ganske gammel rapport. Jeg har fått den som en kopi av noen en gang i tiden. Den beskriver hvordan nomogrammet benyttes. Jeg tror rapporten er ganske stor. Bestill denne rapporten, for den tror jeg dere kan ha nytte av. Diskuteres det å prøve å unngå at transformatoren havarerer? Ja altså eksploderer? Ja det finnes faktisk utstyr for det, jeg er ikke kjent med at vi har levert det i Norge hvertfall. Men det er et firma som heter sergi, sergi transformer protector. Jeg kjenner ikke så veldig mye til det. Det var først her om dagen at jeg googla meg inn på det selv. Det går ut på at det bygges et trykkavlastningssystem på trafoen og et lukka system som rask skal tre i funksjonen og avlaste trykket i første millisekundene. Kanskje noen titalls millisekunder. For å unngå at kassa skal revne.

Henrik: Ja, jeg har lest litt om denne. Den reagerer vel på trykket som oppstår fra lysbuen. For så pumpe ut olje og gass momentan. Og så pumpe inn nitrogen også.

Intervjuobjekt 1: Det som er helt vanlig å bruke som beskyttelse eller overvåking. Det er jo at du har et differensialvern. Du måler strømmen på høyspentsiden og lavspentsiden. Og så sammenlignes hele tiden strømmen. For hvis en får en feil i trafoen så vil strømmen inn og ut være forskjellig. Og så har du temperaturovervåking. Du har trykkovervåking. Og du har trykkvakt og et bokhålsrele - Som egentlig er gassvakt. Det er enkelt system. Det er et flottørsystem. En flottør som ligger inni et kammer. Hvis det kommer gass oppi det kammeret, så går flottøren ned. Og så har du endekontakter som gir signal om at vi har litt lavt trykk. Eller høyt trykk. Hvis du har et kraftig trykkøkning, da vil du sørge for å koble ut, kanskje automatisk koble ut på gass. For å prøve å unngå at den står i noen sekunder ekstra. Men vanligvis får du signal. Altså at du har fått noe gass. Da tar du trafoen ut av drift. Og så foretar du gassanalyse, oljeanalyse. For å finne ut hva som er feil. Bokhålsrele benyttes nesten på alle krafttransformatorer. Det er en gammel, men solid velfungerendes overvåking.

Henrik: Det er imponerende. Å komme opp med teknologi som vedvarer så lang tid.

Intervjuobjekt 1: Ja, ja. Transformatorer er i prinsippet samme i dag som for 150 år siden.

Henrik: Ja, riktig. For å kunne bruke denne Sintef-forskningsartikkelen, så trenger du både å vite spenningen fra lysbuen og varigheten. Har dere noen erfaring på spenningen fra lysbuen utenfor spenningen fra transformatorer?

Intervjuobjekt 1: Ja, dette dreier seg om lysbue i luft. Lysbuer i olje blir annerledes. Inni transformatorer er det vanligvis papirisolasjon utenpå kobberlederne, og avstanden mellom fasene varierer veldig avhengig av hvor du måtte få et overslag inni transformatorer. Men du må og huske på at trafoen har du tilkoblinger både på 132 kV-sida og 20 kV-sida. Det er vanligvis, veldig ofte i hvert fall, blanke tilkoblinger. Og du kan få overslag over lysbuer og der. Så det må også hensyntas når en ser på det trykket du kan få i rommet hvor transformatorer står. Og i det sintefdokumentet, eller EFI-dokumentet, så står det angitt hvilke lysbuespenninger som er vanlig, avhengig av spenningsnivåer. Ja, det er en faktor. Det er typisk mellom 1,5 og 2 kV per meter. Og så må du gange med faseavstand eller eventuelt med overslag mot jord. Og hvis du klarer å estimere lysbuespenningen, og dermed estimere lysbueeffekten, så er det vist i det dokumentet her.

Henrik: Vi ble også informert om IEEE C57156, hvor det også er noen retningslinjer på hvordan du beregner lysbuer.

Intervjuobjekt 1: Ok.

Henrik: Den er kanskje lite større, og dekker.. og er kanskje litt mer uoversiktlig. Så den sinteffila var veldig fin!

Intervjuobjekt 1: Jeg kjenner ikke til den normen, det gjør jeg ikke. Jeg kjenner til noe annet... Nei, dette blir mer inne i lukka koblingsanlegg.

Henrik: Ok.

Intervjuobjekt 1: Å se i normverket kan være veldig bra, for normer er som regel veldig godt gjennomarbeida og godt beskrevet. Men så er det sånn at når man først kommer inn i en norm, så blir en henvist til andre. Du kommer aldri ut av det.

Henrik: Ja, det er godt poeng, og hvis alle sammen koster en del fra før, så blir det fort en liten kostnad i tillegg. Men jo, hva med varighet på lysbuen? Den kan også variere en del, men det kommer igjen litt an på utkoblingsmekanismer og sånne ting.

Intervjuobjekt 1: Men maksimum et sekund, da må du sørge for å koble ut på et sekund. Men ved kortslutning, så kan det, ofte ligger det på kanskje ned mot 0,1 sekund faktisk.

Henrik: Ja.

Intervjuobjekt 1: Men vi sier maks 1 sekund. Men maksimaltrykket, hvis du får i lysbuen som tenner i et frittstående lysburom. Maksimaltrykket kommer i løpet av noen få millisekund, i løpet av 10 millisekunder. Du rekker ikke å koble ut før du har nådd maksimaltrykket. Da snakker vi trykkbølger. Det statiske trykket blir bygget seg gradvis opp linjert. Men det blir sånn bølgeforplantning av lydølger. Det går med lydets hastighet. Det vil da slå mot veggen, kan du si, slå mot omgivelsene, mot dører og eventuelt vindu.

Henrik: Hvis en lysbue varer opp til et sekund, kan den forplante seg videre også?

Intervjuobjekt 1: Ja, den vil jo stå der og kan jo vandre. Men det kan også stå der og brenne.

Henrik: Ok.

Intervjuobjekt 1: Du har alltid noe trykkavlastning altså. Du har et rom hvor du har høyspent og hvor du har mulighet for å få lysbuetenning. I koblingsanlegg er det utstyrt med trykkavlastningsåpninger. Det bygges trykkavlastningskanaler over mellomspenningsanlegg, altså 11-20 og 36 kVanlegg, for å føre lysbuegassen ut i det fri. Men når det gjelder transformatorer, så bygges ikke noen egne trykkavlastningskanaler, da er det avlastning mot det fri gjennom ventilasjonsrister. For det kan ikke stå helt åpent ut.

Henrik: Riktig. Hva med oljen som blir benyttet i transformatorer? Den har vel også litt å si både på volumøkning og brennbarhet.

Intervjuobjekt 1: Ja, du har jo veldig mye energi i oljen. Den er for de store mengder olje det er snakk om. Fra noen tonn opp til de store trafoene, den er 150 tonn. Under en krafttransformator har du et eget rom, altså eget inn i kjelleren. Tidligere ble det benytta steinfilter. Da hadde du et metallgitter som du legger stener opp på. Altså runde steiner, elbesteiner. Når trafoen revner, og oljen renner ut, så renner den igjennom steinene. Steinene skal kjøle ned temperaturen på oljen. I dag brukes det et metallgitterpakker, med sånn strekkmetallgreier. Ikke alltid steinfilter lenger, men begge deler

benyttes. Da samles oljen ned i rommet under transformatoren. Så det ikke skal renne ut i vassdrag og ut i det fri. For å ta vare på den, rett og slett. Det er det på alle krafttransformatorer. Sånn er det på trafoer som står ute også, så skal du ha kontrollert oppsamling av oljen. Det kan jo sprute ut, og det vil sprutes. Helt sikkert og mange liter som vil komme igjennom ventilasjonrister og sånne ting der du får eksplosjon. Men det er om å gjøre å begrense omfanget. Når det først brenner, kan det brenne lenge. Det kan brenne i flere døgn. Det er stor brennmengde. Enkelte transformatorrom utstyres da også med slukking. Altså vannslukking.

Vanntåkeslukningsanlegg, Det er et dysing som sprøyter på vann. I fine partikler. Det er alltid det bygges. Tidligere var det også benyttet halongass. Med spesielle gasser som du slapper ut i rommet ved brann. Men det er ikke lov å benytte det lenger. Det var sterke klimagasser, pluss at det var en kvelingseffekt da.

Henrik: På mennesker?

Intervjuobjekt 1: Ja, for at du kunne bli kvelt hvis du var der og den gassen ble sluppet ut. CO2-anlegg er fortsatt lov, men det benyttes veldig lite. På 80-tallet var det helt vanlig å bygge anten CO2-slukking, eller med halongass. Det var gode slukkeegenskaper. Det skulle fortrenge oksygenet. Det var egentlig hele ideen, å få ned oksygenmengden. For kommer en ned til en viss grense der, så brenn det ikke.

Henrik: Det er også noe vi kom over. Hvis du har redusert oksygenivå, det er litt vanskelig når du har luftkjølte transformatorsjakter da, men hvis det hadde vært mulig å redusere oksygenivå i en transformator, eller rundt en transformator, ville du da...

Intervjuobjekt 1: Da ville den slukke, ja. Men det der ser du, og hvis du ser på... Det gjelder for så vidt for enhver eksplosjon, ja. Hvis du ser på YouTube, så skikker vi på det nettopp, transformator-failure, transformator-explosion. Så vil du se først, når du får en eksplosjon, så får du en sånn kjempesvær flamme, som kan gå et titalls meter til værs. Og så blir flammen borte, og så ser du bare røyk. Da har du brukt opp oksygenet i perioder, og så strømmer oksygenet til igjen for å opprettholde brann. Men jeg tror at å bygge en trafostasjon sånn... i vanlige transformatorstasjoner i Norge, der du skal dimensjonere for å ikke få en eksplosjon ved en brann, det tror jeg blir kostbart, det tror jeg ikke er realistisk.

Henrik: Nei, nei.

Intervjuobjekt 1: Det er en liten sannsynlighet for du får en eksplosjon, men risikoen er der, og det er etter min mening en risiko som en må leve med.

Henrik: Ja, jeg ser den. Også, hvis man skulle klare det, så ble jeg nylig informert om at når oljen spaltes, for eksempel av en lysbue. Så spaltes den ikke bare i hydrogen og metan, som er det vanligste kanskje, men kan også spaltes ned til knallgass. Er det?

Intervjuobjekt 1: Ja, knallgass er jo hydrogen og oksygen.

Henrik: Ok, sånn at oljen, når den spaltes, kan den produsere oksygen?

Intervjuobjekt 1: Ja, men hvis oljen spaltes, så, nei, jeg tror ikke oksygen, ja. Men det er ikke bare acyltelen og hydrogen, det er en mengde forskjellige gasser som dannes under spaltningen av olje. Det avhenger også litt av hva type olje det er, om det er mineralolje, silikonolje ellerb. Men det har vært landskjært tanker om å lage eksplosjonssikre transformatorer. Da skal dere få et navn av meg, Lars Lundgaard.

Henrik: Ok.

Intervjuobjekt 1: Lars Lundgaard med to A-er. Han jobber på Sintef Energi. Han har emailadressen lars.lundgaard@sintef.no. Han har jobbet med transformatorer i 40 år. Jeg spurte om han fortsatt jobber, eller om han fortsatt i jobb, men han nærmer seg pensjonsalder. Han er vel rundt 70 år. Han kan mye om dette her, så han vil jeg ta kontakt med. Så har dere en i egen organisasjon som også er pensjonist, men som jobber for multiconsult. Det er Kjetil Ryen. Han går alltid i sløyfe, litt sånn run bamse med skjegg. Han leier seg i hvert fall inn til multiconsult. Og de leier han videre ut til Statnett. Og der jobber en del med transformatorer. Han har også vært med i SIGRE-arbeidskomiteer for krafttransformatorer. Så har vi den i Norge som nok har jobbet mest med brannsikring og krafttransformatorer. Han jobber da hos konkurrenten til Multiconsult. Han jobber i mange, mange år hos Norconsult. Han heter Ole A. Westberg. Ole A, jeg husker ikke mellomnavnet hans, og så er det Vestberg med W. Jeg så på nettet at han er pensjonert fra Norconsult, men han driver et eget firma som heter OAW. Det er så nok for Ole, som er mellomnavnet hans, Westberg. Han kaller seg for Safety Advisor for power Industries.

Henrik: Ja, riktig. Jeg ser han har egen nettside og greier.

Intervjuobjekt 1: Det er mange år siden jeg har truffet han nå, men på 90-tallet så hadde jeg mye kontakt med han.

Henrik: ja, vi sender han gjerne en melding. Det er interessant å høre!

Intervjuobjekt 1: Og så er det jo en som har veldig mye erfaring med prosjektering av bygg, både bygg og elektro på, knyttet til regionalnett-stasjoner i hvert fall. Jon Are Røren hos Norconsult. Jon Are Øren. Han jobber i Norconsult, så det er ikke sikkert han vil mate Multiconsult med informasjon, men det er jo lov å ta kontakt med han. Veldig hyggelig kar. Så kan dere jo bare si til dem at de kjenner mitt navn til alle de her. Så dere kan si at det er jeg som har gitt dere navnet, hvis de lurer på hvorfor dere henvender dere til dem

Henrik: Ja, det skal vi prøve på. Det er utrolig gøy. Det er interessant å høre hva du har å si. Det er tydelig at du har masse erfaring.

Intervjuobjekt 1: Ja, en kommer bort i mye i et liv vet du, i et yrkesliv.

Henrik: Ja, det tror jeg på.

Intervjuobjekt 1: I hvert fall når man jobber for et firma som driver med mye. Vi leverer jo transformatore, vi lever høyspent koblingsanlegg, vi lever vern- og kontrollanlegg, mellomspenningsanlegg, sett alt det her i system. Men selve byggene har vi egentlig faset oss mer og mer ut av, at det er Multiconsult og Norconsult og andre konsultantselskaper som tar hånd om det. Vi kommer med krav til det, når vi har et rom som er så og så stort, kjølebehov og sånne ting. Men det er en ting til, jeg har ikke fått forberedt meg noe spesielt til det her, så derfor blir det litt sånn oppstykket. Hvis du går tilbake til transformator-rommet, og krafttrafoen som står der, nå ble det fryset bilde av meg selv. Du hører meg?

Henrik og Geir: Ja, vi hører deg godt.

Intervjuobjekt 1: Så skal du ofte ha avledere, overspenningsavledere, både på høyt- og lavspentsida av transformatoren. Og de er det vanlig å installere i selve... Ser du ikke meg nå?

Henrik og Geir: Ja, vi ser deg

Intervjuobjekt 1: Ja, dere hører meg ja. Det er vel, ver litt oppmerksom på hvordan vi monterer avlederene, og hvilken type avleder de bruker. For en avleder kan havarere, og en avleder kan også eksplodere. Og da er det veldig lite ønskelig at avlederen, eller avledereksplosjonen, skal ødelegge gjennomføringen på transformatoren. For da vil du også få eksplosjon av transformatoren. I dag benyttes det, på de aller fleste i hvert fall, av kompositavledere, metalloksidavledere, i kompositutførelse. Som da ikke skal slenge ut fragmenter hvis avlederen blir overbelastet. Det har skjedd mange ganger at avledershavari har også ført til gjennomføringshavari på transformatoren. Og det bør en være oppmerksom på. Er det sånn halvårig oppgave, dere jobber med dette her et halvt år? Ja, det er riktig. Hva er tittelen på den da?

Henrik: Vi har fått beskjed av veilederne våre, og tittelen er noe av det siste du setter på oppgaven, bare sånn at du er sikker på at den er så presis som mulig. Men den midlertidige tittelen er vel... Ja, eksplosjonslaster i transformatorsjakter. Det er bare litt enkelt her. Målet er jo å komme med litt... en litt sånn forenkling når du skal beregne eksplosjonslasten.

Intervjuobjekt 1: Ja, riktig ja. Har dere gått på elkraft, elektroteknikk eller?

Henrik: Bygg, det er det vi egentlig har gått. Men denne oppgaven dekker jo en del felter. Det gjør oppgaven for meg enda mer interessant, at jeg lærer mer enn bare det byggetekniske. Ja, bygget er jo egentlig bare skallsikring. Kjernekomponentene er jo egentlig bryteranlegget og transformatoren.

Henrik: Og så kommer det litt fluid dynamics inn i bildet her, hvordan en eksplosjon vil utvikle seg inne i transformatorsjakten. Og så er det litt dynamiske beregninger på selve sjakten.

Intervjuobjekt 1: Ja, riktig.

Henrik: Så vi prøver å komme oss inn på alt sammen. Vi får se hvor nære vi kommer en forenklet beregning av alt sammen. Men vi ønsker i hvert fall å snakke om alt sammen. Målet videre etter oppgaven er at det skal være mulig å standardisere eksplosjonslasten, sånn at det blir lettere å dimensjonere trafosjakter senere. Jeg vet Renblad er også innpå denne tanken om å prøve å standardisere en sånn ulykkeslast. Det blir jo på mindre transformatorer da, men det er et relevant tema i hvert fall. Det viser seg at det har vært et stort interesse for det.

Intervjuobjekt 1 Men om transformatorene er stor eller liten, det har nok liten betydning for hvor stort trykk du vil få i rommet altså. Det er først og fremst volumet på rommet. For om du hadde sett inn bare en liten transformator, en 500KVa transformator, og den kan eksplodere, så vil det i omtrent gi samme brannmengder, energimengder til brann er mye, mye mindre. Men akkurat i de her millisekundene som eksplosjonen skjer, så vil.. så kan det bli like ille med en liten som en stor transformator. Jeg har jo sett sånne nettstasjoner, transformator kiosker som det står mange rundt omkring, i sånne blikkasser. Jeg har jo sett sånne som har eksplodert på grunn av transformatorfeil, hvor taket av vegger ligger 30 meter unna etterpå. Det er helt komplett, helt ødelagt...

Henrik: Jeg husker det var den retningen oppgaven vår gikk i starten, å se på sånne nettstasjoner. For der ønsker de å standardisere litt, spesielt hvor mye avlastningsareal en må ha og sånne ting. Men det er så utrolig lite forskning på det. De er liksom tørre isolerte transformatorer, de er ment for å være trygge for eksplosjon, men det er jo ikke det. Så der var det veldig lite forskningsartikler å lese på hvertfall.

Intervjuobjekt 1: Ja, det er gjort en del på nettstasjoner. Det var det jeg tok diplommen min på i 1988. Det var lysbuefeil i SS6-anlegg, altså koblingsanlegg, brukt i nettstasjoner. Da kjørte vi lysbueforsøk nede på NEFI. På ABB sitt kortslutningslaboratorium i Rød utenfor Skien. Det var et større forskningsprosjekt mellom Sintef, ABB, Siemens. Det var jo litt av årsaken til at jeg begynte der, det var der jeg fikk kontakter. Det er gjort ganske mye på nettstasjoner, faktisk. Men i praksis på nettstasjoner er det en dimensjonere ventilasjoner, behovet for ventilasjonsrister, ventilasjonsåpninger der er varmeavgivelsen fra transformatoren for å få kjølet transformatoren til tilstrekkelig. Men det har egentlig et betydelig ventilasjonstverrsnitt. Du ser det ikke. Det er en innebygd i konstruksjon med plater som er bøya i profil, sånn at det ikke skal kunne stikkes inn ståltråd og sånne ting. Men du har ventilasjon bakom panelet som det ofte utgjør. Noen har da, ABB har en konstruksjon oppunder taket, til å ventilere opp i det mønet på kioskene sine.

Henrik: Er de ofte dimensjonert for at taket skal kunne fly av i verste fall? Eller er det bare at lasten er sånn?

Intervjuobjekt 1: Nei, de vil ikke tåle at trafoene eksploderer. Men de vil tåle at du får kortslutning i koblingsanlegget. Da får du også utblåsning av varme gasser. Det skal dem tåle. Men eksplosjon... hvis du har en trafofeil, og ikke har fått utkobling den står og gasser inn i, så får du kanskje kjølantemming. Det vil den ikke tåle. Det er tynne plater, og da sprenger du den. Det er ikke så ofte det skjer, men det skjer. Jeg var i kikket på en i 1992. I skien, der både taket og vegger lå 30 meter unna. Og der sitter jo da koblingsanlegget på skylda i utgangspunktet, at koblingsanlegget hadde eksplodert.. Men det hadde det faktisk ikke. Det eneste som er helt, var koblingsanlegget. Tanken der var i orden. Trafoen hadde heller ikke eksplodert. Trafokassa var hel. Men der hadde det strømmet ut av gasser, så det var en ganske tett kiosk det der. Blitt brennbare eksplosive gasser i traforommet, og så passerte temperaturen på gassene, der det strømmet ut gjennom konservatoren på trafoen, som heter det. Der oljereservaret som ligger på toppen. Det var et hull gjennom den, så at den skulle kunne puste med omgivelsene. Hvis det kom over 320-330 grader, så kunne det kjølantenne. Og det skjedde der.

Henrik: Ja, interessant.

Intervjuobjekt 1: Det er heller ikke uten grunn at du foran... Hvis du har en transformatoriosk, som for eksempel står i et forretningsbygg, på plan med en parkeringsplass for eksempel, så står parkering forbudt foran kiosken. Det er to årsaker. Det ene er at elverket skal kunne ha tilgang. Men det andre er at hvis du får en eksplosjon, trafoeksplosjon inni der, så vil du med stor sannsynlig blåse ut døra.

Henrik: Ja, det er ikke sant. Og de kan jo stå midt inne i store gågater og sånt.

Intervjuobjekt 1: Jaja, det kommer med en kalkulert risiko. Det nytter ikke å gjøre alt 100% sikkert. Det vil bli for kostbart å bygge alt i fjell for å si den sånn.

Henrik: Ja, spesielt når risikoen er så lav. Men jo, et annet spørsmål. Mener du at det er realistisk å kunne standardisere en sånn ulykkeslast i store oljetransformatorer? Eller tror du hver case blir litt for unik, vil en på en måte kunne standardisere dette her?

Intervjuobjekt 1: Ja, for rommene vil du ikke kunne standardisere, størrelsen for dem, bredde, dybde og høyde. Det avhenger av byggets utforming. Det varierer veldig på hvor stor transformator du skal ha inn og sette inn. Typisk i transformatorstasjoner ute på landsbygda, så har du kanskje bare en 15 Mva trafo. Mens du i Oslo by, der Hafslund eller Elvia heter det nå, de bruker 50 mva transformatorer. Så har vi.. En del har transformatorer med... De har holdt på å bygge om nettet sitt, for eksempel fra 50 kV

til 132 kV. Men da må du ha en trafo mellom 50 og 132 kV, kanskje i neste 30 årene. For det tar 30 år fort, å bytte spenning. Det er ikke noe som bare blir gjort over natten. Da kan du ha en trafo på 150 mva. Nei, jeg tror ingen vil klare å standardisere, i hvert fall ikke romstørrelsen, men tykkelsen på vegger, der vil jeg si ja. Jeg vil bruke 25 cm kraftig armert betong. Bjelkestengsel i betong, og ventilasjonsrister.

Uten å være klar over det, så tror jeg du har svart på nesten alle spørsmålene våre.

Henrik: Fint. Uten å være klar over det, så tror jeg du har svart på nesten alle spørsmålene våre altså! Jeg skal bare dobbeltsjekke om det er noen siste spørsmål vi har. Ja.. i Simien har der noen K-oljer, i transformatorene deres? Mindre brennbare oljer.

Intervjuobjekt 1: Vær snill og ta det en gang til.

Henrik: Har dere noen oljer som er ment for å være mindre brennbare, for transformatorene deres?

Intervjuobjekt 1: Ja, det finnes oljer som er mindre brennbare. Som er mindre miljøbelastende enn andre. Men jeg har ikke helt fulgt med på litteraturen der, så jeg tør ikke navngi de oljetyperne. Det der googler dere lett frem til.

Henrik: Ja, det står sikkert på hjemmesiden også. Har du noen tanker om hvis du benytter deg av en mindre brennbar olje, vil det redusere faren på en sekundær eksplosjon?

Intervjuobjekt 1: Jeg tror ikke det.

Henrik: Nei?

Intervjuobjekt 1: Nei, jeg tror ikke det. Du kan nok få mer brannbelastbarheter, og lengre brann, og mye energi som genereres. Men da må du se på hvilke typer gasser som dannes med den og den temperaturen på lysbyen inne i oljen. Temperaturen på lysbuen er jo typisk oppi 30 000 Kelvin, altså 30 000 grader, i kjerna på lysbyen. Og alt spaltes omkringliggende medium der med så høye temperatur. Jeg vil være litt forsiktig med å svare hverken ja eller nei på det der med eksplosjonsfaren, eller eksplosjons, skal jeg si, om du vil kunne få en mye lavere trykkstigning. Jeg tror egentlig ikke det.

Henrik: Nei? Ja, fordi det kan jo, ja. Fordi da er vel, som du sier, oppbygging på oljen mye mer interessant.

Intervjuobjekt 1: Ja. Det vanligste trafoene, er jo noe som heter Mynæs N10, det er en mineraloljebasert olje, som produseres ved et kraftraffineri i Sverige, tror jeg. Det står det i, sikkert i 98% av trafoene i Norge har den type olje. Men husk at det er store, store mengder, vi snakker jo om kanskje oppi 100-150 tonn, og prisen på olje er avgjørende for hva trafoen totalt sett koster altså.

Henrik: Ja, det er veldig godt poeng.

Intervjuobjekt 1: Og på store transformatorer, så er ikke tørrisolerte transformatorer noe alternativ.

Henrik: Nei.

Intervjuobjekt 1: Grensa, den går på ca. 40 mva.

Henrik: Ok, ja. Riktig.

Intervjuobjekt 1: Men da er det ikke 132 kV, da snakker vi mellomspenning, til typisk 36 kV. Det er laget tørrisolerte på 40 mva. Det benyttes mye i kraftanlegg, altså i vannkraftanlegg, både inne i fjell og i kraftstasjoner ellers. Det er et godt alternativ til oljeisolerte trafoer. Det samme inne i bygg, inni forretningsbygg, inni kontorbygg. Der bør det... Det bør benyttes tørrisolerte transformatorer, altså epoxyisolerte transformatorer der. Men de er dyrere, den er... De har litt høyere tak og er mer kostbare, men... du står mye mer fleksibel, med hvor du plasserer transformatoren i bygget, så for eksempel på Gardermoen flyplass er det bare tørrisolerte, altså epoxyisolerte transformatorer. I det tilfellet bare siemens trafoer faktisk. Over 200 stykker i... Rundt omkring på hele flyplassterminalen. Men så er det det at det er ingen som produserer tørrisolerte epoxytrafoer i Norge. Og så er det jo to norske produsenter av oljeisolerte fordelingstransformatorer. Møre trafo og norsk transformator. Så dem har egentlig vunnet litt fram lobbymessig med å... få everkene til å bruke oljeisolerte trafoer også i bygg. Og det gjøres i liten grad utenfor Norge faktisk. Der er det vanlig å bruke tørrisolerte transformatorer i bygg.

Henrik: Ja, vi har faktisk fått litt kontakt med Møre trafo.

Intervjuobjekt 1: Ja, Møre trafo er en veldig greie å ha med å gjøre. Er det... Jeg kjente jo mange der.. Den utviklingsjefen der, han... jeg kommer ikke på navnet i farten. Dalsbotn hadde jeg mye med å gjøre. Men han er pensjonist nå. Olav Dalsbotn. Veldig grei kar. Og Tor Iver Kristiansen, han som eier Møre trafo nå. Han kjenner jeg jo godt. Han er en veldig hyggelig kar. Jeg hadde mye med dem å gjøre når jeg holdt på med doktorgraden, skjønner du. Så både dem og ABB, ja, på Steinkjær som nå er norsk trafo. De bygde flere transformatorer for meg, som jeg kjørte forsøk på.

Henrik: Åh, ok.

Intervjuobjekt 1: Vi kjørte eksplosjonsforsøk i Skien, og på portryskingslaboratoriet. Jeg sprengte 7 trafoer der.

Henrik: Åh, what. De ble bygd kun for å være med i doktorgraden din, liksom?

Intervjuobjekt 1: Ja, det var en del av et større forskningsprosjekt som jeg tok doktorgraden min på. Jeg tror faktisk at jeg har en PDF-utgave, så jeg kan sende dere den.

Henrik: Ja, det hadde vært kjempeinteressant å lese.

Intervjuobjekt 1: Jeg kan sende den dere rett etterpå.

Henrik: Ja, supert.

Intervjuobjekt 1: Det er flere år siden jeg har lest den sjøl da men.

Henrik: Da tror jeg faktisk alle spørsmålene våre er besvart.

Intervjuobjekt 1: Det er bare å ta kontakt hvis det er noe. Det er jo egentlig en ganske stor, stor og litt komplisert oppgave dere har, men ta dere frem i litteraturen. Ta kontakt med en eller flere av dem vi har listet opp til, ok? Mye av måten å få verden til å gå framover på er faktisk å søke informasjon om hva andre har gjort.

Henrik: Ja. Det blir nok... Etter hvert så blir nok oppgaven spissa litt ned, det er et litt stort tema per dags dato.

Intervjuobjekt 1: Ja, ja. Har dere vært ute og tatt befaring i noen stasjoner? Så dere kunne sett det i praksis.

Henrik: nei, vi har ikke fått gjort det enda. Det hadde vært veldig interessant å se. Men Multiconsult har jo vært med på noen oppgaver, nei, på noen prosjekter tidligere. Så vi tenker å høre med dem.

Intervjuobjekt 1: Ja. Så kom dere ut i en stasjon og få kikket, det er mange stasjoner i nærheten av Ås. Meld med Elvia, så får dere... ta kontakt med Elvia, sikkert en av de ansatte der som har kontakter i Elvia, så dere kommer å få en befaring.

Henrik: Ja. Se på både koblingsnanlegget og hvordan det ser ut i et traforom...

Henrik: Ja, det er sant. Så får vi tatt litt kule bilder til oppgavene vår kanskje.

Intervjuobjekt 1: Jeg ønsker dere lykke til.

Henrik og Geir: Tusen takk. Mange takk.

Intervjuobjekt 1: Det er veldig hyggelig å snakke med dere. Jeg tror jeg finner den avhandling om sender dere den.

Henrik og Geir: Kjempe. Tusen takk.

Intervjuobjekt 1: Takk for nå. Da sender jeg bare den til e-mailadressen som står på innkallingen.

Henrik: Ja, det er perfekt.

Intervjuobjekt 1: Hyggelig. Takk for nå!

Vedlegg 7

Intervju 1 utført: 15.02.2024

Intervju 2 utført: 28.02.2024

Til stede for intervju 1 og 2:

- Intervjuobjekt 2
- Henrik Skjerven Petersen – student

- Geir Viste – student

Intervju tid 1: 10:00-11:20

Intervju tid 2: 12:00-13:50

Sted 1 og 2: Teams

Intervjuobjekt 2: Hallo?

Henrik og Geir: Hei Hører du oss godt?

Intervjuobjekt 2: Jeg hører dere godt. Hører dere meg?

Henrik og Geir: Ja.

Intervjuobjekt 2: Dere ser meg også, ikke sant?

Henrik og Geir: Ja ja.

Intervjuobjekt 2: Jeg har nettopp oppgradert litt PC-utstyr her på hjemmekontoret. Så jeg fikk webkamera til å fungere her nå for to minutter siden. Det tok tre dager for det å fungere.

Henrik: Haha, det er supert! Det er veldig kult at du sa deg villig til å bli med på en sånn samtale.

Intervjuobjekt 2: Ja. Jeg er jo veldig nysgjerrig da. Og så er det jo sånn at det er jo blitt mer og mer aktuelt for oss å gjøre den type oppdrag da i Multiconsult. Utfordringen generelt med eksplosjonssikkerhet er at det fort blir veldig komplekst, og man er helt avhengig av å bruke mer avanserte modeller, altså CFD som dere kjenner til. Og da er det litt sånn at man har ikke så veldig mange gode alternativer for open source modeller. Og da er det ganske kostbart med lisenser. Man snakker mange hundre tusen i året. Og da hjelper det ikke å gjøre et oppdrag av og til med eksplosjonssikring for at man skal være i stand til å drive butikk på det viset. Men så ser vi jo da at det er noen former for rådgivning og sånt vi likevel er i stand til å gjøre relatert eksplosjonssikring, selv om man ikke har en CFD-kode. Og deri blant da så er det jo akkurat som dere holder på med NFPA 68. Men kanskje, jeg forstod sånn dere var studenter på NMBU, eller?

Henrik og Geir: Ja, det er riktig.

Intervjuobjekt 2: Hvilken bakgrunn har dere innen fag som er knyttet til eksplosjonssikring og det dere holder på med nå?

Henrik: Ja, fordi det er lite eksplosjon- og brannssikkerhet i studiet vårt selv om vi går konstruksjonsteknikk. Og det er jo et relevant tema, spesielt når vi går konstruksjonsteknikk. Så det var litt spennende å gripe oppgaven for å så lære mer om det. Men veilederen vår har en del erfaring, spesielt innenfor brann og ulykkeslast knyttet til brann. Så vi har så gode forutsetninger skolen lar oss.

Intervjuobjekt 2: Ikke sant, jeg skjønner. Men da er det liksom sånn at dere i grunn, ikke har bakgrunn innen kjemifag eller prosessfag eller noe sånt. Deres bakgrunn er i grunn bygg og struktur og bæring og materialteknologi sikkert og den type ting, eller?

Henrik og Geir: Ja, det er riktig.

Intervjuobjekt 2: Jeg skjønner. Og da er det jo sånn, ut ifra eksplosjonssikring er det jo særlig det her med eksplosjonslast jeg kan se for meg er interessant for dere da, for å se hva konstruksjon og bygningsdeler er i stand til å tåle på en vis.

Henrik: Men vi har lært en del av for eksempel transformatorprodusenter, vi har hørt litt med både Simien og møre trafo og sånt. Så vi har fått en ganske grei forståelse på hele problemstillingen egentlig.

Intervjuobjekt 2: Hvilke problemstillinger har dere? Har dere en stor problemstilling, eller har dere stykket det litt opp på noe vis? Hva dere ønsker å finne ut liksom?

Henrik: Jo, vi ønsker å komme så nære som mulig for en litt forenklet konservativ beregningsmetode for en eksplosjonslast. Sånn at tidligere i prosjekter kan danne inntrykk av hva ulykkeslasten vil være. Men vi har gjort det litt til en case hvor vi sammenligner på en måte, vi har fått en Gexcon-rapport som har gjort beregning på transformator, og så har vi en NFPA 68 rapport, og så har vi fått en litt mer praktisk tilnærming til en sånn beregning av MG Engineering. Har du hørt om det?

Intervjuobjekt 2: Nei

Henrik: Det er en person som heter Morten. Men han har veldig mye kunnskap i tema. Så han startet et enkeltmannsforetak.

Intervjuobjekt 2: Akkurat, ja. Men det her er jo veldig interessant. Jeg har jo flere spørsmål da. Eller dere må jo gjerne stille spørsmål hvis dere har noe konkret. Jeg er bare fri i formen og liker bare generelt å diskutere i fag da. Jeg har noen spørsmål til det du sa nå da. Jeg kan jo kommentere først da at jeg har jo først og fremst bakgrunn i en brann da. Men jeg har jo god kjennskap til eksplosjon, gass-eksplosjoner. Og du nevner jo Gexcon for eksempel. Og de kjenner jeg veldig godt til da. Jeg var selv student i Bergen på prosessikkerhet. Og det er jo liksom tett opp til CMR og Gexcon-miljøet da. Så jeg kjenner jo flere som jobber i Gexcon. Nå har de fleste sluttet faktisk. Men flere av mine medstudenter skrev jo masteroppgave for Gexcon. Og det er jo liksom sånn midt i hjertet av, kjernen på det studiet jeg tok da. Det er jo liksom CFD og forbrenning og flammepropagering i gassblanding og sånt da. Og det er jo det Gexcon er kjent for å håndtere godt og modellere. Og hva jeg skal si er at CMR er jo også en spin-off fra universitetet. Det har jo egentlig oppstått fra universitetsmiljøet. Derfor har man jo sterkere tilknytninger der mellom. Så lurte jeg på, fordi du nevner jo det her med transformatorer. Og det er jo det som gjør det litt sånn interessant i vår verden og. Fordi det er litt begrenset med hvilke problemstillinger vi er i stand til å løse uten CFD-kode og sånt. Så blir vi jo ikke kontaktet for mange oppdrag da. Da ringer dem jo typisk Gexcon eller safe-tech eller Bractim eller noe sånt da. Men det er interessant dere sier det her med transformatorer. Dere har vel sikkert diskutert det litt med Karl-Jørgen også. For det er typisk sånn som er interessant for oss. For det er jo mye i oppdrag knyttet til infrastruktur. Det er jo blant annet strømmettet. Og ser man sånn som Gexcon og Bractim og sånt, så er det jo typisk innen olje og gass, og den verden der da. Og mye industri, men det er jo ofte i ganske stor skala da. Som er interessant. For eksempel at det er lagring av enorme gasstanker, for eksempel når du produserer gass. Så det første jeg lurte på da. Du nevnte at dere har sett en rapport, Gexcon-rapport, med transformatorer. Er den åpen tilgjengelig? For den er jeg veldig interessert i å lese.

Henrik: Ja, vi har fått den av Karl-Jørgen, så den er vel Multiconsult property. Så den kan vi sende med til deg.

Intervjuobjekt 2: Gjør gjerne det. Jeg er veldig, veldig, veldig interessert i det.

Henrik: Eneste med den er at den var litt på en måte forhastet, så det er litt kortversjon. Så vi skal høre med dem nå på onsdag om de får litt mer bakgrunn til rapporten. Den er bare tre sider, og har litt illustrerende bilder, men de går ikke helt i dybden på rapporten.

Intervjuobjekt 2: Ja, ikke sant. Men er dere.. avgrenser dere deres arbeid til transformatorer eller noe sånt? Eller er det bredere perspektiv dere har?

Henrik: Ja, for øyeblikket avgrenser vi oss til transformatorer.

Intervjuobjekt 2: Ok, men da har jeg... Da kan jeg vise noen interessante ting som jeg kjenner til. Og som dere... Jeg forstår at dere holder på med 30-poengs oppgave, ikke sant?

Henrik og Geir: Ja.

Intervjuobjekt 2: Så det er jo litt synd meg å si. Jeg har jo bakgrunn fra akademi her selv, og er stor fan av 60-poengs oppgave. For da får man til. Ja, det er stor forskjell på hva man er i stand til å få til. Men dere må selv kjenne på avgrensning og tid og sånt. Jeg kan bare forklare litt overordnet hva jeg tenker. Og hva skal jeg si... Ting jeg lurer litt på der det har stoppet opp for meg. Dere er jo sånn at dere holder på med masteroppgave. Kanskje dere har litt mer tid til å lete i litteratur, for eksempel. Sånn som vi med konsulenter, da har vi et budsjett å forholdes til. Og av og til må man bare gjøre det veldig enkelt. Man kan bruke en tommelfingerregel, og si at her kommer vi ikke nærmere. Men bruker vi denne tommelfingerregelen, så er vi på trygg side. Men i enkelte prosjekter er det sånn at man klarer å grave litt dypere. Men av og til er det kanskje slik at man må grave dypere og dypere prosjekt for prosjekt. Og så plutselig kommer man over en terskel der man plutselig er i stand til å få til veldig mye. Så jeg har faktisk vært litt borte i denne problemstillingen nylig. Så jeg har noe frist i minnet. Så det passet veldig godt at vi ble satt i kontakt med hverandre akkurat nå. Men så er det jo litt sånn at, jeg nevnte jo det her med infrastruktur da og på prosjekter - Så er det litt utfordrende å diskutere for spesifikt på prosjektene, hva de omgår. Nettopp fordi mye anser som kritisk infrastruktur. Altså det er konfidensiell informasjonen, eller at det stemplet på laveste graderingsnivå ofte. Og da er det jo nasjonalsikkerhetsmyndighet og alt mulig sånt. Men uansett, det skal ikke være til veldig stor hinder. Det er veldig mye ting jeg kan forklare her uten at jeg trenger å diskutere prosjektet. La meg vise litt her. Jeg hadde noe oppe her. Jeg tenkte bare litt på det her i går, og så i forkant av møtet vi skulle ha nå. Klarer dere å se hele skjermen?

Henrik og Geir: Ja.

Intervjuobjekt 2: Så bra. Så en ting jeg kan nevne da, er jo DSP's veileder. Kjenner dere til den her? Del 1 og del 2.

Henrik: Nei, vi har ikke vært borti den.

Intervjuobjekt 2: Nei, ikke sant. Her er det ikke veldig interessant, men det er litt interessant. Det er bare en opplysning som man kanskje kan knytte til andre ting. Her står det anbefalt flate er 0,03 til 0,1 kvadrat per kubikk romvolum. Så det er en tommelfingerregel man kan bruke. Og det her, jeg har litt vanskelig med å finne det direkte knyttet til transformatorer, men jeg mener en eller annen gang jeg har sett nøkkeltallet 0,03 når det har vært snakk om transformatorer.

Henrik: Riktig. Det er fra Renblad. De som har en litt samme tommelfingerregel.

Intervjuobjekt 2: Riktig. Men da må jeg ha tungen litt rett i munnen. Renblad, det er knyttet til noe helt spesifikt. Transformatorer, det kan være hva som helst. Det er jo store variasjoner i størrelse og

oljemengde. For her snakker vi om oljefylte transformatorer. Jeg kan bare nevne et prosjekt, jeg var involvert i, da var det snakk om transformatorer på 5 tonn. Men så var det et helt annet prosjekt. Og det var utendørs transformatorer. Da snakket man, husker jeg riktig, var det 120 tonn. Så du har et vidt spenn her. Men Renblad, det er jo knyttet direkte til fjellanlegg, da? Eller noe tilsvarende? Det er jo transformatorer utendørs, så vidt jeg vet?

Henrik: Det er det hovedsakelig, ja ja.

Intervjuobjekt 2: Er det ikke det? Men man kan jo ha transformatorer utendørs også. Bare i sjakter, altså uten noe tak for eksempel. Her er det jo også nevnt noe brudd styrke. Kanskje man klarer å trekke parallell til NFPA 68 her. Også da en absolutt bruddstyrke, Maksimalt. Hvis vi da... Bare stopp meg, hvis dere blir lei av å høre på meg. Eller om dere har et spørsmål underveis. Jeg har bare en rød tråd og en tanke. Som jeg forstod litt, så var dere litt interesserte i det her med svakheten av NFPA 68.

Henrik og Geir: Absolutt.

Intervjuobjekt 2: Så jeg tenker vi... Nå har jeg NFPA 68, men det er fra 2007. Jeg har ikke det nyeste, 2023, eller jeg fikk et gratis medlemskap, men det var digital versjon. Jeg synes det er helt forferdelig å sitte og lese på. Så jeg foretrekker PDF-er og sånt, da. Så jeg bare går ut ifra at det ikke er alt for store forskjeller. Så dere har jo vært gjennom den her... Særlig, dere er litt kjent med innholdet i NFPA 68?

Henrik og Geir: Ja.

Intervjuobjekt 2: Så det er jo noen parametere knyttet direkte til eksplosjonsfysikk som er interessante her, da. Med tanke på dimensjonering av avlastningsareal. Kan nevne for eksempel deflagrasjonskonstanten, K eller Kg. Kan nevne ventilasjonskonstanten, C. Også kan man nevne laminær flammehastighet. Som også, de her er litt knyttet i hverandre. Også kan man nevne det med maksimalt eksplosjonstrykk. Jeg tror det er de fire som er veldig sentrale her, da. Så det som er litt sånn uklart av og til med NFPA 68, det er hva som legges til grunn. Men i hvert fall, man klarer jo å tyde noe ut ifra det her. Og det er jo veldig konservativt. Nå har jeg prøvd å gå litt tilbake i egne notater, litt som student og litt fra akademisk liv. Også prøvd å se litt på hva man kan endre på i NFPA 68 her, da. I stedet for å bruke den bare rett frem. Så det første jeg tenker på, er det med flammehastighet. Jeg mener det står et eller annet sted lengre opp i NFPA 68 hvordan du skal gjøre det, når du har en blanding av flere gasskomponenter. La oss si det er ikke bare er propan, men du har for eksempel propan, acetylen, metan. Uansett hva det skal være. Eller for den del bare naturgass, da. Metan, propan, butan. Og jeg husker helt hvordan det var, men jeg mener at det kanskje stod noe sånn som at, med flammehastigheten så skal man ta utgangspunkt i den gasskomponenten med høyest flammehastighet. Men jeg tenker, er det kanskje, er ikke det veldig konservativt? Det kunne vært interessant her å sammenligne. Bare sette opp en helt enkel case. Du har et rom her med transformator. 5x5m x 4m eller noe sånt. Regne på nøkkeltallet. Avlastingsflaten 0,03 kvadrat per kubikk romvolum. Og så kunne man regne avlastningsarealet med NFPA 68. Og så bruke for eksempel laminær flammehastighet for høyeste gasskonstanten. Og så kunne man prøvd å vekte laminær flammehastighet etter konsentrasjon av ulike gasskomponenter. Og det jeg ser da videre, nå ser vi da på ventilasjonskonstanten C. Det jeg ser da videre her, det er at man kan regne C da også med en annen laminær flammehastighet her, som er vektet etter en gassblanding. En annen ting her som jeg synes, det fremkommer ikke helt, eller jo, det fremkommer egentlig helt konkret. Går man på flammehastighetene også bakerst i vedlegget, så er det jo tabeller med masse ulike konstanter. Men den flammehastigheten, den vil jo egentlig være avhengig av gassammensetningen her. Så la oss se bort ifra at man har ulike gasskomponenter, men la oss si at man har én gass, for

eksempel propan. Hvis vi da ser på flammehastigheten som er gitt i vedlegget, så er jo det bare en verdi, men den vil i realiteten være avhengig av gasskonsentrasjonen, hvor mye propan du har i forhold til luft. Og dessverre har jeg litt lite og litt dårlig litteratur å finne tak i på det, men jeg slår bare opp i en lærebok jeg har da, det er fra Rolf Eckhoff, om dere kanskje kjenner til han. Han jobber jo i Bergen, UiB. Han forleste når jeg var student. Dessverre er han død. Han var gammel, gammel, gammel mann. Han var emeritus når jeg var student der. Det vil si at han er pensjonist egentlig, og nærmest jobber gratis, mot at han har gratis kontorsted. Så i hvert fall, han har skrevet et par på dere. Her ser vi da et plott med laminær flammehastighet som funksjon av gasskonsentrasjon. Ser dere her, den øker og øker og øker, og så går den ned igjen. Og her på toppen vil jo være for støkiometrisk blanding. Og jeg er nesten helt sikker på at om du går i de tabellverdiene i vedlegget her, så er det for støkiometrisk blanding, altså maksverdien her på toppen. Og det ser vi også her, at her har man tilsvarende oversikter i læreboka. Så det som er litt interessant her da, det er at jeg antar at NFPA 68 her legg til grunn, støkiometrisk blanding, i et volum innenfor hele rommet. Ok? Da kan jeg spore litt av herfra den store røde tråden her, og trekke det til transformatorer. For det som er, når du ser på transformatorer, årsaken til eksplosjon i transformatorer er jo i all hovedsak en eller annen form for kortslutning, uansett grunn. Typisk lynslag. Og det som skjer da, det er jo det at du vil få en lysbue, og en lysbue er karakterisert ved ekstremt høye temperaturer. Og da skjer det litt sånn pusse-effekter ved så høye temperaturer. Det ene er at olja vil jo umiddelbart gå over i gassfase, så du vil få en trykkøkning i transformator-kassen der olja er lagret. Men i tillegg til det så har man så høy energi at man vil få spontan molekylær spalting. Så det vil si at man har olje her som er egentlig hydrokarbona av lange, lange, lange, lange kjeder. Du har hydrokarbona, du har karbon og hydrogen, åpenbart, men når du ser på antall karbona i molekylstrukturen, selv om ikke den er homogen, så vil den ha en midlere verdi for en eller annen typisk olje med et høyt antall karbona. Så det som skjer med molekylær spalting er at du får flyktigere komponenter. Du får hydrokarbona med lavere karbontall. Og det man forenklet sett kan si er at du øker anteneligheten, og også alle disse eksplosjonsparameterne vil typisk øke ved flyktigere komponenter. Så det jeg har sporet opp på et par prosjekter, det er faktisk en bacheloroppgave fra Høgskolen Stord-Haugesund. Og det var der jeg var ansatt før, nå heter det Høgskolen på Vestlandet, HVL. Oppgaven som ble skrevet for snart 20 år siden. Og i hvert fall her viser de til en comput-it rapport. Kjenner dere til comput-it?

Henrik: Nei.

Intervjuobjekt 2: Comput-it var en konkurrent av Gexcon før. Så før hadde du Comput-it og Gexcon. Og Comput-it holdt på med branner i prosessikkerhet, typisk jetbranner og væskebranner og sånt, mens Gexcon holdt på med gass-eksplosjoner. Men så ble det til at Gexcon begynte å utvikle sin egen brannkode. Og det som skjedde da var at de begynte å konkurrere med Comput-it, sin brannkode. Og det de gjorde da var at de hadde noe samarbeid med miljøet i Porsgrunn, Telemark, og litt miljøet fra tidligere shell. Og de hadde en kode, eksplosjonskode, som heter Exim. Har dere hørt om den?

Henrik: Nei, har ikke sett den.

Intervjuobjekt 2: Ikke sant? Så det er en annen kommersiell kode. Så det som skjedde at, siden de hadde noe samarbeid, så endte det opp med at de kjøpte opp Exim-koden og tilbudte den via sin brannkode, Camelot KFX. Så de ble plutselig konkurrenter på brann og eksplosjon. Men i hvert fall litt før den tiden, før Exim ble en del av KFX-koden til Comput-it, så holdt de jo litt på med eksplosjon. Og i hvert fall her vises det til en Comput-it rapport. Men det som er problemet, det er at hvis man går ned i referanselista her, selv om det har litt sånn manglende akademiske kvaliteter her, om dere ser på referanselista, så kan man jo se på den siste her. Konfidensiell rapport fra Comput-it. Så jeg vet ikke hvilken rapport det her er. Eller så har jeg heller ikke hatt tid til å gå dypere inn i det her. Men det dere ser da, som jeg prøvde å vise, det er det at... Ah, jeg gir alle dager. Det er at den molekylære

spaltingen her vil resultere i en gassblandings sammensetning. Som er gitt her. Med hydrogen, acetylen, metan og etylen. Så kan man jo være veldig kritisk her om du gjentar forsøket gang på gang på gang. Hvis det er et forsøk så vil du jo sprike veldig mye. Det er vanskelig å vurdere det her og det her da. Basert på den lille teksten som står her. Uten å gå inn direkte til kilden her, den Comput-it rapporten, som da angivelig er konfidensiell. Men jeg tenker dette her kanskje kunne vært interessant for dere. Kanskje dere kjenner til dette her allerede. Kanskje dere vet enda mer enn meg. Men jeg synes dette her kan være interessant å knytte til NFPA 68. Gjøre bare en case-study, regnet på et rom. Også se på hvordan man kan anvende NFPA 68 veldig slavisk eller konservativt. Og hvordan kan man tyne NFPA 68 ved å ta høyde for en eller annen gassblanding. Der du kompenserer med laminær forbrenningshastighet. Kompenserer med den ventilasjonskonstanten C. Også regnet på maksimaltrykket. At du ikke henter P-maks fra en tabell, men at du regner faktisk på det. Også den gasskonstanten K_g , den kan man også regne på. På et vis. Så nå har jeg pratet veldig, veldig lenge her. Siste jeg vil si her, det er at den antyder også at man har et volum her på 15 kubikk. Men vil det gjelde uansett størrelse av transformator, hva er forutsetningen her? Men det er jo veldig lite. Se før dere har et rom på 5x5x4 meter. Da har du 5x5, det er 25x4, det blir 100 kubikk. 15 kubikk er jo bare 15% av romvolumet. Kan man kompensere for det her med å si at man ikke har en støkkemetrisk blanding? Eller noe sånt? Eller kan man si at du bare har blandet ut den blandingen her jevnt i hele rommet? At du har understøkiometrisk blanding? Her er det antydning også en gassmengde. Kanskje man kan fordele den gassmengden med den gassammensetningen her jevnt over i rommet. Ser dere her litt i tankene her, og hvor det stopper litt opp. Og hvor man kanskje kan være litt kritisk, og også det å være helt unødvendig konservativ i metodikken. For skal man være helt konservativ, sånn som jeg bare, så vidt jeg kan huske, kom så langt sist gang. Så må man bruke hydrogen. Og det er jo veldig, veldig konservativt. Så dere skal få prate litt. Kjenner dere til akkurat dette her? Hva vet dere om dette her?

Henrik: Ja, jeg kjenner akkurat til spaltingen. Vi har snakket litt med både Møre Trafo, Simien om akkurat dette her. Og de kunne si litt om oljene. Men at de ikke foretok forsøkene selv. Så for å få enda bedre resultater sendte vi melding til de laboratoriene som faktisk spalter gassene. For litt mer presise svar. Men det er som du sier, stort sett hvis en er i tvil så bruker du bare hydrogen. Og det er jo ekstremt konservativt.

Intervjuobjekt 2: Ikke sant. Har dere noen data på dette her? Kjenner dere til tilsvarende data som dette her? Der noen oppgir spesifikt ulike sammensetning av gasser?

Henrik: Ja, vi har jo fått tilsendt noen forskningsrapporter. Den eneste hvor de oppgir spesifikt prosent er en fra, det er en som har utgangspunkt i gasslekkasjer på transformatorer. Men den er fra Saudi-Arabia. Men den er, den dekker jo samme tema. Og den er gått ganske grundig til verks, men det er en liten feilmargin, for det kan hende at de ikke har samme sikkerheten som vi har i Norge. Så vi skal gå enda grundigere til verks på akkurat det.

Intervjuobjekt 2: Ja. Så spennende. Nei, for det er akkurat der jeg ser anvendelsen. Om dere klarer å finne litt mer ut om dette her, finner dere noen mer data, kanskje dere kan sammenligne ulike referanser her for å få et sprik, kanskje bli litt klokere på hva er forutsetningen her. Er det her i det frie, er det et rom, er det teoretiske betraktninger, er det forsøk det her, er det realistiske forsøk, har de kortsluttet en faktisk transformator, eller er det i laboratoriet med en dråpe olje og lite oppsett med en liten krets med lysbue fra batteri? Det er veldig mye ting her som kunne vært interessant å vite mer om. Og hvis man klarer å finne noe mer rundt dette her, så synes jeg det kunne vært interessant å ha gjort en akademisk øvelse med faktisk prøvd å bare regne litt på det. Bare for å se, her er informasjonen vi har, her er en konservativ metode. Hvis vi ikke er så konservativ, hvor stor forskjell, vil man få da i avlastningsareal?

Henrik: Det er noe som hadde vært veldig relevant, og det hadde vært veldig interessant å finne ut av. Men noe av grunnen til at det er litt vanskelig å finne ut av, er fordi lysbuen kan oppstå i forskjellige steder i transformator. Og da har det forskjellig energinivå, og det har forskjellige temperatur, og da vil det på en måte bli lavere prosentandel hydrogen, for det spaltes ikke nødvendigvis helt ned til hydrogen, på samme måten med lavere energinivå.

Intervjuobjekt 2: Ikke sant? Akkurat det du sier nå, sånne her ting synes jeg er veldig interessante, det synes jeg dere bør skrive i oppgaven. Beskrive det! For det her er mer informasjon som kan være nyttig og anvendelig. Det er rett og slett lite informasjon å finne om det her, synes jeg.

Henrik: Og så, noe av grunnen til at det er så lite på dette her, er fordi det er så ekstremt dyrt å gjøre ordentlige tester. Både fordi transformator er dyr, men også fordi vi kan bare teste egentlig én gang for å få et realistisk resultat, i tillegg til at resultatet varierer, så egentlig må du gjøre det mange ganger i tillegg. Og det er jo et sort hull når det kommer til penger.

Intervjuobjekt 2: Jeg kjenner godt igjen det der med bakgrunnen fra akademia, så har jeg jobbet en del med eksperimentelt da, men da mot brann, og det er veldig kostbart. Men så er det ikke sånn at man nødvendigvis brenner ned et helt hus eller et helt bygg, men man tar for seg at man bygger opp en fasade, eller en del av en fasade, eller ser på brannutviklingen i et rom, eller noe sånt. Og det er det som er det dumme med eksplosjonssikring, det er eksplosjonsforsøk at det er for mye standardisert små skalaer, eller så er det noe som er litt mer interessant og relevant, så er det ofte direkte knyttet mot olje- og gassindustrien, og typisk direkte knyttet mot validering av CFD-modeller, og flammepropagering i eksplosive atmosfærer. Det er litt for lite forskning som går på emperi og direkte anvendelse, sånn som det er med branddynamikk. Branddynamikk, det er en haug med problemstillinger man finner beskrevet i litteratur, som man har gjort forsøk på, og som man har empiriske korrelasjoner for, der man er i stand til å ofte komme i mål med enkle modeller, at man ikke trenger å ta i bruk CFD alltid. Det er interessant. Alt dere klarer å grave sammen, som på en måte samler informasjon på et sted, det er interessant, og det er noe som fort vil kunne anvendes direkte andre plasser, og som kanskje vil bli anvendt da, at det refereres til på senere tidspunkt, når man utvikler kanskje mer i fremtiden med veiledning og den type ting.

Henrik: Ja, det er riktig. Men ja, det er jo litt interessant. Nå kommer til, som vi var innpå, feilkilder på NFPA, eller litt vel konservative valg med NFPA. En annen ting, du snakket om flammehastigheten, men den vil vel også endre seg underveis, vil den ikke det? Ettersom opprinnelig starter som damp, og ikke nødvendigvis gasspartikulær i lufta. Så opprinnelig vil den starte veldig trengt, og så vil den da, jeg er ikke så stødig på temaet akkurat her, men så vil den endre seg med temperatur og trykk, for eksempel.

Intervjuobjekt 2: Helt klart. Men igjen, her er det jo en veldig enkel metodikk, så den tar bare utgangspunkt i den maksimale flammehastigheten. Så man skal jo være på den sikre siden. Men det er riktig som du sier, den vil jo endre seg, og den vil jo typisk endre seg med konsentrasjon. Så endrer du konsentrasjon og trykket for den delen, naturligvis. Og det er jo med termodynamikk at det henger sammen. Høyere du trykker, så vil molekylene være tettere, og dermed vil du få høyere reaksjonshastigheter, reaksjonsrater. Men igjen, da blir det veldig komplisert, for hvordan vil konsentrasjonen endre seg fra start akkurat i faseovergangen og underveis? Det er ikke noen enkel korrelasjon på det, det er sånn som det må vurderes i et enkelt tilfelle. Men også den effekten med at du har en flammefront som forflytter seg, og flammefronten vil jo få en trykkøkning, og da vil jo også endre konsentrasjonen der etter hvert. Og det er det som gjør det, eksplosjonssikring, ofte er du interessert i trykk, det er den variabelen du er interessert i. Men gjerne så blir det så komplisert problemstilling, selv når du skal løse den enkleste ting. Mens brannsikkerhet er motsatt, du har ikke bare trykk som variabel, du er interessert i røyklagshøyde, du er interessert i temperatur,

varmestråling, sikt, toksikologi med giftstoffet. Men til gjengjeld så har du masse empiri du kan regne på, fordi du klarer å forenkle problemstillingen ofte veldig godt. Så det er jo riktig som du sier, det er bare det at man kan ikke tenke alt for komplisert når du har en så enkel metodikk som dette, men sånn som du tenker, det er jo det man tar høyde for i en CFD-modell. Du løser strømnings eksplisitt på 3D-grid, og konserveringsligning og selvflammepropagering av forbrenningsfysikk. Så det er det som gjør det litt utfordrende, men også samtidig enkelt å kritisere hvis man prøver å gjøre litt sånn endringer, i anvendelsen av NFPA 68. Hvis dere gjør noe, så er det greit å bare tenke igjen om godt hva dere skriver, forutsetningene og sånn, for det er så lett å bli kritisert at den vil jo variere og det og det vil skje og sånn. Men hvis dere kommer i forkant og beskriver det selv, så da er dere jo trygg, liksom.

Henrik: Det blir en god del forutsetninger. Men jo, jeg tenkte bare å nevne av at et annet feilkilde ved NFPA, er jo at når det kommer til beregning av avlastningsluker og sånne ting, så tar den alltid utgangspunkt i totalt romvolum. Og det er jo fordi, den er konservativ og sier at hele volumet fylles med gass.

Intervjuobjekt 2: Nemlig.

Henrik: Men hvis du har en lysbue med en gitt varighet, så kan du noenlunde si noe om hvor mye gass som blir produsert, og det er jo ikke basert på volumet, men energien til stedet.

Intervjuobjekt 2: Nemlig. Og det var det jeg viste i den bacheloroppgaven, at der stod det 15 kubikk. Så det enkle regnestykket sa 5x5 meter rom, 4 meter takhøyde, da har du 100 kubikks rom. Så 15 kubikk av 100 kubikk, det er 15 prosent av rommet. Men utfordringen er hvordan skal du forenkle det? Skal du fordele den gassplanningen på 15 kubikk, jevnt i hele rommet? Det kan man jo gjøre, men vil det bli riktig? For da vil du bruke lavere flammehastighet, enn om du har gassen innenfor et lite volum, men samtidig inne i et større rom. Så det er det problemet er, at ja på et vis, er du mindre konservativ, du klarer å anvende mer informasjon som du har, men samtidig blir du mindre konservativ, fordi du tar utgangspunkt i en lavere flammehastighet enn den som faktisk vil være reel. Jeg skal være forsiktig med å si det, men jeg vil tippe det. Da må jeg rett og slett gå inn på kurven og se her. Kurven er ikke lineær, den vil bue, så den vil øke og øke, og så vil den avta. Men jeg vil anta at du ikke vil være på konservativ side.

Henrik: Fordi hvis vi klarer å finne noe tall på hvor fort denne sekundære eksplosjonen oppstår etter gasslekkasjene, kan det si noe om hvor godt denne oljegassen har blandet seg ut med det totale volumet?

Intervjuobjekt 2: Hva mener du med total volumet?

Henrik: Gjennom denne første eksplosjonen fra lysbroen, så begynner transformatoren å lekke oljegass. Hvis denne sekundære eksplosjonen kommer veldig kjapp tid etterpå, så har vel ikke denne gassen som unnslipper rullet å blande seg med det totale luftvolumet?

Intervjuobjekt 2: Nemlig, og uten at jeg vet det helt sikkert, så vil jeg bare sterkt gå ut ifra og anta at dersom du får en dannelse av eksplosive gasser som dette, og det så lekker ut, at det kan bli eksponert for oksygen, som man må ha, så vil du ha lysbue og en tennkilde til stede allerede tidlig i den fasen. Så jeg vil jo gå sterkt ut ifra at i en reell situasjon, så vil du få antennelse umiddelbart etter at transformator-kassene vil revne, og du vil få en volumekspansjon, og kanskje mens du har den volumekspansjonen til og med, at du vil få en antennelse. Så jeg tror ikke det er reelt at den gasskyen vil ekspandere fort, og så sakte ut i hele rommet, jevnt fordelt, og så antennes. Det tror jeg ikke er reelt, men det er der forenklingen vil være på en vis at du fordeler de 15 kubikker på 100 kubikker.

Og det er det som gjør det ikke konservativt, for da anvender du eksplosjonsvariabler for en tynnere blanding, rett og slett. Men igjen, hvordan klarer du å anvende NFPA 68 og si at du har eksplosjon innenfor 15 kubikker, inni et 100 kubikksrom? Du klarer ikke å få det inn i en så enkel modell.

Henrik: Nei, da må man heller.. det er ikke sikkert man finner noe spesifikk forskning på det, men kanskje du bare finner noen ekspertuttalelser, eller noen pekepinner i hvert fall.

Intervjuobjekt 2: Det eneste jeg kommer på nå, det med den deflagrasjonskonstanten K, husker dere at den henger sammen med makstrykkøkingsrate, altså dp over dt -max, som er eksperimentell variabel, ganger volumet opphøyet i en tredjedel. Jeg kan vise deg, hvis det er lettere å bare feste blikket på noe.

Henrik: Ja, men akkurat den tror jeg at jeg har funnet i flere forskningsartikler, den går igjen ganske ofte tror jeg.

Intervjuobjekt 2: Ja, skal vi se her. Så maksimal trykkøkingsrate med hensyn på tid, den måler man eksperimentelt, ganger volumet opphøyet i en tredjedel. Så dette er jo en tabellverdi, og denne deflagrasjonskonstanten, den er jo basert på standardiserte tester, typisk 20 liters konstantvolum-bombe. Kjenner dere til det, eller?

Henrik: Nei.

Intervjuobjekt 2: Så du har en gassblanding, eller la oss si en støkiometrisk blanding, i en bombe som er en kule på 20 liter. Og så antenner du det med en gnist, og så måler du trykkøkninga i den kule her, og makstrykket. Det er det man har tabellverdien for. Og så er det en gasskonsentrasjon, så man har 20 liters som er mest brukt, og så har man en kubikk, det er jo jævla svært, det er 1000 liters. Og det som er, det er at har du 20 liter, så tar du jo 20 liter oppi en tredjedel. Har du en kubikk, så har du en kubikk oppi en tredjedel. Så det går an å regne dette empirisk, basert på noen teststandarder. Og da har du en empirisk konstant, ganger flammehastigheten, ganger trykkøkingsraten, ganger dette volumet oppi en tredjedel. Uansett, poenget mitt er at når du tester i en kule slik som dette, så er det symmetrisk i alle retninger. Ut ifra senter har du radiusen, den vil jo være like i alle retninger. Men har du et rom, så vil jo ikke den være like. Og er du litt uheldig, la oss si du har, der du kan ha en eksplosiv atmosfære, i enden av et avlangt rom for eksempel, så vil jo flammen kunne propagere en ganske lang avstand. Så det man kan gjøre her, faktisk, det er å regne litt mer på denne, og så tar man høyde for den avstanden, lengste avstanden av rommet. Så det du i prinsippet gjør, hvis du tar volumet i tredje, så hvis du antar lengde, bredde, høyde er like lange, så vil jo det være som en kule på en måte, en radius. Men her så kan du heller ta den lengste romlengden. For det vil jo være det samme som volumet i tredje, om du har antall.. lik symmetri i alle retninger. Så poenget mitt, det er det at kanskje man kan knytte den lengden her, ikke til romgeometrien, den lengste lengden flammen kan propagere, men det man kanskje kunne ha prøvd å se på, det er ikke helt i riktig det her heller, man kan få kritikk for det, men man kan jo knytte det til 15 kubikk. Så la oss si du har 15 kubikk, og si at den sprer seg som en halvkule, en kule. Da kan du regne den lengste avstanden flammen kan propagere innenfor den skyen. Er dere med på metoden og hvordan jeg tenker her?

Henrik og Geir: ja!

Intervjuobjekt 2: Men det vil ikke være riktig heller, for kritikken man kan få, det er at du har en antennelse, men hva skjer da? Da vil jo flammen utvide seg og propagere, og så vil den utvide seg også fordi du vil få høyere temperatur, og så skyver du gasskyen foran deg, så mens flammen propagerer, så vil jo de her 15 kubikkene øke og øke og øke og øke. Er dere med? Det er jo ikke en statisk sky på 15 kubikk som bare eksploderer, den vil jo ekspandere mens flammen propagerer. Så

man kan få kritikk på det, men det er bare en måte å regne flere forskjellige metodiske måter i henhold til NFPA 68 på, gjøre noen modifikasjoner, og så kanskje man får et spennende resultat der som kan si noe om usikkerheten.

Henrik: Da for eksempel sammenligner både korteste lengde med for eksempel lengste lengde.

Intervjuobjekt 2: Ja.

Henrik: Se på hvor stor feilmargin som ligger i dette her.

Intervjuobjekt 2: Ja. For eksempel, ja. Blant annet. En annen ting jeg kan si, det har jeg helt glemt. Jeg bare snakker i vei her og forteller alle mine tanker her. En annen ting, som jeg har tenkt på, det er jo det at NFPA68, den regner jo på at du ikke skal ha en trykkøkning i et rom som overgår det konstruksjonen tåler. Så du har en trykkøkning som går opp, opp og opp, helt til du har en avlastningsflate som aktiverer, og så vil jo trykket gå ned igjen. Men det som er når man går gjennom det her, så tar man utgangspunkt i makstrykket. Og gå tilbake til testmetoden med 20 liters kule, så vil makstrykket være når du antenner og så brenner all gassene inn i gula. Ikke sant? Det er makstrykket. Og det er jo opp til flere bar, sånn 5, 6, 7, 8 bar. Men når du ser på denne regningsmetoden her, så når du jo typisk bare noen kilopascal, en titalls bar, du er langt under maksimaltrykket på mange, mange bar, sånn de baserer metodikken her på, basert på eksperimentelle forsøk. Poenget mitt, det er at siden du ikke når makstrykket, så må jo mye av forbrenningen skje på utsiden av rommet.

Henrik: Ja, riktig.

Intervjuobjekt 2: Og det man kan gjøre da, det som kan være litt interessant, for i NFPA 68 kan du regne på tiden av flammepropagering her av eksplosjonen. Jeg tror det er bare fram til trykkavlastningen aktiveres. Men det kunne vært interessant å regne på hvor mye gass er det som forbrenner i et sånt typisk rom. Igjen, basert på en case study. Hvor mange kilogass er det som brenner her før eksplosjonen kommer på utsiden av rommet? For da kan man sammenligne med lysbuen og de dataene der. I den bacheloroppgaven jeg visste dere, så sto det at man kunne forvente 2,5 kg gass. Så hvis man regner på det, kanskje man ser, åja, her vil det jo uansett bare kunne forbrenne 0,5 kg gass. Kanskje man klarer å finne litt mer realistiske resultater, basert på beregningen, og ikke at man er for konservativ.

Henrik: Ja, riktig.

Intervjuobjekt 2: Og har du gass sammensetningen? Ja, eller etter lysbuen. Så går det an å regne på et teoretisk makstrykk. Men da må du enten anta innenfor de 15 kubikkene som vil ekspandere, eller gjennomfordelt i hele rommet.

Henrik: Ja, ok.

Intervjuobjekt 2: Men det går an. Men jeg vet ikke, det er litt opp til dere å hva dere har tid til. Da må man sette seg ned med forbrenningsfysikk, og balansere reaksjonsligning, og regne på flammetemperatur av litt sånt da. Det krever kanskje litt mer, men det er mulig, faktisk.

Henrik: Ja, vi kan starte på å se hva vi får til.

Intervjuobjekt 2: Ja, jeg bare kommer med masse, masse ideer, og så må dere vurdere hva dere har tid til, og hva som er interessant for dere.

Henrik: Ja, det er veldig interessant å høre. Men jo, litt om avlastingsflater og avlastingsluker. Har du jobbet mye med dette tidligere?

Intervjuobjekt 2: Nei, ikke veldig mye. Det har jeg ikke.

Henrik: Fordi vi fikk noen kommentarer på at man kan velge litt hvilket trykk avlastingslukene skal gi etter på, og det er mye varianter her i bildet også. Også om det er vanlig å ta med ting som hvor lang tid luka bruker på å åpne seg. Ikke nødvendigvis at den åpner seg, men at det tar noen millisekunder, før den faktisk er 100 % effektiv?

Intervjuobjekt 2: Ja, jeg har sett litt på det der. Jeg skal være veldig forsiktig med å si noe helt sikkert her, fordi da begynner man å gå over fra det akademiske og teoretiske, til det mer praktiske og litt mer tverrfaglig. For som dere skjønner, eksplosjon her, så har vi litt sånn ulike sider og utgangspunkt her. Dere er på bygg og jeg mer på forbrenning og fluiddynamikk. Jeg har vanskeligere for å svare på sånn strukturrepons. La oss si at du har en sjokkbølge som kommer inn på en vegg, og du får refleksjoner og hvilke trykk du skal legge til grunn. Sånne ting vet jeg veldig litt om. Jeg forholder meg til enkel metodikk, der er jeg interessert i å regne på eksplosjonstrykk, og så bare hente tabellverdiene på at du har, typisk vindu tåler det og det er trykket og sånt. Men det jeg tror man ofte kan gjøre i praktiske prosjekter, at man setter det som et premiss, typisk. Man må løse problemstillingen her, ene eller den andre veien. Ofte kan det være at man får beskjed fra noen som har holdt på med en bygg, at her har vi 20 cm betongvegger, så må de klare å si noe om eksplosjonstrykket eller trykk den tåler, eller at man klarer å finne noe i Renblad eller DSP-veiledere. Ut ifra det må man anta en gassplanning og sånne ting, som er direkte knyttet til eksplosjonsfysikk og forbrenning. Og så regner man på et avlastningsareal. Og da legger man et trykk til grunn for hva lukene skal tåle. Så det er ikke sånn at noen sier til meg, hei du, vi skal ha de her lukene her, de tåler det trykket. Hvor stor flate må vi ha? Det er ikke sånn det ofte blir løst. Det er sånn at man sier, nå har vi de her veggene her, de er så så tykke, de tåler den styrken her. Hvor stort avlastningsareal må man ha? Og så sier jeg, jo du trenger 3 kvadrat med forutsetning om en luke som tåler det og det trykket, og åpne på den og den hastigheten eller noe sånt. Og da er det opp til, da er det et premiss, det er en forutsetning for analysen man gjør. Og så kommer det da inn noen i ettertid og sier, ok, da må vi gå til produsentene som produserer de her panelene. Og så sier de, jo vi klarer det her og det her, vi har testet det i forsøk, vi ser at den utløser og aktiverer på dette her trykket, og har den responstiden ved det trykket, eller den trykkøkingsraten, noe sånt. Så det er produsentene som ofte må sertifisere det og gå god for det, og ofte at det bare er en forutsetning man gjør. Men ta det med en klype salt, for jeg har litt for lite praktisk erfaring, og litt for lite konsulent og rådgiver oppdrag knyttet til eksplosjonssikring, selv om jeg kjenner veldig godt til det.

Henrik: Men jo, en annen ting her, jo, når det danner seg et slik overtrykk mot ytterveggene, det har blitt nevnt noen ganger, jeg vet ikke om det er relevant, men som et resultat av dette overtrykk etter eksplosjonen, har man.. danner det seg noe undertrykk i etterkant? som blir tatt med i beregningene.

Intervjuobjekt 2: Ja, det er jo et veldig interessant spørsmål. Snakker vi da i kontekst av transformatorer?

Henrik: Ja, for eksempel.

Intervjuobjekt 2: Nei, jeg tror ikke det er interessant. Undertrykket vil være uansett så mye lavere enn overtrykket, og det er jo heller absolutt trykket som er interessant. Kanskje dere kan synse mer om det enn meg, med tanke på struktur og bæring og sånn, men se for dere at man har en

betongkonstruksjon med armering. Om du presser fra innsida utover, eller fra utsida innover, at du har dannet undertrykk, så skal det være nokså likt. Og undertrykket vil jo ikke være, det vil jo være betydelig lavere enn overtrykket, da. Tenker jeg.

Henrik: Ja. Men, ja, fordi det eneste er, på konstruksjonsmessig, hvis veggene får en hastighet utover, av dette trykket, altså,

Intervjuobjekt 2: Deformasjonshastighet?

Henrik: Ja.

Intervjuobjekt 2: Og ja, at du får en impuls, eller?

Henrik: Ja, en impuls som på en måte forhindrer, for stor, eller forhindrer noe av deformasjonen etterpå.

Intervjuobjekt 2: Åja, sånn da.

Henrik: Men jeg har ikke hørt noe, jeg har ikke sett noe forskning som nevner det, så det er mest sannsynlig ikke relevant, da. Det er litt mer av nysgjerrighet egentlig.

Intervjuobjekt 2: Ja, nei, jeg, Jeg tror ikke jeg er riktig person til å svare på det. Det blir liksom over på materialrespons, og det byggetekniske, igjen. Igjen, jeg er litt mer over på fluiddynamikken og forbrenningen. Så jeg tror ikke jeg kan svare godt på det. Jeg bare prøvde å tenke igjennom om jeg hørte noe sånt, eller vært borte, da. Nei, jeg klarer ikke å, klarer ikke å komme på det, men jeg har lest noe litteratur for lenge, lenge, lenge siden, som går på noe i retning av det du sier. Og da er det jo typisk olje og gass og den verden der, og da er det jo betong og stål det mye går i, da. Og da var det snakk om respons av et sjokk på en stålkonstruksjon, da. Se for dere en stålplate, og hvordan den responsen var, at den står og vibrerer, da, og at du da når.. kaller man det ikke flytegrenser, at du når flytegrensen for varig deformasjon. Og da er det jo to hensyn man ofte tar utgangspunkt i. Det ene er jo maksimaltrykket, og så tar man ikke også hensyn til varigheten av trykket her også, at du har en impuls også inne i det her. Men så er det jo interessant, mulig jeg ikke forstår deg riktig, da, men at det har litt undertrykk.. at man kanskje kan få noen form for resonans eller egensvingning her, da, ved frekvens av sjokkfronten. Jeg vet ikke, for.. Nei, det er for detaljert for meg. Men en ting er, er dere kjente med Green Book og Yellow Book?

Henrik: Nei, hva er det?

Intervjuobjekt 2: Det er håndbøker som er skrevet av TNO. Har dere hørt om TNO?

Henrik: Nei, jeg har ikke hørt om de heller

Intervjuobjekt 2: TNO, det er nederlandsk, og det er tilsvarende som i Norge, som Sintef. Jeg kan si Sintef, det er jo industrielt, men det er jo spinoff fra NTNU. CMR og Gexcon, det er i prinsippet sammenlignbart med Sintef, for det var en spinoff fra UIB. Stavanger har man tilsvarende, der har man noe som heter Iris, det er en spinoff fra UIS, som driver med kontraktsforskning. De tjener penger på å gjøre forskning for industrien, Så er det noen professorer på universitetet som jobber der 20% for å tjene seg feit på det, i stedet for en professorlønn på et universitet som er ganske sørgelig betalt. Men i hvert fall, TNO er en spinoff. Eller, jeg skal ikke si at det er en spinoff, men det er ganske sammenlignbart med Sintef. De holder til i Nederland. Og de er ganske sterke på eksplosjonssikring. Og de har skrevet to håndbøker, det er Yellow Book og Green Book. Yellow Book

går på teknisk sikkerhet og gasseksplisjoner, men det er ikke bare trykkavlastning, det er også litt sånn teknisk sikkerhet som for eksempel BLEVI, har dere hørt om det?

Henrik: Nei.

Intervjuobjekt 2: BLEVI, det er Boiling Liquid Explosion.

Henrik: Ja, det er det. Det har vi hørt om.

Intervjuobjekt 2: Det er jo typisk en teknisk sikkerhet. Jetbrann, kanskje man har dråpe- eksplisjoner. Dere skjønner, det er flere ting her. Så Yellow Book går på den siden av det. Green Book, den går mer på materialrespons og eksplisiver. Og da tenkte jeg, kanskje, siden du er interessert i det her med undertrykk og sånt, at det kan være verdt å bare se fort gjennom. Det er veldig teoretisk og tungt, men kanskje du klarer å scrolle gjennom og se, oi, altså her var jo akkurat det jeg letet etter. Kanskje du ser overskrift eller noe sånt. Og kanskje du kommer noe videre med det da. Så jeg kan sende dere begge håndbøkene.

Henrik: Det hadde vært supert. Jeg er veldig nysgjerrig på hva som står der. Og det kan jo ta, ja, det tar litt for lang tid å forstå hele boka, men jeg skal uten tvil se litt i den.

Intervjuobjekt 2: Det er en håndbok. Det er ikke et lærerverk, for å si det sånn. Det er ment for at du skal slå opp. Det er liksom som et leksikon. Du slår opp fordi du lurer på noe. Det er ikke noe du leser perm til perm. Man kan jo lese ting i håndbøker for å lære ting. Men ofte er det jo et oppslagsverk. Det er vanskelig å lære seg ting ut fra et leksikon, for eksempel. Men kanskje du finner det du er interessert i, som er interessant for deg. Og det kan jo være at det er noen referanser du kan gå videre med, som hjelper deg mer.

Henrik: Ja, det hadde vært nydelig. Jo, siden vi ønsker å sammenligne litt den praktiske tilvenningen, gjennom NFPA 68, mot en mer analytisk, numerisk metode som er vanlig.

Intervjuobjekt 2: Jeg skulle til å spørre om det. Jeg kjenner ikke så godt til den. Hva går den ut på? Den metoden dere nevnte.

Henrik: Ja, det er jo ganske tunge, analytiske... Basert på ganske tung matematikk. Vi har sett igjennom forskningsartikler som forklarer litt bedre hva denne matematikken er. Men det er den matematikken som har ført til program som flacs som Gexcon bruker og sånt. Sikkert brukt i en del av ansysprogrammene og sånt.

Intervjuobjekt 2: Vet du om dette er CFD?

Henrik: Ja, det er matematikken som jeg har basert på. Så det er ikke noe vi kan beregne selv, men bare sammenligner bare prosessen. Gjøre ting forhånd med bruk av program, digitale program.

Intervjuobjekt 2: Det er det som er... Om du ser på et hierarki av type modeller, eller metodikk, så kan man si at aller lavest nede, så kan man lene seg på erfaring og kvalitative vurderinger. Så har du kanskje noen nøkkeltall/tommelfingerregler, og så kommer man opp på emperi, at du gjør noen forsøk og curve fittings til eksperimentelle data, iblandet litt med fysikk av og til, mer eller mindre grann. Og så kommer man gjerne opp på... Jeg liker ikke analytiske metoder, for det eksisterer nesten ikke i den praktiske verden. Men la oss kalle det hele numeriske modeller, for det er jo approksimasjoner, som ofte har begrensninger, kanskje til en en-dimensional modell. Og når du er på det nivået der, da er det sånn at det er anvendelig, men da må du begynne å programmere, og hvem

som helst er ikke i stand til å gjøre det. Helt på toppen, da har du CFD, og da har du.. løser det jo i all hovedsak strømningene i 3D, basert på konserveringslinjen, massemomentumenergi i hvert fall, og gasskonsentrasjoner, som er et minimum, i tillegg til en hel del sub-modeller. Men det som er når det kommer til litteratur og den type modeller, CFD, så er det ikke anvendelig. Lese du den type matematikk, så er det fordi du skal forstå hvordan CFD-modellene fungerer, nettopp fordi man skal kunne klare å anvende dem kritisk. Eller det at man støter på utfordringen i numeriske fenomener, så må man vite hvordan man kan trikse og tvike litt, for å få til å løse den problemstillingen man er interessert i, da. Men det er ikke anvendelig. Det å utvikle en CFD-modell, man kan skrive enkle koder selv, kanskje i 2D, i beste fall 3D, men det er så enkelt at det har ikke noe anvendelsesverdi. Og i tillegg, skal du kunne klare å anvende noe, så er man nødt til å validere denne modellen, teste opp mot eksperimentelle forsøk, og dokumentere det, rett og slett. Og da skal du utvikle en CFD-modell, så er det mange årsverk. ”

Henrik: Ja, målet er ikke nærheten av å nærme seg CFD, det er bare å sammenligne prosessen med bruk av CFD opp mot en mer praktisk.

Intervjuobjekt 2: Men kjenner dere til andre metoder, som er sånn mellommetoder, kanskje en en-dimensjonal numerisk modell, som man kan regne på selv, men som er litt mer komplisert enn NFPA 68?

Henrik: Ja, vi har kontakt med han, en fyr som heter Morten, jeg husker ikke helt etternavnet. Han startet MG-engineering, jobbet i Multiconsult før, og han har opprettet noen, både Excel-dokumenter og MathCAD dokumenter som gjør dette her. Men igjen så er dette det han tjener penger på, så vi får ikke tilgang på de, men vi fikk litt teorien bak det.

Intervjuobjekt 2: Ja, Morten Gjestvang?

Henrik: Ja, det er...

Intervjuobjekt 2: MG-engineering, nei jeg kjenner ikke til han.

Henrik: Han er langt fremme i feltet, så han sendte oss en ganske nyttig, en sånn pekepinn. Så det finnes, og det er det vi ønsker å se litt på, altså hva som inngår i det også.

Intervjuobjekt 2: Jeg tenker jo, hadde det vært sånn at dere hadde skrevet en 60-poengsoppgave, og dere hadde litt mer tid, så skulle dere kanskje, hvis dere synes det hadde vært interessant, vinklet det litt i retning av CFD, prøvd å få tak i en akademisk lisens gratis, og så kjørt det som case study. Eksplosjoner i transformator med CFD, sammenlignet kanskje med eksperimentelle data, det man måtte komme over, men i hvert fall, det kan være sparsomt å finne i litteratur, men i hvert fall NFPA 68 da.

Henrik: Ja, men det rekker vi ikke, sånn at nå tar vi heller utgangspunkt i en CFD som allerede er laget, og så gjør vi det til en case istendenfor.

Intervjuobjekt 2: Ja, eller forsøk, og dere ser noen forsøk på det.

Henrik: Ja, vi prøver å legge oss så nære det lar seg gjøre på en 30poengs oppgave.

Intervjuobjekt 2: Det er lurt. Jeg veileder ganske mange oppgaver selv da, og en av de beste tipsene jeg pleier å komme med, utover det faglige, det er å være veldig bevisst på tid og ambisjonsnivå. Produktet, resultatet, i den grad man skal være veldig opptatt av det, for det er jo læringen som

kommer først, det er jo hva man sitter igjen med etter å ha skrevet en sånn oppgave da. Men sekundært er det jo hvordan man presterer, og for å presentere, så er det mye bedre å løse oppgaven på et enklere vis, men til perfeksjon. I stedet for å gape over veldig mye, være veldig ambisiøs, og så skrive en sånn halvgod oppgave. Selv om den kan være komplisert og se imponerende ut, er det halvdårlig, så er det bedre å gjøre noe til perfeksjon.

Henrik: Ja, jeg ser den. Men ja, vi eventuelt starter litt vidt, og så spisser vi den ned til et mer spesifikt resultat. Men jo, kan du si litt om disse CFD-analysene, kan du si litt om hvor presise de er?

Intervjuobjekt 2: Det er helt umulig å svare på. Og det som er litt sånn dumt akkurat med Flacs og Exib, som er kommersielle koder, det er det at du finner ikke valideringsguider åpent tilgjengelig på nett. Og det er mulig man får tilgang til valideringsguider når man har akademiske lisenser, det vet jeg ikke. Jeg har bare sett valideringsguider til KFX, det er brannkoden, ikke eksplosjonskoden, kommersiell brannkode. Og de valideringsguidene der, de er ikke så veldig imponerende, synes jeg, egentlig. Derfor er jeg alltid stor fan av open source. Og når jeg holder på med CFD og brannmodellering og sånt, så bruker jeg alltid open source. Og det som er fint når det kommer til brann, og særlig brann i bygg, eller alt som er knyttet til brann og CFD, unntatt spesifikt knyttet til prosessikkerhet, sånn som jetbrann, så er den aller beste CFD-koden, det er en open source kode. Den er gratis tilgjengelig. Så det som er, det er at det går an å se i den valideringsguiden, og da får man en liten pekepinn. Så jeg kan vise deg, bare for å forklare at det er helt mulig å bare gi et tilfeldig tall, at usikkerheten er 20-30%, det kommer helt an på hva man ser på. Så koden vi bruker, den heter Fire Dynamics Simulator, på korta FDS. Da kan vi gå inn, de har en sånn GitHub-side. Her ligger alt sammen åpent tilgjengelig. Alle valideringscasene, satt opp i modeller, og dokumentasjon. Da kan vi gå her inn i dokumentasjon. Valideringsguide. Ok, de har ikke kompilert det her. Kjenner dere til Latex? Eller Latex, sier man egentlig. Det er jo egentlig bare et skriveprogram, og så kompilerer man jo tekstfilen, og så blir det en PDF. Så her ser dere tekstfilen, den er ikke kompilert. Det var dumt, men jeg skal finne den. Hvis jeg bare finner, hva heter det som er valideringsguide? Man finner vel sikkert PDF-en et eller anna sted. Valideringsguide. Jeg har den på PC-en sikkert. Yes. Her er dokumentasjon på validering. Så hvis man går i innholdsfortegnelsen, så er det jo litt sånn beskrivende kapitler, så kommer man til... Ja, fra kapittel 5 og senere, så ser vi alle valideringscasene. Her går det på temperaturer. Så her er det en case, to case, tre case, fire case, og så videre nedover. Her går det på fire plumes, og da er det snakk om akkurat i flammen eller røyksøyla. Her går det på masseplabseratet. Flamme-interaksjon mot vegger og tak og hjørne. Line burner, det vil si brennere som ikke er kvadratiske, men kanskje avlange og tynne. Hvordan det påvirker temperatur og flammehøyde. Her er flammehøyde spesifikt noen case. Tiltning, altså gjør du flamme i et vindfelt for eksempel. Sealing, da snakker man om strømninger fra en brann opp under et tak. Hvordan temperaturen blir opp under taket og hastighetene. Det kan være interessant for å se på varmedetektorer eller aktivering av sprinkleranlegg. Ja, dere ser det. Det er masse masse her. Man kan bare gå inn på en helt tilfeldig. Her har vi to kurver. Svart og rød. Svart og rød stripla. Da har man fra modellen og eksperimentelle forsøk. Stippler mot heltrukken linje. Så man må sammenligne stippler her mot en heltrukken linje her. Så en måte å se på usikkerhet på er å se på hva temperaturen er et eller annet sted. Helt avhengig av om det er flammetemperatur opp under et tak, gjennomsnittlig i et rom. Man kan se på hva det er etter et spesielt tidspunkt, for eksempel etter 70 sekunder. Men hvor mye informasjon gir det deg egentlig hvis du for eksempel er interessert i å se på temperatur etter 150 sekunder. Her ser man gapet stort. La oss si at man har en praktisk problemstilling. Man er ikke interessert i tida etter 120 sekunder, to minutter, men kanskje etter 15 minutter. Det er utforbi plottet her. Og det er bare temperatur. Man kan gå inn og se på hvordan det er for flammehøyden. Så det er helt umulig å si noe om modell usikkerhet bare helt generelt eller i sin helhet. Man må se på helt spesifikke caser. Ser man på gasseksplosjon i fra blevi, for eksempel, i åpen atmosfære, eller ser man på ... og der har du faseovergang av trykkutligning i tillegg til en forbrenning, slik som med transformatorer, eller har du bare en gassky fra en gasslekkasje i det fri

eller i et rom. Alt dette spiller en veldig stor rolle. Så for å kunne si noe om usikkerheten, så må man se spesifikt på sin problemstilling. Og for deres del, for å kunne svare på det, så er man nødt til å se en CFD-modell som er validert spesifikt for å se på trykkavlastning. Og som er mest mulig lik transformatorer i gassammensetning og romstørrelse og alt mulig sånt. Så det er liksom litt av det som kan være interessant å gjøre for jobben deres, nemlig å prøve å finne ut av det. For det er et godt spørsmål som du stiller. Det går ikke an å bare gi et generelt svar på det. Jeg vet ikke, det er det beste svaret jeg kan gi.

Henrik: Ja, ja, ja. Jeg regnet med at det var veldig vanskelig å svare på. Det var bare mye nysgjerrighet her.

Intervjuobjekt 2: En ting er jo sammenlignet temperatur til en gitt tid. Men kanskje du ikke er interessert i det en gang. Kanskje du er interessert i en temperaturøkning, en gradient. Og den vil jo variere seg også helt i forløpet her. Helt umulig å svare generelt på.

Henrik: Men jo, det er litt flere spørsmål her, men jeg ser det har gått så lang tid at jeg må neste beklage, men jeg har egentlig en legetime. Så jeg må nesten løpe. Men det er kjempeinteressant å høre på hva du har å si her altså.

Intervjuobjekt 2: Så bra, jeg håper det kunne vært til hjelp.

Henrik: Hvis det kommer noe spesifikt som vi har glemt å spørre om, er du åpen for spørsmål på mail?

Intervjuobjekt 2: Ja, helt klart. Helt klart. Send meg gjerne mail. Så varierer det veldig i perioder hvor travelt jeg har det. Da var det ekstremt travelt her nylig, så har det vært rolig et par dager, og så tror jeg det blir sånn moderat. Men selvfølgelig. Bare si fra hvis det er noe du lurer på, og så kan jeg hjelpe så godt jeg kan.

Henrik: Ja, det er supert. Det setter vi stor pris på. Og vi vil bare takke for møtet. Det har vært veldig lærerikt.

Intervjuobjekt 2: Jo, bare hyggelig.

Henrik: Så får du ha en fin dag videre.

Intervjuobjekt 2: Like så. Stå på med oppgave.

Henrik: Det skal vi gjøre det.

Alle: Ha det bra.

Intervju 2

Intervjuobjekt 2: Ja, hvilken rapport tenker du på? Nei, eller rapporten til forhånd, det hele nå som fikk skjedd. Ja, det gjorde det faktisk.

Henrik: Vi fikk SEBK-grunnlaget, men det viste seg å være litt uferdig arbeid. Det virket som de ga seg litt underveis.

Intervjuobjekt 2: Ja, akkurat. Men dere fikk ikke selve rapporten, eller?

Henrik: Ja, altså, vi fikk... Det virket som det var en enklere beregning for Multiconsult. Og jeg vet ikke om det var så mye mer bakgrunnskunnskap rundt den annet enn denne SEBK-metodikken.

Intervjuobjekt 2: Men har dere fått en forståelse av hva den metodikken går ut på, eller?

Henrik: Ja, de har fått med litt mer grafer og sånt. Litt mer sammenheng mellom parametere og sånt. Det er dukket opp mye å se på. Akkurat nå, når vi henter inn resultater, så har vi ikke fått gått helt i dybden på SEBK enda.

Intervjuobjekt 2: Jeg skjønner. Jeg synes det er mangler i den rapporten til Gexcon, det som var bra der, det var at det var beregningen for energi og lysbuen. Og det var virkelig ganske forståelig. Jeg kan ikke mye elektro, men ohms lov kan man jo. Så vet man jo sammenhengen mellom strøm og spenning og effekt. Og har du effekt og en eller annen tid, så har du en mengde energi. Så det var jo, det har jeg faktisk ikke tenkt på det. Og det som var litt vanskelig for meg å forstå var særlig den tiden. At du knytter den til noe vern til det elektriske anlegget. Og igjen, da begynner det å for spesialisert. Det kan ikke jeg veldig mye om. Jeg kjenner til at det er mange forskjellige vern, men at de er så pålitelige og at det er det man legger grunn. Det var ikke jeg klar over. Og det er litt usikkert for meg også. Kanskje dere vet, er det en grunn til at man har en tidsforsinkelse på vern? Eller, altså 100 millisekunder? Eller er det bare det beste man får til?

Henrik: Ja, for hele hensikten er egentlig bare å få den så kort som mulig. Så den har utviklet seg mye i det siste, før var det vanlig med 200 millisekunder. Og så nå er den ned på 70 til, 70 til 140 eller noe sånt. Men om du har noen veldig unike caser, så kan du få den helt ned på 30ms. Men da skal du jo ha noen veldig dyre, fancy utkoblingsmekanismer.

Intervjuobjekt 2: Ikke sant? Og det er veldig interessant. Det er jo ikke noe som er innom våre fagfelt, sikkert. Det er veldig interessant, men da har man en metode for å regne på energi. Til dannelsen av en eksplosiv sky, da. Og da er det jo olje som fordamper. Den primære eksplosjon før kassa revner. Så har du fordampning av olje og molekylær spaltning. Og da er det jo termodynamikk. Og har du en mengde energi, så kan du bruke termodynamikk til å regne ut hvor mye gass det blir. Det kom ikke fram i den Gexcon-rapporten. Og jeg setter meg litt ned og skribler litt ned på et papir, så finner jeg sikkert ut av det. Eller bla opp i en gammel lærebok. Men det er jeg usikker på. Det er det at man har jo det man kaller for fysiske... Nå snakker jeg bare vidt. Man har det man kaller for fysiske forandringer. Ikke sant? Og man har det man kaller for fysiske eksplosjoner. For eksempel at du har en ballong med luft under trykk. Og så sprekker du ballongen, og så får du en trykkutligning. Det er jo en fysisk eksplosjon og en fysisk forandring. Det er ikke en kjemisk reaksjon som skjer i et sånt tilfelle. Men så kan man gjøre det litt mer komplisert. Man kan snakke om kjernefysikk. Kjernefysikk er jo det at man har tunge atomer. Eller lette atomer kan man også ha. Man kan gå fra begge endene av periodesystemet. Men ta for oss plutonium, uran osv. De er jo tunge atomer. Så spalter man dem. Nå vil man jo ha nett og energiutvinning helt til man kommer til jern. Tilsvarende har man motsatt med at man har fysisk prosesser. Og da har du hydrogen, der man fusionerer hydrogenatomer. Og så blir det tyngre og tyngre og tyngre helt til man kommer til jern. Og når det kommer til kjemi, så har man jo forbrenning. Og der har man litt sånn tilsvaret med energifrigivelse. Og da snakker man om dannelsesentalpi. At du har en mengde brensel. Og det skal gå gjennom en faseovergang. Typisk snakker man da om væske. Væske til gassfase. Forbrenning er jo et gassfenomen. Det skjer i gassfase. Men har du for eksempel bensin eller heptan som er veldig lignende. Som et rent halmogent hydrokarbon. Hvis du da setter fyr på det. Så går det gjennom en fase fra væske til gass. Og så forbrenner det. Og i hvert fall her snakker man da om dannelsesentalpi. At det koster jo energi. Å gå fra en eller annen fysisk tilstand til en annen. Fra faststoff til gass. Og det er der jeg usikker. Akkurat når det kommer til molekyler spalter og lysbue. Det vet jeg ikke. Jeg er faktisk usikker. Så det

kan være interessant for dere å nøste opp i. Fordi en bare gjør så enkelt. Og sier at man har en viss mengde energi fra lysbue. Det går over i en gassfase. Altså olje. Oljevæske til oljegass. Da er det greit. Da kan man finne data på det. Datablad og møretrafo og alt mulig. Da er man i mål. Men skal man ta høyde for at her vil det jo bli andre type molekyler sammensetning. Det går fra olje, altså tunge hydrokarboner til lettere hydrokarboner. Vil det stjele energi? Og hvor mye energi? Det er rett og slett interessant.

Henrik: Ja, det er veldig interessant. Vi hadde et intervju med en lab som drev å teste litt transformatorer. Og håpet at de hadde svar på akkurat det. Men de drev hovedsakelig å testa selve lysbuen. Så neste er nå ABB å høre om de har gjort noen oljetester. Så få akkurat svar på det. Det var veldig interessant.

Intervjuobjekt 2: Og det som er interessant da. Det er jo det at, ja, størrelsen på lysbuen. Vil være direkte korrelert med mengden på, eller størrelsen på gasskyen. Det er ganske intuitivt. Putter du inn dobbelt så mye energi, så får du dobbelt mer gass ut. Men det som jeg synes kan være litt interessant at dere snakker om. De tester olje og sånt. Da ser jeg for meg de sitter på en lab i veldig liten skala. Og man kan jo skalere opp lysbuen. Men det som jeg synes kan være litt interessant å få vite da. Det er jo den gassammensetningen. Molekylære sammensetninga. For eksempel, dere nevnte 70% hydrogen. Vil den være lik om du har en liten lysbue, som om du har en stor lysbue? Ja. Og jeg bet meg også merke i at den gassmengden dere skrev i e-posten. Den er ikke helt lik den som stod i den bacheloroppgavene jeg sendte dere. Så det vil jo si at det finnes jo litteratur på det. Og det finnes uavhengig arbeid. Fordi det er kanskje et mistenkte. Det er jo et lite land, lite miljø og tverrfaglig. At dere kanskje vil komme frem til samme arbeid, samme referanse. Men siden dere har ulike tall, så tror jeg at det er mer arbeid som er blitt gjort. Men at det er litt vanskelig. Det er ikke lett tilgjengelig. Jeg tipper mye er konfidensielt, rett og slett.

Henrik: Ja, ok. Hvorfor vil det eventuelt være konfidensielt? Det er jo ikke noe nødvendig data for andre på en måte.

Intervjuobjekt 2: Det er nok bare av en enkel grunn at her er det snakk om sterk strøm. Da er det jo strømmettet, transformatorstasjoner og kritisk infrastruktur. Det er jo generelt vitent, det er jo fysikk. Sånn sett er det jo ikke farlig. Men det kan jo være at det er et prosjekt som er satt i en litt større kontekst. Der kanskje en teoretisk og eksperimentell del, kanskje bare en liten del av et større prosjekt. Som kanskje går på, la oss si, vi har fått innvilget noen hundre millioner kr til å oppgradere transformatorstasjoner. Og så skal de kanskje gjøre et studie på hvordan man skal forvalte de ressursene best mulig. Hva skal man prioritere og oppgradere her? Og det kan være noen beslutninger i den anledningen som har gjort at det er interessant for dem å nettopp se på det her. Så jeg tenker ikke at det er i seg selv, at det her er noe som er konfidensielt. Det er bare det at de gjør det enkelt for seg selv. Alt vi gjør er konfidensielt.

Henrik: Jeg skjønner, det gir mening. Men jo, vi har faktisk kommet litt på den problematikken, altså hvor mye som spaltes ned til de forskjellige stoffene. Og det er, jeg har lest litt forskning på det allerede, noen forskningsartikler, og mengden spenning fører til mengden... det blir produsert plasma. Så mengden energi fører til hvor mye enkelt ioneatomer som blir produsert. Sånn at det er jo snakk om lange hydrokarboner. Så mengden energi vil spalte lenger og lenger ned. Eller større og større andel, vil bli spalta lenger og lenger ned.

Intervjuobjekt 2: Ikke sant? Og det her er interessant. Du sier det er plasma. Og det er derfor jeg uttrykker at jeg er usikker. Fordi det begynner å bli så snevert. Ofte i vår verden så forholder vi oss til tre tilstander. Det er jo faste stoff, væske og så gass. Og plasma er jo den siste. Det er jo en tilstand som... Det er en veldig sære fagfelt der man er interessert i plasma typisk da. Og da er det nok en

helt annen type fysikk. Og kjemi også. Det er jo ikke det samme som en forbrenningsreaksjon, som en oxidationreaksjon.

Henrik: Nei, for plasma vil jo ha en annen volumøkning enn damp, vil den ikke det?

Intervjuobjekt 2: Det vil det helt sikkert. Men jeg er ikke riktig person å spørre om alt for mye om det. Jeg kjenner til litt i hvert fall, men det går mer på det måletekniske. Å bruke laserer og sånt for å måle. Og da er det jo innover på kvantemekanikk og sånt også. Og det går i prinsipp bare i at du sender deg en laserlyse, eller lasersignal kan man si. Og noe vil jo absorberes, og noe vil reflekteres. Og da har du plasma, for det er jo resens. Du får økning i kvantesteg, altså det absorberer energien, umiddelbart. Men når du slutter å tilføre energi med laserlyse, så går du tilbake igjen til et lavere kvantenivå, og så avgir den lys. Altså det er plasma. Det avgir fotoner rett og slett. Så det var akkurat det samme, men jeg må si at jeg ikke kan alt for mye om sånt. Dere får bare lese.

Henrik: Ja, fordi vi fikk nylig høre at lysbroer og sånne lysbroer kun kan forplante seg gjennom plasma. Men da har vi også en mistanke om at det kun er plasma der lysbroene er i kontakt med oljen. Og ellers så blir det bare spalta til gass. Men for å få sikkert svar så må vi høre med blant annet ABB. Ja, hvis vi de har noen tall på det. Men ja, den er veldig interessant å høre om. Ja. Men jo, angående CFD. Nå driver du med litt andre CFDer en flacs, men generelt sett så er vi veldig interessert i hvordan prosessen rundt CFD-en fungerer.

Intervjuobjekt 2: Ja. Skal vi se. Vent, jeg skal se om jeg har noe lett tilgjengelig her. Kan ikke du bare si et par ting, hva du er interessert i, så kan jeg se om jeg er klarer lete frem noe her. Jeg har sikkert noe som ikke er hemmelig som jeg har kommet med.

Henrik: Ja, ja, ja. Litt sånn om det krever mye kartlegging før du kan lage modellen, for eksempel. Mye innhenting av informasjon og hvor lang tid det tar på din del. Og så hvilke resultater du ender opp med.

Intervjuobjekt 2: Ja. Ikke sant? Det kan jeg ta og forklare. Da skal jeg ta og vise selv, og skal finne et prosjekt som ikke er farlig å vise. Du ser her, jeg må bare prøve å lete litt forskjellig her. Nå prøver jeg å åpne den. Jeg prøver å åpne den, helt tilfeldig. Bare få se her.

Henrik: Hvilken programvare bruker du? Er det ansys?

Intervjuobjekt 2: Nei, brann og særlig bygningsbrann, eller brann bortsett fra olje og gass, altså prosessindustri, så er det en åpen kildekode som er den mest utbredte. Det heter Fire Dynamics Simulator, FDS. Så det er egentlig bare en kode, og så er det en halvdårlig brukergrensesnitt. Men det finnes tredjepartsprogrammer for å bedre visualisering, men også det med importering av modeller og sånt, altså geometri. Det som er det er at de er lagret på fillagringsserver. De tar mange gigabytes. Så når man jobber med det her, så flytter man over lokalt på PC-en, og så jobber man lokalt. Når man er ferdig med oppdraget, så er det å arkivere det på fillagringsserveren. Men jeg skal prøve en annen. Kanskje denne er litt... Nei, den er ikke lagret. Kanskje denne er litt... Ikke det. Så problemstillingen er jo ofte veldig variert. Men som regel opplever man det med arkitektmodeller, som dere sikkert er kjent med. Jeg kan jo bare åpne en tilfeldig her fra et annet prosjekt. Dette er jo egentlig bare en sammensatt fil. Det er jo ulike disipliner, og så sitte disiplinene med sine egne tegninger. Og det her med 3D er jo mer og mer brukt, altså BIM. Og så sammenstiller man i en fil. Dere, dere kjenner kanskje bedre til det her enn meg nesten.

Henrik: Ja, vi har en del kunnskap hvert fall.

Intervjuobjekt 2: Ikke sant? Så her er det bare en tilfeldig sammenstillingsmodell. Men her er det ikke så veldig byggeteknisk, det er mer enn en arkitektmodell, visuelt. Så det her, det kommer litt an på prosjektet, men er det enkel geometri, av og til bare et atrium, eller bare rektangulært volum, så kan det av og til være raskere å bare tegne det selv. Så tar jeg de tingene man ønsker. Andre ganger så importerer man modeller som dette. Så nå lukker jeg bare den, det var ikke så veldig interessant. Her er det bare en tilfeldig. Vi prøver bare å se at den her fungerer, om den tar i evighet eller ikke. Så her er det jo en sånn type arkitekt, som er importert til, og så er det gjort beregninger. Og det her er jo da den visualiseringsdelen av selve programmet. Når man går inn og setter opp en sånn her case, så kan man enten gjøre det i et tredjepartsprogram, og da er det jo som å bruke en cadmodell, eller noe sånt som klikker i grafisk boks og gjør små modifikasjoner. Da er det jo for eksempel det å legge inn røykventilasjon eller at man skal ha noen åpning i konstruksjon, enten tilløpsåpning eller at man antar døren står åpen. Eller så kan det jo være sånne små feil modeller egentlig, først og fremst, ment for visualisering, og så kanskje det er noen skjulte objekter i den opprinnelige modellen, som plutselig blir synlige i den modellen du importerer. Så det er etterprosessering, da. Og der legger man også inn, for eksempel, hvilke resultater man er interessert i. Og da er det flere variabler man kan være interessert i. Da kommer det til eksempel eksplosjonssikring, så er det all hovedsak trykk man er interessert i. Da kommer det til brann, så er det flere parametere. Da opplever man med akseptkriterier som man finner i veiledninger og guidelines overalt. Nokså anerkjente, det varierer litt fra referanse til referanse. Men det går på akseptkriterier og kritiske forhold, som røykelagshøyden. At du har en brann, så vil det jo, gitt at du ikke har alt for stort volum, og brannen er stor nok, så vil røykelagshøyden stige opp under taket og samle seg der. Røykelagshøyden vil så flytte seg lenger og lenger ned. Det finnes akseptkriterier for hvor langt ned man kan tillate seg og sleppe ned røykelaget, før man definerer det som kritiske forhold. Tilsvarende har man også for sikt at røykelagshøyden kommer ned i hodehøyde. Da er det jo sikt, men ofte er det ikke like relevant, for man aksepterer ikke at folk skal rømme gjennom røyk. Men det kan være interessant som en del av større risikoanalyser. Videre er det mye varme som utvikles fra en brann, og da er det typisk røykelaget som er varmt, som stråler ned. Der har man også akseptkriterier. Videre er det også på toksikologi. Men igjen, da er det ikke like vanlig, for da tillater man at folk evakuere gjennom røyk, at røykelagshøyden kommer under hodehøyde, og folk puster inn røyk. Det er generelt helt uvanlig at man er interessert i å se på det. Men det finnes akseptkriterier på CO₂ og CO-konsentrasjoner, men også blåsyregass også, som typisk kommer fra plastikk. Da kan jeg bare vise litt. Dette er visualiseringsverktøyet, som følger med den åpne kildekoden. Dere ser at det ikke er veldig bra visualisering. Hadde jeg åpnet de tredjepartsverktøyene, så hadde visualiseringen vært litt penere. Men det er noe med å bruke de verktøyene man er mest effektiv med. Man må se an prosjektene. Av og til er det viktig å selge inn fine figurer med masse farge, men andre ganger er det ikke det viktig i det hele tatt. Nå kan vi prøve å se på noe tilfeldig. Jeg håper det ikke tar altfor lang tid å visualisere. Nå kan vi for eksempel prøve å visualisere sikt og røyk. Da ser man også røykelagshøyden. Så ser vi at det står og loader. Hvis det ikke tar altfor lang tid, så får vi opp resultatene. Se her. Det er typisk sånn dere ser fra CFD-en når dere leser litteratur. Akkurat i dette tilfellet har du et stort bygningsvolum i denne. Det er et atrium, åpnet over fire plan. Oppe i taket her ser dere at det er litt glass. Her har man luke for naturlig røykventilasjon. Tilsvarende har man litt åpenhet her borte, men det er ikke tilsvarende mye. Så man har luke her borte. I tillegg er det tilluftsluke. Du må tilluft inn. Trekker du luft ut, må du få luft inn, eller så får du undertrykk i bygget. Så det er noe tilluftsluke her bak, og her også. Det vi ser her er egentlig bare sikt. Så er det veldig dårlig sikt. Så kan vi jo si at det er røyk i prinsippet. Du ser jo her at det kommer en del røyk ut luken her borte. Og luken her også. Hvis jeg nå prøver å se litt fra siden, så ser vi at det er et distinkt skille her. Blått, der man har veldig god sikt, med mindre røyk. Og her oppe i røykelaget går det helt rødt, hvor man har veldig dårlig sikt, altså en tjukke røyk. Så her ser man at det har en distinkt skille, vil jo være røykelagshøyden. Det vil være distansen fra gulvet og opp til røykelaget i de respektive etasjene man ser på. Så dette bruker man jo da til å visualisere. Så vi har tida her, 90 sekunder. Så er det brennende her borte, et stedetid bakom det vi ser her. Litt vanskelig å

se det som visualiseres her. Vi kan spille tida videre og se hvordan røyken forflytter seg. Det er røykelaget piper ned da. Som dere ser her, selv når vi er på slutten her, 900 sekunder, 15 minutter, da etter standardiserte brannvektskurver og sånn man bruker som inndata, også henta i fra veiledning, men også erfaring fra forsøk og litt diverse, så ser vi her at etter 15 minutter, selv da, og innen den tiden, så ser vi at røyklagshøyden stabiliserer seg. Her er det allerede etter 400 sekunder. Røykelaget kommer ikke lenger ned. Det betyr at man har et godt design, et robust design. Av og til at røykelaget kommer lenger ned, men da kan man få et problem der man må begynne å se på rømning, og begynne å regne av, og ha modeller for rømning der man ser folk evakuerer ut av bygget, og da må man se at folk klarer å evakuere før det blir kritiske forhold. Men her har man et enda mer robust design. Her blir det aldri kritiske forhold. Ut ifra de forhold som ligger til grunn. Så her har jeg bare for å gi en idé. Ofte er det jo røykventilasjon man dimensjonerer. Det er sikkert en tredjedel av alle oppdrag med CFD. Liksom, en gjenganger det å se på forflytning av røyk, men andre ganger er det helt andre problemstillinger som å bruke CFD på å se på røyklagstemperaturen, og så bruker man det videre i termiske modeller for å regne på for eksempel oppvarming av konstruksjon. For eksempel at du har stå opp under taket. Man kanskje ikke vil isolere, men man må finne ut hvor mye man må sleve. Så det går også å plote på annet vis her, med noen 3D, det man kaller for ISO surface. Nå, kan vi prøve på sikt her. Det er litt bugget av og til, selv i siste par år. Det skal være forklaringer på disse to flatene. Men jeg pleier alltid å legge inn det samme på noen typisk analyser som dette. De to flatene her representerer to ulike akseptkriterier. Den rosa lilla flaten her, rosa er den vel, den representerer det volumet der sikten er under fem meter. Og det akseptkriteriet for små rom. I større rom, typisk et atrium eller noe sånt, så er akseptkriteriet at sikten skal være minst ti meter. Men man ser jo her at man har et så distinkt røyklag at de to flatene går over hverandre. Det tyder jo på at man har en fornuftig røyklagstemperatur. Den bør jo ikke være for liten. Blir røyklagstemperaturen for liten, så mister man oppdriftskreftene, og da vil jo ikke ventilasjon fungere til sin hensikt. Så man skal ikke ha for mye lukke heller. Man skal ha passe, store og mange luker. Jeg kan vise det aller siste her. Dere får jo en idé. Man kan se på alle mulige variabler, hastighet og sånt, innåpning, trykk og alt mulig. Men en annen ting som er litt interessant også, er at man kan få fargeplått på flatene. Det er jo veldig interessant når man ser på konstruksjonsdeler og bygg. Jeg håper at den kommer ganske raskt. Man får strålinga så veldig nært. Brannen inn i bakhånden. Det må de bruke sikkert et par minutter på å slice opp modellen og sånt, for å få det synlig. Men hadde vi klart å sende brann ordentlig inn i her, så får man da fargeplått på alle flatene med varmestråling. Så kan man se hvor det blir kraftig. Du må gjerne snakke litt. Det var for å vise litt i gi en liten ide.

Henrik: Det var veldig oversiktlig. Du nevnte litt om hvordan du beregner dette her. Det er en type elementmetode. Bare at den tar hensyn til gasegenskaper og sånne ting?

Intervjuobjekt 2: Kjernen i en CFDkode er konserveringsligningen. Det er litt som dere med bakgrunn fra bygg kjenner til. Sånn fra Solid Mechanics, altså finite elements. Da har du konstruksjon av fagverk. I prinsippet er det at det deler det opp i flere delementer. Så regner man på kraften og skjærspenning og sånn i hvert enkelt element. Om du ser et element, vil naboelementene påvirke det element man ser på. Det er sånn man ender opp med et matematisk problem. Eller en utfordring. Man klarer å beskrive det fysiskalsk, med fysiske ligninger. Men man klarer ikke å løse det analytisk. Det finnes ikke en eksakt analytisk løsning for alle problemstillinger. Sånn er det i noen andre fysiske fenomener. Det finnes enkelte strømninger og en enkel bjelke. Så klarer man å løse det linært, analytisk. Men har du komplisert fagverk, det går ikke. Du er nødt til å løse det numerisk. Da har man jo de her numeriske metodene. Det er ikke en eksakt analytisk løsning. En numerisk metode er bare en approksimasjon. Det er sånn man kjenner igjen fra grunnleggende matematikk. Med derivasjon og integrasjon. Man har jo lært at om du deriverer x^2 , så får du $2x$. Eller om du integrerer x^2 , så får du $(x/3)^3$. Det er analytisk derivasjon og integrasjon. Du deriverer og integrerer etter matematiske regler. Som er eksakte. Men det går an å gjøre det numerisk også. For eksempel, enklest forstått av med integrasjon. At man kan bruke rektangelmetoden eller Simpsons-metode. Det er metoden. Når

du integrerer, så ønsker du å se på en typ av akkumulasjon. Når det kommer til fysikk. Da er det gjerne avgrensning mellom en kurve eller en funksjon. Og en akse. Eller mellom to ulike kurver. Sånn veldig forenklet, du vil se et areal i et plott.

Det kan man visualisere med rektangelmetoden. Du tegner opp et avgrensa areal i et plott med tynne rektangler. Og så summerer du opp hvert og hvert rektangel. Da får du et rek uttrykk. Grunnen til at det er en approksimasjon, altså ikke en analytisk løsning. Det er at du ikke klarer å passe med en rektangulær form til en bua funksjon. Eller en funksjon som ikke er konstant. Selv om du ikke har en linjer funksjon, så klarer du å passe til rektanglene på det viset. Og uten å bruke en mer avansert metode, som Simsons-metode eller Trapes-metode. Så kan man jo bare korte ned intervallet av bredden av hvert enkelte rektangel. Og i teorien, når bredden av disse rektanglene går imot null, da nærmer man seg en analytisk løsning. Og det er jo sånn man utleder de analytiske regneregulene. Det er basert på det prinsippet. Men når det da kommer til å anvende problemstillingen om å bruke CFD og finite element, så løser man jo flere portielle differensialligninger. Jeg kjenner bare til finite element bare for et grunnleggende prinsipp. Fordi det har likhet med CFD. Så jeg må snakke litt ut fra CFD. Men innen CFD er det konservering av masse man har. Konservering av momentum. Ikke moment, men momentum, altså bevegelsesmengde. Og energi. Og i tillegg er man nødt til å lukke ligningssystemet med ideelle gasslåg. I tillegg til det har man mange fysikalske fenomener som ikke dekkes av de konserveringsligningen her, som må håndteres med submodeller. For eksempel forbrenning, kjemi, varmestråling, pyrolyse, avdampning, modellering av dråper, når du ser på vanntåke for eksempel. Det er veldig mange sånne fenomener som ligger inn under en CFD-modell i tillegg til konserveringsligningene. Som du spurte om, nå forklarer jeg bare veldig bredt her. For å gi en ide, og det konkrete svaret på det du spurte om, hvordan man løser det, det er jo det man kan gjøre med det man kaller for finite volume method. Men man trenger ikke løse det med finite volume, man kan løse det med det man kaller for finite difference. Da integrerer du ikke opp over et volum, du integrerer opp mellom punkter. Men i tillegg til det, så går det også an å løse konserveringsligningen inni CFD med finite element. Jeg nevnte finite element og solid mechanics, det er jo det man forbinder med struktur og sånt, men det er egentlig litt misvisende, fordi det er mer folkelig, faglig, så sier man finite element method, altså FEM, men i prinsippet er det egentlig bare en numerisk metodikk. Og du kan bruke finite element method, altså den metodikken, ved å løse CFD-ligningen. Men man trenger ikke, fordi det er vanskeligere å løse, du får et stivere ligningssystem, det er det ene, og det blir enda mer komplisert, fordi du skal være forsiktig, men sånn som jeg kjenner solid mechanics, så er det jo ofte ting som står i ro, en statisk situasjon. Det kan jo være svingninger og sånt også, for alt jeg vet, men ofte så står jo ting i ro, men CFD er jo i praktiske tilfeller et åpenbart tids-element, der som er av særskilt interesse. Og særlig da når du har et veldig stivt ligningssett, så bruker du alt for lang tid på å løse ligningssetta. Og du må iterere mange ganger på hvert tidssteg. Så derfor bruker man ikke finite element i CFD. Den er rett og slett litt mer komplisert på noen vis. Så finite volume er det man, det er det man, finite volume-metoden, ikke FEM, men FVM, det er det man bruker i all hovedsak når det kommer til CFD.

Henrik: Kan man da regulere størrelsene på disse volum-elementene selv?

Intervjuobjekt 2: Ja, helt klart. Og da er det jo sånn som jeg prøver å forklare med integrering og numerisk integrasjon. Du gjør de rektanglene mindre og mindre og mindre, og i teorien så konvergerer du mot en analytisk, eksakt løsning. Men problemet når du løser praktiske problemstillinger i CFD, så er jo tida, beregningstida, et problem her. Du kan ikke ha uendelig små volum, for da vil det jo ta uendelig lang tid, i teorien. Så du må jo avgrense det på et eller annet tidspunkt. Og da kommer det her med prinsippet med konvergens. Konvergens betyr bare at du nærmer deg noe. Så når du minsker med numerisk integrasjon de her anvendte rektanglene, eller da små volumene i CFD, så konvergerer man mot en analytisk løsning. Men man nærmer seg aldri den helt eksakt, men man konvergerer. Da finnes det tommelfingerregler for hvor store volumer man skal ha. Det er bare basert på erfaring i historien. Men man burde, det er ikke alle som gjør det i bransjen,

men man burde alltid gjennomføre det man kaller en grid-sensitivitetsanalyse. Og jeg vil tro det også er sånn i Solid mechanics, FEM, bare kanskje det er ikke så sentralt, fordi ligninssettet ser jeg føler man konvergerer mye mer raskere. Det er jo ikke samme problematikken med numerisk ustabile løsninger. Men i hvert fall måten man gjør det på, det er jo det at man gjør en beregning CFD med en gridcellstørrelse, og så gjør man en ny en med finere, og så en ny en med finere og finere, så man forfiner grid-en sitt. Når en løsning konvergerer mot en annen løsning, så nærmer den seg, og ofte så nærmer den seg saktere og saktere og saktere, ikke raskere og raskere og raskere, det er sånn rent matematisk. Så det man kan se når man forfiner grid-et sitt og gjør en gridssensitivitetsanalyse, det er at endringene i resultatene blir mindre og mindre og mindre og mindre. Så i prinsippet, når du da ser på de to fineste, de beregningene, de to fineste grid-ene med høyest oppløsning, så er de nesten like. De gir nesten like resultater. Og når du da ser at de to fineste grid-ene jeg har her nå, de gir nesten like resultater, eller like nok. Og det er en vurdering. Godt nok. Nærme nok. Så nå vil du ikke kjøre en ny beregning på nytt, med enda finere oppløsning. For det vil jo forskjell fra de da to nye, fineste oppløsningene, vil jo være enda likere. Så det er liksom det som er metodikken i å finne den riktige gridcellstørrelse. Men igjen, det er basert på erfaring. Du vet sånn cirka alltid hvor du starter. Og for eksempel den beregningen jeg viser nå, det fineste grid-et man typisk kjører der, er 20x20x20 centimeter. Om du har kuber. Og det må ofte ha kuber, grid-er. Så 20x20x20 centimeter er ofte det fineste. Men så starter man kanskje på en halv meter. Et cirka en halv meter. Men man må være litt smart i hvilken grid man løser på for å gjøre det enklere metodisk. Så er det lurt å ha sånn tall som er delelig på hverandre. I hvert fall at du halverer gridcellestørrelsen, for eksempel. Eller at du har et tall som er delelig på to og tre og fire. For da er det lettere å finne flere grid og så vise at det konvergerer. For utfordringen her er jo det å finne nok grid og så vise konvergens. Men du må treffe. For hvis du ender opp med for fint grid på det fineste, så tar det for lang tid. Og bare for å gi en enig idé. Her løser man jo en ligningsette i fire dimensjoner. Man løser det i tre dimensjoner i rom, x, y, z og så i tid. Så når man halverer gridcellestørrelsen i hver retning, så får man åtte ganger flere celler. Så når du halverer gridcellestørrelsen, så må du halvere tidsteget. For du regner fra et tidsteg til det neste. Så det vil si at når du halverer gridscellestørrelsen, så tar det grovt estimert 16 ganger lengre tid. Så tenk dere beregninger eg viser dere nå. Hvis man starter på 40 cm store gridcellestørrelse, som er passe grovt, og du halverer til 20 cm, så tar det 16 ganger lengre tid. Det er minst. På grunn av submodellene og alt mulig annet, så tar det gjerne litt lengre tid. Du kan sikkert si 20 ganger lengre tid. Da skjønner dere at det er lurt å ha litt erfaring og ha en plan. Bare at man vet intuitivt at hvis jeg starter på 60 cm, så er 60 delelig med 30, det delelig med 15. Eller hvis vi starter på 45, så er det delelig med 15. Og så er det delelig.. også 15, det kan du gange det med to, da er det 30. Det er flere måter å tenke på her. Eller hvis du starter på 50 cm store gridcellestørrelse, da er det delelig med to, da får du 25 cm. Kan du dele det på to igjen, da er det 12,5 cm. Men 12,5 igjen, da begynner det å bli veldig smått. 20 er ofte det fineste. Og fra 20 cm stor gridcellestørrelse til 12,5, det er en ganske stor forskjell. Men akkurat hva det konvergerer på, det er helt avhengig av problemstillingen. Nå snakker jeg helt sånn i kontekst av røykfylling og røykventilasjon inne i bygningsvolumer, men en annen problemstilling som vil kreve et mye finere grid vil være for eksempel.. si at man har et drivstoffanlegg utenfor et bygg, for eksempel sykehus eller industribygg, der man har drivstoffanlegg, enten til større maskiner, eller for eksempel en helikopterplattform. Da kan en problemstilling være at hvis du får en lekkasje her, så skal lekkasjen avgrenses i et basseng, det er betong med terskler og sånn. Da kan man regne på hvor stor en brannen blir, og da kan problemstillingen være, ok, nå har vi et bygg syv meter unna, det er for kort, vi har ikke lov til å, lovverket sier at det skal være åtte meter. Da kan man for eksempel gjøre en CFD-analyse og regne på strålingen fra en brann, som man kan forutsi ganske gitt fordi det avgrenser terskler og sånn, og regne på varmestrålingen til bygget. Åja her er den jo så lav, det er ingen fare, det kommer aldri til å ta fyr her. Så kan man regne litt flamme tilting og sånt, tilte flammen i retning mot bygget så er alt er fint her. Vi kan fravike lovverket, vi setter vårt stempel, vi tar ansvar, det her er godt nok. Det er jo sånn vi driver et butikk, nettopp å løse denne type problemstillinger. En sånn type problemstilling, når man ser på varmestråling fra en

brann, og gjerne litt lengre avstanden faktisk, da er man nødt til å ha veldig fint grid. Da er du nede på 10 centimeter, 5 centimeter.

Henrik: Ja, men det blir en litt mer lokal situasjon, så da går det greit med mindre grid?

Intervjuobjekt 2: Ja, du spurte litt om tid, bare for å gi en ide om tid her. Denne beregningen jeg har vist dere nå, et veldig grovt grid, og det er jo en del av metodikken også, man ønsker å gjøre en grov beregning, og så bare se at alt fungerer her. For det er fort gjort at det er noe feil, at det er en unøyaktighet i en arkitektmodell, at det plutselig kommer røyk ut til et sted der det ikke skal komme røyk, fordi arkitektmodellene er for visualisering, man bruker beregningsmodellen til noe praktisk. Man skal se på røyk som fanges inn i et volum, så kanskje det er noe utetthet eller noe sånt. Så man starter jo ofte med grovt grid, bare for å se at alt er fint, og da gidder man ikke vente i lang tid, og så bare, shit, her var det noe feil, og så har jeg ventet i mange dager. Så på grovt grid, da tenker jeg, da tar det liksom alt i fra en halv dag, til en dag, til to dager. Det er grovt grid.. den jeg viste deg her, tenker jeg, den ville ha tatt en dag. Så bruker jeg den halv dag, dagen i forveien, så kan jeg se på resultatene dagen etterpå, og så kanskje jeg ikke gjør alt sammen med en gang, men starter stegvis, bygger opp modellen, ikke gjør den helt komplett og alt for komplisert med en gang, for det er fort å gjøre feil, og du får støtte på problemer og errorer og sånt, og hvis det er alt for komplisert, så klarer du ikke å finne ut hvor feilene er. Så du bygger opp kompleksiteten i flere steg. Så modellen er at du bygger opp løpet av 2-4-5 steg, til jeg er fornøyd, og da er det å bare sette på større beregninger. Og store beregninger, det jeg visste dere nå, det ville typisk tatt en og en halv til to uker, ca. Ca. i den størrelsesorden. Men igjen, har du da satt på en beregning på grovt grid, og ser at alt fungerer fint, og du får grove resultater, og du lener deg på erfaring, det her har jeg gjort så mange ganger før, dette vet jeg, det er godt nok, så kan man gi beskjed til de mann som har vært med, at alt er fint, dere må så så mange kvadratmeter med luker, et visst antall, eller dere må vifte med den viftekapasiteten og gjøre det på det viset, og så er de fornøyd, de er kanskje i byggefase, og alt er haster, og er litt i siste liten, da får de bestilt det de trenger, i stedet for å vente en måned på at jeg skal få ferdig en rapport, og få ferdig de siste beregningene. Så den halvannen av to ukene, det er sjelden at du kommer etter to uker og bare, faen, her er det litt feil. Nå må jeg begynne på nytt igjen, og så må dere vente to nye uker til. Man kjører litt safe, og lener seg på mye erfaring, for ikke å havne i en slik situasjon.

Henrik: Så hvis det kommer endringer underveis, så vil det påvirke tiden ganske betraktelig?

Intervjuobjekt 2: Ja, det kommer an på hvor stor endringen er. Hvis de sier sånn at, vi kan ikke ha ventilasjonsavtrekk akkurat der dere beskriver. Det er en stålbjelke som går der, og nå oppdager jeg det senere i prosjektet, så kan jeg spørre dem, kan vi flytte den ned to meter fra taket? Og da kan det være sånn at jeg ut fra de resultatene jeg har, og vurderer at her er det skikkelig god margin, og røyklagshøyden stabiliserer seg, og vi har mye å gå på her, og det er ikke vanskelig å gjøre små endringer, eller små justeringer, andre vis. Og da vil det kanskje ikke være nødvendig å gjøre nye beregninger, da endrer man bare litt i teksten i andre dokumenter. At det som er lagt til grunn i analysen her, en sånn og sånn, endelig løsning er det her. Forskjellen i det som er blitt beregnet, eller løsningen er så liten at den er neglisjerbar. Men er det betydelige endringer, som er en faglig vurdering, så ender man jo med å gjøre beregningen på nytt. Og det kan jo være at man får et forslag om en konkret løsning, og så er spørsmålet, går det her, eller går det ikke? Så sier man, nei det går ikke. Ja, greit nok, så får du et nytt forslag. Kan vi gjøre det på dette viset? Ja, da må du sette opp en ny beregning, og så setter man den på nytt igjen. Men hvis man da jobber på det viset, og prøver forskjellige typer praktiske løsninger, så er det jo ikke sånn at man nødvendigvis gidder å gjøre en full sensitivetsanalyse på grid, og venter de to ukene på en beregning, før en løsning som man uansett ikke skal gå for, ofte kan det være nok å bare vise, eller bare få noen veldig sånn grove overslagsberegninger, med veldig grov oppløsning. Og så vet man, her er det en viss usikkerhet, men

det er tenkt for å svare på, om en ønskelig løsning er løsbart, eller ikke løsbart. Eller for den del, kanskje løsbart. Dette går an, men vi er kanskje nødt til å gjøre noen små justeringer. Så det er jo bare helt avhengig av typer prosjekter. Noen prosjekter er veldig små, der er det bare rett fram, smeller på og sier, sånn her må dere gjøre det. Og så sier de greit. Andre ganger så er det sånn at, nei, dette får vi ikke til, det er ikke praktisk mulig. Hvordan skal vi løse det? Eller kanskje de har et forslag selv. Eller at det er bare rett og slett en veldig komplisert bygg, og mange ting å ta hensyn til. Typisk sånn i industri, med håndtering av brannfarlig vare, farlig gods, eller sånt. Eller for den del, viktige kulturminner.

Jeg har med meg et prosjekt med Vikingtidsmuseet, der vikingen Skipan står inn. Og da er det helt særegne forhold man må ta hensyn til der. Det er sånn som man ikke møter i andre prosjekter. Og det er jo et stort prosjekt som går over lang tid. Så det er jo ikke sånn at man bare leverer det fra seg nå, og så er det greit. Det er sånn at man bare svarer ja, løsningen dere har funnet er grei. Men så kommer dem tilbake om et halvt år, eller et år, og så sier de, nei, vi kan ikke gjøre det sånn likevel. Ja, greit nok, og da tar man jo tak i det på nytt igjen. Og prøver å finne en ny løsning.

Henrik: Du nevnte litt at disse CFD-analysene kunne beregne trykk. Sånn at hvis du hadde hatt god nok informasjon i forkant, hadde det vært mulig å lage CFD-analyser for en sånn sekundær eksplosjon, så lenge du vet gassblandinga, eller hvis alt dette er på plass?

Intervjuobjekt 2: Nei, det går ikke. Ikke med denne koden her. Det var det du mente? Det går ikke. Og det er en grunn til det. Og da er det tilbake igjen helt til kjernen og CFD. Det er jo basert på konservering av masse, momentum og energi. Og det er ulike måter å skille kjerne av CFD-koder på, og type strømninger. Man kan for eksempel skille den fra å være laminære eller turbulente. Dere kjenner overordnede til forskjell på det?

Henrik og Geir: Ja.

Intervjuobjekt 2: Laminære og turbulente.

Henrik: Ja, vi har hatt et CFD-fag tidligere.

Intervjuobjekt 2: Bra. Og man kan jo ha nutoniske væsker og ikke-nutoniske væsker, og det henger sammen med viskositet. For eksempel maling er jo en nutonisk væske. Du smører på veggen, da er det flytende, og så tørker det og blir fast stoff. Ikke-nutoniske væsker er jo sånn som vann, for eksempel, det størkner jo ikke. Og det er ulike måter å kategorisere strømmingen på. Man kan også kategorisere den ut ifra overlydshastighet og underlydshastighet. Det er også en distinkt skille. Da kommer jeg inn til kjernen, av akkurat det her. Hvorfor det går an? Den aller viktigste distinksjonen man gjør i ulike type CFD-modeller på, er om man har en inkompressibel kode eller en kompressibel kode. Det kan være veldig vanskelig å forstå. Det tok meg veldig lang tid som student å skjønne hva som egentlig menes med det. Hvis du tenker over det, koden vi bruker da, innen brann, er en inkompressibel kode. Bare fra starte der da. Det forvirret meg lenge da jeg var bachelorstudent og tidligstudent, og jeg var på dokkers nivå og sånt før jeg virkelig forstod det. Når du har en brann, så har du jo en forbrenning og en faseoppgang fra væske til gass, eller fra faststoff til gass. Det vil si at du har noe som ekspanderer. Bare faseoppgangen i seg selv gjør at noe ekspanderer. Har du en væske, en liter væske, og du gjør det over til gassfase, så okkuperer det større volum. Sånn er det bare. I tillegg har du jo forbrenning som gjør at du varmer det opp, som ekspanderer det. Når du da har noe varmt og noe som ekspanderer, så vil tettheten bli mindre. Det er jo det som er hele drivkraften bak denne type strømninger. Det er nettopp oppdriftskrefter. Det er det brann- og oppdriftsstrømmingen er drevet av. Det er jo det at du har tetthetsforskjeller som gjør at det stiger opp i lufta. Så tilbake da. Inkompressibel og kompressibel. Inkompressibel vil jo si at du ikke kan presse noe sammen, men øke trykket, sånn at tettheten er det samme. Det er jo det man tenker med

kompressibel. Du kan ikke klemme noe sammen og øke trykket. Jeg sa at vi bruker en inkompressibel kode, men så har vi et fenomen her at det er noe som ekspanderer, som endrer tettheten. Det er jævla forvirrende. Men det som er forklaringen er at man har en inkompressibel kode, men det må kalles for bosinesk approksimasjon. Bosinesk approksimasjon tar høyde for oppdrift. Og det er rent teoretisk, matematisk og sånn som man kan forstå det, bosinesk approksimasjon er et ledd i konserveringsligningene for momentum som dukker opp. Så man tar høyde for endring i tetthet i konserveringsligningene for momentum. Men man har en inkompressibel kode som gjør at man ikke kan øke trykket, og det går jo gjennom masse-konserveringsligninger. Massekontinuitetsligningen løses jo som tetthet gange masse, fordi du har spesifikke størrelser. Måten man forstår det her på, og grunnen til at det er sånn som det her. Når man snakker om inkompressible og kompressible strømninger, så er den effekten man snakker om kompresjon som følger av adveksjon. Adveksjon har man et annet begrep i fluiddynamikk. Adveksjon er egentlig bare forflytning av fluider som følger av en annen hastighet, eller trykkutligninger, at du har en vifte som forflytter luft, eller at du bare har vind ute. Det er jo adveksjon. Kompressible effekter ved adveksjon er først noe som oppstår ved høye hastigheter. Ved brann har du veldig lave hastigheter, så du vil ikke få en kompresjon som følger av hastighetsforskjell. Fordi du har en sånn lav hastighet at trykket utligner seg umiddelbart. Trykket utligninger seg med lydets hastighet. Mens har du veldig høye hastigheter, så har du et problem med at du får kompressible effekter. Du har en så høy hastighet, for eksempel vifte, at den luften du dytter foran deg blir komprimert. Da har du en kompressibel strømning. Det er derfor man har ulike modeller for brann og eksplosjon. For i brann er det veldig lave hastigheter, men du har ikke kompressible effekter. I eksplosjon kan du nå ganske høye hastigheter, og da får du kompresjon. Du må ha en kompressibel CFT-kode for eksplosjoner. Det er nettopp det Flacs har eksibe, det er kompressible CFT-koder. Mens når man ser på brannkoden som jeg bruker i EFTs, det er en inkompressibel kode. Flacs har også en brannkode, men den er inkompressibel. Det er to ulike koder, det er ulike kjerner på de her kodene. Også de som kjøpte opp Exim, de har en egen brannkode, KFX, og det er også en inkompressibel kode. Kriteriet der går, det er relatert til lydshastighet. Så skal man kunne anta at man har en inkompressibel strømning, så må hastigheten være under 0,3 Mach. Men da er det 0,3 Mach i det mediumet du ser på, eller det mediumet med lavest Mach, lydshastighetstak. Så i luft kan det være ca. 100 meter i sekundene, lydshastighet. I Luft er det gjerne 300m/s, lydshastigheten i luft. Ser du på gasser, propan og hydrogen og så videre, så er den enda lavere. Jeg lurte på om den er nedi i 100-150 meter i sekundene. Jeg skal være litt forsiktig å si det. Men la oss si 150 meter i sekundene, 0,3 Mach, det er 50 meter i sekundet. Så i prinsippet kunne man brukt en inkompressibel kode for eksplosjonen opp til 0,3 Mach. Men desto nærmere du nærmer deg, desto større vil feilmarginen og usikkerheten bli. Så det er bare tommelfingerregel. Det er ikke en absolutt grense akkurat der det skjer. Men nettopp fordi de her inkompressible kodene ikke er egnet for eksplosjoner, så er heller ikke koden ellers bygd på et sånt vis at man får til å modellere en sånn lav hastighets-eksplosjon uten å gjøre alt for store modifikasjoner. Et veldig godt eksempel er at de her kodene for brann og forbrenning, typisk ellers, de lener seg på det man kaller for mixed-is-burned. Så jeg vil si at med en gang, når du har en brann så slapper du ut en gass, og så møter du gassen luft, og så brenner det. Sånn som det fungerer innen koden, det er at med en gang gass og luft er til stedet på samme sted, så begynner det å brenne. Uavhengig av hva. Skjønner dere da at det blir vanskelig å se på eksplosjon? For foranledning er jo det at du har en gass som sprer seg uten å antenne. Og så plutselig antenner det etter et tidspunkt. Så det man er nødt til å gjøre, det er at man må gå inn og endre masse på brennbarhetsgrenser og slokkemodeller, alt mulig sånt. Og så må man klare å skru av dem på noe vis, og så må man lukke, så må man introdusere en gassky på et vis, så må man lukke inn i en geometri, og så må man åpne den geometrien etter en viss tid, og så er man nødt til å introdusere en eller annen form for antenneskilde et eller annet sted. På et smart vis jeg ikke helt vet hvordan man skal gjøre det. Så du skjønner at man er nødt til å jukse det så mye til at det er veldig, veldig vanskelig. Men man skulle ha fått det til, en veldig lav eksplosjonsberegning. Men faktisk en jeg kjenner veldig godt, jeg veileder han faktisk også, og har studert han mange, mange år. Han skriver masteroppgave på modellering av eksplosjoner med etterstående en inkompressibel kode.

Men det er ikke gass-eksplosjon som vi snakker om her. Det var, det man kaller for, en BLEVI som jeg nevnte. Ikke sant? Men da gjorde han det så enkelt at, der har man jo en initielt fase med en fysisk eksplosjon, du får en trykkutligning av en tank som brister, og umiddelbart så har du kokende væske som går over i gassfasen, samtidig som du får en antennelse. Men du har også en fysisk eksplosjon, og så en antennelse. Så han drev å jukse veldig, veldig, veldig mye til inn i koden for å få til å modellere en BLEVI. Da startet han bare med gassky med svært lavt trykk. Men at trykkutligningen ikke ble så hurtig. Så han på en måte neglisjerte den første fasen. For det er særlig den første fasen som er rask, når du får den faseovergangen fra væske til gass, den går utrolig fort. Så han prøvde å neglisjere den fasen, og så bare ha en liten tykkeøkning i den siste delen her, samtidig som du da får en forbrenning. Så han så mer på den sekundære eksplosjonen, den forbrenningseksplosjonen. Men den er under så lavt trykk. Det vi snakker om med transformatorer og sånn, da har du en flammefront og en gassky og en flammefront, der flammefronten propagerer gjennom et rom og genererer turbulens, fordi den støter på obstruksjoner. Her var det jo snakk om en tank i åpent lende, i friluft, ikke sant? Og det var den så sakte reaksjonen, at du vil få en ildkule som stiger opp, samtidig som den ekspanderer. Og så vil den jo stå og brenne litt og gløde litt da, før den til slutt har brennet opp alt fuelen da. Så når det kommer til blevi, så er det ikke ofte den trykkutligningen som er så veldig interessant, det er bare veldig nært. Det er veldig interessant. Og ofte når du har store tanker, så sier du, ja, ok, innenfor så lenge, da skal det ikke være noe. Det her skal jo være veldig sikkert. Og da er det ikke alltid like interessant å regne på trykk og trykkøkning og sånn. Det man er heller interessert i, er å se på denne ildkulen. Fordi den stråler så utrolig mye varmestråling. Fordi man ser på varmestråling, og den brenner så lenge også. Den kan typisk brenne i noen få sekunder, liksom. Et, to, tre, fire sekunder, liksom. Så den stråler så mye varme, og den er så intens at den kan stråle på veldig lang avstand. Vi snakker mange titalls meter, og på prosessanlegg, gigantiske tanker, snakker man hundrevis av meter, at den kan stråle. Så det er egentlig svaret, nei, de kodene er ikke egnet til eksplosjoner. Han, hans oppgave, han fikk det til som ganske greit. Han så typisk på det her med varmestråling og sånn. Men, hva jeg skal si, han hadde ikke fått det til uten å jukse det til. Så hans oppgave var å vise en måte på hvordan man kan jukse det til. Hvis man må jukse til ulikt fra prosjekt til prosjekt, da er det jo litt sånn meningsløst. Da har man ikke en god metodikk eller noe veldig solid å jobbe utifra.

Henrik: Nei, det er veldig godt poeng, takk. Men, ja, du svarte på alt vi hadde på CFD, det var jo interessant å høre. Det var en ordentlig god gjennomgang. Jo, men jeg tenkte bare noen kjappe spørsmål rundt NFPA 68. Har du en del erfaring på NFPA 68 fra før av?

Intervjuobjekt 2: Ikke veldig mye. Jeg kjenner mest til den som student. Jeg har jo bakgrunnen i brannsikkerhet og branningeniørstudier. Der var det litte granne om eksplosjoner, men ikke så veldig mye. Så gikk jeg videre på studerende, master i prosessikkerhet, og da var det gass-eksplosjoner som var interessant. Da var det nesten ikke brann. Og det var i Bergen og veldig tett knyttet opp til det miljøet med Gexcon og Flacs. Jeg kjenner jo flere som har jobbet i Gexcon. Mange av mine studenter skrev jo oppgaver for Gexcon. Men det som er det at innen brann finnes det veldig mange korrelasjoner. Du kan se på varmestrålingen for en brann, du kan se på flammehøyde, du kan se på regnene med enklere metoder enn CFD, du kan se på hvordan røyklaget endrer seg for å dimensjonere røykventilasjon. Samtidig som brann er mer komplisert, så er det likevel enklere, fordi man er i stand til å løse langt flere problemstillinger med en enklere metodikk. Når det kommer til eksplosjoner og gass-eksplosjoner, så støter enda man for ofte opp i den problemstillingen at problemstillingen er for komplisert. Det finnes ikke enkle metoder å regne på, og man må ta i bruk CFD. Det er nettopp fordi du har den eskalerende effekten med hvordan en flamme propagerer i en gassky. Det er så vesentlig at når en flamme propagerer et hinder, typisk på en plattform, og du har masse rør og tanker og ventiler, når en flamme propagerer så blir det turbulens som blir generert, da øker det mixingen, flammehastigheten øker og trykkøkningen eskalerer mye hurtigere. Det er det som er litt av utfordringen med

eksplosjonssikkerhet. I studiet mitt i Bergen, der det var veldig mye fokus på gass-eksplosjoner, så var det ikke på hvordan man skulle regne på enkle problemstillinger. Det var dypt inn i teoretiske fag, med CFD for eksempel. Rene CFD-fag, hvordan løser man konserveringsligningen numerisk? Jeg satt og prøvde å programmere sånn blant annet. Og så er det jo, som dere skjønner, CFD er jo ekstremt komplisert. Ingen er i stand til å lage sin egen CFD-kode som er praktisk anvendelig. Det vil være et livsverk, og det vil koste så mye penger. Man er i stand til å lage enkle, studentvennlige varianter. Jeg lagde et par selv i 2D blant annet. Så mye lærer man på et prinsipielt nivå. For eksempel turbulensmodellering. Hvordan de ulike typer turbulensmodeller man har i CFD, hva som skiller dem prinsipielt, hvilke styrker og svakheter er med de ulike turbulensmodellene og metodene, men også til forbrenningsfysikk. Det var det veldig mye fokus på. Jeg hadde et eget fag som gikk på forbrenningsfysikk. Når du ser på en gridselle der du har fuel og oksygen, hvordan modellerer du hvor mye varme som blir frigitt i denne gridsellen? Eller en flamme som propagerer akkurat i den gridsellen når det treffer en ventil. Hvordan genereres turbulens i det øyeblikket? Og hvordan passerer det videre til neste tidsteg, når flammefronten har forflyttet seg til neste gridselle, og du har mer turbulens og raskere flammehastighet? Det er den type fokus. Men også hadde noen prosessfag også, satt og regnet på destillasjonskolonne. Her er faktisk en vekt. Destillasjonskolonne her, når du har råolie, måten man skille ulike hydrokarboner og komponenter ved destillasjon. Det er oppvarming, for de ulike komponentene har ulike kokepunkt. Du koker jo råolje og trekker ut det du vil ha. Dette satte jeg og regnet på som student. Hvor mye som går inn og hvor mye som går ut, og hvordan man kan optimalisere det. Hvor mye varme man skal ha på elementene som skal varme opp råolie. Så det som er, du spør meg om erfaring rundt NFPA68, jeg har ikke altfor mye erfaring. Jeg har vært borti den som student, og har regnet på den mange ganger. Men ikke bare det, men det i tillegg til mye annet innen eksplosjonssikring. Jeg er jo bakgrunn fra akademiet, og har forelest selv i branddynamikk, brandmodellering og teknisk sikkerhet. Teknisk sikkerhet griper litt bredere. Det befattet både brannssikkerhet og eksplosjonssikkerhet. Så jeg selv undervist, og jeg lurte faktisk på om jeg hadde beregninger på avlastningsareal, lignende NFPA68. Samme også når jeg var student, jeg tror ikke det var NFPA68. Men det var en metode som var nesten helt lik NFPA68. NFPA68 er basert på andre forskningsarbeid, det er bare at det er dårlig referert, og så har det lagt inn masse emperi og forutsetninger inni det som er der. Så det som jeg sa sist gang, at jeg stadig ser standarder og veiledninger, at jeg kjenner en lignende, hva er det for noe, den har jeg sett før. Og så har de kanskje regnet ut flere konstanter, om til en ny konstant som gjør at jeg ikke kjenner den igjen. Og så har de ikke referert til kilden. For eksempel at de har ganget sammen akselerasjon for tyngdekraft, 9.81 , og ganget den sammen med omgivelsesluft i kelvin på 293 . Ganger du de to får en ny konstant i et uttrykk. Men at man drar kjensel på noen eksponenter, noen variabler, og hvordan de er satt sammen. Det her er jo akkurat det samme som en eller annen plumteori. Og tror du sannelig ikke jeg slår opp i lærebøker eller forskningsartikler, så finner jeg akkurat det samme. Og så hører jeg folk, og så ser jeg hvilken snarvei som er tatt. Så jeg kjenner det jo mest fra akademiet, regneøvelser, og jeg vet at det er mulig å regne på, og jeg vet hvordan man kan få det til, og jeg klarer å reflektere litt rundt styrka og svakheter. Jeg har det bare ikke i fingerspissa, så det er ikke noe jeg gjør i likhet med alt brannssikkerhet som jeg har holdt på med hele tiden. Men så er det jo særlig nå i de siste årene, vi ser at vi får mer spørsmål knyttet til eksplosjonssikkerhet. Så jeg har faktisk holdt på med akkurat NFPA 68 de siste 3-4 uker. Og jeg har tok så vidt tak i det i fjor sommer. Det døde til ingenting. Eller jeg tror ikke det er lagt dødt, jeg tror det er bare prosjektet som har gått videre, og så dykker det opp igjen senere. Ja, ja. Så det fikk jeg akkurat tilsvarende nå, jeg har holdt på med det nå de siste 2-3-4 ukene, NFPA 68 prosjekt, men jeg fikk beskjed om i dag at nå stopper vi. Vi har holdt på å vurdere en løsning, jeg kan ikke fortelle så mye om det, NFPA 68 trykkavlastning var bare en del av det. Men vi var nødt til å se på det, for å kunne løse det vi var ute etter da. Men i hvert fall, jeg fikk beskjed i dag, at vi var nødt til å søke noen dispensasjoner nå, og jeg har vært i kontakt med DSB, og de sa det var bare å glemme, vi kommer ikke til å få dispensasjon. Da ser dere, det er jo særlig jeg som har jobbet med det, og noen elektrofolk. Vi har jobbet med det i 2-3-4 uker, tatt mye av min tid, og så plutselig, nå blir det lagt dødt, nå skal vi ikke gjøre mer, for den løsningen går vi ikke for. Men nå har jeg lest

mye, og vært i kontakt med dere, og jeg holder på mye med beregning, og har i stor grad det jeg har holdt på med, å utvikle intern beregningsverktøy. Så nå i de siste ukene, så har jeg utviklet et verktøy for NFPA 68. Det er dimensjonering av trykkavlastning, men jeg har ikke fulgt den fra topp til tå, og fult det flytskjemaet, jeg har bare tatt ut akkurat det som er interessant for meg, for å få svar på akkurat det jeg trenger. Så kanskje i et annet prosjekt når det dukker opp igjen, så er jeg nødt til å ta høyde for noen kriterier, og utvide den modellen. Men nå har jeg hvertfall en start, og det er noe som vi bygger videre på fra prosjekt til prosjekt.

Henrik: Ja, fordi vi har også fått tilsendt et regneark på Excel, som baserer seg på denne NFPA 68.

Intervjuobjekt 2: Jeg har fått det tilsendt, jeg tror jeg har åpna det en gang for mange måneder siden. Jeg huske ikke hvordan det ser ut, men det er veldig mye regneark, Excel. Det er for enkel metodikk, at det har sånne begrensninger, det er emperi. Jeg holder veldig mye på med enklere numeriske modeller, altså numerisk matematikk, der du regner ikke bare i funksjon, du regner noe numerisk, som krever ti tusener, kanskje millioner, og regnes til. Og da er ikke Excel verktøyet å bruke. Og i tillegg så ser vi jo særlig de siste årene, at vi blir mer og mer spesialisert, som kollegialt. Noen er flinke på det, mens noen har blitt flinke på det andre. Før var det mer sånn at alle holdt på med alt. Og det her er ikke bare for oss. Det er ikke hemmelig og avslør hvordan det er hos oss i Multiconsult. Det her gjelder alle andre rådgivende bransjer, konkurrenter av oss, at det er mye sånne regne, excelark fra den tiden at alle holdt på med alt. Og der det er store begrensninger, og mye feil. Jeg har gått gjennom regneark hos oss på brann, som jeg prøvde å regne på, vi stilte spørsmål, og så ser vi, her er det feil. En bommer jo feil med to-gangen, på et eksempel for eksempel. Og da er det litt sånn at du vil ha de riktige personene til å gjøre, holde på med de riktige tingene. Og da er det jo det å utvikle først og fremst verktøy som er korrekte, men også som ikke kan brukes feil, og som kanskje har en så lav terskel at det kan brukes av flere. Og så må man være restriktive med mer kompenserte verktøy. For eksempel CFD, det er ikke alle som skal drive med det. Det er for spesielt interesserte av de som er litt spesialiserte. Så jeg vet det eksisterer. Jeg bare har ikke regnet eller testet det, eller brukt det, eller noe sånn. Jeg bare har mulighet i stor grad til å utvikle denne tingen selv, og jeg vil være helt sikker på at jeg forstår ting riktig. Og det er ofte fordi, litt borti problemstillinger som er litt sånn, litt på siden av det regnearkene er i stand til å regne på, at det kommer litt kortere. Og da vil jeg gå ned til verksiden selv, og se om jeg kanskje kan modifisere litt selv, kanskje ikke følge NFPA 68 100%, kanskje følge den 40%, og så finner jeg noen forskningsartikler og gjør noen modifikasjoner, som jeg er sikker på er korrekt, og som ikke er for hjemmesnekra til at det møter mye kritikk av alle som skal lese det. Men at det har litt sånn forankring i litteratur og henvisning og sånt. Så, men dere må jo se på det. Det er sikkert noe, kanskje dere får noe ut av det.

Henri: Ja, fordi du vet, regnearket er blitt brukt på tidligere prosjekter.

Intervjuobjekt 2: Jeg tror til og med at vi har 2 regneark. Jeg tror det er et regneark i det miljøet, Karl-Jørgen og byggemiljøet i Fredrikstad, og så mener vi har et gammelt, gammelt et, som er litt mer begrenset da, og eldre versjoner. Sikkert 2002-versjonen, og det er ikke det ene som har kommet ut. Det er for oss på brann, som har lugget brakk og ikke vært brukt på mange år. Jeg tror kanskje det ikke er alt for interessant for dere, men hvis det er interessant, så klarer jeg sikkert å lete det fram. Det er ikke sånn, at vi ikke kan sende det til dere. Men vær litt klar over at. Det er jo noe som tilbake i tid er blitt utviklet internt. Det har jo mindre verdi, fordi det er så gammelt. Men det er jo noe som man investerer i tid. Så man vil jo kanskje helst ikke at noen sånn halvsmå konkurrenter bare skal snappe opp og bruke det vi har mistenkt.

Henrik: Nei, det er godt poeng.

Geir: Jeg må... Det kan hende at jeg må videre dessverre, jeg skal på jobb. Men hvis du har et par spørsmål til Henrik, så kan dere eventuelt fortsette, hvis du har tid då?

Henrik: Ja, du må bare bryte så fort du sliter med tid altså.

Intervjuobjekt 2: Ha litt tid til, da har jeg.

Henrik: Ja, ok. Da kan jeg ramse opp de kjapt de spørsmålene. Men ja, hovedsakelig. Nå har du litt kunnskap på NFPA 68, eller du har en god forståelse til tema, men angående NFPA, så er det jo spesielt i sammenheng med transformatorer, så er det en formel som blir benytta.hovedsakelig. Så da er det forholdet mellom hva bygget tåler og avlastningsluker, som da går veldig på arealet. Vi har jo nevnt det litt sist, men... Ja, vi har stilt litt spørsmål til NFPA, spesielt når det kommer til transformatorer. Det er godt mulig det er veldig nyttig i standard, men akkurat i transformatorsetting så setter vi litt spørsmål på det. Så vi bare lurer på om du hadde noen... Du nevnte også sist at den tar ikke hensyn til de ulike gassene, som også er veldig godt poeng. Det kan man spesifisere med å vektlegge de forskjellige svarene, ut fra hvor mye gass som er i blandingen og sånt.

Intervjuobjekt 2: Og så er jo mengden av gasskyen også. Indirekte tar du høyde for at du har støkkemetrisk blanding. Indirekte. Det vil si at du tar utgangspunkt i makstrykket, og du tar utgangspunkt i maksimale flammehastighet. Det vil jo variere med konsentrasjon. Så man kan si at den er forenkla ved at det er støkkemetrisk blanding, men også det at hele rommet er fullt. Men det er ikke det at det fremgår i standarden at det er så mange kubikk. Det er bare at hele rommet er fullt, det forbrenner hele rommet, og så bryr vi oss ikke hva som skjer på utsiden. Vi bare bryr oss om at trykket ikke skal bli høyere enn et visst trykk, mens det forbrenner inne i rommet. Så det kan man også si da.

Gassammensetning, blanding av gassammensetninger, støkkemetrisk, og størrelse av gassky.

Henrik: Ja, for man kan vel ta forutsetninger om det før man bruker en NFPA, hvis man går inn med de verdiene, og så bruker den samme metodikken.

Intervjuobjekt 2: Det er riktig, men da må du slå opp i litteratur og sånn. Det som er litt sånn... Jeg liker veldig godt å jobbe på frihånd. Jeg gjør ting på min egen måte, og det er jo akademisk. Det er jo det jeg gjør, i en ingeniørverden. Men jeg mener jo det at... nå glemte jeg hva jeg skulle si.. Hva var det vi snakket om?

Henrik: At du tar hensyn til støkkemetrisk, eller gassky, litt sånn en inngangs... At du tar utgangspunkt i mengden gass, i forskjellige gassblandinger, før du bruker metodikken på NFPA 68.

Intervjuobjekt 2: Ja, det var det riktig, før du bruke det. Poenget mitt er at jeg liker veldig mye frihåndsarbeid og sånt, men skal man være sånn etter som andre i bransjen gjør det, og sånn som det også... Sånn som normene er, og sånn som... Jeg skal ikke si stor spesimen, men når man for eksempel detaljprosjekterer en sprinkleranlegg fra siden, så følger man jo standarder. Og det som sikres da, er at man skal følge standarder, fullt og helt ut. Eller så har du ikke fullt standard. Har du fullt standard, eller så har du ikke fullt standard. Og det er det som er, at når du gjør en stykke arbeid, og andre kontrollerer det, så er det ofte sånn, ja hvilken standard har du fullt? Har du fullt standard? Ja, du har fullt standard. Ok, bra. Men kommer du da inn med noen hybridløsninger, sånn som du sier nå, at ja, vi følger standarden, men vi modifiserer.. Vi reduserer flammehastigheten her, fordi vi vet med sikkerhet at vi ikke har støkiometrisk blanding. Vi gjør modifikasjoner her på grunn av gasskyen, vil være mindre. Da har du ikke fullt. Det er ikke en standard det her, men det er en veiledning. Men da har du ikke fullt veiledning. Da har du gjort et fri-hånds-arbeid. Sånn at jeg sier at jeg liker å gjøre det, jeg gjør det hele tiden. Men da liker jeg å ikke følge 80% av standarden. Da liker

jeg å følge kanskje 50% og så henter jeg... Bare for å gi et tall, så henter jeg mye fra noe annet. Og ikke bare si at jeg følger 90% og så bare fri-hånds-arbeid. Man skal ikke gi et inntrykk av at det er bare fordi det ikke akkurat passer meg, eller det passer dårlig, så bare trikker jeg til 10% her. For det er der du får kritikken da. At du har bare gjort det litt til der. Du har gjort modifikasjoner fordi det gagnar deg. Men du har ikke fullt standarden da.

Henrik: Ja, det er et veldig godt poeng. For du får jo litt sånn stamp of approval hvis du har fullt den til punkt og prikke. For da har du dokumentert ...

Intervjuobjekt 2: Nemlig. Nemlig. Men det er ikke sånn jeg jobber. Det er alltid fri-hånds-arbeid, men da stiller det høyere krav og. Da må det se ordentlig ut. Det må ose litt kvalitet over det. Du har jo skikkelig rapport. Det er godt strukturert. Det er en kildehenvisninger til, ikke bare standard, men lærebøker og forskningsartikler. Du må bygge troverdighet da. Får man det til, så jeg gjør det ofte. Det er litt sånn hvis du møter kritikk også. Ja vel, dere bare være uenige, men det er irrelevant. Det er bare å signere papirene. Det er ikke snakk om du er enig eller uenig, du skal bare kontrollere at vi har gjort et arbeid i henhold til en metodikk eller noe sånt. Og har man gjort det, så er det jo faktisk den som har gjort arbeidet som står ansvarlig.

Henrik: Ja, to ting der. Det ene er at hvis du hadde gjort det, hadde du hatt mer kredibilitet bak en modifisert versjon og litt mer troverdig person til å utvikle det her. Sånn at folk kan lettere ta du sier for god fisk.

Intervjuobjekt 2: Det er litt pussig det der, for den Gexcon-rapporten dere sendte meg som jeg så på, den synes jeg var dårlig arbeid. Det er jo derfor jeg hadde de spørsmålene jeg hadde, det er jo fordi det ikke er godt nok etter mitt kjønn. Og første prioritet er jo det at man skal klare å gjenskape arbeidet, og jeg var jo interessert i den rapporten, fordi jeg hadde en problemstilling selv å løse der jeg er nødt til å gjøre noe lignende, eller finne en enklere måte eller noe sånn. Og da vil en ikke ha det for hjemmesneka, jeg vil jo vise til noe litteratur, ikke bare at dette er noe jeg har kommet opp med selv liksom.. Det holder ikke.. det er ikke godt nok, selv om det kanskje er troverdig så er det ikke godt nok. Det må holde en viss standard, og jeg må helt ærlig si at den gexcon-rapporten, jeg synes det var lite imponerende og det er først og fremst fordi det ikke var reproduserbart.

Henrik: Ja, riktig. Det er et veldig godt poeng!

Intervjuobjekt 2: Så det med troverdighet, en ting er hvordan det faktisk fremstilles, jeg er ikke redd for å være kritisk til andres arbeid uansett hvem det er, og her er det jo Gexcon, de er jo eksperter på gass-eksplosjon, de har jo egne koder og sitter kun å jobber med dette her.. Og da forventer jeg litt mer av dem enn av andre kanskje.. Men det er en ting, men likevel vurderer jeg jo troverdigheten til å være grei, selv om jeg synes det er elendig arbeid. Men det er jo ene og alene fordi de har et kvalitetsstempel, Gexcon som har skrevet rapporten.

Henrik: Fordi det er den siste tingen som vi har som spørsmål.. Er på en måte.. Siden det sprenger så sjelden, hvor viktig er det at lasten er presis, at derfor er det få som stiller spørsmål ved utregningene dine? Altså det er jo viktig, men hvor mange rundt i prosjektet kommer til å stille spørsmål om utregningen fordi, det sprenger aldri.. og derfor viktigere å bare få et tall å henvise til?

Intervjuobjekt 2: Ja, det der er jo litt sånn... Da kommer du vel inn på sånn sikkerhetsfag, da. Ja. Men i de aller, aller, aller, aller fleste tilfeller, snakker vi 80-90% av alle problemstillinger og prosjekter, man er borti. Så dimensjonerer man jo et sikkerhetssystem etter worst case. Ja. Og jeg visste jo de her CFD beregningene med røykventilasjon. Ja. Og den brann som er satt inn der er jo henta fra litteratur i fra veiledninger og sånn. Og det er jo ut i fra risikoprofiler og worst case. Og lener seg også på erfaring,

selvfølgelig av litt forsøk. Men det er worst case. Og sånn er det generelt alltid. At man dimensjonerer etter verste tilfelle. Men man må jo sette grenser et sted. Og man må akseptere en viss form for risiko, men den grensen er veldig, veldig, veldig høy. Det er egentlig bare fantasien på worst case som begrenser hva du dimensjonerer etter. Men jeg kan jo ta et ekstremt tilfelle da, for eksempel. Jeg gjorde en større analyse på en brukonstruksjon tilbake i tid, en hengebru. Og hvis du snakker om ikke bare brann, men sikkerhet. Worst case der. Man dimensjonerer jo etter et 100 års perspektiv. Så man må se på ulykkesfrekvenser ut ifra det perspektivet. Den har en levetid. Men worst case der var rett og slett dimensjonert etter en tankbil med lekkasjer av brennbar væske. Og da er det jo regnvannsystemet og drenering av regnvann som utgjør hvor stor en lekkasje kan bli. Det renner utover dekket på brua, og så renner det ned i sjøen da. Hvis der brenner. Men du begrenser lekkasjen ut ifra et areal. Og det var jævla stort. Det er en av de største brannene jeg har modellert. Og det var jo for å se på varme på konstruksjonen. Men se litt bredere. Ikke bare på brann. Men hva som, i worst case, kunne skjedde? Vel, det kunne jo styrtet et småfly inni brutårnet. Ikke sant? Men det vil jo være nærliggende å tro at skulle det skjedde, så er det jo tilsikta. Og da er det jo fort over, ikke bare på sikkerhet og brann og eksplosjoner. Det er mer på terror. Det er litt sånn nytt på en måte. Men det er en tilsikta hendelse. Og kan du si det andre? Ja, det kunne jo ha falt en meteor også. Men da er det jo veldig ekstremt. La oss si det var litt mer normalt. Men inn fra et hundreårs perspektiv. Hvor ofte skjer det? Du må jo sette grenser et sted. Men akkurat sånn som du spør nå om konstruksjonen og sånt. Den anser jeg som slutt. Du setter tålegrensen ut fra worst case-scenariet her. Men hva som er worst case, nå med lysbuer og sånt, så klarer vi å argumentere for at ja, du har lysbuer, den er så og så stor, det blir så og så mye gass. Worst case er den gassmengden her. Det er det vi legger til grunn. Og da blir det for konservativt å si at du har en gassky i hele rommet. Men kanskje det kunne vært worst case om du bare umiddelbart kunne kommet på der og da. Det bare er så innfallende, jo det støkiometrisk blanding i hele rommet, det er enkelt å anta. Ja, kanskje det ikke skjer, men javel, det er en forenklig. Men vi ser her at her har vi mer å gå på. Vi klarer å tyne det. Det trenger ikke være så konservativt. Akkurat det med konstruksjon og sikkerhetsmager, det er ikke noe man tyner da. De her analysene jeg viste i stad med CFD. Så sa jeg at røyklagshøyden stabiliserer seg. Da er det tegn på godt og robust design. Her blir det aldri kritiske forhold. Men vi kunne kanskje tillatt seg, hvis det var vanskelig å få nok luker der, kunne vi kanskje tillatt at det fortsatte å forflytte seg nedover og nedover. Men kanskje ikke nådde gulvet i første etasje før etter tre kvarter. Og så hadde vi vist at her kan folk komme seg ut etter 20 minutter. Da du har mindre sikkerhetsmager da, du har ikke like godt, du har ikke like robust design. Det vil jo kanskje være, la oss si det var en handikappet person som låste seg fast inn på en dør og så brenner inne av den grunn, eller hva. Eller bruker lang tid og ikke kommer seg ut, eller tom for strøm på rullestolen. Du skjønner det er veldig mange ting uforutsett som kan skje. Og da er det jo, hva er godt nok? Og når du da går for en sånn design som ikke er alt for robust, så er jo sikkerhetsnivået lavere. Men det kan allikevel være akseptabelt og godt nok. Det der faget ligger, den vurderinga der, en ting er å kunne regne på ting, forstå branddynamikk og sånt, men veldig mye handler om erfaring og en faglig intuisjon, at man har en faglig følelse av hva som er godt nok og ikke godt nok. Og det er så enkelt som å ha et forhold til tallstørrelse. Hvis jeg holder oppe telefonen min, så har jeg en idé om hvor tung den her telefonen er. Ja, den er et par hundre gram eller noe sånt, og du vet størrelse sånn at det er i gram og ikke i tonn du angir vekten. Og det her kommer også til sikkerhetsfaget, at man har en faglig følelse av at det her, her brenner det her inne, brannen, denne cirka så så stor, og ja, du kan forvente, røyklagshøyden kom cirka ned der, men så så mye luke.. så det starter jo der da. En sånn faglig følelse av hva som er godt nok. Og av og til så er det sånn at vi vet at det her er godt nok, men man må bevise det, man må dokumentere det, og da gjør man beregningen og sier, her er beviset, det her er godt nok. Andre ganger også er det sånn at man er litt usikker, kanskje, kanskje ikke, men hvor mye luke må ha i såfall? Hvordan skal man løse det? Og da er det jo litt annerledes igjen da, Prosessenn i seg selv.

Henrik: Fordi hva hvis man får ekspertuttalelse, fra for eksempel noen som er langt fremme i transformatorverden, som Siemens Energy eller sånt til å uttale seg om at det er høyst urealistisk at hele rommet vil rekke å fylle seg opp, for så en eksplosjon.

Intervjuobjekt 2: Ja, men da må man spørre seg hvem er det som sier det. Er det en elektroingeniør som sier det? Da er jeg skeptisk. Du kan ikke termodynamikk og fluiddynamikk og alt mulig sånt. Men sier en elektroingeniør at, sånn som jeg forstår det utifra den kunnskapen vi har tilfelles av dere og meg, at her er det en lysbue og vi har noe vern. Dette er den lysbuen vi kan forvente. Sånn er det. Sier en elektroingeniør det til meg, så sier jeg, ja, det er greit nok. Han er ekspert på elektro. Jeg må jo bare, det høres fornuftig ut for meg. Jeg har ikke noen grunn til å tvile på det, og det gir mening for meg selv om ikke elektro er mitt fagfelt og jeg forstår fysikk generelt, så dette er det helt, det gir fullstendig mening. Da går jeg god for det. Men en elektroingeniør som begynner å uttale seg om fluiddynamikk, da er det litt sånn. Så det kommer litt an på.

Henrik: Ja, så hvis du kan dokumentere at lysbuen vil brytes etter så kort tid, og det er ikke mulig å produsere mer enn så mye gass, så igjen kan du begynne å sette en ordentlig kritikk til standarden?

Intervjuobjekt 2: Ja, eller at man kan si at dette er det beste vi vet. Ja, ok, vi har et vern, det fungerer i 50% av alle tilfeller. Da er lysbuen så så lang før den slår inn, men i 50% av de andre tilfellene, så er det noe lengre, eller noe mindre, et eller annet. At man kan si noe om usikkerheten her, men det er det vi legger til grunn. Det er det mest fornuftige vi kan anta ut fra den kunnskapen vi har. Ja, men da er det en forutsetning med en visshet om at her vet vi ikke helt sikkert. Så du skjønner at problemet her er at det griper litt over i flere fagfelder. Det blir tverrfaglig, det er elektro, det er brannforbrenning og fluiddynamikk, og så er det konstruksjon med dokker. Og da er det noe med at man skal høre på de som kan sine ting i sine fagfelt. Men hadde elektroingeniøren kommet til meg og sagt at det blir ikke en større gassky enn så om så. Her er rapporten, her er alt arbeidet. Kanskje han var elektroingeniør, men har vært i et prosjekt med dette. Han har sett på det, han har kjennskap til dette, og har den litteraturen, som jeg leser, som jeg ser det andre som har gjort et arbeid et annet sted, som jeg mener er kredible, og synes at dette er veldig fornuftig, det her kunne jeg funnet på å gjort selv, og kanskje det blir annerledes, men alt gir mening på en måte. Da er det jo fantastisk, da er det jo greit sånn. Men jeg hører bare på folk som er eksperter, eller uttaler seg innenfor sine fagfelt. Uttaler de seg innenfor andre fagfelt, da er jeg umiddelbart alltid skeptisk.

Henrik: Ja, det er en god approach. Vi prøver på det samme. Det er bra. Her kan du også ta hensyn til, la oss si, en av tusen ganger virker ikke vernet. Og derfor igjen må du beregne for fullt areal.

Intervjuobjekt 2: ja

Henrik: Det er en siste ting. Du kan eventuelt svare litt kort på det. Det er nevnt litt i mailen, og du svarte på den også. Men det kommer til ansvar. Hvis du har dimensjonert etter en last, så viser det seg at når det sprenger, er eksplosjonen mye større, og hele trafosjakten gir etter. Transformatorer kan ha veldig dyr nedetid, for den leveres strøm til mange kritiske komponenter. Da er det litt sånn hvem som har ansvar da? Er det de som har gjort beregningen på lasten, eller er det et prosjektert, eller er det for usikkert til å si noe om det? Det blir dekt av forsikring, eller er det en byggherre som må ta det?

Intervjuobjekt 2: Det vil jo være avhengig av omfanget. Det er det ene. Det andre er jo hvor feilen ligger. Ofte er jo det her, typisk forsikringssaker. Og da er det forsikringsselskapene som går til sak og tar saken. Og da er det jo fordi at en kunde får betalt ut en forsikringspremie, her er pengene deres, og så ser forsikringsselskapet. Åja, de er noe som har gjort feil her. Nå må vi punge ut masse penger her, da går vi etter de som har gjort feil. Og så må man finne ut hvor feilen ligger. Og det kan være det

at man prosjekter og sier at veggene det skal være betong, med den og den armeringa, den tykkelsen og den og den kvaliteten, fastheten, uansett hvordan man beskriver kvaliteten. Og hvis det er i henhold til standard, eller at man klarer å dokumentere med å regne, og alt er fornuftig, at håndverket er godt, så har man jo ryggen fri om det skjer en eksplosjon. Men det kan jo for eksempel være en utførelse. At man har gitt noen tegninger, og så skal det være armering, med en viss dimensjon, og en vegg med en viss tykkelse, og så har de gått ned på dimensjonen, for å spare penger til noen som er kjeltringer og uærlig. Eller at det er en feil, rett og slett. At de har fått en, jeg vet ikke hvor reelt det er, men de skal armere, og så har de fått feil type armering og så har de ikke sjekket det. Så finner de ut i ettertid, at her er det feil armering. Det er rett og slett menneskelig svikt. Det kommer an på hvor feilen ligger da, men la oss si for eksempel det her med lysbuen da. La oss si at det er gjort et arbeid, så smeller det, og så var det sånn at det var ikke feil med utførelsen, man klarer å stadfeste det. Kanskje alt går i luften, man ikke klarer å finne noe årsak noen gang. Og da kan ingen bli stilt til ansvar.. Men hvis man klarer å stille noen til ansvar da, la oss si at dem finner ut at smalt, det var riktig utførelse, men hva med prosjekteringen.. Og da ser man, og kan kanskje prøve å forklare det.. det som kanskje kan ha skjedd her, er at lysbuen.. at vernet må ha sviktet, lysbuen må ha vart mye mye lenger, og gasskyen har blitt større.. Ikke sant, det er jo det som ligger i en god risikoanalyse da, er jo å beskrive det riskobildet, at her er det en viss fare for at det kan gå feil. Nå vet vi det, vi har kartlagt risikoen.. Vi aksepterer det og sånn er det. Det kan gå feil, men det burde ikke gjøre det. og det skal ikke gjøre det innenfor de normene man har innenfor sikkerhet og hva man intuitivt mener er akseptabelt.

Vedlegg 8

Intervju utført: 21.02.2024

Til stede:

- Intervjuobjekt 3
- Henrik Skjerven Petersen – student
- Geir Viste – student

Intervju tid: 10:00-11:00

Sted: Teams

Intervjuobjekt 3: Hallo?

Henrik: Hei! Så hyggelig at du kunne ta deg tid til liten en samtale.

Intervjuobjekt 3: Ja, takk. Det går jo fint.

Henrik: Nice. Jo, jeg la til en kommentar på innkallingen. Vi lurte på om det er greit om vi tar lydopptak.

Intervjuobjekt 3: Ja, det går fint.

Geir: Takk skal du ha.

Henrik: Ofte blir det sagt så mye interessant, at det er vanskelig å huske alt i etterkant.

Intervjuobjekt 3: Ja, det er det.

Henrik: Men jo. Bare nysgjerrig. Litt sånn hvilken stilling du har i Gexcon? Og om du har noen erfaring med transformatorer.

Intervjuobjekt 3: Ja, jeg kan fortelle kort om meg selv. Jeg har vært ganske lenge i Gexcon. Jeg har bakgrunn fra prosessikkerhet på Universitetet i Bergen. Og det er jo bare i... Det er vel 20 år siden jeg begynte i Gexcon. Jeg har vært litt i andre selskaper akkurat sånn innimellom. Men jeg har vært der ganske lenge. Og har egentlig vært involvert i trafoprojekter fra 2004. Så vi har hatt... Dere har kanskje sikkert hørt om det. SEBK-prosjektet, der var vi jo involvert på begynnelsen av 2000-tallet. Så siden da har vi på en måte hatt en del aktivitet. Det er ikke vært en stor aktivitet. Men vi har gjerne hatt en... I første årene hadde vi 4-5 prosjekter. Og så har vi til og fra hatt 2-4 prosjekter årlig siden da. Så jeg har vært involvert i å gjøre veldig mange av disse studiene. Så jeg har sikkert vært på befarings i nærmere 40 anlegg. Det er vel den her som jeg har gjort mest av disse. Så dere er kanskje litt kjent med det vi... Jeg vet ikke hvor kjent dere er med det vi normalt gjør. Jeg så dere nevnte *****. Men det var jo en litt enklere sak.

Henrik: Så ja, vi er veldig interessert i å høre litt om større prosjekter også.

Intervjuobjekt 3: Ja, dere skriver master... Ja, master er det i ÅS?

Henrik: Ja, på NMBU. Og har bakgrunn i konstruksjon. Så det er jo en ekstra spennende oppgave når det dekker felter som vi ikke har så mye bakgrunnskunnskap om. Så det er veldig interessant å høre om dette og lære.

Intervjuobjekt 3: Men det gjelder dere begge to? så er det et bygg på en måte?

Henrik: Ja.

Intervjuobjekt 3: Så dere er ikke så veldig inne i sånne trafotekniske ting?

Henrik: Nei, vi har blitt litt oppdatert. Vi har snakket med en god del fagfolk.

Intervjuobjekt 3: Ja, jeg er jo heller ikke det da. Det er veldig komplisert.. vanskelig felt å.. Ja, det er komplekse saker. Vanskelig på en måte å sette seg inn i.

Henrik: Og alle sammen har jo... Det er jo ingen som sitter på svarene her. Det er noen som har litt å svare på litt av hvert, men det er ingen som sitter med en komplette svaret virker det som.

Intervjuobjekt 3: Ja, vi er ikke så inne på den trafotekniske tingen, så vi prøver ofte å dytte det litt vekk fra oss, i forhold til... Fordi det er jo egentlig egenskapene ved det systemet. Altså, du har transformatoren selvfølgelig, for den har noen egenskaper, men så står det jo i et system, så det er jo ikke bare en egenskap ved transformatoren, det er jo en egenskap ved det hele systemet. Så vi... I begynnelsen var vi nok litt mer sånn at vi.. litt mer inne på å bruke noen enkle former, så vi prøvde å dytte det litt over på de som sitter på den kunnskapen. Kunden kommer ofte bare med en... Beste er jo hvis de kommer med en lysbueenergi. Alternativt så kan de jo komme med kortslutningsstrøm og litt sånne ting, så kan vi diskutere litt rundt antakelser og sånt, men vi er jo på litt tynnere is da, så det er sikkert for dere også at... Hva skal vi si? Hvis elektrodisiplin gir det som en lysbueenergi, så er det litt enklere å regne.

Henrik: Og vi er i kontakt med Simien, og de har jo gjort litt sånne beregninger tidligere, for eksempel for Multiconsult. Så det optimale er å slippe å gjøre det selv. Vi har også fått litt veiledning om hvor

man eventuelt kan finne metoder og standarder for å beregne. Men det blir litt vel teknisk. Men ja, når dere jobber med transformator-eksplosjoner, er det da hovedsakelig sekundære eksplosjoner, eller er det alle mulige ulykker som måtte oppstå?

Intervjuobjekt 3: Nei, det er egentlig... Vi har vært inne som litt sånn nisje spesialist på disse eksplosjonsgreiene, og så er det egentlig... Det er tre ting vi har vært inne på. Det ene er lysbuer i luft, det er bare en håndfull prosjekt vi har vært inne og gjort det. Det har typisk vært sånn lysbuer i luft bak en skjerm, og litt mer sånn personell, og litt mer skadepotensialer er jo relativt beskjedent da. Også når det kommer til disse sekundære eksplosjonene, så er det egentlig to typer ting vi gjør. Det ene er at vi gjør det litt mer omfattende, litt større analysene av det typiske av kraftstasjoner. Det er mer en risikoanalyse hvor man er opptatt av... I en risikoanalyse ser vi både på konsekvensene av sannsynlighet, og så har du små eksplosjoner og store eksplosjoner, så du prøver å summere og akkumulere hva dette betyr i risiko, og gjør gjerne også noen overslag om forventet tap av liv, gitt at folk er inne i anlegget så så ofte, og hvilke områder som blir påvirket. Så det er litt større jobber. Da modellerer vi gjerne kraftstasjon, og så kjører vi 30-40 simuleringer, kanskje. Og målet er å kunne si noe om risikoen. Når du ser på risiko i kraftanlegg, så kommer de nesten alle ut med veldig lav risiko. Det er i betydelig grad knyttet til at det sjelden er så mye folk inne i der. Og så det andre som vi gjør det mer når det er nybygg, altså den risikoanalysen, da bruker du en del innsats på å regne, så det er litt vanskelig hvis byggfolkene for eksempel kommer og sier at nå skal vi designe helt annerledes, altså da må vi gjøre alle beregningene om igjen. Så i en sånn design-situasjon, så ønsker du kanskje å gjøre det enklere. Og det beste er å ha en dimensjonerende hensikt. Du har et bygg, du kan kjøre en simulering på det, eller en beregning på det, og så sier du ok, det er trygg kvalitet, vi gjør noen endringer, og så kjører vi det opp igjen og opp igjen, flere ganger. Så det har vi gjort. Der har vi også gjort ganske mange prosjekter. Det er ofte for eksempel bare et traforom, gjerne også i trafostasjoner som står ute. Det er jo egentlig sånn, ja, det er jo som ***** , og så.. et enkelt rom med noen avlastningsåpninger. Og så gjør man det jo litt enklere og mer konservativt. Man antar kanskje bare en hendelse i forhold en lysbueenergi, og så gjør man litt sånn konservative antagelser i forhold til den gasskyen, og så regner man bare på det da.

Henrik: Ja. Benytter du da denne metodikken utviklet i denne SEBK?

Intervjuobjekt 3: Ja, det er for så vidt basert på litt det samme. Den metodikken som kom derfra, den er liksom mer en risikoanalyse-biten. Det kan man sikkert, jeg vet ikke, man kan sikkert ta opp noe.

Geir: For det SEBK-dokumentet, er det et lukket dokument for de som var med?

Intervjuobjekt 3: Nei, det var finansiert av bransjen av Norsk Forskningsråd, så de er tilgjengelige, men jeg tror det var veldig dårlig håndtert, så jeg satt akkurat og så på det. I mappa vår har vi disse dokumentene, det er litt rotete, for noe ser ut som det er en draft og så er det dårlig benevning og sånn. Men jeg kan sende dere de, for jeg tror.. de lå opprinnelig på en nettside som han Ole Westberg hadde, men jeg tror ikke den er operativ lenger.

Geir: Nei, den tror jeg er lagt ned ja

Intervjuobjekt 3: Jeg kan bare vise, det er litt sånn fort og galt da. Jeg har sånn stor brei skjerm, så det blir ofte litt tullete når det deles, dokumentene.. Det er en litt lengre presentasjon, så jeg skal ikke gå så mye inn i den, men det er jo, hva jeg skulle vise. Hva jeg skulle vise. Det er egentlig her, i denne SEBK-metodikken, da antar du, du regner gjerne på forskjellige ulike feil. Da ønsker du å gjøre en risikoanalyse, og så har du ulike muligheter for feil i analysen din, så du har en-pole, to-pole feil, feil på høyspent- og lavspent-side, så får du en matrise som er egentlig, det er jo egentlig lysbueenergi, så hvis du ser tallene 1-4, er det for ulike lysbueenergier. Og så, det er veldig dumt,

akkurat den presentasjonen her, men vanligvis så regner vi 1-2-4-8. Når du spalter gassen, det er jo pyrolyse, så danner du gass, og så dekomponerer disse store oljemolekylene til hydrogen, acetylene, og det er veldig reaktive gasser. Men i tillegg kan du også få en god del oljetåke, oljesprut, og det er jo da dråper som kan holde seg i luften ganske lenge, for det er jo små små dråper, eller oljedamp. Og så er det sånn at den spalta gassen, hydrogen og acetylene, det er jo egentlig en gass som brenner veldig, veldig raskt, mens disse oljene er veldig tunge, de er jo nesten ikke brennbare, så de har høyt flammepunkt. De brenner veldig dårlig. Da blander du da disse to tingene, og så har du ene situasjon, så tenker du at ene ekstremen er at du har bare denne spalta gassen, så tenker du at du har en liten sky som er veldig reaktiv, brenner veldig fort, og i andre enden har du på en måte fått masse, masse, masse oljetåke, og da får du en stor sky, men den brenner jo egentlig veldig langsomt. Og så hvis du er inne i et helt lukket rom, så spiller det ikke så stor rolle om den brenner fort eller langsomt, for da er det jo egentlig bare den energien som.. det kan brenne seg langsomt det vil på en måte, altså hvis all denne gassen brenner, så blir den veldig varm, og da utvider den seg, så får du et trykk da. Så i teorien er det sånn at når man er inne i et lukket rom, så vil du alltid få et høyt trykk når du har, når du antar at du har veldig mye olje. Mens hvis du har åpninger sånn at gassen kan, eksempelvis eksplosjonen begynner, og så kan gassen, utvider gassen seg, og så kan den strømme ut. Så hvis du har åpninger, så er det klart at, hvis det brenner langsomt, da er det tid for at den kan strømme ut. Brenner det veldig fort, så er det mye mindre tid.. Altså rene sånne hydrogeneksplosjoner, altså gjerne i andre sammenhenger enn det vi snakker om nå, de brenner så fort at det er nesten ikke noe hjelp i å åpne opp.

Henrik: Ja, det er riktig.

Intervjuobjekt 3: Så det jeg sier nå er teoretisk sett helt sånn riktig, men i praksis da, på disse trafocasene, så er det sånn at, når vi bare har spalta gass, så er skyen veldig liten, og når vi tar på på mye olje, så har vi veldig stor sky. Det står kanskje her, det var veldig store volumer, men du ser her at i kategori 1 har du på en måte 31 kubikkmeter sky, så går den opp til 132 kubikkmeter. Så denne skyen her, den brenner jo veldig langsomt. Sånn at når vi gjør disse, sånn som i *****, hvor du bare gjør en.. dimensjonering og sånt, så antar du en stor mengde oljetåke. Jeg tror at fra disse eksperimenterne i SEBK-prosjektet, så tror jeg vi kunne.. så så vi gjerne at du hadde høyt trykk når du hadde fire deler oljetåke, men det er jo litt avhengig av hva slags geometri du har. Jeg plaprer jo i vei, så du får kanskje bare...

Henrik: Ja, men alt du sier et nyttig... Det er bare å snakke i vei, altså.

Intervjuobjekt 3: Tilbake til denne metodikken, det er jo veldig vanlig i risikoanalyser, jeg vet ikke om dere er inne på risikoanalyser, men det er veldig vanlig at dere gjør, at du har masse hendelser, noen store eksplosjoner, og så prøver du å finne hvor ofte de kan skje. Jeg tror da... Da åpner vi litt mer. Bare for å illustrere Ja, dette her er et prosjekt vi nettopp gjorde, for Norconsult, vi... Vi gjorde en vurdering av disse ulike feilene, vi hadde på lavspentsiden, så hadde vi en-pole feil, og så satte vi oss opp sannsynlighet, så altså det her... Ja, 23 prosent av sannsynlighet for den feilen, så er det flere feil her, så vi hadde veldig mye feil, som ligger på en type feil da. Dette var deres vurdering. Så vi setter opp disse ulike feilscenariene, med ulik kortslutningsenergi og sannsynlighet, og så regner vi på disse skyene, sånn at alle disse grønne punktene, det er jo egentlig en skystørrelse, så har vi kjørt simulering med de da.

Henrik: Ja, det var riktig.

Intervjuobjekt 3: Og så har du, du ser, du har noen veldig små skyer som har en gitt.. nå er ikke sannsynlighet regnet ut her, men det er jo sannsynlighet for... Altså, man har en generell antagelse, om hvor ofte sånne hendelser skjer, og så sier man så og så mange prosent skjer på den og den

siden, og så har man også en fordeling på så og så mye oljetåke forventer vi kommer til å bli sannsynlig her oppe, da. Og så... Så da har du kjører en måte egentlig en matrise med skystørrelser som sannsynlighet, og så kjører du disse simuleringene, og så får du trykk, for da har du trykk for sannsynlighet. Og så er det sånn at det du egentlig gjør er bare at du sorterer alle disse hendelsene dine, og hver hendelse har en egen frekvens, og så sorterer du dem bare på trykk. Og så tar du den kumulative frekvensen. Så dette er veldig mye brukt... Opprinnelig kommer det litt fra kjernekraft, men det er veldig mye brukt til olje og gass også. Så vi regner masse på dette på plattformer, det vi kaller eksidenskurve, eller trykksannsynlighetskurve. Ja, det betyr... altså offshore, olje og gass, så har du tilnærmevis et lovpålagt krav at du skal dimensjonere fra noen ti minus fjerde hendelse. Det er jo en hendelse som skjer én gang hver ti tusen år, så det høres litt ekstremt ut, men det er det som er krav på offshore. På måten du da identifiserer det på, er at du gjør denne ekstraskissen og regner en kurve av det, så går du inn og ser på den ti minus fjerde verdien som ligger her borte, og så går du ned og ser at ja, det var ikke regnet til trykk her, men det var et dårlig eksempel jeg tok opp denne presentasjonen. Men kanskje... Ja, her har du på en måte kurven med trykk. Så ser du at i dette tilfellet så hadde du dimensjonerende hendelsene 1,6 bar. Og så er det klart at hvis du har flere transformatorer, så må du på en måte regne på det. For disse transformatorprosjektene er det altså ikke så komplisert, fordi man påvirker kun som regel bare bare... inn i anlegget, eller liksom innenfor eierens anlegg da. Men hvis du ser på sånne.. det samme metodikken som vises her, og det som egentlig legges til grunn når DSB altså direktorat for sikkerhet og beredskap, de setter jo en del krav til sånne farlige virksomheter. Og da er de faktisk hendelser som er enda sjeldnere, altså da er det krav der om at sykehus og sånn skal bli ligge mer eksponert enn 10 opphøyet i minus 6, De har faktisk enda strengere krav. Det er alltid litt sånn utfordrende når det kommer til en kraft, eller sånn, hva skal vi si, disse folkene i kraftselskapene, så sier de at de: ja dere skal dimensjonere mot en hendelse som skjer en gang hver 10 000 år, det kan bli litt abstrakt, og det tenker man jo ikke over, men hvis du tenker på en stor aktør da, for eksempel en Statkraft som kanskje har, helt sikkert har 100 transformatorer, så er det klart at et dimensjoneringskrav som går på 10^4 minus 4, det betyr at de egentlig vil ha en stor eksplosjon hvert 100 år, hvis i den hendelsen liv går tapt og sånn, og det er da egentlig litt sånn, implisitt akseptabelt, sånn at de kan tåle en hendelse hvert 100 år, og ikke to, det er over 10^4 . Sånn, når vi har gjort sånne litt større analyser, for vi har alltid gjort det på nye anlegg, så da dimensjonerer man jo for denne da, men når vi gjør disse litt enklere, så gjør vi ikke hele den exserskisen her, så plukker vi bare fra disse matrisene i sted, og plukker du bare noen av disse tallene her, så da er du litt sånn, du vet ikke helt hvor du er da, men du er jo nok gjerne enda mer konservativ, så du ser nok egentlig på enda sjeldnere hendelse da.

Henrik: Riktig. Men igjen, vil vel også denne dampen variere, altså sammensetningen på denne gassen, vil den også variere, vil den ikke da?

Intervjuobjekt 3: Jo, det er, du skal se, jeg kan vise det. Det er det som er kanskje litt vanskelig å få med seg, altså, vi antar i utgangspunktet... den feilen som står her, også står det lysbueenergi, den produserer jo spaltegass, så mengden spaltegass, den er fast hele veien, ikke sant? Så du har liksom en del spaltegass, og så har du oljetåke, så da, implisitt, når du beveger deg bortover den matrisen her, så endrer sammensetningen seg også da.

Henrik: Ja, ok, ok, ja. Hvor den spalter mer ned mot hydrogen eventuelt da?

Intervjuobjekt 3: Ja, altså vi bruker, det er litt varierende tall der, det finnes eksperimentelle data på det, sånn at det er 73% hydrogen og 21% acetylen og sånn, det er det vi bruker som sånn standard, lenge siden det ble vurdert, hvis du går til andre kilder, så finner du litt andre verdier. Også er det litt sånn at, hvis du har sånne oljer som silikonoljer eller esteroljer eller sånn, de er oljer som produsentene sier skal brenne dårligere, og de brenner nok helt sikkert dårligere. Så er det nok bare litt sånn om du, altså for at når du har sånn pyrolyser, for eksempel en lysbro, du har noen tusen

grader, noe av den oljen går over til plasma og har rekombinerer seg til gass, og så er det noe som bare er knusing av de molekylene, så vi har ikke egentlig skilt så mye på det, og det er litt at man har, kanskje ikke så mye grunnlag for det, men det er jo et argument mot det vi gjør, at det er en svakhet når man mangler egentlig mer robust data. Sånn at vi antar i utgangspunktet, i alle analysene våres, så har vi antatt at når den transformatoroljen spalter, så får du en fast sammensetning på den gassen.

Henrik: Ja, riktig.

Intervjuobjekt 3: Selvfølgelig mengden olje, den øker på da.

Henrik: Men ja, for å kunne gjøre beregningen, må du kanskje ha en tatt mengde?

Intervjuobjekt 3: ja, vi kunne... Vi kunne jo sagt for eksempel at hvis en anleggseier kom og sa at vi har sånn middelolje, og vi vet at der får du bare 40% hydrogen når den spalter, så er det ikke noe i veien for å gjøre det. Men i en sånn risikosammeneing, så er det litt sånn at.. kanskje jeg kan ta opp det her.. Ja, se her. Dette er et sånt regneverk. Dette er egentlig oppsummert alle de for analysene som vi har gjort. Det er denne sånn type trykk-tid kurve som vi snakket om i sted. Så ser du at hvis du er nede på $10^{\wedge} i$ minus, det er den verdien her egentlig. Så ser du at det varierer fra nesten ingen trykk, opp til voldsomt høyt trykk. Det er kanskje på grunn av litt mange ting, det antallet transformatorer og litt input. Det er jo ikke alltid vi tror at den inputen vi får fra kunder er liksom helt.. noen har på en måte vært veldig pessimistisk, og andre har vært optimistisk. Men klart, en fordel da når du gjør sånne analyser er at hvis du på en måte i stor grad bruker den samme tomme stokken, så kan du gjøre sånne vurderinger. Ja, derfor har vi vært litt sånn egentlig ønsket å holde litt sånn konsistent metodikk, for da blir det meningsfullt å sammenligne. Hvis disse analysene var gjort med helt forskjellig metodikk, eller forskjellige antagelser, så kan du egentlig ikke kunne sammenligne dem.

Henrik: Nei, riktig. Jo, sånn, betyr det at.. altså det jeg tenkte på var for eksempel det flacsprogrammet deres

Intervjuobjekt 3: Ja?

Henrik: Er det sånn at dere benytter dere en slik litt mer standardisert metodikk for prosjektering, og så risikovurdering etterpå, så foretar dere større flacsanalyser?

Intervjuobjekt 3: I prinsippet så kunne du gjøre det, men hvis de bygger en større kraftstasjon, så er det nok gjerne et ønske. Hvis vi skal gjøre begge deler, så gjør vi på en måte egentlig mer arbeid, for du får jo på en måte.. hvis du gjør den omfattende jobben, så får du svaret på det du får ved den enkle jobben. Sånn at når det bygges nye kraftstasjoner, nå er ikke det så ofte lenger, men da har vi på en måte gjort denne fulle analysen, og så er det også sånn at prosjekter blir jo bedt om også på en måte, de må jo være opptatt av risiko underveis, men det er klart at det er veldig ofte da dimensjonerer de.. i noen prosjekter så har man dimensjonert traforommet for å tåle et par bar, og så er det jo egentlig.. Hvis du ser sånn som offshore, så gjør man det ofte at du har en tidligstudie, konseptfase, og så har du FED, altså front-end engineering, og så har du byggefasen, og der har du en praksis for at du gjør denne analysen i hvert trinn, og så ønsker du at du skal ha samme metodikk, for at på en måte kan du se hvordan ting blir bedre eller dårligere. Så i byggefasen er det en verdi å prøve å gjøre ting likt, fordi det ene er at når du prøver å beregne den absolutte verdien, det er jo ikke helt sånn eksakt vitenskap dette her, så vil du kunne få litt forskjell, men hvertfall hvis du beregner på samme måten, så kan du hvertfall si at du, altså hvis du gjør designvalg som gjør at det blir verre, så vil du i hvertfall få med det.

Henrik: Når det kommer til sånne avanserte CFD-program som flacs, så krever vel den ganske mye inputs, som det kanskje er litt vanskelig å stille med i en tidlig prosjektfase.

Intervjuobjekt 3: Nei, altså det er egentlig, du er avhengig av.. du er avhengig av den lysbueenergien, og størrelsen på traforommet, så det er egentlig nesten bare det altså sånn, jeg skal bare vise dere her, dette er noe vi gjør for RENblad, for dette er mer sånne transformatorrom i bygg, men de ønsker å lage en litt generell.. mer et slags oppslagsverk. Så det som egentlig er disse faktorene er, volum på rommet betyr mye, og da er det jo hvis du har volum hvor det er avlastningsåpninger, det kan du jo tilpasse da. Så har du da selvfølgelig lysbueenergien da. Så vi bruker denne flacssoftwaren, og for de som er vant til å jobbe med dette, det er ganske fort gjort å bygge en sånn modell, å bygge et sånt rom som dette her, i en CAD-modell, det tar deg rundt en time, å kjøre en sånn simulering, det tar en halvtime å sette opp hvis du har alle dataene dine, så vi på en måte tenderer mot å gjøre dette litt sånn kjapt og greit, også er det klart at softwaren er veldig dyr, for de som ikke har det, så blir det egentlig ikke et regningsmål når du kjøper en sånn software for å gjøre noe sånt. Men mindre du gjør det da, hver dag hele året. Så det er klart du kan i sånne situasjoner som dette, så kan du regne på litt enklere ting også, for at sånn, jeg vet ikke om dere tenker på å sette opp en sånn modell av det dere jobber med, men utgangspunktet så har det jo et lukket volum, du har en gassky, når den brenner så kan du regne på at den utvider seg 8 ganger ca, det gjelder nesten uansett hva slags gass det er snakk om, det er jo egentlig, for det kommer jo på mengden oksygen, som brenner, sånn at du får en gitt volumekspansjon, så du kan regne adiabatisk.. så kan du regne ganske greit hva trykk du vil få hvis det er helt lukka. Også har du da på en måte dette dilemmaet når du har en åpning, men der kan du også gi, altså du har jo en boks med trykk inni, så har du en åpning ut.. så kan du på en måte med noen sånne strømningsligninger regne hvor fort det går ut og sånn, så det finnes jo sånne modeller. Men jeg tror ikke det nødvendigvis er så komplisert å sette opp sånne modeller i Excel eller noe annet, men for oss så blir ikke det så naturlig, altså det er klart.. det er nok lettere å stille spørsmål ved de, i tillegg da, sånn som den Flacs-metodikken her, den kan også modellere motstand på.. nå har du faktisk vist her, at du har, så som i dette tilfellet da, så har du sånne ventilasjonsrister, så her gjorde vi en liten jobb for å prøve å finne ut hva strømningsmotstand du vil ha ut der, så i simuleringen så er det modellert at i begynnelsen av eksplosjonen hvor.. før trykket bygger seg opp så veldig mye, så strømmer det ut med, og det er en viss strømningsmotstand da, gjennom disse åpningene, altså når trykket i dette tilfellet går over 0,1 bar, så regner vi at hele dette arrangementet bare blåser ut, så da er det borte da. Det er klart, i en sånn software så har du litt flere sånne muligheter, men i praksis, i dette tilfellet her, så betyr nok disse tingene veldig lite da, du kunne nok sikkert simplifisert og bare sagt at du har en åpning, så gjøre den litt mindre kanskje ikke sant, å ta høyde for at det er litt strømningsmotstand.

Henrik: Ja, ok, ja. Interessant. Ja, vi har sett litt på akkurat problematikken med avlastningsluker og areal på dem og sånn, men det var, ja. Spesifikt hvor stor effekt et vist areal hadde på kraften og sånn, ja, det er litt det dere gjør for Renblad riktig nok.

Intervjuobjekt 3: Ja, ja, det er riktig. Jeg hadde en kollega som jobbet litt i Norconsult, så han viste meg her for litt siden, når han var der så hadde han sett litt på en slags regnemetode, så det går fint å gjøre det, og jeg tror nok du får en helt rimelig resultat ut av det. Som sagt for oss så blir det liksom ikke så naturlig å gjøre det, og det vi har gjort for å REN er egentlig at vi har kjørt simuleringene. Jeg kan vise litt, vi har kjørt masse simuleringer, og så nå ser du kanskje ikke så godt her, men det er ulik energi og så er det litt ulik avlastningsareal, og så er det litt sånn at effekten er ikke helt lineær, du ser at du har et lite rom og et stort rom. Det er klart når du har lite rom og masse lysbueenergi så får du høye trykk, og når rommet øker så blir trykket lavere, men det du ser her er at når rommet blir stort nok så.. trykkene faller ned på samme nivå for alle casene, for det er ikke lenger rommet eller.. altså de ulike parameterne styrer... når rommet er lite og det er lite avlastningsåpninger, så er det på en

måte romvolum og energi som styrer, og så etter hvert, når rommet blir veldig stort, så er det egentlig strømning ut av rommet som styrer.

Henrik: Ja, riktig.

Intervjuobjekt 3: Du ser her at her er det ikke lenger.. de parameterne som styrer betyr ikke noe lenger, du får samme trykk for omtrent alle hendelser.

Henrik: Så du vil si at hvis du har en gitt transformator og utvider rommet for hver simulering, så kommer du til et volum hvor volumet ikke har noe særlig påvirkning lenger?

Intervjuobjekt 3: Ja, altså du, fordi at du har et avlastningsareal, for at når det strømmer ut av en rom, så har du et høyt trykk inn i rommet, og jo høyre trykk, jo fortere strømmer du ut. Når rommet blir stort, får du et relativt lite trykk, og så blir da også kraften som flytter ting ut av rommet svakere, så strømmingen blir mindre. Men ja, men jeg tror du, om du antar, hvis du gjør en enklere modell, så får du vel, så du får kanskje mye av den effekten uansett. Men jeg tror ikke det er så langt unna at det er en lineær sammenheng, hvis du tenkte rent sånn adiabatisk og det var et lukket rom, så ville det vært en helt ren linje sammenheng mellom sky og romvolum. Så det er den effekten av at ting strømmer ut som gjør at det kanskje ikke er en rett linje lenger, men at den blir bøyet litt.

Henrik: Jeg skjønner. Fordi, er du kjent med NFPA 68?

Intervjuobjekt 3: Ja, jeg har nok, jeg husker ikke helt hva den, ja, det har jeg nok sett det. Hva er det den adresserer? Er ikke det brann?

Henrik: Jo, eller, den går mye på dette her, og den har blitt brukt som litt en enkel beregningsmetode tidligere.

Intervjuobjekt 3: Ja. Er det trykkavlastning generelt, eller?

Henrik: Både, ja, hovedsakelig trykkavlastning, men også for å ha noe med trykkavlastning, så er det også hvordan trykket bygger seg opp, i tillegg. Men den baserer seg litt mer på, altså, trykket kommer av mengden tilgjengelig volum, altså litt sånn at hele rommet fyller seg. Så da vil jo større areal, jo større trykk, på en måte. Eller mer, gass.

Intervjuobjekt 3: Ja, større volum?

Henrik: ja. Ja, sorry, ja, større volum, riktig riktig.

Intervjuobjekt 3: Ja, nei, altså det er klart, hvis du ikke kan si, la oss si du ikke kunne sagt noen ting, da, om de elektriske feilstørrelsene, så kunne du få til en slags logikk, som en sånn designkrav, da, så kunne du tenke på at det er en tredjedel av rommet fyller seg for eksempel... altså det går mer på fylling av rommet. Så, ja. Generelt, da, så er det jo litt sånn at når man lager sånne modeller, generelt, så er det jo sånn.. at når du lager sånne enkle modeller, så ønsker du å være mer konservativt, i hvert fall så bør det være sånn. Nå har ikke jeg sammenlignet med akkurat NFPA 68, det vet jeg at andre har gjort i andre sammenhenger, men sånn, prinsipielt, da, så ville en jo kanskje trodde at vi kom til litt mindre avlastningssåpninger enn NFPA 68, hvis den.. Jeg vet ikke helt hvordan det er med NFPA 68, men altså denne forbrenningshastigheten, den betyr ganske mye, sant, fordi at, sånn som hydrogen brenner jo med, 3 m/s eller noe sånt da, mens disse oljetåkene, de brenner jo med, altså 40-50 centimeter/s, hvis det er en karbongass, og kanskje enda langsommere hvis det er enda større molekyler. Og når du får det her med en sånn turbulenseffekt og sånt, så betyr det at det

er ganske mye, det blir veldig stort spenn da, på en ren hydrogensky kontra en som har mye oljetåke i seg. På hvor raskt den brenner.

Henrik: Er dette erfaringstall dere har kodet inn i Flacs?

Intervjuobjekt 3: Ja, altså, Flacs er på en måte en sånn.. I sånne modeller så snakker man jo gjerne om at man har empiriske modeller, eller analytiske modeller, og så er det sånn at Flacs løser jo egentlig de grunnleggende ligningene, sånn at det er Flacs på en måte gjør, er å ta en traforom, og så deler du det inn i mange mange små celler, noen hundre tusen kanskje, og så i hver av disse cellene så regner du på en måte, så er det masse konserveringsligning og sånt, sånn at hvis det brenner gass inn i en ligning da, så må den energien på en måte gå til nabocellene, så da får du strømning og varme og alt dette her. Så er det i prinsippet, hvis du har de grunnleggende forbrenningsegenskapene til en gass, og det som er veldig viktig er at den turbulensmodellen, eller turbulensen er veldig veldig avgjørende, så hvis du modellerer disse tingene, så er det i prinsippet at når du har en analytisk modell, så skulle du kunne klare å predikere noe også utenfor der du har eksperimentelle data. Mens en sånn analytisk modell, som i prinsippet er mer bare at du har noen eksperimentelle data, så har du kubetilpassning her, og så ekstrapolerer du litt, er i prinsippet at du bør ikke ekstrapolere så veldig langt. Men det er klart, det er mange ting som går inn i en sånn modell, og det er jo, hva skal vi si, hvis du gjør litt feil på mange parametere, så er det klart at i en analytisk modell kan det jo også fort komme.

Henrik: Ja, det må være litt kjipt, for det er vel ikke alltid så lett å finne ut hva det eventuelt feilen kan være, eller?

Intervjuobjekt 3: Nei, altså det er litt sånn at. Ja, men det som er med disse empiriske modellene, det er litt sånn som NFPA 68, altså det er klart den har sikkert endel, den prøver å ta høyde for en del parametere inni seg, med romvolum og alt sånt, så i en sånn enkel situasjon, som dette her egentlig er, hvor du har volum og en trykkavlastningsåpning, og så er det ikke så veldig mange parametere, så vil jo en empirisk modell kunne være ok, men en empirisk modell vil jo sjelden klare å ta noe særlig høyde for geometrieffekt, ikke sant? Ja. Da hadde i noen anlegg, så hadde man jo prøvd å lage sånne døkter, for å trykkavlaste, ikke sant? Så da er det plutselig noen døkter med noen vinkler på, det blir masse effekter av bygget ditt, som disse modellene ikke riktig kan ta høyde for, og hvis du går litt offshore på en oljeplattform, så er det jo sånn at disse empiriske modellene er nesten ikke kan brukes, fordi at de kan ikke ta, de klarer ikke å beskrive geometrien, og den er så avgjørende for eksplosjonen.

Henrik: Ja, jeg ser den. Men la oss si for en slik case, som når du dimensjonerer en trafosjakt, så er sjansen for at det går galt såpass lav, og jeg regner med at en ordentlig omfattende analyse, for eksempel ved bruk av flacs og sånt, koster ganske mye, gjør det ikke det?

Intervjuobjekt 3: Ja, det koster litt men.. når vi gjør en sånn.. hvis det er et traforom da, så er det kanskje en ukes arbeid vi regner. Vi har litt høyere timerater enn vanlig, sånn som Multiconsult og Norconsult og sånt, og det er litt fordi vi har software og andre ting, men det er ikke en veldig stor forskjell. Da er faktisk ganske mye av den tiden, det er ikke egentlig bare beregningen, det er like mye at du må, det var kommunikasjonen med oppdragsgiveren, du må på en måte forstå hva det er de skal bygge, hva er det som er problemet, hva er det de er ute etter, så det er ofte en mye av det der er faktisk møte, lese dokumenter, se på tegninger, forstå hva som er oppe og ned på denne stasjonen, og så akkurat det jeg gjør i beregningen, er jo en relativt beskjeden del av den ukes jobben da. Men i disse prosjektene som vi snakker om nå, så er det jo enkel geometrimodellering, så det er klart det er, i noen prosjekter så er det en sånn ting som fort kan dra på mye.

Henrik: Ja, riktig. Jo, har dere foretatt litt mer avanserte sekundære eksplosjonsanalyser for andre selskaper, for eksempel, enn Multiconsult, eller andre prosjekter?

Intervjuobjekt 3: Ja da, vi har vel sikkert gjort for omtrent alle kraftselskapene, ofte er det kraftselskapene som kommer på disse kraftstasjonene, fordi de er på en måte litt mer avanserte også, fordi da er det typisk ned i bakken, og så har du en eksplosjon, så har ikke den energien egentlig noe sted å gjøre seg, så får du trykkbølger i korridorer og tunneler, så kan de gå ganske langt. Så da har du en mye større geometri, og da har du på en måte, du kan for eksempel si at du får trykk som går ut i en korridor, og så forplanter den seg bortover, og så når det kommer til enden av gangen, så må det reflektere tilbake, for at du får høyt trykk i noen deler av anlegget. Så vi har gjort mange av de kraftselskapene, sikkert omtrent, i hvert fall, ja, nå vet jeg ikke, men i hvert fall de 10 største, og sånn som på *****, så blir det ofte entreprenører, konsulter, multikonsulter, Sweco, eller noen som kommer til oss og ber om beregninger, så vi har, vi har vel i noen situasjoner også.. vi var jo involvert i SEBK-prosjektet.. vi har vel også hatt prosjekter hvor man har på en måte sett på inertiseringsanlegg, yes, det var iphone siri som fant noe på nettet om parkeringsanlegg. Det er jo ikke så mye, vi har gjort en sånn sak for REN, og så har vi også gjort en sånn sak for norsk olje og gass, men det er mer disse generelle tingene, vi har vel ikke gjort så veldig mye sånn avanserte, det er mer som jeg sa, kanskje når noen har ønsket, av noen stasjoner, så har de vurdert muligheten å lage en, at de kan sprengte eller lage en ekstra tunnel, ut fra traforommet, men altså, selv om analysen er jo egentlig litt det samme, det er bare at du ser på litt andre geometrier og liksom andre, ja, at du kan justere styrken for eksempel, på, altså i disse kraftstasjonene, så er det jo ofte sånn at, mange da, har jo sånne maskinssaler, og så er det luker, betonglukker, og så står transformatoren under gulvet, og man har jo hatt litt sånne ulike løsninger på, om man skal fjerne disse lukene, eller hvordan man skal gjøre det da. Men dere, dere er det litt sånn, i og med at dere er fra bygg, så dere er kanskje litt på den strukturens respons, eller strukturbiten av det, er det viktig for det dere er?

Henrik: Ja, altså har dere mye kjennskap på struktur delen også?

Intervjuobjekt 3: Nei, egentlig ikke, vi har noen av oss som på en måte er litt inni det, og så generelt da, så er det jo, jeg tror faktisk det er vist i den, ja dette kan dere nok mer om en vei, men også i dette prosjektet for REN, så vi var veldig interessert i den struktur biten av det, det gjelder jo stort sett mindre rom da, dere kjenner kanskje, kanskje denne, denne trykk-impulsdiagrammen, er dere kanskje noen kjent med?

Henrik: Ja, vi har vært innom noe, spesielt på jordskjelv var kanskje det vi har vært mest på, i skolesettingen i hvert fall.

Intervjuobjekt 3: Ja, men prinsippet er jo ikke sant at du kan ha, du kan tåle veldig høye trykk hvis varigheten er kort nok, det er riktig, og hvis du har lang varighet, så er det jo egentlig å regne som statisk trykk, og i disse trafosituasjonene, så regner du nesten alt i det, så hvis du er midt i dette området her, så har du egentlig litt sånn dynamiske effekter, fordi at hvis du da får, du får en trykkpuls som, ja skal vi treffe noe da, og det er akkurat egenfrekvensen til strukturen din, så kan du på en måte få større, hvis de sammenfaller, så får du gjerne større skade, sånn, så jeg vet at, vi hadde en som jobbet her som var også strukturingeniør, så han, vi gjorde en del sånne strukturberegninger på trafostasjoner, det er sånne dynamiske modeller, men tror i essens, så er det sånn at varigheten er ofte så lang at du, at du kan betrakte det som, statisk last da.

Henrik: Aha, ok, ja, for det har en god del å si, jeg har sett at, noen har lagt med sånne dynamiske loadfaktorer på sånn 50%, litt sånne ting, men hvis, hvis det er som du sier, at varigheten er såpass lenge at det nesten blir statisk, så ja, det har jo egentlig ganske mye å si på å beregningene.

Intervjuobjekt 3: Ja, altså det, jeg kan ikke så mye om strukturrespons, men ikke sant, når vi kjører disse simuleringene, så får vi jo ut varighet på disse trykkpulsene, så her ser du det at det er typisk sånn, i dette tilfelle så er det typisk på 100 millisekunder, og i disse traformommene så er det gjerne, nei, 100 millisekunder, ikke så mye mer da. Så uten at jeg kan så mye om struktur, så vil jeg, det er min oppfatning at det typisk er mye lenger enn egenfrekvensen til disse elementene.

Henrik: Vet du om det blir noe undertrykk etter en sånn sekundær eksplosjon egentlig?

Intervjuobjekt 3: Det blir jo egentlig det, du ser det så vidt her på disse kurvene at de skyter under, og det er jo rett og slett for at du, særlig når du har.. altså hvis du er helt innelukket, så skal du på en måte i prinsippet ikke få det der, og jo, mer innelukket det er, men er det ganske åpent så betyr det bare at eksplosjonen dytter jo på den gassen, altså den dytter jo på luften og alt annet. Og sender det avgårde, og så blir det egentlig et vakuum i midten, sånn at du får undertrykk. Men det er ikke så veldig, nei, jeg vil tenke at de kurvene vi ser på her er sikkert ganske, ganske typiske da. Men i en sånn trafosetting så vil du tenke at de ofte blir begrenset fordi at det er for innelukket. Men når du er i andre sammenhenger, så kan jo den negative impulsen være nesten like stor som den positive.

Henrik: Ok. Fordi jeg har sett for meg at den, på en måte, undertrykket kan være med på, liksom, den vibrasjonen som blir videreført i strukturen eventuelt.

Intervjuobjekt 3: Ja, altså det er vel det som er, liksom, hvis du har en egen frekvens på strukturen din som sammenfaller med den positive pulsvarigheten, så er det jo akkurat det at.. når du får den negative, så drar den veggen tilbake, eller akkurat det, den veggen spretter tilbake igjen. Så ja, nei, det skal ikke egentlig, vi pleier ofte å si at vi oppfatter at varigheten er så langt, men vi er ikke strukturresponsberegnerne, så vi, ja.

Henrik: Nei, vi er ikke helt eksperter på dynamiske laster vi heller, så vi skal høre med noen som har mer peiling, nå i etterkant. Men jo, hvis vi ser på den casen i *****. Jo, er det noe spesifikke, og da fikk dere jo, i utgangspunktet, verdiene dere trengte fra Multiconsult. Skulle dere lage en litt mer standard, eller litt mer enkel utregning?

Intervjuobjekt 3: Jeg kan bare åpne den, dokumentet. Ja, altså, vi fikk nok, vi fikk nok sikkert lysbue-energien, eller kanskje vi fikk kortslutnings-energien.

Henrik: Jeg tror dere fikk, ja...

Intervjuobjekt 3: Her ble det veldig lave trykk, for det er jo et veldig stort transformatorrom her. Det var det, og så, ja, og så er det også sånn at, vi regner jo en, så det er basert på lengden på den lysbuen, da. Så regner vi en volt per, det er litt ulike metoder, men noen kilder, de legger til at du har et antall volt per, jeg har vist det her, tror jeg, men det er ikke det. Jo, det er her ikke sant. litt avhengig av hva slags spenningsnivå du har, og så får du en lysbuespenning, da. Ja.

Henrik: Er dette her en tabell, eller data fra SEBK?

Intervjuobjekt 3: Nei, det er ikke det, altså, vi hadde en, vi hadde en tilknytting, sånn en kar fra Italia, som drev egentlig med noen design av transformatorer, så den tabellen her kommer fra han, altså, og det, som vi husker det, så var det på en måte en spesifisering for design av transformatorer, og så har jeg lett etter hvor den referansen er formert, men jeg klarer ikke helt å finne, men det finnes sikkert andre steder, da, men prinsippet er at når du har et gitt spenningsnivå, så har du en krav om avstand mellom ledende komponenter inni transformatoren, helt sant. Ja. Spør om det er en sånn ny «ESE» standard, og så ja, sånn som vi tenker, da, så har vi gitt et gitt spenningsnivå, så går vi inn,

og så finner vi en forventet avstand mellom disse lederne, så det der er eksperimentelle data.. de tror jeg jeg vet hvor kommer fra.

Henrik: Ja, for de er vel trolig fra en forskningsartikkel, eller noe.

Intervjuobjekt 3: Ja, ja. Så disse tror jeg er, så da må du se, det er jo ganske litt optimistisk kubetilpasning, men da kan du gå og lese av denne lysbuespenningen da, men en del prosjekter har på en måte, for eksempel Hydro eller andre, som sagt, vi pleier jo å regne to volt per millimeter, sånn at du kan også regne den som en ren avstand, men nå legges det gjerne til en faktor, fordi at ja, i prinsippet så vil en sånn lysbue kunne slå rett over korteste avstand. Men, dere har kanskje sett sånne lysbuer i luft, når de vipper opp, vipper opp brytere å sånn, så ser du at den lysbuen den beveger seg fort ganske mye. Ja. Og sikkert kanskje enda mer i olje, for da har du på en måte, det går fra olje til gass, og det er en voldsom volumekspansjon, så det kan jo dytte en sånn lysbue ganske mye i denne tilfellet. Sånn at jeg tror i.. jeg husker ikke, men implisitt et eller annet sted, så ligger det en slags... nei, vent, disse eksperimentelle dataene de tar.. den har denne effekten inkludert, men hvis for eksempel. jeg tror det, men hvis for eksempel du bruker en sånn antagelse om at det er to volt per millimeter, så legger du kanskje til 50% fordi at du for du... for disse dataene vi ser på her det er jo fra faktisk lysbuer i olje.

Henrik: Jo, vet du hvilke forskningsartikler eventuelt denne er fra?

Intervjuobjekt 3: Ja, den, jeg tror jeg skal vite den her.

Henrik: Det hadde vært veldig interessant å henvise til i oppgaven.

Intervjuobjekt 3: Ja, jeg skal jeg tror det var noe sånn et eller annet japansk, men jeg skal ta og sjekke, du finner ikke igjen den figuren i den rapporten da, men på en måte de tallene som de har er gått til å plotta det, tror jeg.

Henrik: Ja, riktig, ja. Og din stiplede linje er det da feilmargin på tallene eventuelt?

Intervjuobjekt 3: Ja, sikkert noe sånn kompetensintervaller, eller noe annet, men du ser det også stor spredning her, men ja.

Henrik: Jo, altså jeg tenker på denne rapporten altså er det noe tilleggsinformasjon dere hadde nytte av å vite? Eller noen av tallene, på en måte dere mener, er litt for lite eller litt lite presise?

Intervjuobjekt 3: Nei, altså det som går, det er for oss så er det hodebry disse elektriske feilstørrelsene. Også er det jo sånn her at det kommer fra dette som vises akkurat nå, og det kommer fra en kar som drevet mye med trafodesign, men så jeg har ikke så mye grunnlag for å si om dette er liksom så robust, men det er klart at det er en iboende stor usikkerhet her så det man eventuelt kunne argumentere for eller mot, det er på en måte i en sånn designsetting, hvor stor grad av, altså i og med at du har usikkerhet, og du plukker ut en case, skal du på en måte da legge på noe margin og sånn. Det vi har oppfattet er jo at det er ganske mye konservatisme, liksom både altså det er flere sprik her, og så legger man til litt konservatisme på hvert steg da. Så det er litt iboende vanskelig, fordi at det er jo en veldig sånn ukontrollerbar hendelse, og så er det også litt det er litt idealisert liksom i hele disse eksplosjonsberegningene, i virkeligheten så er det jo.. spruter jo olje og det brenner samtidig, ikke sant.

Henrik: Ja det er nesten umulig å forutsette hva som egentlig kommer til å skje.

Intervjuobjekt 3: Jeg for i den skyen din, ikke sant, så er det sånn at du har noen steder så har du en passeblanding med luft, andre steder så har du for lite blanding med luft. I tillegg så er det på en måte dråper som spruter, så du får turbulens, det er litt mye sånn. For det er, når vi kjører simuleringene, selv om når vi kjører med en flacs modell, så er det jo nokså idealisert da.

Henrik: Ja, riktig. Men hva med inngangsverdiene dere har fått oppgitt fra Multiconsult? Er det noe.. for en optimal beregning, er det noen tilleggsinformasjon som hadde vært nyttig å vite?

Intervjuobjekt 3: Nei, altså det er jo egentlig størrelsen til rommet selvfølgelig, men den har mye å si, men den er det jo aldri særlig tvil om. Det som, hvis det er sånn som her med sånn bjelkestengsler og sånn, så mener jeg at du kan kjøre beregningen din uten at det gir etter, da får du egentlig.. svaret da, er hva du må dimensjonere denne veggen eller porten til. Men i en del sammenhenger så er det jo sånn at du har ting som gir etter hvis de har trykkavlastningspaneler for eksempel. Vi antar ofte typiske verdier, men.. altså offshore så er det mye brukt, og der har du.. du kjøper et sånt panel, og da er spesifikasjonene veldig sånn gitt. Det er nok egentlig sånn i forhold til ATEX-direktivet, så er nok det liksom den riktige måten å gjøre det på. Når vi kommer til kraftbransjen, spesielt i kraftstasjonene, så ser vi mange litt sånn hjemmesnekra løsninger da. Det er sånn man skal kunne si de spesifikasjonene på den trykkavlastningspanelet, det er sånn informasjon som.. Vi antar ofte konservative verdier. vi gjør nok ikke så mye feil med det, men det er klart det er noe som kunne vært bra at hatt enda mer spesifisert, og spesielt arealet, det er jo viktig da. Ja, det er viktig. Eller generelt så er det sånn at jo tynnere og lettere de er, jo bedre er det. Så offshore er det gjerne bare en sånn tynn plate som bretter seg rundt en stolpe, slik at du ikke skal få prosjektiler på utsiden. Men klart i en traforom hvor du kanskje ønsker å isolere og sånn, så får du kanskje mer. Vi gjorde noe for Hydro og da har du isolasjon på utsiden og så blir det litt mer. Ja.

Henrik: Ja, riktig. Hva med antall lysbuer? Altså jeg regner med at det mest.. altså, spesielt når det nevnt utkoblingstid på 100 millisekunder, så er jo en lysbue kanskje mest realistisk. Men den formelen som er brukt, så nevner at med to lysbuer så blir det dobbel lysbueeffekt. Er det et tilfelle? Fordi de kan jo oppstå noenlunde i nærheten av hverandre og litt sånt ting.

Intervjuobjekt 3: Ja, men dette trøbler vi jo litt med, fordi at når du regner på disse energiene da tror jeg, du regner på en kortslutt da, men du så det vel egentlig den... jeg skal bare ta opp den.. men tror du så det her? i dette regnestykket så har Norconsult sagt at det var en pola og to pola. Det betyr, som vi oppfatter det her, men her er vi på tynn is, da regner man den energien som hvis du får en kortslutning mellom flere ledere da. Men de som regner på det elektriske systemet, de regner på hvor mye energi som på en måte går til jord eller til noen annen leder. Det som egentlig er viktig for eksplosjonen er hvor mye energi det er som går til oljen. Så hvis du ser for deg i sånn litt enkelt sagt da, at du har det to ledere som slår over til jord, så er det en leder da som slår over til jord som går på en måte strømmen fra lederen til jord. Det er den kortslutningsstrømmen vi får så hvis du da kan få.. hvis den lysbuen i prinsippet kan spre seg i to.. det er jo ikke helt sånn man tenker da.. men sannsynligvis har du mye mer varmeoverføring til den oljen rundt Ja. for at du da kan få mer gass da. Men der har vi trøblet litt og vi har hatt noen diskusjoner med fagpersoner som mener at dette er en diskusjon rundt antall lysbuer ikke er det som er riktig da og det er tror jeg kommer med at den energien de oppgir er på en måte hvor mye energi som kan gå fra systemet til en jord eller en annen leder og da tenker vi at da er det irrelevant hvor mange lysbuer det er. Så det er ikke en faktor men hvis du tenker på energien som går over i oljen, ikke den som går til jord men den som går til oljen, så virker det fornuftig at antall lysbuer skal påvirke gass en del da.

Henrik: Ja, litt mere.. overflate mot oljen på en måte.

Intervjuobjekt 3: Ja, ja. Men her er vi.. og det vi hører fra fagpersoner klarer ikke vi helt å liksom legge sammen da.

Henrik: Nei, altså vi har en vi har snakket litt med en kar med doktorgrad i dette fagfeltet her fra Siemens Energy, så jeg tror vi.. det får bli oppfølgingsspørsmål til han.

Intervjuobjekt 3: Det som vi er interessert i da, ikke sant? Vi prøver på en måte å koke ned informasjon fra dette elektriske systemet til det vi er interessert i men det er egentlig det eneste vi er interessert i er på en måte hvor mye energi går over til oljen. Så hvis du kunne hatt en bedre proksi eller bedre mål på det, så kunne vi i prinsippet kaste disse gamle ligningene hvis vi kan få bedre mål på det da.

Henrik: Fordi, altså jeg har så lest at når en lysbue oppstår, så er det veldig fort at den sprer seg i etterkant. Hvis utkoblingsmekanismen slår inn for trengt.

Intervjuobjekt 3: Ja, det virker rimelig at det er sånn fordi oljen har jo på en måte en egenskap at den isolerer mot, altså denne, ikke sant? Også med en gang du får en lysbue så vil du umiddelbart få gass, og det skjer jo i løpet av millisekunder, og da har du plutselig ikke olje mellom lederne lenger, da er det jo en blanding av olje og luft. Og da kan man jo lett for så vidt se for seg at hvis du har andre spenningsledende komponenter da slår det over der også.

Henrik: Ja, så da er det mest sannsynlig.. at det er allerede oppstått en lysbue, det er der den vil på en måte sprette frem og tilbake eventuelt. Ikke nødvendigvis spre seg rundt videre i transformatoren?

Intervjuobjekt 3: Nei, altså, med en gang du på en måte får etablert en lysbue fra for eksempel en leder til jord, da så har du vel på en måte en mye, altså hvis du da rent fysisk ved siden av har noen gassbobler, så har du ikke lenger samme potensiale. Da ville en jo tenkt at den andre lysbuen, den vil da komme mellom, altså hvis du har ledere som ikke har mista potensiale sitt, da, mellom ledere eller mellom jord typ, her er jeg på en litt sånn tynn is, med en gang du kobler sammen to ledere, så har du jo ikke lenger det samme potensiale mellom dem. Da gjør du jo kanskje ikke så mye om isolasjonsegenskapene til isolasjonsmediet også synker, da.

Henrik: Ja, riktig. Ja, interessant. Ja. Ja, også, dere nevner også at en sånn støkiometrisk gassky kan danne opp til ni ganger sitt volum. Ja. Fordi da tar man utgangspunkt i den gasskyen man har brukt som utgangspunkt tidligere, den hydrogen-acetylenmengden som blir satt som standard?

Intervjuobjekt 3: Ja, hvis du ser på Gexcon tror jeg har jeg en sånn gasseksplosjonsbok liggende på nett, der er det en tabell som viser at hvis du har for eksempel hydrogen, så får du omtrent.. du blander hydrogen med luft, den får omtrent åtte ganger volum ekspansjon, og hvis du har hydrokarboner så har du kanskje åtte, ni. Det er ganske likt for nesten alle, og grunnen til det, er at det er mengden oksygen som reagerer, og energien som gis ut er ganske lik, sånn at det er varmen som gjør at det øker i volum. Sånn at det er, hvis du går på gasseksplosjonsboka så finner du på en måte de tingene, og hvis du vil bruke den enkle adiabatisk beregning, så kan du bruke de tallene der for å referere til den. For det er bare en ren volumøkning-betraktning. Skulle du regne presis på det, så må du regne antall mol før og etter reaksjonen din, og så må du regne på energien som frigjøres, og så må du regne på varmekapasiteten på den gassen der. Men hvis du gjør det, så skulle du sannsynligvis få ganske likt tal for de ulike.

Henrik: Ja, riktig. Ja, fordi vi ble nevnt at acetylen, spesifikt, kunne danne en gass opp mot eksplosjonstrykk på 10,6 bar, så at den kan utvides opp til 10,6 ganger, ved konstant trykk. Men den har vel mye mindre volum, eller prosentmessig andel av gasskyen, så derfor er den mer realistisk og så sette den nærmer hydrogen?

Intervjuobjekt 3: Ja, det kan godt hende altså. Acetylen er jo egentlig en ganske eksotisk gass, for vi jobber mest med de vanlige hydrokarboner, så det kan godt hende det du sier er helt riktig. Jeg kan ikke huske å ha sett det tallet, men for vanlige okaner, så er det ofte 8-9, men det kan hende at acetylen er verre. Men som sagt, det er ofte.. acetylen er sånn at det kan reagere med seg selv, så det er kanskje derfor at det blitt gitt litt mer... Altså, når du byter den ene bindingen mellom karboner, så kan du på en måte få ut energi uten at du reagerer med luft. Men... Ja, det kan hende at det er riktig, vi antar jo at det er typisk 23% acetylen, men så har det olje i tillegg, sånn at.. ok, selv om acetylen gir 10 bar, hvis du regner på sånn typisk dimensjoneringscase, så tipper jeg du nede på en prosent forskjell eller sånn, hvis du hadde tatt med effekten av... Den blir jo veldig tynnet ut, ikke sant?

Henrik: Men ja, akkurat den casen her er litt... Fordi dere får en ganske lav bar, ikke sant? Så derfor har rommet mer en godkjent trykkavlastning. Fordi den er litt interessant hvis du bruker en NFPA68, fordi den har så stort romvolum i forhold til hvor kraftig transformatoren egentlig er, så ifølge NFPA68 så får du da veldig høyt trykk. Så det er en liten feilkilde på en måte i den standarden.

Intervjuobjekt 3: Men da, NFPA 68, regner den trykkavlastningskravet ut fra romstørrelsen egentlig?

Henrik: Ja, den baserer hovedsakelig på romstørrelsen.

Intervjuobjekt 3: Ja, ja. Ja, altså det ville jeg jo tenkt på at fort kan bli veldig feil da, hvis du har veldig store transformatorrom. Fordi at... Ja. Nei, altså det er sånn... Men du kan jo gjøre det sånn enkelt adiabatisk, at det er 8 ganger, ikke sant? Du får 10 kubikkmeter gass. Det utvider seg 8 ganger, og så kan det på en måte være konserverteregnet i forhold til, når det er 2000 kubikkmeter så blir det veldig lite da. Så det er klart med trange transformatorrom, du ser det gjerne på gamle stasjoner, så får du plutselig veldig høye trykk, og da kan du være oppe i 1 bar, eller noe sånt.

Henrik: Ja, riktig. Og så hadde vi andre spørsmål angående den?

Ja. Ja, ok. Når dere regner andre transformator-caser dere har vært borti, vil du si at 100 millisekunder i tid før vern slår inn er ganske naturlig?

Intervjuobjekt 3: Ja, jeg tror det er ganske vanlig. Det ligger jo typisk i et intervall av jeg tror dere har vært oppi 200 millisekunder, men det er typisk mellom 80 og 200, det er litt hvor konservativ du vil være. I disse kraftstasjonene så er det alltid, der har du en generator, ikke sant? Og en del av de eldre anleggene har de ikke bryter mellom generatoren og transformatoren, så da er det sånn at da kan du være oppe på 1,5 sekunder, for da er det på en måte den tiden det tar å avmagnetisere transformatoren. Det vil kunne påvirke en del, da. Det var litt sånn det var i den Tonstad ulykken, tror jeg, de har ikke generatorbryter, så da får du mye mer energi inn da, ikke sant? For generatoren står bare og mater. Og så vet jeg at i Mæl stasjon, tror jeg, i Rjukan eller noe sånt, der hadde de satt inn et sånt hva heter det? Ultra-fast bursting switch eller noe sånt, det var et slags sånn som jeg husker det, så var det et slags sprenglegg, med sånn på en måte skulle jeg trodde jeg kunne åpne på 30 millisekunder og sånn, det er det kjappeste jeg har hørt om det. Men det er, i mitt hode, så er det ganske eksotisk, jeg tror ikke det er mange steder de har gjort sånt.

Henrik: Er det sånn at den åpner altså coveret på transformatoren før trykket rekker og bygges opp, eller noe?

Intervjuobjekt 3: Nei, det er jo bare en bryter på strømmen inn eller ut fra transformatoren, sånn det blir raskt, sant?

Henrik: Imponerende. Jo, ehm, ja, jeg tror det var de fleste spørsmålene, spesielt på den casen. Eh, eh, ja, også, jo, litt sånn prosjekteringssetting, som, litt sånn, la oss si kostnad rundt en slik analyse. Og litt om tid, vet du hvor lang tid det vanligst ville tatt for dere å altså foreta en slik analyse, litt mer avansert analyse, da?

Intervjuobjekt 3: Altså, hva skal jeg si deg, når vi gjør disse litt enklere, så sier vi gjerne at hvis vi hadde fått all inputten på en gang, og liksom hatt møte på mandag, og liksom ikke har noe andre ting, så kunne vi hatt det klart på fredag. Det er ikke mer enn en ukes arbeid, så det blir når det er på en måte de litt enklere rommene. Når vi gjør disse litt større anleggene, så ja, tips, da, det klart blir det kanskje litt mer tid. Altså, simuleringene er stort sett veldig kjappe, da. Så, hva skal vi si, i prinsippet så hadde noen klart å gjøre en sånn litt større analyse på to uker, i hvert fall tre uker, da. I praksis så regner vi ofte fire for oss, det er liksom kommunikasjon, du sender noen spørsmål til kunden, og så venter du på at hva han har å si, og så sitter du og gjør andre ting ved siden av ham. Og så er det litt sånn element, da, at når du har et for de enklere, altså et lite prosjekt, da, så er det sånn at hvis alt var helt på skinner, så kunne du gjort det nesten enda raskere, men det er bare to e-poster til kunden med litt forvirring av hva tall du skal bruke, når du plutselig doblet tiden, i stedet for. Ja. Det er litt mer margin, da, på estimert prosjekttid.

Henrik: Ja, og så en del av parameterne dere trenger er kanskje ikke noe du nødvendigvis alltid kunden sitter på, og må gi tilbake videre til produsenten av transformatoren, eller hvem for å finne ut av.

Intervjuobjekt 3: Ja, da så kan det komme, sånn byggeier, kanskje du har liksom sånn, ja, skal vi, men vi har hørt at du kan bruke den oljen, eller du kan gjøre sånn og sånn, og så har du på en måte spørsmål, som setter ting litt i ro da, men ja.

Henrik: Ja, riktig. Fordi da, også, det er jo kanskje litt vanskelig å si noe om, men vet du, har du noen idé om hvor presise disse analysene er? Nå er det jo veldig sjeldent man faktisk får sammenlignende testene sine med virkeligheten, siden det sprenger jo aldri.

Intervjuobjekt 3: Ja, det er jo en utfordring. Altså, man har jo gjort, i SEBK-prosjektet, så gjorde man jo en del forsøk, men klart det blir sånn relativt idealisert. Vi gjorde et prosjekt for Tonstadulykken for ikke så lenge siden. De hadde jo den alvorlige hendelsen i 1973, og da var det litt sånn at det vi da beskrev som den mest alvorlige hendelsen, det mente de var litt svakere trykk enn det de forventet å ha i eksplosjonen. Men sånn, ja, jeg var forøvrigt, litt happy med å se hva vi predikerte, og hva man trodde. Det er heller ikke helt ideelt å vite hva slags trykk du har til en eksplosjon etter at den er ferdig. Er det nok sånn, i forhold til andre type ingeniørberegninger, så er det klart at usikkerheten her er ganske stor.

Henrik: Også, ja, min oppfatning er at for en, la oss si, en av kundene deres, så er det ikke nødvendigvis, siden det er så sjeldent det sprenger, og vanskelig å si hvor presis det er, så er det viktigere for dem å bare ha et tall, enn nødvendigvis hvor presist tallet er.

Intervjuobjekt 3: Ja, ja. Det er jo som sagt, det er mer konservatisme inne i det, sånn at for trafoprojekter så er det sjeldent, liksom, at offshore gjør man veldig mye mer sånn komplisert og detaljerte ting, fordi at det blir så dyrt å bygge det da, hvis du skal gjøre det enkelt. Men siden kraftstasjonen, så er det liksom, det er litt mer armering og litt tykkere betong. Det er ikke sånn, at

man fort fikk komme i en situasjon hvor det koster mer å ha folk til å sitte og regne på det, enn å bare dimensjonere litt opp da.

Henrik: Ja, det er riktig. Sånn at, ja, la oss si dere var de som skulle prosjektere en transformatorsjakt. Ville dere da heller foretatt en kort, eller en litt mindre presis beregning for å så være konservative?

Intervjuobjekt 3: Nei, jeg tror mer at man altså, vi ville nok ha følt den metodikken, men du kunne jo tenkt det her, at, sånn som hvis du har en vanlig trafostasjon, så kunne du jo kjørt den her fulle metodikken, ikke sant? Også koster det deg, sikkert et sted mellom 50-100 000 kroner ekstra, så kan du, og hvor mye betongarmering får du for det, ikke sant? Så er det sånn, i en enkel sammenheng, da skulle det hende at du... bruker du de pengene på armering og betong, da, så er du jo sikker på at du er trygg på et vis, ikke sant? Men hvis du prøver å gjøre en veldig nøyaktig beregning, så er du avhengig i hvert fall av at han som beregner gjorde det riktig. Så på en vis har du tatt litt usikkerhet da.

Henrik: Kan du si noe om hvor stor prismessigforskjell det er mellom en litt enklere beregning, sånn som *****, og en mer omfattende beregning.

Intervjuobjekt 3: Nei, altså det er jo kanskje en sånn, når du gjør den større analysen, er det kanskje tre gangeren i forhold til når vi gjør de enklere.

Henrik: Ok. Fordi det går jo hovedsakelig på antall timer. Altså, hvor lang tid det tar.

Intervjuobjekt 3: Ja, ja. Så er det nok arbeidsomfang er det kanskje litt mer, altså antall timer vi faktisk jobber, men når vi gjør disse små, som på ***** er det ofte sånn at det går litt sånn spill for hver eposter og kommunikasjoner med kunden, ikke sant? At plutselig hadde deler av uken gått, og så har du egentlig ikke gjort så mye, det har bare vært liksom kommunikasjoner og tilbakemeldinger.

Henrik: Sånn at, så lenge de som prosjekterer vet hva en sånn beregning vil trenge, og hvis de sitter klare med all inputs, da kan de bare ta en relativt grei analyse på relativt kort tid, og derfor ikke koste like mye, eventuelt.

Intervjuobjekt 3: Ja.

Henrik: Interessant. Nå har vi snakket litt om det, men en mer... Har du noenlunde troen på en mer praktisk tilnærming av sånne eksplosjonsberegninger? La oss si du ser på energien i lysbuen, og så ser du på gass produsert, og så hvor reaktiv den vil være, eventuelt. Oksygen, altså blandingsforholdet.

Intervjuobjekt 3: Ja, du kan nok sikkert lage en slags enklere metodikk i type regneark, eller en noe sånn. Dilemma er på en måte at du lager gjerne en sånn metodikk basert på at du har et, hva skulle vi si, rom som er firkantet, eller noe sånt, og så kommer du plutselig til situasjoner hvor det ikke er firkantet, eller trykkavlastningsåpningen er oppe i et hjørne, eller noe sånt. Så dilemmaet er mer at du... Men for en sånn enkel romberegning så er det nok helt greit. Men i en av disse kraftstasjonene så er vi også interessert av det som skjer på utsiden, altså som jeg nevnte, trykkbølgeforplantning mot korridorer, og da tror jeg egentlig ikke du har noen sjanse med noen sånne enkle løsninger. Så for en enkel rom, så tror jeg ikke det er noe... I prinsippet så tror jeg ikke vi ville vært betenkt for å ha gjort det enklere, men vi har bare gjort den jobben. Men det er også litt sånn at du har.. klart også for kundene også, sånn at vi lager denne CFD-verktøyet, og det er masse CFD-koder, og det er jo egentlig... Ja, man skal ikke si at det er en liten jobb å lage den koden, men mye av jobben er faktisk validering. Hvis du lager en sånn beregningsmetode, så har du.. det ene er på en måte å sette opp

den modellen, og så er det litt sånn at du må i stor nok grad klare å demonstrere at det er riktig, ikke sant? Du må overbevise brukeren, at vi stoler på det også. Så det er faktisk en ganske viktig del av sånne modellberegninger.

Henrik: For jeg kan se for meg at noe av største problemet med praktisk tilnærming, er at du kan ikke ta ansvar, fordi beregningen er ikke validert, sånn som du sier.

Intervjuobjekt 3: Ja, men altså, det er tross alt likevel nokså... sånne trafogreier er nokså enkelt, for det er så enkel geometri, og det er litt enklere adiabatisk betraktninger. Det går ikke så veldig feil hvis du ikke hadde regnet med tykkavlastningsåpning, for eksempel. Det er jo teoretisk maks, det kan ikke bli mer enn det. Det går ikke egentlig an å gjøre så mye feil på det.

Henrik: Jo, altså, egentlig er vi ganske nære ferdig med spørsmålene. Det er bare lite spørsmål rundt turbulens, bare fordi det er ikke så mange som har så mye erfaring på dette her. Nei. Blant annet, når det oppstår turbulens, vil du si det er lokalt i den delen av rommet, eller vil, la oss si det er noen trapper eller noe sånt, vil det påvirke hele rommet, eller er det litt mer lokal turbulens?

Intervjuobjekt 3: Nei, det er to ting. Det ene er at når du har den gasskyen, så kan den ha det vi kaller for initielt turbulens. Det er jo typisk hvis du har hatt en lekkasje, altså en jet-lekkasje, hvis det lekker fra gass, så har du typisk strømning på noen hundre meter i sekundet. Så det er i utgangspunktet ganske turbulent. Så kan det jo selvfølgelig, for en trafo, så er det nok en del mindre for at det er ikke ren gass-lekkasje. Så kan lekkasjen jo stoppe, og så kan gassen få stå der. Og så kan den i prinsippet bli helt stillestående. Så da har du ingen initielt turbulens. Også da, i det øyeblikket du tenner, så vil du på en måte, gassen begynne å ekspandere, og da dytter den jo på all den gassen som er foran seg. Og hvis det da er noen særlige objekter, og det kan være rør, og liksom alt, så vil det på en måte bli turbulens rundt alle disse tingene. Så offshore, altså når du har på litt større skyer, så er man jo veldig opptatt av utstyrstetthet. Man sier ofte at eksplosjoner er enten congestion-driven eller confinement-driven. Men traforom har ofte såpass lite utstyr i dem, at det er primært det at veggene holder trykket inne, som gjør at... så den turbulensen, ja, på spørsmålet, den er.. den er nok.. den varierer nok romlig, og så vil den jo variere i eksplosjonsforløpet med etterhvert som flammen spiser seg innover. Og den vil da øke, den vil være høyere der det er mye utstyr. Og hvis du på en måte hadde gått offshore, og satt en sky i et åpent område, kontrast, da snakker du mye høyere utstyrstetthet, så er det natt og dag, liksom, som går fra 0,1 til 3 bar, på grunn av turbulensfrakt. Da er det kjempetett, ikke noe, da er det veldig mye tettere enn i et transformatorrom.

Henrik: Riktig. Og vil hastigheten på turbulensen ha veldig mye å si på forbrenningshastigheten?

Intervjuobjekt 3: Ja, altså, den har jo i grunn til det, fordi at laminær forbrenningshastighet er jo typisk i størrelse av 0,5 meter eller 2-3 meter. Mens når det kommer til turbulent forbrenning, så snakker du jo mange hundre meter i sekundet. Så... Men det er jo primært flammen som genererer den store... Så det er noen feedback-lut, det brenner og utvider seg. På turbulensen så brenner det raskere. Og da flytter du enda mer, så det blir raskere og raskere, så det går liksom en eksponentiell sak. Ja. Så på... så for en hel «glasspanningen», det er ikke aktuelt i traforom da, men når du har mye hydrogen, for eksempel, så kan det jo da... Det går jo så raskt opp til du kommer til det punktet der du får en detonasjon... Da sendes den sjokkbølgen ut i den gassen som er foran. Da er det den sjokkbølgen som tenner da. Da er det ikke snakk om turbulens lenger. Da er det...

Henrik: Ja, for da går det plutselig langt over lydets hastighet, gjør det ikke det?

Intervjuobjekt 3: Ja, og da er det egentlig en sånn hopp fra at det er en mekanisme som driver eksplosjonen til at det er en helt annen. Ja. Så det er klart, når du er i offshore, når du har turbulens,

når den flammen brenner ut i en tomt område, for eksempel, så ser du det på sånne eksperimenter, og du ser disse flammen bare... Flamma-hastigheten bare ramler rett ned. Det er ikke noe trykk. Så den gassen som sendes der ut i friluft i et tomt rom, den vil ikke lage noe trykk. Men mindre det detonerer. Så derfor er man opptatt av det. For eksempel, du kan ha en kjempestor sky i et tomt område, så lenge du ikke får detonasjonen så får du ikke noe trykk, men får du detonasjonen, så knuser du utover i kilometers avstand.

Henrik: Ja, ok. Sånn at, fordi, jeg trodde det var materialet som oksiderte som bestemte om det var deflagrasjon eller detonasjon. Men enhver forbrenning kan gå over til detonasjon, hvis forbrenningen går høyt nok. Enten det er trykk, eller temperatur, eller hva som fører det opp dit.

Intervjuobjekt 3: Ja, og så er det sånn at de mer reaktive, som spesielt hydrogen, for eksempel, men helt sikkert acetylen også, de vil veldig lett. Lett går til detonasjon. Mens for transformatorolje, det skal sikkert mye til. Hvis du hadde hatt det inne i et rør, for eksempel, og dette rør brant 15, 20, 30 meter, så ville du kanskje klare å få detonasjoner. Men i en sky ut i friluft så tror jeg ikke du klarer det. Vi pleier aldri å få detonasjon i kraftanleggene.

Henrik: Altså, på flammehastigheten, hva vil du si har mest påvirkning, er det trykket eller er det stigning i temperaturen eller er det denne turbulensen?

Intervjuobjekt 3: altså flammehastigheten er jo.. du har forbrenningshastigheten, laminær og turbulent. Flammehastigheten er jo egentlig.. hvis du tenker deg at det brenner i et rør da. Når gassen utvider seg, så vil den dytte på den uforbrente gassen. Så hvis du står ved siden av og ser på.. flammehastigheten er jo egentlig den hastigheten som flammen forplanter seg ved. Så da er du avhengig av volumekspansjon og geometri. Og så får du turbulens av dette her da. Men forbrenningshastigheten, den er jo helt avgjørende for trykk. Altså, som sagt, hvis det er helt innelukket, så spiller det ingen rolle hvor raskt du brenner av, men i de fleste tilfeller så er det trykkavlastningsåpning, og da er det på en måte avgjørende hvor raskt det brenner.

Henrik: Ja, det er riktig. Nice. Ja, da har vi egentlig fått svar på det stort sett det vi lurte på. Det er litt sånn problematikken rundt avlastningsluker og sånt, men det er mulig vi sliter litt med å komme til noen særlig gode svar der.

Intervjuobjekt 3: Ja, ja. neida, men det var bare hyggelig, så jeg må koble av straks, men dere får jo bare sende epost og spørre hvis det er noe sånt.

Henrik: Ja, ja, hvis du er åpne for det så hadde det vært supert. Så setter vi igjen virkelig stor pris på samtalen, altså, det har vært så mye interessant å hente her. Å, hjertelig hjertelig.

Intervjuobjekt 3: Så plutselig en dag så krysses våre veier igjen?

Henrik: Ja, det kan jo godt hende.

Intervjuobjekt 3: Dere skal vel ut i et arbeidsmarked etter hvert antar jeg.

Henrik: Så skal det foretas transformatorberegninger så tror jeg jeg vet hvem jeg hadde gått til.

Intervjuobjekt 3: Haha, ja takk for det!

Henrik: Ja, men da sier vi bare takk vi! Du får har en fin dag videre!

Intervjuobjekt 3: Ja, takk for det. så får dere ha lykke til videre med oppgaven. Så får dere som sagt bare ta kontakt hvis det er noe.

Alle: Supert, hade bra!

Vedlegg 9

Intervju utført: 23.02.2024

Til stede:

- Intervjuobjekt 4 –
- Henrik Skjerven Petersen – student
- Geir Viste – student

Intervju tid: 10:00-11:00

Sted: Teams

Geir: Hei!

Intervjuobjekt 4: Hei!

Henrik: Hører du oss godt?

Intervjuobjekt 4: Jada!

Henrik: Ja, supert! Jeg må si det var utrolig kult av deg å ta tid til en liten samtale.

Intervjuobjekt 4: Ja da, det går jo fint.

Henrik: Men jo, er det greit at vi starter å snakke litt om hvilke erfaringer du har med tema og bruk av NFPA 68 og beregninger tidligere?

Intervjuobjekt 4: Jeg har ganske lite erfaring med NFPA 68, så jeg ble jo egentlig kjent med den standarden når jeg begynte i det prosjektet som jeg jobber i nå da, som er ***** og som har store trafosjakter. Så det var egentlig en kollega som sitter inne i Oslo som jeg bare husker ikke helt, men dere har kanskje truffet på han. Jeg skal finne navnet, men jeg husker det ikke i farta. Men han er jo mer eller mindre eksperten på det sånn i Multiconsult oppfatter jeg da. Så han viste meg det programmet, eller regnearket som vi bruker. Og så hva som litt bak det og sånt. Så har ikke jeg dykka kjempegodt ned i standarden, men har liksom bare brukt regnearket og fått ut svar, og så har han kontrollert dette her da. Så jeg skal bare se om han finner... Eller har du vært i kontakt med andre?

Henrik: Ja, vi har vært i kontakt med andre, men ikke så mange innenfor Multiconsult.

Intervjuobjekt 4: Ok, det er en som heter *****. Ja, så det burde dere merke dere å kanskje prøve å få en sånn tilsvarende samtale med han, for han er mye flinkere enn meg på dette med eksplosjonsberegninger.

Henrik: Ja, det blir veldig interessant. Vi sender en mail etter samtalen. Nice. Jo, vi så også... La meg merke til at du nevnte både 2007-modellen og 2013-modellen. Og så har du nå nylig kommet til en 2023-modell.

Intervjuobjekt 4: På standarden eller?

Henrik: Har det mye å si hvilken modell, eller er det bare ting som blir lagt til etter hvert som det blir laget en ny modell?

Intervjuobjekt 4: Nei, jeg visste ikke engang at det fantes en 2023-modell, eller modell, altså, det er vel en utgave. Jeg var ikke klar over det, og det er jo interessant å dykke ned i, fordi vi fikk litt utfordringer med de resultatene av de eksplosjonsberegningene, fordi det ble så store eksplosjonslaster ut av det. Man skal jo ikke ta lett på det, selvfølgelig, men det føltes overdrevet konservativt å bruke det.

Og vi var jo i kontakt med andre firmaer for å gjøre mer detaljert beregning, eller mer ikkelinert element type beregning. og da fikk vi vite at hvis man gjør det, så får man veldig ofte mye lavere eksplosjonslaster, reelle laster. Her sånn var det mer nærmest at du fyller hele trafosjakten med hydrogengass, og så tenner du på fyrstikken. Det er jo helt utenkelig, med en sjakt som har åpen tak.

Henrik: Ja, det er sant, den hadde faktisk åpen topp. Og er ikke det litt regler på det nå? at det skal være lukket eller innbruddsikkert hvertfall?

Intervjuobjekt 4: Jo, det er innbruddsikkert, det er de, fordi veggene her er 12 meter høye, og 18 meter høye, så du kan klatre opp på disse, men... Dere har kanskje sett prosjektet?

Geir: Nei, ikke denne.

Intervjuobjekt 4: Jeg kan jo vise dere, hvis dere er interessert i å se det kjapt.

Henrik: Ja, veldig gjerne.

Intervjuobjekt 4: For det er jo, de vi har regnet eksplosjonslaster på, er de fire sjaktene her, bare å si det sånn. Og det er jo en transformator, og så er det tre reaktorer. Og så må du ikke spørre meg hva som er forskjell på det. Det er bare bygg. Men det er i hvert fall disse der, klompene. Og så er det inni her, er det lukka. Så der skal det stå en transformator som skal egentlig serve bygget med strøm. Og den fikk de største lastene, fordi det var, i NFPA 68 så regner vi jo ventilasjonsarealet, og volumet av rommet. Og det er egentlig de to inputparametrene du trenger. Og det er veldig dårlig for en innbygd trafo. Så det endte jo med at vi måtte ha, som du ser her, hele fronten ble rister som kan slå ut under en eksplosjon. Så det her er jo hele.. svært areal, så vi måtte bruke på det. Så der var vi i kontakt med en annet firma for å spørre. Så skulle de ha 100 000 for å regne på de to sjaktene, så derfor ville ikke kunden gjøre det. Og ville heller betale mange hundre tusen for å bygge dette her. Kanskje.. Det er spennende å høre om den nye versjonen av Standard, om den på en måte klarer å differensiere det, og gi et mer realistisk bilde av hva som foregår.

Henrik: Ja, interessant. Altså, har du noen idé om... Fordi dette er et tema vi tenker å komme inn på, er det eventuelt hvor mye penger du kunne spart på å få ned lasten. Så kostnadene for en dyrere analyse, for besparelser, for billigere konstruksjon.

Intervjuobjekt 4: Ja, det er jo absolutt et lurt regnestykke. Og jeg tror at de hadde definitivt spart penger på å gjøre denne analysen. Det som på en måte drar opp... Vi må regne med 33 kN per kvadrat her, i en eksplosjonslast, uten lastfaktor i ulykke. Og da medfører jo det en god del mer armering i veggene. Det er kanskje ikke kjempe kostnader, men det er jo i hvert fall både innkjøp og plegging og alt sammen av det. I tillegg, det som er kanskje den største biten her, er denne her fronten. For hvis den kunne blitt bygd på vanlig måte, med en... Et vann, altså sånn som den vegg

der, betongvegg, så ville du jo spart ganske mye. Jeg vet ikke hva prisen er på denne her, men det kan godt hende at vi kan få lov til å dele det med dere etter hvert, når vi får den. Så... I tillegg så er det vel på disse sjaktene her, så kan du si at de store, de sjaktene her, de er jo utsatt for... Hvis du regner på et sånt vanlig statnettprosjekt, som ikke har noen krav om å bruke NFPA standarden, så regner du eksplosjonslasten på 4 kN per kvadrat.

Henrik: Åja, er det litt sånn standard...

Intervjuobjekt 4: Ja, det er standard, de har... For det er jo egentlig opp til prosjektet, om man ønsker, eller om man blir påkrevet å bruke den standarden. Det er jo ikke en standard som er liksom under plan- og bygningsloven, eller på en måte som vi er forpliktet til, med mindre vi mener at det er mer riktig å gjøre det. Så statnett bruker 4kN/m², og så her regner vi med NFPA, og da fikk vi rundt 7,5 kN per kvadrat, som er jo mer, men det er ikke sånn avskrekkende, egentlig. Så på disse sjaktene her så kunne man sikkert spart noe, men kanskje ikke like mye, for de må være ganske robuste uansett. Men hvis man virkelig trenger å spare med tanke på material forbruk og miljø og sånne ting, hvis det er en bit av det, så er det jo å få ned veggtykkelser og armeringsmengder, som er et godt argument for at disse veggene her kunne fint vært både 300 og 250, kanskje til og med. Hvis man hadde fått lav nok eksplosjonslast.

Henrik: Interessant. Altså, hvorfor må de være så robuste hvis det er åpent tak, egentlig?

Intervjuobjekt 4: Jo, det er jo, robusthet for den eksplosjonen er jo en del, og for brann som kan oppstå i olja, som er det en annen bit av det. Ja. Og så er det jo for så vidt høye vegger som ikke er avstiva. Så når du først får en stor eksplosjonsplast her, så må man opp i litt veggtykkelse da. Ja. Men de her er 400-tykke. Vanlig statnettprosjekter har ofte 300mm tykke betongvegger. Så det er ikke, de er jo, nei, det er jo for så vidt ikke det, men det blir noen kubikker.

Henrik: Ja, ja, uten tvil. Har du noen erfaring, sånn, erfaringer på teori henta fra andre steder enn NFPA 68?

Intervjuobjekt 4: Ja, eksplosjoner? Ja. Jeg skrev sånn prosjektoppgave på NTNU om eksplosjoner av platedammer. Altså vannkraftkonstruksjoner da. Og da brukte jeg, jeg husker jo ikke hva det programmet heter, men jeg brukte jo et sånt ikke-linjert elementmetodeprogram for å regne på en eksplosjon hvor du på en måte hadde dammen som sto med en viss avstand, og så detonerte man en viss mengde TNT, så det var sånn ekvivalent beregning. Og så så man på hvor store spenninger som oppstod i det skallet som er dammen, og så så man litt på hvis man sprengte denne her ladningen i vann, gjennom vannet på en måte, og så så man på hvis det var med eller uten vann i dammen. Nei. Så det var på en måte en slags ligh versjon av en litt mer avansert beregning av eksplosjoner. Men utover det så har vi ikke noe, det er som sagt de standardiserte verdiene som vi ofte får lov å bruke. Men jeg kan jo se hva det andre, det firma som vi, jeg husker ikke hva det heter, nå må jeg bare google litt i mail min.

Henrik: Ja, vi har vært i kontakt med blant annet Gexcon.

Intervjuobjekt 4: Ja, takk. Det var Gexcon jeg tenkte på. Gexcon, jeg snakket med en fra derfra.

Henrik: Ja, riktig, riktig.

Intervjuobjekt 4: Han er sikkert en guru. Og hvis dere tenker på priser og sånt, så har jo han gitt pris på dette prosjektet her. Jeg vet ikke om jeg skal uten videre dele det uten å spørre han, men hvis det er greit for han så er det jo selvfølgelig. Jeg har nå i hvert fall et tilbud som jeg har fått fra dem på

beregning av denne eksplosjonslasten. Og det var vel, skal vi se. Jeg vil bare se om det var den der lukka trafoen, eller? Det var nok for én. Ja, transformatorstasjon. Jeg tror kanskje det var at han regnet på en sånn, den. Det var det han kom med pris på, da. For det var det som var mest kritisk. Ja, det var den der. Så jeg tror bare, hvis det skal, jeg vet ikke hvordan dere skal bruke det, men det kan hende at det er interessant, da. For de gjør litt mer avanserte saker.

Henrik: Ja, vi har allerede snakket litt med han. Vi er i kontakt med en av kollegaene hans. Og litt i kontakt med han også. Så vi kan høre med noen om det er greit. De har fortalt litt om, ja, for de har gitt dere kanskje to tilbud, eller? En litt enkel beregning, og så en mer avansert beregning. Eller er det flere tilbud, eller?

Intervjuobjekt 4: Ja, han nevnte det. Jeg husker ikke helt hvordan det var. Det ble jo ikke til at vi brukte det. Men han nevnte det, han formulerte vel egentlig som at han kan regne, kan gjøre litt av beregningen, og så komme med et foreløpig svar. Og så kan vi si, ja, dette vil vi at du skal ferdigstille, og bruke 40 timer til på. Eller at vi kan si sånn, nei, bare glem det, for vi ser at vi tjener ikke noe på det. Så det var kanskje litt sånn.

Henrik: Fordi det virker som de har en litt standardisert metode å iverksette en sånn beregning, og derfra kan de så bruke en ganske avansert CFD-modell. Ved bruk av flacs. Og da plutselig kommer det, det er ganske dyrt program å bruke. Eller leie, i alle fall. Ok, da. Nice. Er det greit om vi går over til den beregnings-delen du har gjort?

Intervjuobjekt 4: Ja, ja. Da må jeg bare gå inn og se på det, for som sagt, jeg er jo ikke noen ekspert her, men jeg skal se om jeg finner det. Ja. Ja, sånn.

Henrik: For vi tenkte å nevne ***** i oppgaven vår. Karl-Jørgen nevnte at det var ok, også må vi høre med deg om du synes det er greit at vi nevner noe av beregningene. Bare som et eksempel på hvordan en bruker NFPA 68. Og så skal vi også forhøres oss med eksperten på NFPA.

Intervjuobjekt 4: Ja, kjempebra. Det må dere gjøre. Han er veldig hyggelig. Hmm.

Henrik: Men ja. Vi har også satt oss litt inn i NFPA, og ja, sånn som nevnt her, man tar høyde for den mest kritiske gassen, i stedet for hele gassblandingen. Som er litt kritisk egentlig, men det er vel i hvert fall enklere da.

Intervjuobjekt 4: Da er man hvertfall på den sikre siden, så man kan ikke hengt på det hvis det skulle skje en ulykke.

Henrik: Men ja, vi har jo også fått tilsendt oss et Excel dokument, hvor kanskje disse beregningene er gjort. Fordi da er det også nevnt at det er kanskje du som har funnet ut, eller det er det faktiske blandingsforholdet, til oljedampen som blir produsert.

Intervjuobjekt 4: Nei, det har ikke jeg vært borti.

Henrik: Ok. Men det ligger i hvert fall i et ekte dokument her. Også dette, vi skal også høre, men det er sånn NEFI, det er eid av ABB som foretar litt tester på det her. Fordi for å få gjort NFPA mer presis, så går det an å vektlegge hvor mye gass som blir produsert, bare for å få ned lasten litt. Og det blir nevnt at det er 74% hydrogen, og 21% acytelene. Så det er jo ikke krise å anta at det er 100% hydrogen, for det er stor andel uansett. Også et annet spørsmål var jo, på denne casen, hvorfor dere benyttet NFPA og ikke gexcon, men det har du jo svart på.

Intervjuobjekt 4: Ja, det var et kostnadsspørsmål, rett å slett.

Henrik: Men ja, jeg lurte på om du hadde lyst til å bare snakke deg litt igjen om beregningene, og så kommentere hva som har vært mest krevende, eller om det er noen parametere som du har litt vanskelighet for å finne ut av, eller noe sånt.

Intervjuobjekt 4: Ok, altså disse tingene du må dere nesten ta med han *****, men jeg skal bare dra gjennom det jeg har gjort. For det er jo sånn ofte når man begynner å jobbe, så får man noe i hånden, og så putter man inn tall, og så er man fornøyd. Så jeg har jo ikke gått i dybden, ikke sant, her. Jeg bruker det arket her. Vet ikke om dere har sett det før, men det er i hvert fall det vi har. Her velge man gass, og den skal stå på Hydrogen, for det er det mest konservative. Og så har jeg bare puttet inn parametrene på bygget. Og så, husker jeg ikke helt hva jeg gjorde, men hva var det vi gjorde? For det var den der. Ja. Ja. Ja. t1 og t2, da skal vi se her. Ikke sant, så du hva jeg gjorde? Ja, det husker jeg ikke hva jeg gjorde. Dette kan sikkert dere forklare meg. Og han *****, som sagt, han begynte, for det var sånn det foregikk var at han gjorde dette her, og så kom jeg inn og ble disiplinleder på prosjektet, og da måtte vi gjøre litt justeringer. Blant annet på dette her, vi måtte finne ut, vi tar den her da, hvor stor åpning må vi ha her. Så vi brukte den egentlig omvendt, kan du si. Ved at vi satt inn, det var her så lenge siden at jeg husker, for jeg vet ikke.

Henrik: Fordi der oppe er den der, av ligningene der, så er det den øverste, den 7.2.1, som er en funksjon på en måte av hvor mye avlastningsarealet du trenger. Det er sammenhengen mellom avlastningsarealet og hvilket trykk konstruksjonen tåler.

Intervjuobjekt 4: Yes, Av0, ja, ikke sant. Og så er det den der, Pred, den mener jeg er konstruksjonen, det er den lasten som vi må ta imot, men så var det noe med at man skulle gange den med en sånn DLF, eller noe sånt. Ja, og den er noe sånn 1,5 eller 1,3, akkurat det tallet husker jeg ikke. Men så her ser du, ja, nå fant jeg den som heter T-5 og 6, det er liksom det som vi har kalt for disse to rommene her da. Og 22, for de andre, 22 ganger 1,5, det er jo nesten, ja, det er 33, for det husker jeg var, ja, her, 33, ja, bare en sånn mellomregning, en veldig enkelt tall. Men det var fordi at vi brukte en DLF-faktor på 1,5, og så gikk jeg inn i geometrien her, hva er det jeg har til rådighet, og da måtte jeg jo ta arealene, alle disse her ristene, jeg måtte jo trekke fra disse fastfeltene, inn i her, ikke sant, sånn at jeg ser hva er det vi har mulighet til å gjøre her da. Vi har mulighet til å oppnå et Av0 på 27, for disse tallene her er jo faste. Så jeg sa 27, ok, da får jeg 22 der, da må jeg klare 33 kN pr. kvadrat. Og så hadde jeg en sånn FEMdesign-modell som beregna betongen, og så så vi bare på, ja, det klarer vi i betongen. Fordelen for eksempel, det var jo dekket her som var det mest sårbare, egentlig. Men dekket er jo litt tungt, så det tynger jo ned, så når eksplosjonslasten presser opp, så er jo det til fordel. Så derfor var ikke 33 kN pr. kvd. så voldsomt da for den betongkonstruksjonen. Så vi gikk liksom andre veien rundt. Så hva slags ventilasjonsareal har vi, og hvilken last får vi da, og klarer vi den? Hvis ikke vi hadde klart den, så hadde vi kanskje tenkt annerledes å brukt taket, og laget noen greier opp i taket og sånne ting. Men det slapp vi da. Og for de andre her, så skal vi se. Ja, nå begynner jeg å huske dette her. For de andre, de er jo, som du ser, de der store sjaktene, ikke sant? 18 meter gange 17, 12 meter høye. Ventilasjonsareal på 321. Det er ikke helt... Jeg husker ikke helt sånn, hvordan jeg puttet inn det det tallet der. Er det tall man putter inn, eller?

Henrik: Ja, det er egentlig en celle med resultater, tror jeg. Det er godt mulig å du har testa, eventuelt.

Intervjuobjekt 4: AS hva er det noe? 321, kanskje vi har bare... Sett på arealet, fordi... Ja, hvis du tar L ganger B, så får du 321. Og det er jo toppen. Så det er jo den der. Så det ser ut som det stemmer... Jeg kan ikke si, jeg husker hvordan det... Jeg kan ikke se helt hvorfor dette stemmer, men det gjør det tydeligvis. Så da får du den der, ikke sant? 4,43, og så ganger man den med 1.5, så får man rundt 7,5

som resultat. Så det er 6,5 her, da. Det er litt forskjellig størrelse på disse. Så kontra 4 på statnett-prosjektene. Og som sagt, på store sjakter, så er det nok like greit å bare bruke det, kontra å regne på hva man ellers ville fått.

Henrik: Jo, og så blir det jo nevnt noe om... Det blir også beregnet noe... Jeg har litt mange dokumenter, det er sant. Men jo, det blir også nevnt noe.. om at dere får oppgitt lysbue-energi fra simien-energi. Og så blir det beregnet... Det blir vel trykket som oppstår av lysbuen alene. Er det for rom hvor det ikke er oljefylte transformatorer, eller tørreisolerte transformatorer?

Intervjuobjekt 4: Ja, det er det. Det er for det som er sånn... Gis-anlegget. Gis-anlegget her, det er jo liksom... Ja, gas-insulated switchgear som gjør noe strømgreier, det også. Og der hadde han lagd noen andre beregninger som, skal vi se da, hvordan de så ut. Igjen ***** er mannen å snakke med. Men jeg fikk noe av dette her i hvert fall tilsendt, og så... Det her gjorde jeg egentlig ikke noen ting med. Og enden på visa var det at det ble så utrolig små krefter ut av det. Jeg har ikke peiling på dette her, egentlig. Så han vet kanskje noe mer om det. Men det var i hvert fall noen formler. Det er egentlig han som har gjort de beregningene.

Henrik: Er det han som har lagd hele exceldokumentet, eller er det noen Multiconsult har...

Intervjuobjekt 4: Jeg tror kanskje han har lagd det. Ja, ja. Han har drevet masse med det. Så det endte vel med at vi skal installere en luke her i veggen. Og den er en avlastningsluke, så hvis det skulle bygges opp et trykk inni her, og den overskrider, så vil denne her åpne seg. Og på den måten slipper ut trykket, er tanken, da.

Henrik: Men ja, tar det da... Dette rommet er ikke like relevant da siden det er tørreisolert, men tar dere da utgangspunkt i at en av de smeller, da?

Intervjuobjekt 4: Det er et godt spørsmål. Det vet jeg ikke. Det burde du spørre han om.

Henrik: Nei, men vi har en kontaktperson i Simien-Energy, så vi kan høre med han. Vi er ikke helt eksperter på elektronikk, men han har vært flink til å forklare sånne ting.

Intervjuobjekt 4: Ja, ok. For dere går på bygg, eller? Hvilken skole er det?

Henrik: Ja, konstruksjon på NMBU.

Intervjuobjekt 4: Ok. Likeretter. Rectifier er en likeretter. Vet da søren hva en likeretter er. Omformer energien til vekselstrøm. Det er egentlig litt morsomt å lære seg det strømgreiene, når man holder på med sånne prosjekter.

Henrik: Det har nesten vært det morsomste med oppgaven til nå, at vi har gått innom alle felt, ikke bare bygg. Det er masse interessant å høre om. Både kjemien bak oljedampen, og forbrenningsreaksjonen, og elektronikken i transformatoren. Det har vært mye forskjellig. Egentlig litt for mye, så vi har begynt å spisse ned oppgaven litt, men det er interessant å høre om allikevel.

Intervjuobjekt 4: Det er bra. Men jeg tenker jo sånn for Multiconsult sin del også, at det hadde vært utrolig nyttig å kunne gjøre sånne beregninger på huset også. For jeg ser jo litt fra Gexcon at hvis man kan bake det inn i et prosjekt, så er jo ikke timeantallet så voldsomt. Hvis du er ekspert, så klarer du å regne på noe sånt her ganske kjapt. Kan du få litt erfaring fra andre prosjekter, så er det sikkert.. en trafo er ganske lik den andre. Så kan man begynne å lage seg opp en database med litt erfaringstall,

og så blir du tryggere på det. Så jeg tror det er egentlig bare å snakke om kompetanse, og bare få noen som har lært seg det.

Henrik: Ja, og vi har snakket med en kar som har, altså problemet er at det er kompetanse innenfor forskjellige fagfelt, så du får ikke en utdanning som dekker alt dette her. Så det er en ting du må lære deg på egenhånd. Men vi har snakket med en karr som har skaffet seg kompetanse i alle feltene, så han startet seg selvfølgelig et eget selskap. Et enkeltmannsselskap, fordi han merket at det var ikke så mange som hadde kunnskap om alt dette her. Men ja, videre har vi litt flere spørsmål. Men jo, når det kommer til at dere har funnet en ulykkeslast, dere bruker fortsatt loadfactor, eller sånn load combination factor? På 1 ikke sant?

Intervjuobjekt 4: Ja. Vi beregner den lasten som en ulykkeslast, sånn ULS. Så da blir det nyttet, altså egenlastene og 1 i lastfaktor på den eksplosjonslasten. Og så bruker vi å gunstigere materialparametere når det er en ulykkestilfellet.

Henrik: Jo, har du noen særlig erfaring på den dynamiske delen av lasten?

Intervjuobjekt 4: Nei, vi tenker på den som en ren statisk last. Men er det noe spesielt med det?

Henrik: Litt om.. hvis man skulle spesifisert den DLF-faktoren av lasten.

Intervjuobjekt 4: Ja, for det er der den bakes inn på en måte. Nei, her har vi nok bare brukt den standardverdien og så konvertert det til en statisk last, som vi kan anvende til å dimensjonere.

Henrik: Hmm. Og så, jo, når dere beregner slik avlastningsarealer og sånne ting, tar dere da normalt et utgangspunkt i alt tilgjengelig areal, eller tar en utgangspunkt i på en måte hvor mye ventilasjon som kreves for transformator-sjakt? På den som er klemt inne mellom to andre så må det jo kanskje sette, sånn som du sa, bruke i hele veggen.

Intervjuobjekt 4: Nei, altså, når vi vurderer, for det er jo en del av den beregningen, er jo å vurdere, eller å se på ventilasjonsarealet, det er jo den AV0. Og der, for disse sjaktene her, de som har åpen topp, da, sier vi sånn, der regner vi med at hele den toppen er ventilasjonsarealet.

Henrik: Ja. Men hvis dere skal beregne en transformator-sjakt som ikke har åpent tak, vil dere sette alle vegger som mulig avlastningsarealet, og så satt inn så mye luker dere trenger, eller vil dere brukt sånn ventilasjonsarealet til trafo-sjakten som utgangspunkt?

Intervjuobjekt 4: Ok. Det vi erfarte da, når vi gjorde akkurat det, det var at... Ja, for det husker jeg når jeg kom inn i prosjektet, så var liksom ikke dette her så gjennomtenkt følte jeg da. Da var det satt inn to små luker, nede på hver side av døra, som tilfredsstilte ventilasjonsbehovet til transformatoren. Og så var det laget en beregning, som viste at det rommet måtte ha en eksplosjonslast på sånn 450 kN per kvadrat. Og så var det sånn, ja, men det går jo ikke. Sier seg selv at en klarer ikke å lage en betongkonstruksjon som tar det. Så derfor så svaret er vel egentlig at vi, ventilasjonsarealet er langt mindre enn det arealet vi trenger for å tilfredsstille det der. Og det som var det kanskje ekstra, gjorde det ekstra problematisk, det er at... Jeg får ikke lov å sette på etasje for å se trafoene av en eller annen grunn, men trafoen er typ sånn opp hit. Det er dritsvær plass. Rundt hele trafoen. Det er nesten tre meter på hver side. Og det gjør jo at... Og så er det drithøyt her. Det er nesten fem meter under taket. Så det gjør jo til at i den beregningen her, så blir dette her volumet så stort. Så hvis man hadde kunnet senke ned den høyden der, så ville jeg trodde at man kan... Ja, der får du jo en AV0 som er mye mindre. Så det gjorde til at dette her krevde stort ventilasjonsareal. Og ja, romvolumet. Og det er jo kanskje noe å tenke på under designet for. Sånn som her så ble rommet bare egentlig

designet ut for at det er praktisk at man har dekket, at taket her er på samme nivå, hele veien. Og så ble romstørrelsen bestemt veldig tidlig, og da måtte vi ta i veldig. Vi måtte ha god klaring til alle sider, for i tilfelle Hitachi kommer med en kjempesvær trafo, så kan ikke vi gjøre endringer i designet vårt, seint? Kan liksom ikke lage dobbelt så stort rom. Det er lettere å bare putte inn en liten trafo i et stort rom. Men det får konsekvenser for eksplosjonslasten. Det er jo en erfaring å ta med seg.

Henrik: Spesielt når den beregnes sånn som den gjør.

Intervjuobjekt 4: Ja

Henrik: Ja, riktig. Så dere beregna størrelsen på sjakten før dere visste hvilke transformatorer som skulle stå inn?

Intervjuobjekt 4: Ja. Det er riktig. Det er jo sånn jeg oppfatter NFPA, det er et fett. Du kan jo putte en kanin inn i det, det er bare fordi at du skal fylle rommet med hydrogen. Det er det eneste det standarden bryr seg om. I hvert fall sånn som vi bruker den, det kan være at dere vet hvordan man skal gjøre dette litt bedre. Men det er i hvert fall sånn jeg gjør det.

Henrik: Ja, ja. Jeg har kommet nå til kapittel 8, hvor de nevner at de tar hensyn til litt sånn gassmiks. Det kan hende at du får redusert lasten litt hvis du klarer å ta for deg hele blandingen. Ikke bare hydrogen. Men den bryr seg ikke om hvor mye spenning som er i transformatoren, altså hvor mye gass som blir produsert. Det er mange parametre som den ikke tar for seg. Det er en veldig upresis beregningsmetode som jeg har erfart selv. Det er altså en stor del av oppgaven, er å litt kritisere den, men også se litt på hvordan man eventuelt kunne beregne den i stedet for. Da må man innom alle disse fagfeltene. Da går det an å beregne gjennom Simien, for eksempel. I denne beregningen er det nevnt fra simein hvordan, eller hvor mye energi som oppstår i en lysbue i en slik kortslutning. Så har man en utkoplingstid, hvor lenge en lysbue vil vare. Derfra kan man igjen regne hvor mye gass som blir produsert. Også ut ifra litt forskjellige ulykkesformer, om hvor mye gass som slipper ut før det antennes. Men at mengden gass burde være mye større parametre enn romvolum. Derfor vil lasten egentlig bli større med mindre rom, for da blir det mer trykk per areal enn større rom.

Intervjuobjekt 4: Ja, det gir jo mening, det.

Henrik: Og det er, han heter, han kalles MG Engineering, han som hadde kunnskap i alle disse fagfeltene. Han har lagd et regneark på dette her, men det er det han på en måte tjener en del av. inntekten sin på. Så han kan ikke dele det, ettersom det er verdt mye. Men han har lagt fram punkter som må tas innsyn til, så det er fullt mulig å beregne en mer realistisk last her. På en litt mer standardisert måte. Men ja, videre, vi har sånn flere spørsmål. Ja, nå har jeg fått godt inntrykk da. Så det er jo hovedsakelig, det man fyller inn er jo hovedsakelig romstørrelse, og enten avlastningsareal eller hva bygget tåler av trykk, så får du – gåt du en av veiene.

Intervjuobjekt 4: Ja, man går en av veiene. Ja, egentlig.

Henrik: Sånn at ting som, hva som er inni rommet, som skaper turbulens og sånt, blir ikke tatt med i det hele tatt?

Intervjuobjekt 4: Nei, turbulens, det blir ikke mer tatt med eller vurdert.

Henrik: Så det samme, som utforming av rom og sånt, eller?

Intervjuobjekt 4: Nei, romutforming blir heller ikke tatt med. Nei. Der er det andre ting som bestemmer det, da.

Henrik: Nei, jo, et annet spørsmål. Når det kommer til størrelsen på dette rommet, er det noen krav som du er klar over, når det kommer til størrelsen på et trafosjakter? Eller er det hovedsakelig at den får plass til transformatoren, og at den skal tåle en ekspansjonslast?

Intervjuobjekt 4: Nei, det er noen avstandskrav. Litt sånn i forhold til at man skal kunne ferdes trygt rundt der og kunne jobbe der. Og det er jo et regelverk, jeg er ikke sånn nek... Jeg er ikke noen god på dette, men... Jeg mener det er et regelverk som beskriver dette her litt. Nek 400. Har du hørt om det?

Henrik: Nei, men det er veldig interessant.

Intervjuobjekt 4: Jeg hadde jo prat med en kar, Nek 400. Skal bare søke litt i mailer her. Ja, Norsk Elkraftkomite. Norsk Elkraftkomite lager ting. Det er litt sånn som betongelementboka, eller Norsk Betongforenings publikasjoner. Litt sånn, det er ikke noen myndighetskrav, men de kommer med anbefalinger og lager veiledninger, noe som er litt sånn bransjenorm. Der snakket jeg med en kar om dette her med eksplosjon, og der gikk vi inn på hva som brukes på sånne lavspenstasjonstransformatorer. Og der var det igjen at de har jo sånne her regneark, har du sett det?

Henrik: Å, nei.

Intervjuobjekt 4: For eksplosjonslaster. Eller for, ikke for selve lasten kanskje, men mer for avlastningsflaten. Du kan regne ut avlastningsflaten.

Henrik: Ja. Det hadde vært veldig interessant å se hvilke parameterer de tar utgangspunkt i.

Intervjuobjekt 4: Ja, og da må dere gå til Karl Jørgen igjen og spørre litt mer om dette her. Ja. For han har litt mer erfaring enn meg på sånne ting. Ja. Så jeg er litt ny på dette med trafo-verden.

Henrik: Ja, det er mye å sette seg inn i der.

Intervjuobjekt 4: Det er en av disse NEk-forskriftene, som også følger med et slikt regneark på det, som gjør at du kan regne ut avlastningsflater på lavspenstasjonsformatorer.

Henrik: Ja, fordi en vi har sett litt på er renblad, har også en sånn her liten beregnings...

Intervjuobjekt 4: Ja, men det er kanskje det jeg mener? Det er kanskje det jeg tenker på?

Henrik: Men den er altså superenkel, akkurat som...

Intervjuobjekt 4: Ja, men det er den, ikke tenk på det nek-greiene da. Den er den jeg tenker på.

Henrik: Fordi den har bare... Akkurat som NFPA er den enda enklere, så tar den bare utgangspunktet romvolum og sier at... Jeg vet ikke om det er romvolum eller innvendig areal, men da er det sånn... 2% skal være avlastning. Ja. Og da har det ikke noe å si om hva transformatoren skulle være på eller noe sånt. Samme der, superenkel. Stemmer. Men ja, vi kan ta en prat med de, og kanskje vi har noen beregning. Det hadde vært litt interessant å vite hvilken beregning de støtter det opp mot.

Intervjuobjekt 4: Ja, da går det an å ta kontakt med REN

Henrik: Nei. Da tror jeg vi har kommet gjennom det meste. Det var litt interessant å høre fra deg angående den prosjekterings-delen, sånn hvilke informasjon får vite når og hva som blir prosjektert først og sånt. Som at sjakta blir prosjektert lenge før transformaten, blant annet.

Intervjuobjekt 4: Ja, det er jo veldig spesielt. Og det er nok sikkert flere sånne eksempler, men akkurat i det prosjektet her så er det jo veldig viktig at man bare får bygget ferdig. Så vi hadde ikke tid til å vente på alle informasjonen. Vi måtte bare bygge noe, og fortløpende justere designet, og da må man ha litt slakk i, ja, så det har blitt litt store dimensjoner på ting. Sånn er det.

Henrik: Er det veldig kostbart å gå, hvis du setter utgangspunkt i store dimensjoner, er det kostbart å gå tilbake? For å redusere eventuelt?

Intervjuobjekt 4: Vi spurte jo kunden, når vi fikk transformatoren, og så at det var jo bare en bitte liten klump inni der. Skal vi revurdere designet? Men da fikk vi beskjed om at det prioriterer vi ikke. Det er ikke noe, vi bygger det sånn som det er tenkt. For det blir jo større prosjekteringskostnader, men jeg tror nok de hadde spart på det. Til syvende og sist, når vi så at det kunne, jeg tror man kunne justeres da. Men det får mye følgefeil for andre, ikke sant? Designet er låst, og det er mange andre fag her inne, som gjør at det er vanskelig å endre ting i sånne store prosjekter.

Henrik: Ja. Ja, jeg skjønner. Fordi da gjør du det vanskelig å ta utgangspunkt i en mer reell last, hvis du ikke vet hvilken transformator som er inni bildet.

Intervjuobjekt 4: Ja, det er jo et godt poeng. Og det var litt av det som var problemet når vi kontaktet Gexcon også. Så hadde ikke vi god nok informasjon å gi dem. Men da sa de at da kan de også gjøre noe konservative antakelser. Fordi vi fikk noe informasjon fra Hitachi på det tidspunktet. Så de hadde nok informasjon til å gjøre en brukernes beregning, men ikke alt.

Henrik: Nei. Fordi de nevnte for oss at en sånn lettvindt beregning for dem kan gjøres på veldig kort tid hvis man har nødvendige verdier med en gang. Men i sånne prosjekter får man ikke det, og da tar beregningsprosessen litt lengre tid. Men hvis man skulle sitte på alt man visste at de trengte, så kan du få en beregning i løpet av en dag, 24 timer. Og hvis de tar timesbetalt, da blir det ikke lenger så dyrt. Men en slik analyser.

Intervjuobjekt 4: Nei, nei, nei. Det er jo... Så... Det er kanskje litt sånn at man... Når man først lager en trafo, så er det en stor installasjon og en stor sak at man ikke har lyst til å pine dette helt ned til beina, heller. De som lager disse reglene, har jo... Man har tjent på å lage noe som er robust.

Henrik: Ja, for vi har også fått høre der at det kommer litt an på hvor kritisk transformatoren er, men la oss si den gir etter og at det ikke er noe risiko for skade og sånn. Det er jo en kritisk faktor. Men hvis transformatoren eksploderer og trafosjaktten gir etter, så tar det kortere tid å bygge opp en ny trafosjakt enn å bestille en ny transformator, på en måte. Så du har tid til å sette opp en ny en, hvis det skulle sprengte.

Intervjuobjekt 4: Ja, det er jo sant. Det vi gjorde som et ekstra tiltak her, er at hvis vi ser på innsida av sjakta, så er det sånne plater som er murt opp sånn... Dette her. Det er jo 250 mm tykke porbetong-XLA-brannelementer som mures opp på innsida av sjakta. Så du ser inni her, der er betongen. Og så på utsida, så legger vi denne her sipor-X betong-elementene. Og de er utrolig motstandsdyktige mot brann. Så de skal... Altså leverandøren har ikke noe dokumentasjon på det, men vi mener at denne skal kunne stå imot når brann... Når det kommer en brann i trafoen, så kan det kunne brenne inni her

i 48 timer. Og så skal betongen bak fortsatt ikke ta skade av det. Så under en brann... Fordi det er klart, hvis det begynner å brenne i disse trafoene, så kan de ikke pumpe opp olje. Så det er jo helt super-krise. Så derfor så... Så er tanken at hvis det begynner å brenne her, så skal ikke disse veggene rundt ta skade av det da. For da skal du kun ta av disse platene, og så bygge opp noe nytt. Her er det sånne skinner, det er støpt inn skinner.

Henrik: Ah! Ok, så det er superenkelt å ettermontere.

Intervjuobjekt 4: Ja. Ja, så da kan du mure opp det der igjen. Så er det klart, gulvet får du jo ikke beskyttet, så der er jo igjen et spørsmål om hvordan det ser ut. Men da må man belage seg mer på å reparere betongen som er der da. Så det er for å få ned nedetiden ved en ulykke.

Henrik: Ja. Fordi det er vel det skinnene er til også, at du ikke enkelt kan bytte transformator.

Intervjuobjekt 4: Ja. Ja, ikke sant? Da bare drar du den ut, og så hever opp alle disse her, ulykkeshengslene, og så drar den ut.

Henrik: Ja, det er riktig. Har du noe å si på sånne her, hazard, altså sånne eksplosjonsfare rundt transformatorer, er det et tema når det kommer til slike prosjekteringer? Hva som står rundt sjakten, og hvor langt eventuelt eksplosjonen kan nå hvis den sprenger?

Intervjuobjekt 4: Ja, det var jo, det var med i vurderingen, når vi bestemte blant annet hvordan disse her skal fungere. Ja. Det er klart det har jo noe å si her også. Her er det nok dørene som er de svakeste punktene. De må kunne motstå den eksplosjonslasten. Men her også, så kan vi ikke risikere at alle disse her panelene her bare smeller ut fordi det går en vei her. Så det kan jo potensielt være noe her, mennesker også. Men de må slå ut, sånn at hvis du står foran så får du deg en karamell. Men de er hengslet, sånn at de slår ut, men de er hengslet i toppen. Og da vil de, i teorien hvertfall, bare slå ut og slenge tilbake. Dette her er en sånn rister strand ventilasjon og sånne ting leverer dette her.

Henrik: Ja, riktig. Ja, vi har allerede snakket om stranda faktisk. Og, altså, hvis de fortsatt skal være innbruddssikre når de går ned igjen, at det virker som en utrolig effektiv løsning, i den forstand.

Intervjuobjekt 4: Ja, det høres jo bra ut, og det er klart at man må nok sikkert gå over disse her hvis det skulle eksplodere så må man nok studere litt, men de er jo innbruddssikre. Vi har satt inn en sånn her armeringsnett på insiden her.

Henrik: Ja, riktig. Men ja, et problem igjen med at de er hengslet er at trykket vil rekke å bygge seg opp mer, fordi de bruker lengre tid til å åpne seg. Fordi, ja, det kommer litt an på beregning og sånne ting da. Men, for noen beregninger kreves det at avlastningsluken skal virke etter allerede 5 millisekunder eller noe sånt. Ok. Og da er hengselen et lite problem, for da må de smelle ut. Men igjen, så er det litt interessant det du sier at man ønsker egentlig ikke å pine det ned til skjelletet, altså absolutt hva du trenger. Når det kommer til eksplosjoner så, i guess de fleste liker vel å være noe konservativ i hvert fall.

Intervjuobjekt 4: Ja, ja, ja. Det er en reell ting. Det har jo skjedd ulykke med sånne eksplosjoner. Ja, det skjer.

Henrik: Fordi, dilemma igjen er jo at det skjer så sjeldent at det er veldig vanskelig å vite hvor presise beregningene er, selv avanserte analyser, men også standardene som er laget, liksom.

Intervjuobjekt 4: Ja, ja, akkurat det. Og du kan jo ikke sjekke etterpå om man hadde riktig eksplosjonslast. Ingen som kan ta deg på det.

Henrik: Nei. Og da, igjen, når det skjer så sjeldent, så er... Ja, altså... Hvor... Altså... Det er jo... Når det aldri skjer, så er det litt fascinerende hvor konservativ man kan være, med tanke på at det i flest tilfeller ikke vil være relevant. Ja. Det er et diskusjonstema vi tenker å ta opp hvertfall. Men ja, da tror jeg vi har fått svar på det meste. Det er også veldig interessant å høre prosjekteringsdelen spesielt.

Intervjuobjekt 4: Ja, det er kjempebra. Da må dere ha lykke til, da. Bare ta kontakt igjen hvis det er noe vi kan hjelpe med.

Henrik: Det hadde vært supert. Vi kan sende mail hvis du skulle dukke opp et eller annet spørsmål eller noe.

Intervjuobjekt 4r: Ja, ja, ja.

Henrik: Det hadde vært supert. Også setter vi en utrolig stor pris på samtalen.

Intervjuobjekt 4: Ja, i like måte.

Henrik: Så får du ha en god helg videre, da.

Intervjuobjekt 4: Jo, dere også.

Alle: Ha det.

Vedlegg 10

Intervju utført: 18.03.2024

Til stede:

- Intervjuobjekt 5
- Henrik Skjerven Petersen – student
- Geir Viste – student

Intervju tid: 11:00-12:00

Sted: Teams

Intervjuobjekt 5: Hallo

Geir: Heisann, det er Geir Viste her. Hører du meg?

Intervjuobjekt 5: Ja, det gjør jeg!

Geir: Sånn nå skal jeg prøve å slå sammen alle tre her.

Intervjuobjekt 5: Ja, det er bra. Ja, det må bli bra hvis alle tre er til stede og kan stille spørsmål!

Henrik: Hei

Intervjuobjekt 5: Hallo ja. Er det noen av dere jeg har truffet før?

Geir: Vi snakket på telefon for noen uker siden. Men ikke i person, nei.

Intervjuobjekt 5: Dere har ikke vært på brannforum?

Geir: Nei.

Intervjuobjekt 5: Dit bør dere gå vet du. Det er i februar hvert år. Da snakkes det mye om sånne ting som dette her.

Henrik: Blir ting som brannforum lagt ut eller?

Intervjuobjekt 5: Ja, gå inn på Tekna-kurs. Det er Tekna som arrangerer dette. Jeg startet dette for ... Det var 1992, tror jeg, eller 1994. Så jeg har vært med på 31 brannforum-kurs. Jeg har ledet de fleste av dem. Men nå har jeg etter hvert ment at andre bør overta. Tekna driver det, så bare ta kontakt med Tekna-kurs. Jeg tror det var i Stavanger nå sist. Det er litt forskjellige byer hver gang.

Henrik: Ja, stilig. Det skal vi sjekke opp i.

Intervjuobjekt 5: Der må dere dra vet du, for der blir sikkerheten ... Holder dere på med masteroppgave eller noe sånn?

Henrik: Ja, det er riktig. Vi skriver maste dette semesteret her. Vi tok opp det temaet sekundære eksplosjoner. Transformator sekundære eksplosjoner. Så ble vi informert om deg, at du hadde en god del kunnskap.

Intervjuobjekt 5: Jeg har jobbet med dette i veldig mange år. Da er det viktig å oppgi referanser. Det er jo mye snakk om masteroppgaver nå.

Henrik. Haha, ja det er et veldig godt poeng!

Intervjuobjekt 5: Dere kan bare bruke dette for alt det har vært. Jeg har veldig mye underlag, dokumentasjon på disse tingene. Men dere fikk jo noe.

Henrik: Ja, det var veldig interessant. Du kom inn på mange av de tingene vi har lurt på, med det du sendte. Den presentasjonen, har du en forskningsartikkel, som den er basert på?

Intervjuobjekt 5: Nei, jeg har jo jobbet med ... Jeg har jobbet med mange kraftanlegg i Norge. Jeg har vært på 120 kraftanlegg og gjort mye risikoanalyser og sånne ting. Men det var et stort prosjekt, SEBK-prosjekt, som jeg ledet. Har dere vært borte i Gexcon?

Henrik: Ja, det har vi.

Intervjuobjekt 5: I Bergen er de veldig dyktige og er vel de eneste som kan dette med sekundære eksplosjoner, bortsett fra norsk Hydro som har mye kompetanse der. Jeg husker ikke hvem i norsk Hydro nå som jobber det, men Hydro energi mener jeg. Det er et firma i Hydro som kan mye om dette. Det er ganske kostbart det programmet som man benytter for å beregne disse trykkene. Jeg har ikke anskaffet meg det programmet, men jeg har engasjert Gexcon eller Hydro når jeg har behov for å komme nærmere ned i trykk. For det er ganske dyrt å sikre seg hvis trykkene blir store. Når det

gjelder eksplosjoner, så er det to typer eksplosjoner. Det ene er lysbue-eksplosjoner uten olje. Det er greit å beregne, det kan dere sikkert, en har formler for det. Å vite energien som tilføres lysbuen, hvor lenge den står på, og så videre. Det er enkelt å beregne, og det kan dere fastslå ganske nøyaktig, hvor stort det trykket blir. Verre er det med lysbuer i olje, inne i trafoen. Der er det mye vanskeligere å beregne.

Henrik: Du nevnte litt i dokumentet ditt at man tar utgangspunkt i lysbuelengden.

Intervjuobjekt 5: Det er mange ting, både lengde og litt av hvert som må inn der. Hvis du har en transformator som står i drift. Så kan det oppstå en feil. Det er ofte en fase mot jord, men det kan også være to faser mot jord. Det er litt forskjellig, men det kan oppstå en feil og en lysbue. Der skjer det ingen eksplosjon inni transformatoren. Det oppstår bare et voldsomt trykk. Og det trykket utvikler seg, dess lysbuen står. Energien er viktig. Man må regne ut. Det kan man lett regne ut egentlig. Korslutningsenergien som oppstår, den er jo først og fremst avhengig av hvor lang tid lysbuen varer. Et greit tall er det som jeg har skrevet her. Det utvikler 0,1 kubikkmeter gass per megajoule lysbueenergi. Det er et ganske konstant tall. Slik at når du finner ut hvilken lysbueenergi som foreligger, så vet du også hvor mye gass som utvikles. Det er gassen som er farlig. Den betyr et.. dere kan tenke dere en lukket transformator tank. Det oppstår en gass inni der, og trykket kan bli veldig stort. Hvis trykket er så stort at transformatoren... Jeg har en skisse som dere så sant? Transformator kassen kan sprenges. Da er det skjedd en alvorlig sak. Da blir det, når den sprenges på grunn av trykket, ikke på grunn av noe annet. Ikke av eksplosjon, ikke av forbrenning. Det er bare trykk som oppstår. Når trykket sprenger transformator kassen, da sprutes ut av den transformator kassen oljedamp og disse reaktive gassene. Hvis transformatoren står i et transformatorrom, så er det slik at gassene blander seg med luften i det rommet. Man får på et eller annet tidspunkt en antennelse. Det blir antennbar gass. Hvis den er for feit, så blir det ikke antennelse. Hvis den er for lite, så blir det ikke antennelse. Når den er feit, så blir det antennelse. Da får man en veldig stor eksplosjon i transformatorrommet. Det trykket, eksplosjonstrykket, er det vanskelig å beregne hvis du ikke bruker sånne flacsmetoder som Gexcon for eksempel bruker, og hydro. Jeg kan ikke beregne det, men jeg har bestilt beregninger. Da får jeg ut kurver... Vet ikke om dere så disse kurvene på et av de arkene jeg sendte til dere? Der ser du en plott. Det er Gexcon som har laget disse kurvene. Da kan dere se trykket med en viss sannsynlighet. Sannsynligheten er vesentlig her. Med en veldig liten sannsynlighet, så blir trykkene større. Men med store sannsynligheter, så blir de mindre. Kraftselskapene har vel sagt, i alle fall i Statkraft og andre kraftselskaper, også i oljeindustrien, for de har jo de samme sakene på offshore, så har man sagt at 10 i minus 4, sannsynlig på 10 minus 4, er den man skal legge seg på. Den kurven som jeg har vist dere, der har jeg lagt en sannsynlighet på 10 minus 5. Det er fordi oppdragsgiver der ville ha det sånn. Jeg tror dette er fra Oslo transformasjonsstasjon på Smestad. Denne kurven her. Og i Oslo var det veldig kritisk med hvis det skulle skje noe med det anlegget der, så ville jo halve byen gå uten strøm. Så de har sagt at der er man ekstra konservative. Gexcon regner ut det trykket, og da får man noe som kalles DAL. DAL er dimensjoneringstrykket som oppstår i transformatorrommet. Og da kan det være sånn at trykket er såpass lite at veggene og strukturen i transformatorrommet holder. Man må sikre inngangsdøren og man må sikre ventilasjonsåpninger. Da bruker man sånne eksplosjonsspjell. Et firma, TP-miljøteknikk i Drammen har kommet veldig langt. De leverer mange sånne eksplosjonsspjell som står foran ventilasjonsinngangene. Slik at de lukkes i løpet av 50 millisekunder. Og så har du en ekstra stålplate innslående foran døren. Kravet er jo at døren inntil transformatorrommet skal være utslående. Og hvis den er utslående så blåser den ut med en gang. Og det gjelder ofte at du har en stålplate som er innslående i tillegg til den utslående døren. Og når man forlater transformatorrommet så lukker man den stålplaten. Og den holder trykket. Hvis trykket er noenlunde lite så sikrer man transformatorrommet at eksplosjonstrykket ikke kommer ut av det. Det er vesentlig. Og hvis trykket er så stort at man regner med at det skjer noe med vegger og tak i transformatorrommet så spres jo dette trykket ut i resten av stasjonen og kan gjøre skade. Og disse

beregningene her og disse vurderingene her har jeg holdt på med i 30 år. Det er veldig enkelt å regne på dette bortsett fra Gexcons beregninger, de må noen gjøre. Men alt annet kan man beregne selv.

Henrik: Riktig. Har du noen ideer om hvor stor en DAL som transformatorbygg pleier å ligge på? Som man pleier å bruke som dimensjonering trykk.

Intervjuobjekt 5: Ja, det er sånn kanskje 100 millibar som det er vist på den tegningen er en verdi. Det kan være mye mindre trykk, 20 millibar. Eller det kan være mer.

Henrik: Ok, så det er veldig varierende?

Intervjuobjekt 5: Det er veldig varierende og derfor må det regnes på hver gang. Man begynner da med lysbue-energien. Og den regner man ut fra mange kriterier. Det er avstander mellom vikling og jord og det er kortslutningsenergi fra primærsiden på trafoen, og sekundærsiden på trafoen som man må se på. Og jeg har vel lagt ved også en figur som viser et eksempel på en sånn trafo hvor du har feilsted på sekundærsiden og på primærsiden. Ser du på den?

Henrik: Ja, jeg har den oppe.

Intervjuobjekt 5: Hvis du har et feilsted på den ene eller den andre siden så må man regne ut hvilken energi blir det ut av dette her. Og da har du bidrag fra nettet inn på feilstedet. Eller du har bidrag fra generatoren. Og da må du bare transformere opp slik at du får den summen av energi fra generatorsiden og fra nettsiden inn på feilstedet. Og hvis feilstedet er på generatorsiden så må du transformere nettsiden ned til generatorsiden. Og når du får da den energien der, så er det en inngangsverdi for Gexcon å beregne.

Henrik: Ja, riktig. Det er vel hovedsaklig det de trenger til å kjøre analysene sine. Det er vel romvolum og lysbuespenning.

Intervjuobjekt 5: Ja, og så er det en del andre ting som er veldig viktig. Det er... Nå er det en som ringer meg, men jeg bare lar den gå ut, tenker jeg. Så er det da turbulensfaktoren, for eksempel. Hvor mye for dette trykket opp som oppstår, det er avhengig av størrelsen på transformatorrommet i forhold til transformatorstørrelsen. Hvis det er et veldig stort transformatorrom, så får man et mindre trykk enn hvis det er et trangt rom. Tidligere bygde man jo kraftstasjonene slik at volumene skulle være så små som mulig. Man måtte ale seg på de transformatorkassen rundt i rommet. Dette skaper mye turbulens og høyere trykk. I moderne, nye transformatorstasjoner er rommene mye større. Man sparer ikke på så mye. Det er jo blitt billigere å sprengte ut også, så man må passe på å få rommene store nok slik at man tåler mer. En annen ting er at transformatorkassen er veldig stiv. Jeg har diskutert med ABB og Ludvika om at de burde lage transformatorkassene litt mer fleksibel slik at de ikke sprenges. De kan godt bule ut, men de må ikke sprenges. Men der har det ikke kommet noe ut av dette, fordi det vil fordyre transformatorprisen. Det er ikke leverandørene så interessert i å gjøre, uten at de blir bedt om det. Sånne hendelser som dette her.. Problemet med det her, hvis det er et problem, det er positivt også for såvidt. Det er veldig sjeldent at disse hendelsene inntreffer. Jeg skrev jo litt om det til dere, hvor sjeldent det er. NVE har jo sagt at kraftselskapene skal legge frem risikoanalyser hvor det skal tas hensyn til at slike transformatoreksplosjoner kan inntreffe. Selv om de er veldig sjeldne, så kan de få veldig store konsekvenser. Det er en mulighet for at kassen kan sprenges, så må man ta høyde for å seksjonere transformatorer. At man har noen eksplosjonssperringar mellom transformatorene. For eksempel i ***** transformatorstasjon så har man gått ut fra at man kan tillate, der er det 11 store krafttransformatorer som står nede i bakken der. Man tillater at en eksplosjon inntreffer på en av de transformatorene, uten at det skal innvirke på de andre 10 transformatorene slik at stasjonen skal fortsette å levere kraft. Det var en oppgave jeg

jobbet selv med i risiko, med det prosjektet der, å bygge den stasjonen. Det er mange nye stasjoner som sier at hvis det er to transformatorstasjoner, så må man tillate at en går i filler og den andre fortsetter å levere kraft. Dette er nye krav som man stiller til slike ting.

Henrik: Ok, så måten man gjør det er at for eksempel veggene mellom transformatorene skal tåle mer enn de andre veggene? Hvis noen vegger gir etter, så er det ikke veggene mellom transformatorene?

Intervjuobjekt 5: Nei. Og det man også gjør, det er å legge transformatorene i egen sjakt. Dette er jo et problem når du får transformatorene inne i fjellet, sammen med stasjonen. Hvis du ser på alle disse gamle kraftverkene, så er det jo ikke tatt hensyn til dette i det hele tatt. Der ligger transformatorene inn mot maskinsalen, de ligger i maskinsalen, de ligger i ankomsttunnelen og mange sånne ting. Nye kraftstasjoner, så lager man egne sjakter for transformatorene. Slik at da en transformator smeller der, så blir det bare transformatoren som blir skadet. Det er slik at man gjør det når man lager nye stasjoner. Og når man skal utbedre gamle stasjoner, så må man se hvordan det står til. Prøve å legge eksplosjonsbarriere mellom trafoene, og mellom trafoene, at ikke maskinsalen ødelegges. Og noen ganger er det vanskelig å unngå det, så i ***** kraftstasjon for eksempel, der ligger transformatorene mellom aggregatene under maskinsalen. Og der har man tatt høyde for at du har eksplosjonspanel opp i maskinsalen, slik at du får en skade i selve maskinsalen. Men ikke skade på mer enn den ene transformatoren som smeller. Men da må man ta tryksikre dører og sånne ting inn til maskinsalen. Det må gjøres en god del beregninger på hele anlegget, hvis det er umulig å sikre transformatorene på annen måte. Det er veldig forskjellig hvordan man utfører sånne ting.

Henrik: Ja, den ser jeg. Ja, for du har jo mye erfaring med avlastningsluker?

Intervjuobjekt 5: Jada, det er det også en del erfaring med. Og at man tar sikte på at hvis du ikke kan stenge trykket inne, så må man sørge for at trykket kommer ut et eller annet sted. Da kan man helst lage avlastningsåpningen så stor som mulig, at for eksempel en hel vegg mot en gang eller korridor ryker ut. Så man må vurdere litt hva som kan skje. Problemet er ofte at du ikke vet hvor transformatoren sprekker. Det er størst sannsynlighet for at det skjer noe i toppen, for der har du de største temperaturene. Det er ofte at det sprenge i øvre del av transformatoren, men det er ikke helt sikkert. Det kan være hvor som helst egentlig på trafoen. Så man må regne med at det kan skje hvor som helst, og ta det mest ugunstigste stedet hvor det inntreffer, og regne ut ifra det.

Henrik: Ja, jeg skjønner. Jeg ser her at når det kommer til DAL, dette DALtrykket, så er det også tatt med en effekt som det kaller rebound. Er det noe man tar med i beregningene?

Intervjuobjekt 5: Rebound? Altså du tenker på dører og sånne ting som kan bule ut?

Henrik: Ja, det synes ikke så mye om den, men du har en illustrasjon av trykket som blir sendt ut, og så er det en rebound tilbake.

Intervjuobjekt 5: Ja, det er riktig. Hvis du har en dør som får et stort trykk, så får du en rebound på den døren tilbake, og den kan ryke på grunn av det. Fordi det er antagelig mot slagretningen, ikke sant? Ja, det må regnes på.. byggfolket må inn i bildet her for å finne ut hvor mye disse transformatorene tåler, og hvor mye dørene tåler, og sånne ting. Og så må man ta hensyn til at alle svake punkter må tåle DAL-trykket som man kommer frem til, som jo er beregnet av Gexcon. Og det er en ganske kompliserte regnemetode som dere antagelig kan litt mer om?

Henrik: Ja, vi har allerede snakket med Gexcon, så vi har fått litt innblikk der.

Intervjuobjekt 5: Ja, det er bra. Hvem er det dere har snakket med der?

Henrik: *****

Intervjuobjekt 5: ***** har jeg jobbet mye sammen med. Jada, han er veldig flink. Vi har vært sammen på kraftverk vi. Og han har regnet på veldig mange ting, når det gjelder så tror jeg vi var sammen en gang. Han kan veldig mye om dette. Så da har dere truffet på riktig kar.

Henrik: Det er godt å høre. Ja, fordi den situasjonen vi ser litt mer på er ikke transformator under bakken, men heller en litt enklere transformator som står inni en sånn transformator. Et bygg, da.

Intervjuobjekt 5: Et bygg på bakken, ja. Er det en bygg som er lukket med vegger og tak?

Henrik: Ja, det er det.

Intervjuobjekt 5: Det er mye interessant rundt sånne stasjoner. Det er jo ofte da veldig enkelt å få laget en eksplosjonsåpning ut av transformatorrommet på en side hvor det ikke er folk eller hvor det ikke er noen trafikk. Du ser ofte transformatorer som står langs en vei og så videre. Der har du ikke tenkt i det hele tatt på at en dør kan strenge ut og skade folk som går forbi deg. Og det er, ja, og så vet jeg ikke om dere skal også snakke om branner? Etter en slik eksplosjon så oppstår jo en transformatorbrann. Det står litt om, jeg sendte dere med en sånn ROSanalyse, var det ikke det?

Henrik: Ja, du sendte oss et dokument hvor du snakket litt om sekundære eksplosjoner. Det kan oppstå brann i etterkant. Jeg er veldig spent på å høre litt mer om brannen altså.

Intervjuobjekt 5: Ja, fordi at brann er en sak som ofte blir håndtert feil. Vi prøver jo å unngå å ha noe automatisk slukkesystem for slike branner. Hvis vi står ute i dagen, og de transformatorhusene står på et øde sted, så er det bare å la den transformatoren brenne ut. Ofte er det slik at man har en avlastning i toppen av taket, og hvis det er flere transformatorer som står i et sånt bygg, så prøver man å sikre de andre transformatorene at de ikke blir ødelagt av brannen. Brannen brenner ut, og den vil brenne ut i løpet av et par dager. Da vil resten av olja, det er også viktig når det skjer en sånn ulykke, da vil olja renne ut av transformatoren. Det står vel beskrevet i det jeg sendt også? Tidligere hadde man jo steinfilter og så videre under transformatoren. Det var en fullstendig feil vurdering at man innførte det overalt. Nå tar man bort alt sånt feil, slik at oljen kommer rett ned. Noe av oljen er brennende nedover, men temperaturen på den samlede oljemengden som kommer ned, den er vanligvis ikke større enn drifttemperaturen på oljen, og den antennes da ikke den slukker av seg selv. Oljen må jo ha en temperatur på 145 grader for at den skal brenne. Det må være noe tvist og noe møkk og skitt der de transformatorgruvene tar fyr. Det er veldig viktig å ha nakne, helt glatte transformatorgruver som kan infisteres, og ikke noen stein eller noe, bare går rett ned i graven. Den oljen brenner ikke. Det som kommer til å brenne opp er alt olje og papir inni selve transformatoren. Det er jeg ganske sikker på dette vil skje på den måten, og vi har hatt eksempler på det også, at det er en veldig grei måte å gjøre.

Henrik: På transformatorer som står ute, er det vanlig å ha vegger som gir etter?

Intervjuobjekt 5: Ja, et sted må det gi etter. Det beste er å ha det i toppen. Da kan det bare brenne der opp, og det brenner skikkelig. Det er under kontroll, man prøver ikke å slukke det. Man bare lar det brenne ut. Trafoen er ødelagt allikevel, så det er bare å la det brenne opp. Ja, men det kommer an på hvor trafoen ligger. Hvis trafoen er i nærheten av bebyggelse, og et område hvor man ikke kan ta hensyn til at den går ut i friluft uten folk til stede, så er det et eneste slukkemiddel som vi bruker da, og det er Deluge. Det er ikke sprinkel, men Deluge spruting av vann ut under høyt trykk. Der er

det en forskrift, en amerikansk forskrift som brukes på dette, og der er det flere firmaer i Norge som leverer slike Deluge-anlegg. Og da må man bygge inn det. Når det gjelder transformerer inni fjellanlegg, så vil det ofte være veldig mangel på luft. Det blir ikke noen voldsomme branner ut av dette her, og jeg har aldri anbefalt at det legges inn sprinkleranlegg i slike stasjoner. Det er mange steder de forlanger det, blant annet i Oslo. Energi har de forlangt å få et sprinkelanlegg på transformatorrommet, så der er det gjort. Det er selvfølgelig veldig sikkert og veldig greit, men det er dyrt, det er kostbart anlegg, og det må testes ut. Det er veldig komplisert i drift på sånne anlegg. Nå prater jeg vel litt om hverandre her, men det er en veldig grei... Hvis man går inn og ser hva som skjer, så blir hvert eneste anlegg forskjellig fra et annet anlegg. Så man må ta anlegget for seg og beregne hvordan man vil gjøre det. Og det er det jeg har levd av i mange år, å gjøre sånne ting. Det kaller man for seksjonering. Det er trygg seksjonering, som er den verste børstingen som vi først tar fatt i. Og så er det brannseksjonering, for å hindre en brann som oppstår, for å sjekke at den ikke sprer seg over dager med nødde ting. Så det er vel sånn der. Og så er det å sjekke på lysbue-ekspløsjoner også. Når man gjør en risikovurdering for et kraftanlegg som man må sjekke av hvor det kan oppstå lysbuer, og hvilke trykk oppstår fra lysbuer. Og de trykkene regnes jo eksakt ut, hva de kan bli. Og lysbue-energien, er hele saken der, det man må finne først ut. Og har man først det tallet der, så er det lett å regne ut forresten. Enten ved å levere dataene til Gexcon, eller å regne ut selv hvilke trykk det blir fra lysbuen i olje.

Henrik: Ja. Fordi litt av problematikken som vi har kommet over, og som vi har snakket med blant annet Multiconsult, som driver og prosjekterer noen sånne trafobygg. Og hvis de skal prosjektere et litt mindre bygg, altså det er ikke en sånn veldig kritisk transformator da, så er det veldig kostbart å gjøre en sånn ordentlig omfattende analyse med å inkludere Gexcon og få en ordentlig flacs-analyse av ulykken og gjøre en risikoanalyse og sånne ting.

Intervjuobjekt 5: Det er derfor mange ikke gjør det. For det koster 150 000, og det tar ikke folk seg råd til.

Henrik: Riktig. Så Gexcon har også nevnt en sånn, vi kan kalle det en forenkelt konservativ beregningsmetode. En adiabatisk metode hvis du regner på helt lukket volum. At du regner trykket fra, eller du regner energi fra lysbuen, og så får du da et gassvolum. Så legger du også inn en energimengde fra oljedamp, som også eventuelt har sprutet ut i rommet. Da tar du en forutsetning at denne transformator-kassa har brutt da. Og så regner du med at det skjer en antennelse, og at det er optimale blandingsforhold med oksygen. Og så får du en gassky som er en reaksjon av eksplosjonen. Og så har du det nye gassvolumet, og så deler på det originale volumet, og så får du en endring i trykk derfra.

Intervjuobjekt 5: Ja, det er veldig bra. Jeg har også vært med på det at hvis de ikke vil engasjere Gexcon, eller gjøre sånne flacs-beregninger, så har jeg blitt enig med oppdragsgiveren at vi sammenligner det som kan skje i et kraftanlegg med et annet anlegg som er lignende, og hvor det er gjort en flacsanalyse. Det har skjedd en del ganger, og da har man tatt litt i da, man har dobbelt tingene ikke sant, slik at man er sikker på at man er innenfor en 10 minus 4 hvis det er det som er kriteriet for risikosannsynligheten. Det har også skjedd, men han vet veldig mye om dette her, og hvordan man kan gjøre det litt enklere kanskje. Han har lang erfaring, så det er veldig bra.

Henrik: Men er det ikke litt problematisk med at de tidligere flacsanalysene er sånn kraftsensitive, og derfor ikke mulig for andre å eventuelt sammenligne med?

Intervjuobjekt 5: Ja, ikke sant? Og da blir det vanskelig. Men det går jo også an. Jeg har vært med på det også, å bli bedt om å gjøre en kvalifisert gjetning. Det har jeg gjort. Så det er mange steder hvor det er gjort. Ja, da ser man an hvilket rom det er, og hvor turbulens er det. Stiger og masse skitt. Hvis

rommene ikke er glatte, det beste transformatorrommet er når det er glatte vegger hele veien. Og at varmevekslerne ligger pent inntil og ikke er noe bulete ut i rommet osv. Er det mye turbulensfaktorer, sånn som ting i rommet, tar bort stiger og sånne ting, som lager mer trykk, turbulens. Så gjør man en kvalifisert gjetning og sier at her har vi så så mye energi, og så videre. Og tar og gjetter at trykket blir i alle fall under 100 millibar.

Henrik: Men ja, for dette her går litt på at du har såpass mye erfaring med dette fra før av, at du har litt kompetansen til å kunne komme med en kvalifisert gjetning.

Intervjuobjekt 5: Ja, ikke sant? Hvis du kan mye om dette her, så kan du gjøre en kvalifisert gjetning. Ut fra alle data som foreligger og så videre. Men du må, du kan i alle fall samle inn kortslutningsytelser, og så er det en annen ting som er helt vesentlig. Og det er bidraget fra generatoren. Du vet jo det, at det var en tid, gamle, veldig gamle anlegg, de skulle ha en generatorbryter. Og så var det noen som fant på da, at de skulle spare det. Hva skulle du med en generatorbryter, ikke sant? Og så var det en periode, 50-60 år, hvor man hadde blått påkoblet anlegg, man sparte transformatorbryteren. Men da har man det problemet, at du vet, energien, Når det gjelder effektbryteren som ligger på sekundærsiden av trafoen, den slår ut på nye anlegg, kanskje på 60-80 millisekunder. Og det reduserer jo energien vesentlig. Men hvis du har en generatorbryter også, som slår ut på samme tidspunkt, så er jo lengden på energien under 100 millisekunder, og det er jo veldig gunstig. Men der hvor du har en generator, som ikke har generatorbryter, så ligger jo generatoren og mater inn, i alle fall et sekund, og det øker jo energien vesentlig. Så det er jo også noe, nå lager man jo aldri kraftstasjoner lenger uten generatorbryter. Man har jo innsett at det var en feilvurdering. Nå er det alltid lagt inn en generatorbryter, og det er for veldig mange ting, veldig viktige å ha. Men de gamle transformatorer, de gamle kraftanleggene, uten generatorbryter, de er vesentlig større i energi. Og det går inn i vurderingen også, når man skal beregne hva som kan skje.

Henrik: Når det kommer til utkoblingstid på nyere anlegg, er det da stort sett under 100 millisekunder man pleier å beregne?

Intervjuobjekt 5: Ja, typisk verdi er 60-80 millisekunder på nye effektbrytere. Og så har du det da, vet du, at der har du også en usikkerhet inni bilde. Vil bryteren koble ut? Med hvilken sannsynlighet vil bryteren koble ut? Det kan være feil på bryteren også, vet du. Og der kommer jo bryter-leverandøren inn med sine statistikker, og hvis han kan garantere at den vil slå ut i 99,95 prosent av tilfellene, så kan man glemme det. Så man må også se litt på det. Hvilken sannsynlighet er det for at bryteren kan feile? Så det må dere ha med. Du må ha med det også. Det er mange ting som skal klaffe.

Henrik: Ja, sannsynlighet og risiko er jo hovedmomentet kanskje.

Intervjuobjekt 5: Ja, det er det. Sannsynligheten må alltid inn, og man må bli enig med seg selv og andre. Hvilken sannsynlighet man legger til grunn. Og hvis man gjør dette korrekt, jeg tenker på forsikringssaker og sånt. Hvis et kraftselskap, for eksempel det skjer noe veldig alvorlig, og det er jo avbrytskostnadene som jo er vesentlig her. Så hvis du mister i et elvekraftverk hvor du er avhengig av hva den produserer til, så kan avbrytskostnadene bli veldig store. Hvis du mister en trafo og du må vente et år på å få levert en ny, hvis det ikke er noen tilgjengelig, så kan kostnadene bli store. Og da kan erstatningen, hvis selskapet ikke har foretatt risikoanalyser, for eksempel, av anlegget, så ligger de veldig dårlig an. Og hvis du gjør en risikoanalyse hvor du gjør tingene og dokumenterer hvorfor du har kommet frem til de verdiene du har kommet frem til, og er klar på det, så er det lov å gjøre feil. Men da har du i alle fall gjort så godt du kan. Ikke sant? Dette er også veldig vesentlige ting. I forsikringssaker så er dette kommet godt på ofte.

Henrik: Hvis du dimensjonerer et trafobygg og er konservativ, men det sprenger og du ikke har tatt hensyn til risikoen og sannsynligheten for det, så kan du bli straffa...?

Intervjuobjekt 5: Da ligger du dårlig an. Ja, det er veldig viktig. Du kan godt ha regnet feil, men du bør jo sjekke det for så vidt da. Men du kan godt ha antatt sannsynlig for at tingene er feil, men du har blitt stort sett enig med kraftskapet om hvordan du legger disse verdiene. Så er det blårusen som sannsynligvis ikke vil skifte trafoen, fordi det er for dyrt. Trafoen er gammel, og det skjer ofte. Da må man inn og jobbe litt med hva som kan skje med den trafoen. Da er det veldig viktig at man sjekker oljeprøvene. Det som er feil, og det har dere kanskje jobbet en del med også, er om papiret er brukbart i disse gamle trafoene. Det er en viss verdi for kvalitetene for papiret. Hvis det blir for dårlig, er det en stor sannsynlighet for at det blir overslag og feil i en transformer. Det er en mye større sannsynlighet enn om transformatoren er nyere eller om alt er under kontroll. Så gjør man oljeprøver, og så kan man bruke en tre måneders tid på å regenerere oljen og gjøre den bedre. Men på et eller annet tidspunkt er papiret så dårlig at det er uforvarselig å beholde transformatoren. Dette er problemstillinger som vi har vært med i diskusjoner i kraftselskapene veldig ofte, hvor blårusen står i kontrast til teknikerne som kan litt mer om hva som kan skje i dag. Dette er også en sånn morsom problemstilling. Da må man gjøre det veldig klart at man anbefaler at det byttes transformator innen fem år. Sånne ting har jeg ofte tatt stilling til.

Henrik: Interessant. Jeg kan se det blir et problem. Når det kommer til statistikken på sekundære eksplosjoner, man har jo kommet seg frem til en sannsynlighet, men det har jo nesten aldri skjedd en ordentlig sekundære eksplosjon ulykke. Hvordan kommer man fram til disse sannsynlighetene?

Intervjuobjekt 5: Man går jo på verdensbasis. Det er jo statistikken rundt om i verden. Jeg har jeg vært med på internasjonale konferanser, hvor det er lagt frem statistikker fra mange land. Men det man sier, det jeg har gått ut ifra i de senere årene, det er at på verdensbasis skjer det en transformatoreksplosjon, hvor kassen ryker i året. En per år på verdensbasis. Det har man gått ut ifra. Da kan man regne ut hvordan sannsynligheten er i Norge. Hvis du har åtte transformatorer, blir sannsynligheten åtte ganger så mye, fordi det er åtte trafoer. Det går oftere sånn. Man kan legge det til grunn. Den store farlige ulykke var jo Tonstad i 1973. Det var en kabelboks som røk. Det var en sekundær eksplosjon som krevde tre liv. Det er vel den eneste dødsulukken som har vært i Norge. Det har vært flere alvorlige hendelser, hvor kassen ikke røyk, men den har bulet ut. Jeg har sett kasser som har sett ut som en fotball. Den bulet ut i alle ender, men veggene har holdt. I Oslo var det tre-fire transformatorer en gang som greide, effektbryteren slo ut. Heldigvis tidsnok. Like før det hadde skjedd noe. Det viktige er at energien blir stoppet under 100 millisekunder hvis det er en generatorbryter. Dette må man jo vurdere sannsynligheten for. Hvis energien blir for stor og energien varer for lenge, er sannsynligheten større. Da må man jobbe med design ut fra det.

Henrik: Ja, skjønner. Men på denne presentasjonen din, så har du en god del tall på... Denne presentasjonen har vel tatt utgangspunkt i en spesifikk case?

Intervjuobjekt 5: Ja, jeg tror det. Jeg tror det var Tunskjedal som jeg har tatt. Var det ikke det? Jeg husker ikke helt. Vi må se hva jeg sendte deg. Jeg har glemt hva jeg sendte. Når var det jeg sendte?

Geir: Onsdag, ja.

Intervjuobjekt 5: Det var onsdag. Der har vi... Geir Viste. Skal vi se.. Jeg skal bare se hva jeg... Jeg har jo veldig mange av disse tingene. Foredrag, der. Ja, akkurat. Det var for BKK, var det det? Ja, det var et brannforum i 2017. Jada. Der sendte jeg den til dere, ja. Skal vi se. Er det noen side du hadde lyst til å...

Henrik: Ja, side 33.

Intervjuobjekt 5: 33, ja. Skal vi se. 33, ja. Akkurat. Det er Gexcon-verdier det der

Henrik: Ja, ja. Vi har en case vi ser på selv. Så vi tenkte kanskje å bare sammenligne litt tall. Men den akkurat selve case du hadde der, der er kanskje litt kraftsensitiv eller noe sånt?

Intervjuobjekt 5: Ja, den er vel det. Jeg husker ikke alle dataene der, men der står det litt om denne betongveggen og sånne ting også, ja.

Henrik: Veldig, ja. Brannforum virker som interessant plass å dra

Intervjuobjekt 5: Ja, der må dere dra. For der kan dere også ta opp... Du ser litt på programmet, da. Hvis du ser det bildet, side 39. Der er det jo... Der kan dere se hva som skjer når du skal øke en vegg. Det er fra Oslo. Dette er Oslo transformatorstasjon. En hel vegg måtte forsterkes for å tåle DAL. Så det er ganske omfattende ting som kan gjøres der. Og på side 41, så ser dere en idé som ble utviklet på SISO kraftverk. Da ser dere den utslående døren som er i henhold til forskriften. Når du går inn i transformatorrommet, så skal du slå den platen der opp slik at du kommer inn i rommet. Og når du går ut av rommet, så lukker du den trykkplaten slik at rommet, den døren, ikke slår opp. Og det er at hvis du beregner at trykket kan holdes inne i et lukket rom. Det er veldig forskjellige ting. Og hvis du ser her på, tiltak med eksplosjonspanel ja, du ser på et bilde 43, der er det fra ***** kraftversjon, der hvor det ryker opp en plate ut i rommet. Og store rommet, maskinsalen, den er av stort volum slik at trykket faller veldig og du sikrer alle dørene inn til rommet. Men da blir det veldig, det må du gjøre så omfattende utbedringer på maskinsalen, men ofte er det et kostnadmessig tiltak man kan gjøre. Så, og du ser en problemstilling på bilde 44, der er det veldig vanskelig, der kan det ryke ut denne veggen, det tror jeg er i ***** kraftstasjon. Veldig dårlig design, hvor du har vanskelig for å sikre den der. Der ligger det store transformatorer, hvor disse bjelkestengslene vil blåse ut. Det er umulig å sperre trykket inne, og der, hvordan du skal sikre det, det er veldig vanskelig. Så det er mange, det er veldig forskjellig hvordan ting er laget. Og på bildet 47, der ser du disse sjokkventilene. Dette er sjokkventiler produsert i drammen av Miljøteknikk, og de er veldig effektive. De er åpne for å sikre ventilasjon, og når det smeller så går de igjen. Så det er mye. Når jeg leser dette her, så er det noe av det vesentlige som dere kan få av meg, tror jeg. Det som står på disse bransjene her.

Henrik: Ja, vi har gått igjennom dem flere ganger, så den er veldig informativ og fin den.

Intervjuobjekt 5: Så da kan dere gå ut ifra det, og snakke med Lars, og kan dere diskutere. Det der flacsanalysen som jeg har vist her, det er utført. Gexcon hadde et kontor i Milano, som gjorde denne analysen der. Så jeg tror han var ute av Gexcon i en tid, men han kjenner sikkert til det prosjektet, og han har jo all dokumentasjon på det. Han må synes det der er veldig greit å vende tilbake til. Og du har denne modelleringen som Gexcon da gjør. Det er et veldig ålreit ting, det må jeg si. Og så har du den oljedamp sekundærexplosjonen, hvordan det skjer, trykkbue, altså kortslutning, lysbue. Og hele den prosessen kalles jo pyrolyse.

Henrik: Ja, den illustrasjonen var veldig fin.

Intervjuobjekt 5: Det er ingen tvil, det er stor enighet over at det er dette som skjer.

Henrik: Ja, det har kommet mye veldig interessant i dag.

Intervjuobjekt 5: Jeg håper det hjelper, bare prøv å gå inn i det, det er mange ting å gå inn på her, det er...

Henrik: Ja, det er veldig avansert tema.

Intervjuobjekt 5: Ja, det er interessant, for jeg tror ikke det har vært så veldig mye... Jeg har vært ganske alene om dette i veldig mange år. Jeg har jo derfor også hatt oppdrag fra de store kraftselskapene. Det er veldig rart, for de vet jo i grunn hva problemet er. Mens de mindre kraftselskapene ikke skjønner hva som kan skje med dem. Jeg har vært med i et prosjektteam sammen med for eksempel Statkraft, Troms Kraftforsyning eller BKK, hvor det har vært en gruppe som sitter med veldig mye kunnskap, men ikke akkurat den kunnskapen som jeg har. Det har vært et veldig bra team som har jobbet med sånne problemstillinger.

Henrik: Ja, jeg skjønner godt hvorfor du gikk inn i dette, egen virksomhet.

Intervjuobjekt 5: Ja, det var veldig gøy. Jeg gikk av med pensjon i Norconsult i 2007. Da hadde jeg jobbet, jeg var direktør for elektrodivisjon i mange år, men jeg sluttet med det 5-6 år før jeg gikk av med pensjon og jobbet da bare med fag. Det var veldig flott, for da jeg sluttet, hadde jeg veldig mange bekjente i kraftselskapene i Norge som spurte hva de skulle gjøre nå. De sa at jeg kunne begynne for meg selv, du skal få nok jobb av oss. Det gjorde jeg. Det var veldig artig det altså.

Henrik: Vi snakket med en annen kar. Han heter Morten. Han startet litt som deg, startet eget virksomhet. Det er såpass få som sitter med komplett kjennskap på dette her. Det er et veldig relevant tema, og derfor er det veldig spennende at det ikke er så mange som helt...

Intervjuobjekt 5: Det er morsomt å gjøre noen masteroppgaver på dette her, for det er nok å ta av. Du kan gå inn på spesialområder og sånne ting.

Henrik: Jeg føler man kan gjøre masteroppgaver av alle punkter.

Intervjuobjekt 5: Ja, du kan i grunnen det. Dette med risikoanalyse er jo blitt veldig... Men det er mange som ikke gjør det, og de får kjeft av NVE, på deres inspeksjoner. De skal gå gjennom stasjonen, og så er det veldig mange dårlige ting som blir gjort. Risikoanalyser som de selv gjør, de glemmer jo de vesentlige tingene. Jeg har sett på en del sånne risikoanalyser som er gjort av de som ikke har ordentlig greie på det, og det er ikke bra. Og så er det rømning. Rømningstema er også et stort tema. Hvordan skal rømningen skal tilrettelegges? Men jeg blar gjennom denne presentasjonen, det er jakku meg mye fint her gitt.

Transformatorstasjonen på Rød i år 2000, den smalt jo. Det var jo også en alvorlig sak. Og Halden. Haldens eksplosjon. Og du ser her veldig mange ting fra Island. Der er det veldig mange hendelser som er lagt inn. Så det har vært en del tilfeller?

Henrik: Ja, vi har slitt med å finne tilfeller, men her har det jo masse.

Intervjuobjekt 5: Vi har jo på brannforum forsøkt å få til hendelsesbeskrivelser, men det har ofte vært vanskelig fordi forsikringsselskapene har ikke villet tillate det. Det har vært litt flaut for enkelte selskaper å hente fordi de har åpenbart ikke gjort jobben sin. Så det har vært mange ganger vanskelig å få noen til å fortelle om dette. Men der har det vært folk som har vært åpne og sagt vi har gjort feil, og det har vært sånn og sånn. Det har vært veldig bra. Når jeg ser denne saken her, den kan dere jo henvise til. Jeg står ved det som står her.

Henrik: Ja, ja, supert. Det er mye å hente her. Det kan hende vi henviser til.

Intervjuobjekt 5: Det er jo DSP, DSP er ikke særlig interessert i om det smeller kraftverk, bortsett fra rømning og sikkerhet til en person. Mens NVE gir blaffen i sikkerhet på person, men er interessert i at kraftverket ikke går filler. Det er de to myndighetsfunksjonene vi har i Norge. Med hver sin interesse. Vi har jo invitert DSP og NVE til brannforum hvert eneste år, og de blir presset litt på tingene de skal gjøre. Det er mye mangelfyllt, i disse tingene også. Sikkerhetsmatrise står det der også. Jøss, det er veldig bra. Vi må jo finne ut. Det som vi ofte hører også, det er at, nå skal du bare si til oss hva vi må gjøre, ikke noe annet. Men da har jeg vanligvis ikke tatt jobben. Jeg synes det er så lite positivt. Jeg synes man skal gå i gang med dette på et litt bedre grunnlag egentlig. Men var det greit det her, eller?

Henrik og Geir: Ja, vi setter stor pris på det.

Intervjuobjekt 5: Bare hyggelig å hjelpe litt!

Henrik: Alltid interessant å høre fra ekspertene.

Intervjuobjekt 5: Så får dere bare hilse han fra meg. Vi har jo samarbeidet på mange prosjekter. Det har vært veldig trivelig å jobbe sammen med Lars. Kan man diskutere det som er usikkert med antagelsene på turbulens og sånne ting. Du må alltid ha noe å bruke. Det har vært morsomt å diskutere med Lars. Har dere kontakt med ham, så det er veldig fint.

Henrik: Ja, men vi skal hilse vi vet du. Takk for møte!

Intervjuobjekt 5: Lykke til, og ha det bra

Henrik og Geir: ha det bra



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway