

VURDERING AV RISIKO VED ANLEGG FOR FARLIG STOFF

Vedlegg 6 - Sikkerhetsavstand for fylleanlegg for hydrogen som drivstoff til lette kjøretøy

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

Rapportnr.: 2018-1200, Rev. 1

Dokumentnr.: 244734

Dato: 2019-06-28



Prosjektnavn: Vurdering av risiko ved anlegg for farlig stoff DNV GL Oil&Gas
Rapporttittel: Vedlegg 6 - Sikkerhetsavstand for fylleanlegg for Region Norway
hydrogen som drivstoff til lette kjøretøy
Oppdragsgiver: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
Kontaktperson: Jan G. Røed
Dato: 2019-06-28
Prosjektnr.: 10126190
Org. enhet: O-NR-SRMH
Rapportnr.: 2018-1200, Rev. 1
Dokumentnr.: 244734

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

Oppdragsbeskrivelse:

Utført av:

Verifisert av:

Godkjent av:

Børre Johan Paaske
Group Leader

Audun Brandsæter
Senior sjefsingeniør

Marianne Hauso
Seksjonsleder

Marta Bucelli
Konsulent

Asmund Huser
Senior sjefspesialist

Oliver Baldan
Avdelingsleder

[Name]
[title]

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV GL 2019. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

DNV GL distribusjon:

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

Nøkkelord:

Hydrogen, fyllestasjon, sikkerhet

*Distribusjonsliste:

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
A	2019-01-31	For kommentarer	MARBUC, BJP, OBAL	AHU, BRAND	MHAUS
0	2019-06-07	Oppdatert etter kommentarer og tilleggsarbeid	MARBUC, BJP, OBAL	AHU, BRAND	MHAUS

Innholdsfortegnelse

1	INTRODUKSJON	1
2	BESKRIVELSE AV ANLEGGET	1
2.1	Systembeskrivelse	1
2.2	Oversikt over alle scenarier som er inkludert i analysen	1
2.3	Sikkerhetssystemer	1
3	METODIKK	2
3.1	Fareidentifikasjon	2
3.2	Frekvensanalyse	2
3.3	Konsekvensanalyse	3
3.4	Modellering av feilsannsynligheter for identifiserte scenarioer	7
4	HYDROGEN – EGENSKAPER OG FARER	11
5	IDENTIFISERTE FARER	13
5.1	Innendørs lekkasje i elektrolyser	14
5.2	Lekkasje og eksplosjon i produksjons-kompressorkonteiner	14
5.3	Lekkasje fra utendørs hydrogenlager	15
5.4	Lekkasje i rørføring fra fyllingstank til dispenser	15
5.5	Utendørs lekkasje ved dispenser	15
5.6	Eksterne hendelser	15
6	SIKKERHETSAVSTANDER	16
6.1	Sikkerhetsavstander	16
6.2	Sikkerhetsavstander med økt hullstørrelse for store lekkasjer	21
7	RELEVANTE USIKKERHETER	21
8	REFERANSER	23

1 INTRODUKSJON

Dette vedlegget beskriver risikovurderingene som er gjort for å etablere sikkerhetsavstander for Hydrogen fyllestasjon for lette kjøretøy.

Risikoanalysen omfatter ulykker relatert til utslipp av hydrogen som kan medføre akutt fare for naboer og andre som oppholder seg i omkringliggende områder (3. part) rundt et slikt anlegg. Risiko for personell som arbeider eller av annen grunn oppholder seg inne på anleggsområdet, er dermed ikke eksplisitt vurdert i denne analysen.

2 BESKRIVELSE AV ANLEGGET

Anlegget som danner basis for risikoanalysen, er et fylleanlegg for hydrogen til lette kjøretøy, basert på ISO TS 19880. Informasjon om anlegget er mottatt fra leverandør av denne typen fyllestasjon.

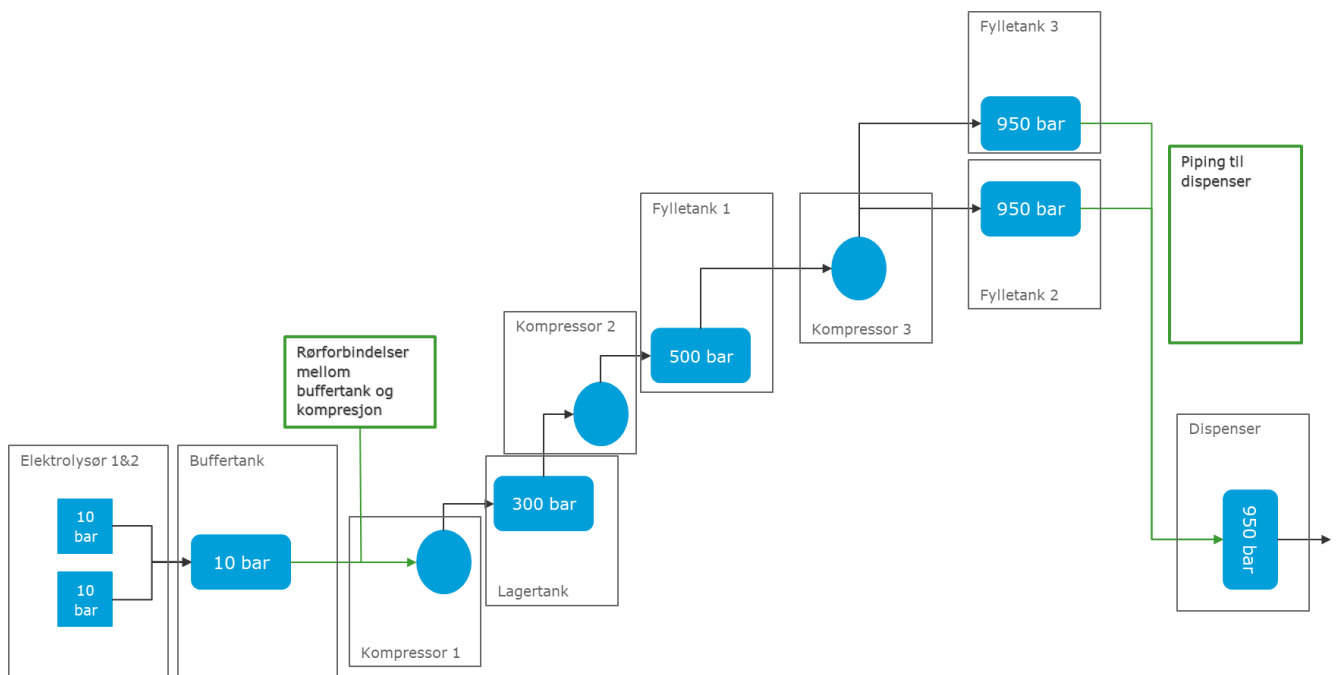
Anlegget er modellert på flat mark, uten bygninger eller topografi som representeres vesentlige obstruksjoner.

2.1 Systembeskrivelse

Anlegget omfatter følgende hovedenheter og operasjoner:

- 2 elektrolysører for produksjon av hydrogen (10 bar, 1.5 kg per elektrolysør, 2 x 5.4 kg/time)
- produksjonskompressor, to-tog (300 bar, 0.5 kg per kompressor)
- lagring av høytrykksgass i flaskebanker (300 bar, 120 kg)
- fyllekompressor (500 bar og 950 bar, 0.5 kg, 40 kg/time)
- fylletank med fordelingsventiler og rør til fyllestasjon (500 bar - 50 kg, 2 x 950 bar - 2 x 25 kg, totalt 100 kg. Tankene er isolert som separate segmenter).
- fyllestasjon med dispenser (950 bar, 0.5 kg, 0.02 kg/s, 70 fyllinger per dag).

Produksjon 2 x 5.4 kg/h. Produksjonstrykk er 300 bar, mens lager- og fyllekompressor er på hhv. 500 og 950 bar. Elektrolysør (43 m³) i container med mekanisk ventilasjon. Kompressor i container (22 m³) med mekanisk ventilasjon. Flyt-skjema for anlegget er vist i Figur 2-1.



2

Figur 2-1 Flytskjema for hydrogen-fyllestasjon med lokal produksjon.

Tabell 2-1 viser en oversikt over hovedutstyrsenheter og hydrogenmengder per prosess-steg for fyllestasjonen.

Det er antatt 100% driftstid for anlegget, fylleslangen er trykksatt kun under fylling.

Følgende parametervariasjoner er utført:

- Tankvolum (250 kg, 1000 kg)
 - Produksjonskapasitet 5 kg/time, 10 kg/time, 15 kg/time
 - Fyllefrekvens (1 gang per time til 1 gang per dag)

Tabell 2-1 Utstyr og hydrogen-mengder per prosess-steg

Utstyr	Max. internt trykk (barg)	Masse H ₂ i utstyr (kg)	Masse H ₂ i segment (kg) - største mengde som kan lekke ut	Strømningsrate/produksjonsrate (kg/s)	Øverslag -Teknisk arealbehov («fotavtrykk»)
Elektrolyser (to stk)	10	2stk x 1,5 kg Maksimalt 1,5 kg per elektrolyser + tanker og beholdere	Ved rørbrudd kan vel teoretisk sett alt lekke ut, men om det gjør det vil produksjonen stoppe, så det vil ikke bli produsert ytterligere hydrogen	2 stk x 5,4 kg/time	90 m ² (tre containere) Antatt at det er 3 stk 20 fots containere Volum containere: L x b x h = 6 x 2,4 x 3 meter
Produksjonskompressor (to tog i to trinn)	300	2 stk x 0,5 kg Kompressor og kjølere har små volumer	Ved rørbrudd kan teoretisk sett alt lekke ut		
Lagertank	300	120 kg i stasjonært lager (Det finnes også anlegg med tilkjørt hydrogen i transportcontainere. En inneholder ca 300 kg hydrogen ved 300 bar. Dette anlegget er ikke modellert)	Ved rørbrudd kan teoretisk sett alt lekke ut		30 m ² Volum: 7 x 1,2 x 2,5 m
Fyllekompressor	500 og 950	0,5 kg	Ved rørbrudd kan teoretisk sett alt lekke ut (i tilfeller der isoleringsventil fra lagertanken ikke stenger kan hydrogen denne også lekke ut, dvs. 120 kg)	Ca 40 kg/time	10 m ² Container: 2,2 x 3,3 x 2,5 m
Fylletank	500 og 950	50 kg @ 500 bar 2 x 25 kg@ 950 bar (Lageret som brukes til å fylle biler med)	Dette lageret er i 3 segmenter, så det er vanskelig å tenke seg at alt lekker ut, ved rørbrudd kan maksimalt 50 kg lekke ut.	-	40 m ² Volum: 3,4 x 1,1 x 3 m
Fyllestasjon	950	0,5 kg (Dispenser og tilhørende utstyr)	Ved rørbrudd kan teoretisk sett alt lekke ut	Max noe under 20 g/sek	Dispenser: 0,5 x 0,5 x 2,5 m
Total	-		-	-	170 m²

2.2 Oversikt over alle scenarier som er inkludert i analysen

Tabell 2-2 viser de hvilke segmenter av anlegget det er modellert lekkasjer-scenarier for. Alle scenarier modelleres med og uten nedstenging/isolering av lekkasjen.

Tabell 2-2 Oversikt over scenarier som er modellert

Segment	Navn på scenarie*	Materiale	Temperatur (°C)	Trykk (Barg)	Mengde (kg)
1	Elektrolyseør 1	Hydrogen	5,00	10,00	1,5
2	Elektrolyseør 2	Hydrogen	5,00	10,00	1,5
3	Prekompressor	Hydrogen	5,00	10,00	1,5
4	Rør til kompresjon	Hydrogen	5,00	10,00	0,01
5	Kompressor 1	Hydrogen	5,00	300,00	0,5
6	Lagertank	Hydrogen	5,00	300,00	120
7	Kompressor 2	Hydrogen	5,00	500,00	0,5
8	Fylletank 1	Hydrogen	5,00	500,00	50
9	Kompressor 3	Hydrogen	5,00	950,00	0,5
10	Fyllestank 2	Hydrogen	5,00	950,00	25
11	Fylletank 3	Hydrogen	5,00	950,00	25
12	Rør til dispenser	Hydrogen	5,00	950,00	0,3
13	Dispenseren	Hydrogen	5,00	950,00	0,5
14	Slange	Hydrogen	5,00	950,00	0,3

*Alle scenarier modelleres med og uten nedstenging/isolering av lekkasjen

2.3 Sikkerhetssystemer

Følgende sikkerhetssystemer er reflektert i risikoanalysen:

- Anlegget er omkranset av 4 m høyt gjerde/vegg, og fyllestasjon plassert utenfor vegg. Vegg er antatt å ikke være en eksplosjonsvegg, dvs. den vil ikke ha noen effekt på å redusere eksplosjonstrykk utenfor vegg. Det er allikevel antatt at vegg henger sammen og ikke danner prosjektiler som kan føre til dødelighet ifm. en eksplosjon innenfor vegg. Vegg er videre antatt å begrense avstanden til en horisontal jet som kommer fra anlegget.
- Hver seksjon i anlegget er isolerbar med ESD (1s for store lekkasjer, 20s for små/middels ved gassdeteksjon eller branndeteksjon) og manuell nødstop fra fyllestasjon.
- Mekanisk ventilering av containere.
- EX-beskyttet utstyr innenfor gjerdet og i containerne.
- Slangebruddventil på fyllestasjon/dispenser

3 METODIKK

3.1 Fareidentifikasjon

Fareidentifikasjon er den første og viktigste delen av en risikoanalyse. Formålet med fareidentifikasjonen er å identifisere alle forhold som kan lede til en uønsket hendelse.

Fareidentifikasjon er gjennomført ved å gjennomgå tidligere risikoanalyser for hydrogen-fyllestasjoner, utført av DNV GL. HyApproval prosjektet er et eksempel på denne type relevante arbeide, ref. /1/. I tillegg har dialog med leverandører av hydrogenutstyr vært nødvendig for å sikre en mest mulig representativ analyse som tar best mulig hensyn til hva som er tilgjengelig av hydrogenteknologi i dag. Identifiserte farer og topphendelser er beskrevet i kapittel 5

3.2 Frekvensanalyse

For å kunne si noe om hvor ofte en forventer at det vil kunne inntreffe en uønsket hendelse er det nødvendig å si noe om hvor sannsynlig en mener det er at de forskjellige ulykkes scenarier/topphendelsene inntreffer. Disse sannsynlighetene er ofte basert på historiske frekvenser for hvor ofte lignende utstyr har feilet, og er samlet i ulike databaser.

I denne analysen benytter vi en kombinasjon av:

- Prosess-utstyr; UK HSE modellene (ref. /4/)
- Trykktanker; OGP data (ref. /3).
- Fylle-slange på dispenser; RIVM (ref. /2/, /5/)

RIVM og UK HSE dannet basis for HyApproval. Utstyrtellinger for prosess-utstyr er tilsvarende det som ble benyttet for Hyapproval, utover de hovedkomponentene som er gitt av flytskjemaet i Figur 2-1.

Sammendrag av frekvenser for isolerbare segmenter er gitt i Tabell 3-1.

Tabell 3-1 Lekkasjefrekvens per år, per isolerbart segment.

Segment no.	Segment navn	Isolering	Lekkasje-størrelse, frekvens per år.		
			Stor	Medium	Liten
1	Elektrolyserør 1	Med isolering	9,08E-03	4,46E-02	3,60E-02
		Uten isolering	9,17E-05	4,96E-03	4,00E-03
2	Elektrolyserør 2	Med isolering	9,08E-03	4,46E-02	3,60E-02
		Uten isolering	9,17E-05	4,96E-03	4,00E-03
3	Prekompresor	Med isolering	2,07E-03	4,92E-03	1,12E-02
		Uten isolering	2,10E-05	5,47E-04	1,24E-03
4	Rør til kompresjon	Med isolering	0,00E+00	0,00E+00	5,23E-03
		Uten isolering	0,00E+00	0,00E+00	4,97E-04
5	Kompresor 1	Med isolering	2,35E-03	5,21E-03	1,18E-02
		Uten isolering	2,38E-05	5,26E-05	1,19E-04
6	Lagertank	Med isolering	1,45E-04	7,62E-04	1,53E-03
		Uten isolering	1,56E-06	8,51E-05	1,71E-04
7	Kompresor 2	Med isolering	2,11E-03	4,48E-03	1,01E-02
		Uten isolering	2,13E-05	4,53E-05	1,02E-04
8	Fylletank 1	Med isolering	1,06E-04	7,08E-04	1,41E-03
		Uten isolering	1,17E-06	7,90E-05	1,57E-04
9	Kompresor 3	Med isolering	2,33E-03	4,97E-03	1,17E-02
		Uten isolering	2,36E-05	5,02E-05	1,18E-04
10	Fylletank 2	Med isolering	1,06E-04	7,08E-04	1,41E-03
		Uten isolering	1,17E-06	7,90E-05	1,57E-04
11	Fylletank 3	Med isolering	1,06E-04	7,08E-04	1,41E-03
		Uten isolering	1,17E-06	7,90E-05	1,57E-04
12	Rør til dispenser	Med isolering	2,32E-04	8,63E-04	1,81E-03
		Uten isolering	2,35E-06	9,59E-05	2,01E-04
13	Dispenser	Med isolering	1,06E-04	7,07E-04	1,41E-03
		Uten isolering	1,07E-06	7,86E-05	1,57E-04
14	Fylleslange	Med isolering	3,41E-03	0,00E+00	3,10E-02
		Uten isolering	3,44E-05	0,00E+00	3,44E-03
Totalt			3,15E-02	1,24E-01	1,76E-01

3.3 Konsekvensanalyse

I dette kapittelet presenteres de potensielle konsekvensene av de identifiserte farene presentert i kapittel 3.1. De potensielle konsekvensene som er vurdert er begrenset til de som kan forårsake dødsfall.

Både konsekvenser og risikoberegninger er gjennomført i DNV GL Software sitt verktøy PhastRisk® 6.7, som modellerer konsekvenser fra utslippsmodellering, via spredningsberegning til endelig påvirkning på mennesker eller strukturer med de samme modellene som i verktøyet Phast 6.7, kombinert med en frekvensanalyse som tar hensyn til lekkasjefrekvens, tennkilder, befolkning osv. PhastRisk gjør fysiske beregninger av utslipp, spredning av gass, eksplosjon og branneffekter, men er ikke et CFD-verktøy (computational fluid dynamics). Modellen tar hensyn til forenklete vurderinger av topografi, i form av

overflateruhet på bakkenivå, men reflekterer ikke fysiske obstruksjoner som bygninger, fjell eller lignende. Spredningsberegningene i Phast tar hensyn til fortettede områder og disse vil fylles opp med en konservativ modell for spredning inne i slike områder. Effekt av at gassen er lett er også tatt med når gassen effekten av jetten har avtatt og skyens bevegelser er drevet av oppdrift. Multi energi metoden er brukt til å beregne eksplosjonstrykk, og den er egnet for å finne eksplosjonstrykk i en viss avstand fra eksplosjonen. Sammenligninger mellom kontrollerte hydrogeneksplosjoner og Multienergi metoden er brukt til å bestemme hvilket nivå eksplosjonsstyrken skal settes i Multienergi metoden.

3.3.1 Jetbrann

En av de mulige konsekvensene knyttet til en lekkasje fra lagertanker og fylletank er en jettbrann. Analysen forutsetter at det bygges en kontinuerlig vegg rundt anleggsområdet, og at veggen vil beskytte 3. part mot eventuelle horisontale jetbranner som peker ut fra anlegget. Dette ligger som en forutsetning i analysen. For å reflektere effekten av beskyttelsesveggen er alle jetbranner modellert til å peke ned mot bakken, slik at jetbrannens moment brytes. Dette gir kortere utstrekning av strålingssonen enn for en horisontalt rettet jet-brann.

Varigheten til en jettbrann vil avhengig av lekkasjestørrelse og mengde hydrogen i segmentet, og det antas at veggen bygges på en slik måte at den vil være i stand til å sikre at 3. part rekker å evakuere før veggen eventuelt feiler. Når anlegget skal prosjekteres, kan varigheten av en jetbrann være dimensjonerende for veggens brannbestandighet.

3.3.2 Flashbrann

En flashbrann kan oppstå dersom en stor sky av hydrogengass antenner, og en kortvarig rask brann brenner gjennom skyen. Dersom noen oppholder seg i eller rett ved en flashbrann, og varm luft eller forbrenningsgasser fra denne inhaleres, kan dette resultere i alvorlige brannskader i lungene, i tillegg til ytre brannskader. Denne analysen er gjort for et flatt område, uten nærliggende høye bygninger hvor folk oppholder seg, og hvor anlegget er antatt omgitt av en beskyttende vegg som bidrar til å rette gasstrømmen vertikalt. Flashbranner vil derfor foregå relativt høyt over bakken, og utgjør dermed en liten fare for tredjepart. Det er forutsatt at det ikke er høyblokker i nærheten av noen potensiell gassky. For en lekkasje på anleggsområdet antas det derfor at en slik brann inntreffer i en høyde som ikke resulterer i dødsfall på bakkenivå utenfor anlegget. I risikomodellen er det derfor ikke modellert dødelige effekter av flashbrann på bakkenivå utenfor anleggets beskyttelsesvegg.

3.3.3 Gasseksplosjon

En eksplosjon i anlegget kan inntreffe enten som eksplosjon inni en konteiner, som umiddelbart brudd av en av lagerflaskene; eller som en eksplosjon som følge av en utendørs lekkasje, gass i anlegget og høy konsentrasjon av gass i et skid eller fortettet område hvor det er mye rør og utstyr.

Eksplosjon som følge av en utendørs lekkasje og spredning av gass i området er inkludert i analysen ved å modellere utendørs gasslekkasjer, spredning i form av en jet som er rettet nedover, antenning og eksplosjon. Selve eksplosjonen foregår når en gassky fyller opp et fortettet område som f.eks. flaskebanker. Dersom et slikt område blir omhyllt av brennbar gass, kan det oppstå en voldsom eksplosjon. Volum av det fortettede området vil påvirke eksplosjonsstyrken og dette er basert på volumet til flaskebankene i de tre casene.

Det vil typisk være en hindring av kraftig materiale (betong) mellom anlegget og fyllestasjonen (biloppstillingsplassen). Denne hindringen vil beskytte begge veier; mot biltrafikk, og også beskytte 3.

part mot eksplosjoner og prosjektiler fra anlegget. Effekten av slike kraftige vegger på eksplosjonstrykket kan være betydelig dersom veggene er store nok og kraftige nok. I denne analysen er denne effekten ikke inkludert siden det er ukjent hvor stor en slik vegg vil være.

Dersom det kun installeres vegger for å beskytte mot jetbranner, er det antatt at disse veggene ikke vil kunne beskytte mot kraftige eksplosjoner. Det er derfor valgt å inkludere gass eksplosjoner som kan nå 3. part i analysen.

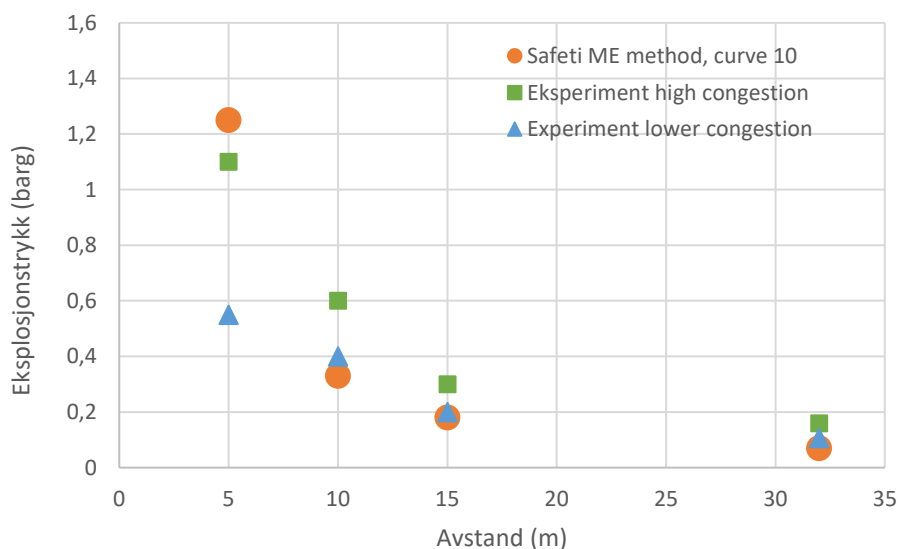
3.3.3.1 PhastRisk eksplosjonsmodell

Siden eksplosjoner av hydrogen kan være avgjørende for risikoen, er det foretatt en sammenlikning mellom PhastRisk/Safetis Multienergi (ME) eksplosjonsmodell og kjente eksperimentelle resultater. PhastRisk er utviklet for standard gasser i prosessindustrien og det er valgt å benytte ME metoden til å beregne eksplosjonstrykk fra en gass eksplosjon. Siden PhastRisk bruker modeller som er lite benyttet for hydrogensikkerhet er det foretatt en sammenlikning mellom modellen og et kjent eksperiment med hydrogen /9/. I dette eksperimentet var det et 12 m³ fortettet volum med små rør satt inn i et regulært grid, Figur 3-1. Inne i dette volumet var det en stoichiometrisk blanding av hydrogen og luft med ca. 0,3 kg rent hydrogen.

I tillegg til dette eksperimentet er resultatene fra ME metoden sammenlignet med en CFD modellering, for et område som er 40 % mindre fortettet enn i eksperimentet. I **Figur 3-2** er resultatene fra eksperimentet vist som grønne firkanter, resultatet fra CFD modelleringen vist som blå trekantede, mens resultatene fra Safetis ME metode er vist som orange sirkler. Hensikten med denne lille øvelsen har vært å illustrere forskjellen/avviket mellom beregninger foretatt med PhastRisk og eksperimentelle resultater. Konklusjonen er her at avviket ikke er større enn at PhastRisk kan benyttes for å etablere av risikokonturer for eksplosjoner med hydrogen.



Figur 3-1 Fortettet område med rør i regulært grid med høy tetthet brukt i eksperimentet, ref. /9/.



Figur 3-2 Sammenligning av PhastRisk Multi Energy (ME) metode med eksperiment for et 12 m³ skid fylt med 100% stoichiometrisk blanding av hydrogen og luft.

3.3.4 Flaskebrudd

Høytrykksflasker kan plutselig ryke og forårsake en kraftig trykkbølge, og med påfølgende antenning av gass-sky som gir eksplosjon eller en flashbrann. Mulige trykkbølger fra flaskebrudd er ikke inkludert i

risikoanalysen, da flaskebrudd er modellert å gi lekkasjer som forårsaker eksplosjon eller flashbrann. For trykkbølger er det uansett konservativt antatt at hindringer (mulig betongvegg) ikke har risikoreduserende effekt på trykkbølgen. Utformingen av en kraftig beskyttelsesvegg kan bestemmes dersom mer detaljer om stasjonen foreligger.

Det er ikke inkludert effekt av prosjektiler eller gjenstander som løsner under en eksplosjon eller et flaskebrudd som når ut til publikum. Avhengig av dimensjoneringen og styrken til en kollisjonsbarriere kan det antas at en mulig kollisjonsbarriere også vil forhindre endel prosjektiler fra en eksplosjon å nå fram til 3. part.

3.4 Modellering av feilsannsynligheter for identifiserte scenarioer

3.4.1 Hendelsestre for utslipp av brannfarlig gass

Et hendelsestre modellerer ulike hendelsesforløp etter at en uønsket hendelse, for eksempel en gasslekkasje, har inntruffet.

I en risikoanalyse benyttes hendelsestrær til å beregne relative bidrag av de forskjellige slutthendelsene som kan oppstå som følge av en uønsket hendelse. I eksempelet i Figur 2-1 vises et eksempel på et hendelsestre for lekkasje av brannfarlig gass.

I noen tilfeller vil lekkasjen antennes ganske umiddelbart og forårsake varmestråling. Da er vindretning av liten betydning, men kan påvirke stråleradius.

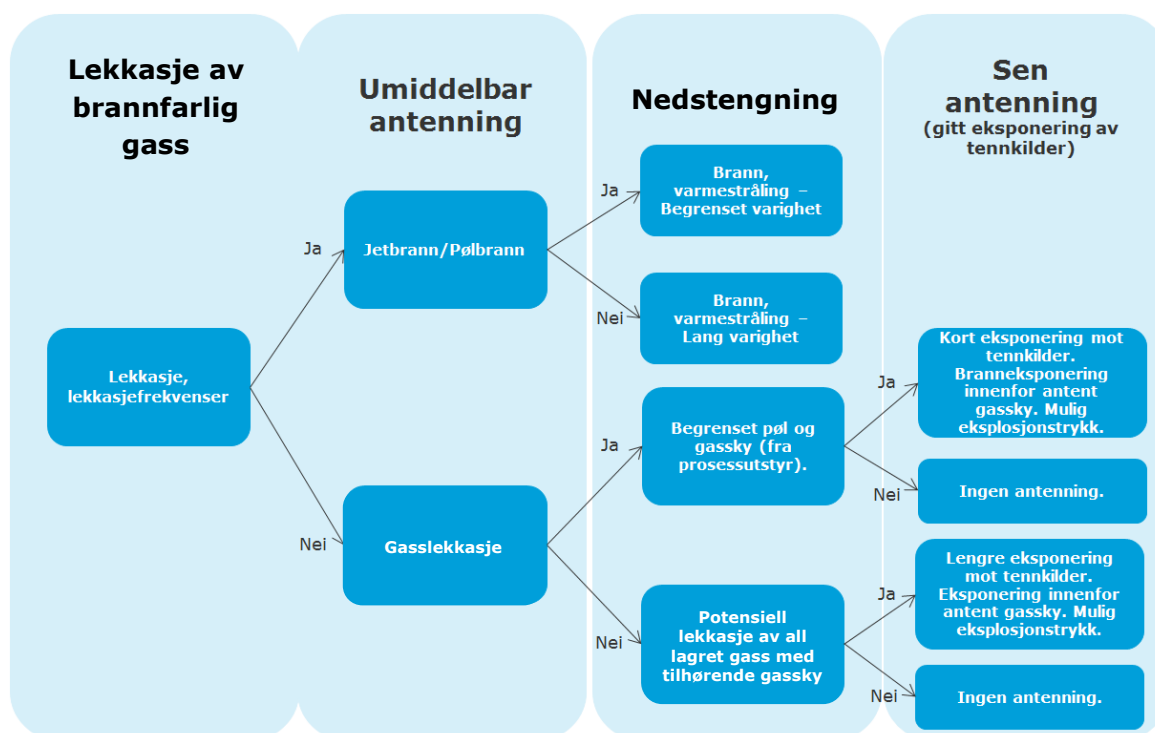
Hvis lekkasjen ikke antennes tidlig vil gasskyen kunne vokse, og vindretningen påvirker hvorvidt gasskyen medfører eksponering av boligområder eller ikke.

Ved detektert lekkasje vil systemet stenges ned og isoleres ved initiering av Emergency Shutdown (ESD), med følgende pålitelighet og responstider:

- Automatisk deteksjon og nedstengning av lekkasjer inne i konteiner:
 - Stor lekkasje: 2 sekunder.
 - Liten og medium lekkasjer: 10 sekunder.
- Automatisk deteksjon og nedstengning utendørs:
 - Stor lekkasje: 2 sekunder
 - Medium lekkasjer: 20 s
 - Liten lekkasje detekteres ikke (3600 s)
- Feilsannsynligheter for nedstenging (dekker deteksjonsfeil og utstyrsfeil for ESD-systemet):
 - Automatisk nedstengning:
 - Inne i konteiner:
 - 1% for alle lekkasjer
 - Utendørs
 - 1% for store lekkasjer
 - 10% for middels lekkasjer.

- Små lekkasjer detekteres ikke.

Et scenario i PhastRisk modelleres frem til én time etter initiell hendelse.



Figur 3-3 Hendelsestre for utslipp av brannfarlig gass

3.4.2 Modellering av tennsannsynlighet

I en risikoanalyse er tennsannsynlighet en viktig parameter, og angir hvor sannsynlig det er at en gassky antenner, gitt at en lekkasje har funnet sted. Et utslipp av hydrogen som ikke antenner, vil ikke ha skadelige effekter, mens et antent utslipp vil kunne gi direkte brannskader eller skader på grunn av varmestråling. Antenning av store gasskyer vil også kunne gi eksplosjonsovertrykk dersom de skjer i områder med vesentlig fortetting (f.eks en sky som dekker lagertankene) eller innelukking (f.eks inne i kompressor-konteinerne).

I risikoanalysen skiller man derfor også mellom umiddelbar og forsinket antenning. Dette fordi man ved en forsinket antenning vil kunne ha en brennbar gassky av betydelig størrelse og derfor et større skadepotensial enn ved umiddelbar antenning.

Sannsynligheten for umiddelbar antenning er presentert i Tabell 3-2. Tennsannsynlighetene er hentet fra HyApproval-prosjektet, ref./1/, og tilsvarer også verdier som er oppgitt i Purple book, ref. /5/.

Tabell 3-2 Umiddelbar tennsannsynlighet, ref. /1/.

Sannsynlighet for umiddelbar antennelse	
Lekkasjestørrelse	Tennsannsynlighet
Liten	0.3
Medium	0.4
Stor	0.5

Forsinket antennelse oppstår ved at en aktiv tennkilde eksponeres for brennbar gass. I DSBs retningslinjer for risikoanalyse av anlegg for farlig stoff argumenteres det for at tennsannsynligheten utenfor anleggets område skal settes til 1, ref. /6/. Dette betyr at det for alle scenarier hvor en antennbar konsentrasjon av gass kan spres utenfor anleggsområdet, skal det antas at den forsinkede tennsannsynligheten er 1 (gitt at umiddelbar antenning ikke har funnet sted). Med de små størrelsene på anleggene som vurderes i denne analysen, er det antatt at alle lekkasjer som ikke antenner umiddelbart, antenner ved største utstrekning av antennbar skystørrelse, med unntak for lekkasjer som skjer inne i kompressor-konteinerne.

For lekkasjer inne i kompressor-konteinerne er forsinket tennsannsynlighet satt lik 0.1 for store og medium lekkasjer. For små lekkasjer er tennsannsynlighet satt til 0.01 for lekkasjer som detekteres og som gir ESD/nedstengning, og 0.1 for lekkasjer som ikke detekteres. Disse reduserte tennsannsynlighetene for lekkasjer i kompressor-konteinerene er satt for å gjenspeile effekten av tennkilde-kontroll inne på anlegget, og at slike lekkasjer vil ventileres opp og antas å ikke eksponere tennkilder utenfor anlegget.

3.4.3 Modellering av effekter på befolkning

Dersom en lekkasje antennes kan mennesker bli utsatt direkte for flammer, eller indirekte for varmestråling fra en brann.

Effektsonene for stråling fra en ildkule og jetbrann er modellert som et sett med ellipser. Ellipsene dekker en rekke dødelighetsnivåer, beregnet fra strålingsintensitet og eksponeringstid. Det brukes en probitfunksjon for å estimere en sammenheng mellom de fysiske effektene av brann og sannsynligheten for dødsfall.

Dødsfalls sannsynlighet ved eksponering for varmestråling settes ut fra TNOs probitfunksjon for fatalitetsrate, ref./5/. Sannsynlighet for død ved eksponering for varmestråling fra en enkelthendelse kan uttrykkes med en probitfunksjon som estimerer sannsynlighet for død basert på mottatt dose uttrykt ved varme fluks (Q) og varighet (t):

- $Pr(C,t) = A + B \ln(Q^n t)$ (1)
- Der
 - Q = varme fluks (kW/m²), hentet fra brannmodellen
 - t = varighet i minutter, også fra brannmodellen
- Probitfunksjonens parametere for effekt av varmestråling benytter Purple book sine probitkonstanter, ref. /8/:
 - A=-36,38

- B=2,56
- n=4/3

Gass-skybrann er typisk som følge av forsinket antennelse av lekkasje fra gass-segment. Etter en forsinket antennelse vil den kortvarige effekten (gass-skybrannen) kunne brenne tilbake og gi jet-brann.

Ved forsinket tenning av gasslekkasje, kan gass-skyen ha rukket å bygge seg opp og bli relativt stor. Når denne skyen tenner, kan forbrenningsbølgen generere trykk som gir rask trykkøkning dersom det skjer i områder med vesentlig fortetting (f.eks en sky som dekker lagertankene) eller innelukking (f.eks inne i kompressor-konteinerne), se også kapittel 3.3.3. Forbrenningsgassene vil kunne ekspandere i lengderetningen til opp til det dobbelte av gassskyens størrelse før tenning. Ildkulen (eksplosjonen) vil vare 5-15 sekunder og etterfølges av en jet-brann eller pøl-brann, avhengig av mediet som lekker ut.

Effekt av eksplosjoner på personer utendørs vurderes etter Probit basert på Green book sine probitkonstanter, ref./8/.

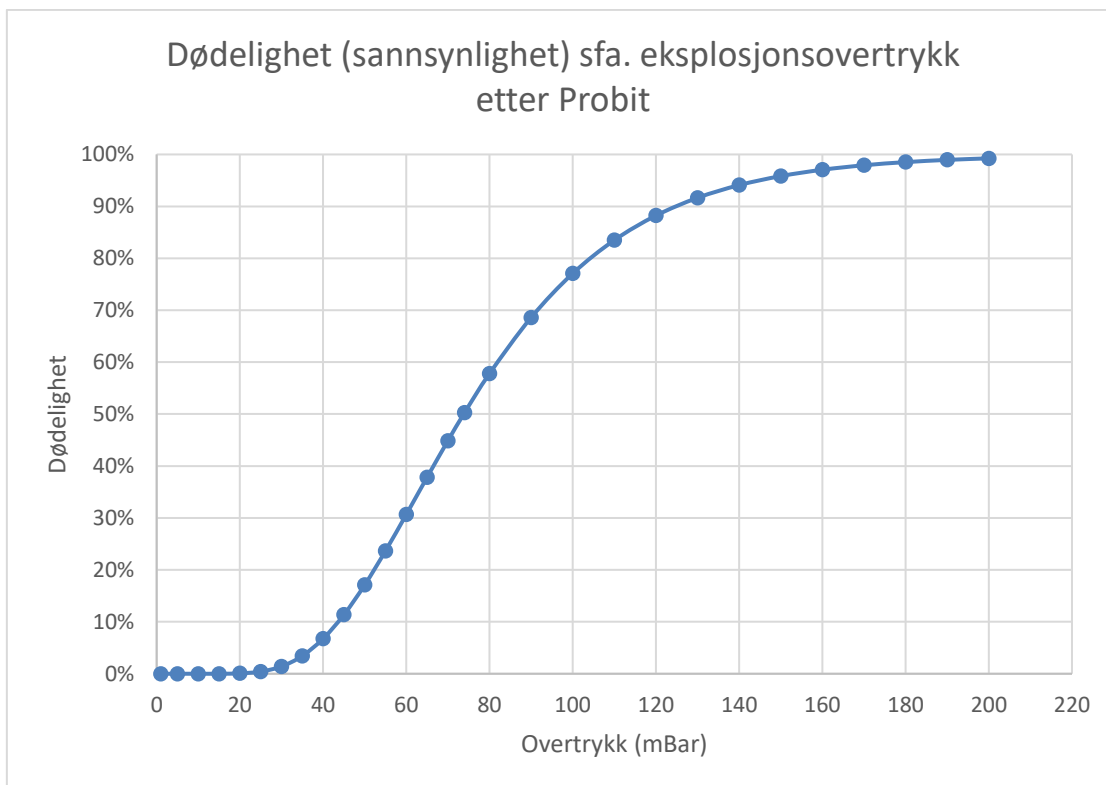
- $Pr(P) = A + B \ln(P_s^n)$ (1)
- Der
 - P_s = eksplosjonstrykk (Pa)

A, B og n er konstanter;

- A=-16,7319
- B=2,44
- n=1

Sikkerhetsmessige utfordringer for hydrogen sammenlignet med andre mer vanlige gasser inkluderer energitettheten som kan få en eksplosjon til å bli mer voldsom. Det er vurdert at SAFETIs eksplosjonsmodell kan benyttes for å etablere risikokonturer for eksplosjoner med hydrogen, ref. kapittel 3.3.3.1.

Figur 3-4 viser dødelighet i prosent, gitt eksplosjonsovertrykk beregnet etter gjeldende Probit, ref. /8/. Det er å merke seg at for risikovurderinger opp mot lav dødsfallrisiko har de lave dødelighetene ved lave overtrykk (< 30 mbar) også betydning.




Figur 3-4 Dødelighet (%) som funksjon av eksplosjonsovertrykk, beregnet etter Probit, ref. /8/

4 HYDROGEN – EGENSKAPER OG FARER

Som den letteste av alle gasser, har hydrogengass noen unike egenskaper. Disse er av betydning når vi adresserer sikkerheten for anlegg, håndtering og lagring av hydrogengass. Hydrogen som energibærer sammenlignes ofte med metan og propan. Sikkerhetsmessige utfordringer for hydrogen sammenlignet med andre vanlige gasser inkluderer energitettheten som kan få en eksplosjon til å bli mer voldsom. Lav tennenergi gjør at hydrogengass kan antenne lettere enn andre gasser. Det vide brennbare området, hydrogen kan tenne i konsentrasjoner mellom 4 % og 75 % i luft, betyr også at hydrogen kan tenne ved betydelig rikere blanding med luft enn naturgass.

Hydrogen har også noen egenskaper som kan redusere risikoen i mange situasjoner. Lav tetthet gjør at hydrogen raskt forsvinner opp og blir uttynnet for utendørs lekkasjer. Høy diffusivitet gjør at hydrogen tynnes raskt ut i blanding med luft, noe som kan redusere sannsynligheten for antenning av mindre lekkasjer. Hydrogenflammen kan ha svært høy temperatur, men strålingen fra hydrogenflammer er betydelig mindre enn for hydrokarbonbranner, noe som betyr at risiko for strålingsskader vil være betydelig mindre. Rent hydrogen brenner med en usynlig flamme. Det bemerkes at rene hydrogenflammer dermed kan være vanskelige å oppdage, og flammedetektorer kan derfor være nødvendig.

Sammenliknet med andre brennbare gasser kan hydrogen være mindre risikofyllt ved utendørs bruk, mens for innelukkede rom med hydrogen kan faren for eksplosjon være mer kritisk. Innelukkede rom, må derfor designes med tanke på dette. Det finnes sikkerhetssystemer som er laget for å håndtere eksplosive gasser i innelukkede rom, og riktig installasjon og bruk av disse er viktig.



Hydrogen er ikke giftig. Riktig materialvalg er viktig siden metaller som kommer i kontakt med hydrogen kan bli utsatt for hydrogensprøhet på grunn av små molekyler som kan trenge inn i metallstrukturen og påvirke denne.

Relevant data for hydrogen sammenlignet med metan og propan, hovedkomponenter i naturgass og propan, er listet i Tabell 4-1

Tabell 4-1 Oversikt over hydrogen spesifikk data, sammenlignet med metan og propan¹.

Egenskap	Hydrogen	Metan	Propan	Hva betyr det?
Kjemisk formel	H ₂	CH ₄	C ₃ H ₈	Påvirker alle egenskaper
Molevekt	2	16	44	H ₂ Kan diffundere inn i metaller
Gass tetthet ved 1 atm (kg/ m ³)	0.08	0.6	1.8	H ₂ får mye større oppdrift og forsvinner lettere under åpen himmel og reduserer da brannfaren
Diffusivitet (m ² / s)x10 ⁵	6	1.6	1	H ₂ blander seg lettere og små lekkasjer blir mindre farlig
Stoichiometrisk volum konsentrasjon (%)	30	9.5	4	
Nedre til øvre flammegrense (vol %)	4-75	5.3-15	2.2-9.5	H ₂ kan tenne i større deler av en sky når det er en stor lekkasje slik at brann og eksplosjonsfaren øker
Laminær flammehastighet (m/ s)	3	0.4	0.5	H ₂ får større eksplosjons trykk og lettere overgang til detonasjon
Min. tenn energi (10 ⁻⁵ J)	2	33	31	H ₂ antennes mye lettere
Nedre brennverdi (MJ/ kg)	119	50	46	H ₂ har mer energi per masseenheter som kan skape større eksplosjonstrykk og brann ved lekkasje
Kokepunkt (°C)	-253	-161	-42	Kjøle effekter kan bli verre ved væskelekkasjer med hydrogen

5 IDENTIFISERTE FARER

Mulige farehendelser som kan medføre antennbare konsentrasjoner av hydrogen i eller utenfor anlegget er inkludert i analysen. Videre er farehendelser der en eventuell brann eller eksplosjon vil kunne gi farlige effekter utenfor anlegget, inkludert i den videre analysen.

De identifiserte farene og topphendelsene er listet i Tabell 5-1.

Tabell 5-1 Oversikt over identifiserte farer og vurderte topphendelser.

Scenario nr	Uønsket hendelse
1	Lekkasje fra elektrolyser eller tilknyttet utstyr, eksplosjon i container
2	Lekkasje fra produksjons-kompressorer, eksplosjon i konteiner, mulig tilbakestrømming fra lagertanker
3	Lekkasje fra lagertanker med tilhørende utstyr, mulig eksplosjon i utstyrstette områder

¹ Fra DNV GL Rapport 2016-11-02. Hydrogen som energibærer på Vestlandet. Mulighetsstudie 2016.

4	Lekkasje fra fylle-kompressorer, mulig eksplosjon i konteiner, mulig tilbakestrømming fra lagertanker
5	Lekkasje fra fylletank med tilhørende utstyr, mulig eksplosjon i utstyrstette områder
6	Lekkasje i rørføring fra fylletank til dispenser
7	Lekkasje i slange og/eller dispenser ved fylling

For de forskjellige identifiserte scenarioene listet i Tabell 5-1 er det vurdert 2 til 4 ulike undersenarioer. Disse kan deles inn i:

- Liten lekkasje, hulldiameter 1 -3 mm (representativ 2 mm)
- Medium lekkasje, hulldiameter 3-10 mm (representativ 5 mm)
- Stor lekkasje, > 10 mm (representativ 13 mm, og i tillegg en variasjon med 14 mm som er største diameter etter den første kompressoren)
- Fullt brudd på rør/slange eller beholder, og disse er modellert som store lekkasjer.

For alle lekkasjetyperne er isolasjonsfeil (nødvastenging feiler, og en mister mulighet til å begrense størrelsen på utslippet) også modellert.

De valgte scenarioene er vurdert som tilstrekkelig da de samlet sett gir et godt bilde på ulike uønskede hendelser som kan oppstå i forbindelse med produksjon, komprimering, lagring og fylling av hydrogen.

5.1 Innendørs lekkasje i elektrolyser

En innendørs lekkasje i konteinerne for elektrolyseren (eller også en av kompressorene) som kan resultere i en eksplosjon har vært inkludert i risikoanalysen, men sannsynligheten for en slik hendelse er svært lav. Dette er fordi elektrolyseren har lavt trykk og kun en liten mengde hydrogen, er ventilert, og utstyrt med mulighet for trykkavlastning dersom gass skulle bli akkumulert. For å få til en kraftig eksplosjon i elektrolyserkonteinerne vil det være nødvendig med tilbakestrøm fra lagertanken, noe som anses som usannsynlig, da dette betyr at det må gå gass gjennom to ESD ventiler, i tillegg til kompressoren.

5.2 Lekkasje og eksplosjon i produksjons-kompressorkonteiner

For lekkasje i produksjons-kompressorkonteineren er det antatt at det vil monteres ESD ventil både ved innløp til og utløp fra kompressoren. Dette er for å raskt kunne isolere en eventuell lekkasje inne i konteineren, og det antas at disse ventilene lukkes automatisk ved gassdeteksjon eller raskt trykkfall. Dersom et rørbrudd inntreffer inne i konteineren nedstrøms kompressoren, kan det resultere i tilbakestrøm fra lagertanken. I lagertanken er trykket høyt, og dette kan resultere i en betydelig tilbakestrøm. Det modelleres også scenarier hvor det er svikt i ESD-systemet, slik at rask isolering og forhindring av tilbakestrømming ikke gjennomføres, se kapittel 3.4.1.

Tilbakestrømming inn i konteiner ved en eventuell lekkasje kan potensielt resultere i en kraftig eksplosjon, og er sammen med eksplosjon inne i flaskebankene for utendørs hydrogenlager en av hovedfarene knyttet til hydrogenanlegget.

For konteinere er det også lagt til grunn at det vil eksistere et ventilasjonssystem som vil være i stand til å ventilere en eventuell gasslekkasje til sikkert område, se Section 7.11 i ISO/TS 19880-1 for hvordan dette kan løses.

5.3 Lekkasje fra utendørs hydrogenlager

Et utendørs utslipp med hydrogen i produksjonsområde kan inntreffe fra lagertankene som er antatt plassert i flaskebanker utendørs. Forskjellige scenarier er modellert basert på hvilket utstyr som lekker, og hvor mye som potensielt vil slippe ut ved en slik lekkasje. For å begrense varigheten på et utslipp er det antatt ESD ventiler mellom hovedenhetene og mellom kaskader i lagertankene. Lekkasje fra lagertankene modelleres som en jet som peker ned, dette gir en gass-sky som kan spre seg innenfor området men som ikke har moment til å lage en horisontal jet-brann. Veggene rundt anlegget forhindrer dette. Gass-skyen kan lede til eksplosjoner dersom jet'en ikke antenner umiddelbart.

Både lagertank og fylletank er satt sammen av flere flasker. Det er vanlig å etablere ESD segmenter av grupper av disse flaskene, se Tabell 2-1 for mengde hydrogen som kan lekke ut fra hvert lagersegment.

En lekkasje fra hydrogenlager kan resultere i flere typer hendelser, hvor jettbrann og eksplosjon utgjør hovedfarene for tredjepart.

5.4 Lekkasje i rørføring fra fyllingstank til dispenser

For å frakte gassen fra fylletank og til dispenser vil det være behov for et rør. Det er i denne analysen forutsatt at røret vil være nedgravd og dermed god beskyttet. Røret er i tillegg normalt tomt, og 'vasket' med nitrogen etter bruk. I begge ender er det ESD ventiler (både utløp fyllingstank og innløp dispenser).

5.5 Utendørs lekkasje ved dispenser

Ved fylling til bil kan det også inntreffe en lekkasje, og/eller brudd fra dispenser eller fylleslangen. I denne risikoanalysen er lekkasjeraten fra et slikt brudd basert på slangedimensjonen og trykket i fylleslangen. Det er lagt til grunn slangebruddsventil på hydrogen fylleslangen, tillegg til ESD ventiler som sikrer nedstening etter 5 sekunder ved gassdetekasjon.

5.6 Eksterne hendelser

Lekkasje og flaske/tankbrudd utgjør hovedfarene for hydrogenanlegget og er inkludert i risikoanalysen, og det er disse som kan resultere i konsekvensene presentert i delkapittel 3.3.

Lekkasje kan derimot inntreffe som en konsekvens av svært mange feilmekanismer, slik som design feil og korrosjon. I tillegg kommer hendelser som ofte betraktes som mer uforutsette eller som 'uhell', slik som kollisjoner mellom kjøretøy/utstyr eller at noe mistes under en løfteoperasjon. I tillegg kommer muligheten for at hendelser som inntreffer utenfor anleggsområdet skal påvirke driften på anlegget, og potensielt resultere i lekkasje eller trykkoppbygning. Beskyttelse mot eksterne hendelser er derfor også et viktig risikoreducerende tiltak, og det er i denne analysen forutsatt at anlegget vil være beskyttet mot kollisjon. I tillegg er det forutsatt at branner utenfor anleggsområdet ikke vil være i stand til å spre seg inn på anleggsområdet.

Andre eksterne hendelser som kan påvirke driften og sikkerheten til et anlegg er relatert til ytre faktorer slik som vær og seismisk aktivitet. Analysen forutsetter et område med lite seismisk aktivitet, og det er

ikke lagt til grunn at jordskjelv vil bidra til risikonivået for anlegget. I tillegg forutsettes det at anlegget er bygget i henhold til gjeldende regelverk, og dermed er robust nok til å håndtere forventede eksterne hendelser.

6 SIKKERHETSAVSTANDER

Dette kapitlet gir sikkerhetsavstander beregnet ut fra risikomodellen for anlegget. Sikkerhetsavstanden er definert som avstanden til risikokonturene for de tre nivåene for årlig individuell dødsfallrisiko:

- 10^{-7} (ytre sone)
- 10^{-6} (midtre sone)
- 10^{-5} (indre sone).

Sikkerhetsavstanden er beregnet fra midtpunktet i anlegget.

Indre, midtre og ytre hensynssone refererer til DSBs soner med oversikt over hvilke tiltak eller type aktiviteter og objekter som er tillatt innenfor de forskjellige sonene, /6/.

6.1 Sikkerhetsavstander

Resultatene for sikkerhetsavstander med parametervariasjoner er gitt i Tabell 6-1 nedenfor. Bidragsytene til indre, midtre og ytre sone er gitt av hhv. Tabell 6-2, Tabell 6-3 og Tabell 6-4.

Tabell 6-1 Sikkerhetsavstand fylleanlegg for hydrogen som drivstoff for lette kjøretøy,

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Produksjon 5 kg/h, 220 kg hydrogen lagret på stasjonen.	63	85	100
Produksjon 5 kg/h, 1220 kg hydrogen lagret på stasjonen (500 kg ved 500 bar, og 500 kg ved 950 bar)	64	86	100
Produksjon 5 kg/h, 1220 kg hydrogen lagret på stasjonen (500 kg ved 500 bar, og 500 kg ved 950 bar), Eksplosjonseffekt fra økt fortettet volum pga. flere hydrogentanker inkludert	85	99	100
Produksjon 5 kg/h, 2220 kg hydrogen lagret på stasjonen (1000 kg ved 500 bar, og 1000 kg ved 950 bar)	65	86	100
Produksjon 5 kg/h, 2220 kg hydrogen lagret på stasjonen (1000 kg ved 500	96	117	118

bar, og 1000 kg ved 950 bar)			
Eksplosjonseffekt fra økt fortettet volum pga. flere hydrogentanker inkludert			

Dersom det skal lagres mer hydrogen på anlegget i form av flere tanker (fylletanker), vil dette kunne bidra til at sonene flyttes noe utover. Hyppigere eller sjeldne fylling, samt endringer i produksjonsrate vil påvirke sonene lite så lenge det er i samme størrelsesorden som i det modellerte anlegget. Antall kompressorer og størrelse på konteinere vil påvirke utstrekning av sonene. Kortere nedstengningstid, særlig for medium lekkasjer, kan redusere risikonivå og utstrekning av sonene.

Variasjonen med økt mengde hydrogen lagret er gjort ved å multiplisere antall fylletanker inkludert tilhørende utstyr slik at det gjenspeiler hhv. 1000 og 2000 kg lagret hydrogen i fylletankene (halvparten ved hhv. 500 og 950 bar), mot base case hvor 100kg er lagret i fylletankene. En økning i lagret mengde med faktor 10 og 20 gir hhv. en økning i total lekkasjefrekvens på hhv 14% og 28%, og med økning for store lekkasjer alene på hhv. 6% og 13%. Denne økningen i lekkasjefrekvens gir liten påvirkning på risikokonturene alene, og siden varighet på lekkasjer, størrelse på gass-skyer og branner ikke påvirkes av flere lagertanker, er den totale effekten på risikokonturene små. Det er i tillegg gjort en sensitivitet der også fortettet volum skapt av fylletankene er økt tilsvarende økningen lagret mengde hydrogen. Når dette volumet endres betraktelig kan en større del av gass-skyen ligge inne i dette fortettede volumet, som igjen gir høyere eksplosjonstrykk ved antennelse og dermed større utstrekning av risikokonturene. Når eksplosjonseffekten av større fortettet volum inkluderes utvides risikokonturene betydelig.

Viktigste bidragsyter til risiko (indre/midtre/ytre sone) for fylleanlegg med 220 kg hydrogen lagret som drivstoff for lette kjøretøy, fylling av 70 biler i døgnet, produksjon 5 kg/h og 220 kg hydrogen lagret på stasjonen er gitt i Tabell 6-2, Tabell 6-3 og Tabell 6-4 nedenfor.

Største bidragsyter til indre og midtre sone er medium og store lekkasjer i kompressorene. Det er eksplosjoner som er det vesentlige bidraget til risikokonturene, mens jetbranner kun gir et lite bidrag som følge av effekten av beskyttelsesveggen rundt anlegget. Det høye trykket gir tilstrekkelig lekkasjerate til å bygge opp gass-skyer inne i konteinerne også innenfor det korte tidsrommet det tar å stenge ned lekkasjer (10s for medium og 2s for store lekkasjer), som ved antennelse er modellert å gi eksplosjoner som kan forårsake skade utenfor anlegget. Kompressor 3 har mindre volum – og dermed mindre akkumulert gass-sky – som gir kortere konsekvenssoner ved antennelse. Kompressorene har vesentlig høyere lekkasjefrekvens enn øvrige anleggsdeler, og dette er en viktig årsak til det store risikobidraget. Store lekkasjer fra fylletankene har lav frekvens og bidrar derfor mer til midtre og ytre sone enn til indre. Fylling av kjøretøy bidrar ikke til risiko for de tre sonene, på grunn av lave lekkasjerater ved fylling.

Tiltak som kan bidra til å redusere risiko, dvs. utstrekning av sikkerhetsavstandene er:

- eksplosjonsvegger som er dimensjonert for å beskytte områder hvor tredjepart oppholder seg. Utformingen av en slik vegg kan bestemmes med CFD-beregninger. Med slike beregninger kan nødvendig styrke og utstrekning bestemmes uten at man over- eller underdimensjonerer.
- Smart plassering av utstyr slik at utstyr som har størst lekkasjefrekvens, f.eks flenser og ventiler som tilhører flaskebankene, ikke skal kunne spre gass inn i en annen flaskebank (eller mot et annet fortettet/congested område).

- God ventilasjon av utstyr der utstyr med de største lekkasjefrekvensene er plassert. En optimal plassering av utstyret kan med fordel bestemmes ved å simulere lekkasje-, jet- og gasdispersjons-scenarier med CFD verktøy.
- Minimalisering av rør diameter for å redusere lekkasjestørrelser

Tabell 6-2 Viktigste bidragsytere til indre sone, fylling av 70 biler i døgnet, 220 kg hydrogen lagret på stasjonen.

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
7	Kompressor 2	Gass	Medium	Med isolering	21.5
5	Kompressor 1	Gass	Medium	Med isolering	20.5
5	Kompressor 1	Gass	Stor	Med isolering	12.5
7	Kompressor 2	Gass	Stor	Med isolering	11.8
9	Kompressor 3	Gass	Medium	Med isolering	6.3
9	Kompressor 3	Gass	Stor	Med isolering	4.3
11	Fylletank 2	Gass	Liten	Med isolering	2.9
10	Fylletank 3	Gass	Liten	Med isolering	2.9
12	Rør til dispenser	Gass	Medium	Med isolering	2.2
12	Rør til dispenser	Gass	Stor	Med isolering	2.1
8	Fylletank 1	Gass	Liten	Med isolering	2.0
13	Dispenser	Gass	Medium	Med isolering	1.7
11	Fylletank 2	Gass	Medium	Med isolering	1.2
10	Fylletank 3	Gass	Medium	Med isolering	1.2

Tabell 6-3 Viktigste bidragsytere til midtre sone, fylling av 70 biler i døgnet, 220 kg hydrogen lagret på stasjonen.

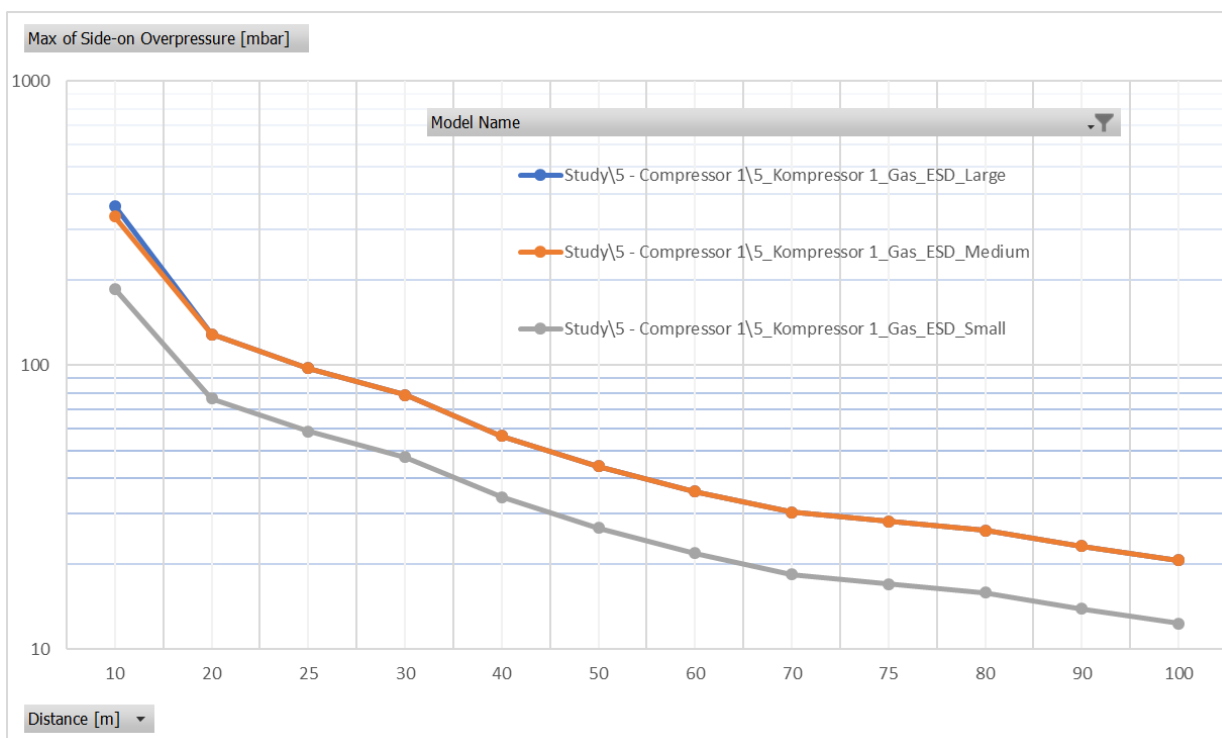
Segment no.	Segmentnavn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
7	Kompressor 2	Gass	Medium	Med isolering	30.0

5	Kompressor 1	Gass	Medium	Med isolering	27.0
5	Kompressor 1	Gass	Stor	Med isolering	17.0
7	Kompressor 2	Gass	Stor	Med isolering	16.8
9	Kompressor 3	Gass	Stor	Med isolering	2.8
12	Rør til dispenser	Gass	Stor	Med isolering	2.0
12	Rør til dispenser	Gass	Medium	Med isolering	1
Andre scenarioer har risikobidrag lavere enn 1%.					

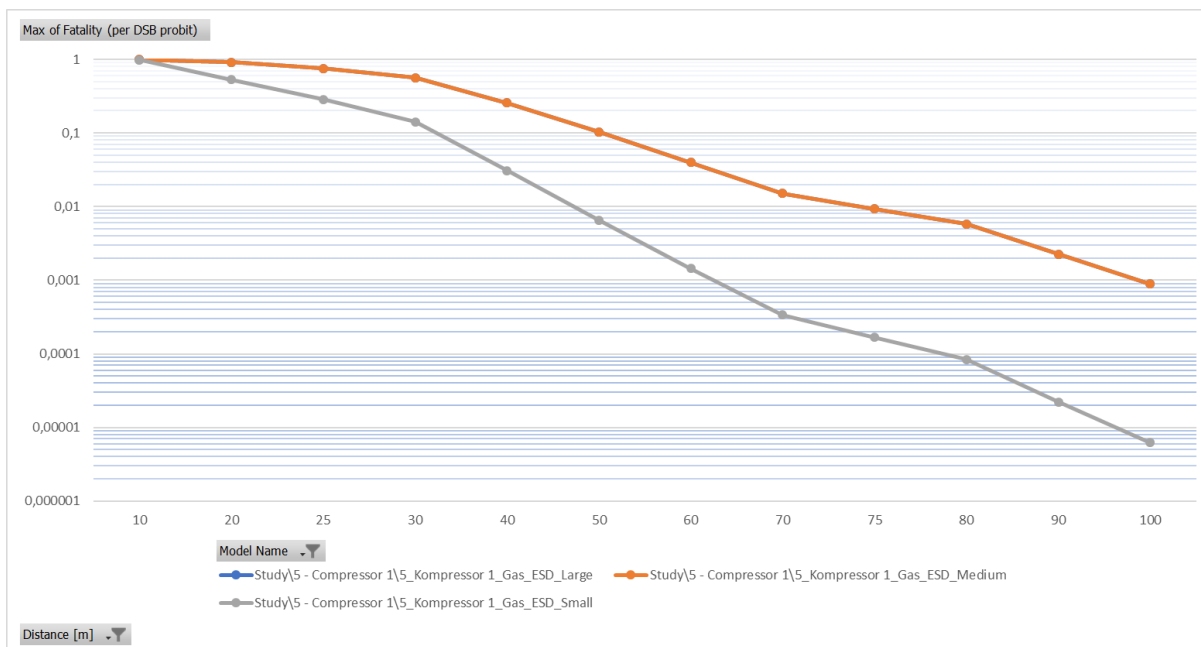
Tabell 6-4 Viktigste bidragsyter til ytre sone, fylling av 70 biler i døgnet, 220 kg hydrogen lagret på stasjonen.

Segment no.	Segmentnavn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
9	Kompressor 1,2 og 3	Gass	Stor	Med isolering	81.0
12	Rør til dispenser	Gass	Stor	Med isolering	9.7
13	Dispenser	Gass	Stor	Med isolering	3.8
11	Fylletank 3	Gass	Stor	Med isolering	2.5
10	Fylletank 2	Gass	Stor	Med isolering	2.5
Andre scenarioer ha risikobidrag lavere enn 1%.					

Figur 6-1 og Figur 6-2 viser hhv. eksplosjonsovertrykk og dødelighet som funksjon av avstand, for eksplosjoner som oppstår i Kompressor 1 (produksjonskompressor). Kompressor 1 er en av de største bidragsyterne til risiko for indre sone. Eksplosjonstrykket er sammenlignet med eksperiment i seksjon 3.3.3.1, og viser at Safeti kan reprodusere dette eksperimentet opp til 32 m avstand fra tennstedet. Selv lave eksplosjonsovertrykk gir en dødelighet i prosent som kombinert med de aktuelle lekkasjefrekvensene og tennsannsynlighetene gir dødsfallrisiko som bidrar til risikokonturer på 1×10^{-5} og lavere for de oppgitte sikkerhetsavstanden. Ved en avstand på 63m er det estimert et eksplosjonsovertrykk på ca 33 mbar, som i følge anbefalt Probit (ref./8/) gir en dødelighet på ca. 2.5%.



Figur 6-1 Eksplosjonsovertrykk som funksjon av avstand, for eksplosjoner som oppstår i kompressor 1 (produksjonskompressor. Medium og stor lekkasje er i stor grad overlappende.



Figur 6-2 Dødelighet (sannsynlighet) som funksjon av avstand, for de største bidragsyttere til indre risikokontur, som følge av eksplosjoner som oppstår i kompressor 1 (produksjonskompressor). Medium og stor lekkasje er overlappende.

6.2 Sikkerhetsavstander med økt hullstørrelse for store lekkasjer

Det er gjort en parametervariasjon hvor representativ hullstørrelse for store lekkasjer er økt fra 13 til 14 mm. DN14 er største diameter på rør og utstyr, med unntak av lagertankene, nedstrøms produksjonskompressoren. Oppstrøms produksjonskompressoren er største diameter 22 mm. Representativ hullstørrelse for lekkasjer > 10 mm er 13 mm for anlegget som helhet. Parametervariasjonen med økning i representativ hullstørrelse fra 13 til 14 mm gir ingen endring av risikokonturene sammenliknet med base case, ref. Tabell 6-5.

Tabell 6-5 Sikkerhetsavstand fylleanlegg for hydrogen som drivstoff for lette kjøretøy, fylling av 70 biler i døgnet, 220 kg hydrogen lagret på stasjonen, økt hullstørrelse for store lekkasjer

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Produksjon 5 kg/h, Hullstørrelse store lekkasjer økt fra 13 til 14mm.	63	85	100


7 RELEVANTE USIKKERHETER

Risiko defineres ofte som en kombinasjon av sannsynlighet for og konsekvens av uønskede hendelser, men begrepet kan tolkes langt videre. I denne analysen er risikoen fremstilt som årlige sannsynligheter (frekvenser) for dødsfall relatert til håndtering av hydrogen. En tolkning av hva risiko egentlig innebærer er at risiko knyttet til en aktivitet er kombinasjonen av mulige fremtidige hendelser og deres konsekvenser, og tilhørende usikkerhet, ref./7/. Resultatene av risikoanalysen, og dermed de resulterende sikkerhetsavstandene ovenfor, må derfor vurderes i lys av usikkerheten i beregningene og vurderingene som er gjort. Usikkerheten kan være knyttet til antakelser, forenklinger og begrensninger i modellene, styrken av kunnskapen som benyttes eller i omfanget av risikoanalysen.

Dette caset er beregnet for et flatt område, uten nærliggende høyblokker, hvor anlegget er antatt omgitt av en beskyttende vegg som retter gass vertikalt. Dersom resultatene fra analysen benyttes for å adressere risikoen for tredjepart i mer kuperte områder, særlig dersom det er veldig bratt, eller ved høye bygninger, vil resultatene fra denne analysen gi et bilde som potensielt presenterer en for lav risiko.

Når det modelleres at alle skyer som når utenfor anlegget antenner, vil tidsfaktoren ikke påvirke antennessannsynligheten. Dette betyr at en stor sky - men med kort eksponering av mulige tennkilder fordi lekkasjen raskt stenges ned - vil ha like høy sannsynlighet for antennelse som en lekkasje som ikke stenges og dermed eksponerer mulige tennkilder over lengre tid. Den risikoreducerende effekten av rask nødavstengning blir da ikke reflektert. Tidsfaktoren har i realiteten stor betydning for tennsannsynligheten.

Usikkerhet i antakelser er knyttet til bruk av lekkasjefrekvenser, tilstedeværelsen av ulike tennkilder i anlegget, befolkning og trafikk i nærområdet osv. Høyere tennsannsynlighet i eller nær anlegget vil kunne redusere utstrekningen av de lengste konturene, men gir tilsvarende økt risiko nærmere anlegget.



Et annet usikkerhetsmoment er knyttet til prosessforholdene i hydrogen-anlegget. Dersom trykk, produksjons- og lagermengde av hydrogen avviker drastisk fra dette, burde konsekvensmodelleringen påvirkes.

Det er forventet at det vil være noe variasjoner i dimensjoner på rørverk og utstyr på anleggene. Større dimensjoner gir større andel store lekkasjer, som gir høyere lekkasjerater og dermed raskere større gass-skyer.

PhastRisk-modellen for eksplosjoner inne i konteinerne er konservativ fordi PhastRisk benytter ballong-modellen, samt at lekkasjeraten før isolering er konservativ.

Effekt av løse gjenstander og konstruksjoner som kan danne prosjektiler ifm en eksplosjon er ikke tatt med og det er usikkert hvor godt et anlegg kan konstrueres mot slike hendelser.

Bruken av hydrogen som drivstoff i transport-sektoren er relativt ny, og dette medfører at det er finnes lite historiske hendelsesdata for denne anleggstypen. Dette bidrar til at usikkerheten i analysen er større enn for tilsvarende analyser av andre anlegg med større hendeshistorikk. Usikkerheten er knyttet til lekkasjefrekvenser, sannsynlighet for feil på sikkerhetssystemer og tennsannsynlighet. Denne analysen baserer seg på metode og utstyrstillinger gjort i DNVs Hysafe-prosjekt, ref. /1/. Dette er gjort for lettere kunne sammenlikne risiko mellom forskjellige hydrogen-anlegg.

8 REFERANSER

- /1/ DNV (2006). HYAPPROVAL QUANTITATIVE RISK ASSESSMENT OF HYDROGEN REFUELLING STATION WITH ON-SITE PRODUCTION, REPORT NO. 2006-1409, rev. 4.
- /2/ RIVM (2009). Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2. National Institute of Public Health, Bilthoven, Nederland
- /3/ OGP Risk Assessment Data Directory, Storage incident frequencies, Report No. 434-3, March 2010.
- /4/ UK Health and Safety Executive. (2010). UK Health and Safety Executive, *Hydrocarbon Release Database*
- /5/ VROM, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Netherlands. (2005). *Purple Book Guidelines for quantitative risk assessment*. den Haag: PUBLICATIEREEKS GEVAARLIJKE STOFFEN.
- /6/ DSB (2013). Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer. Kriterier for akseptabel risiko. Tilgjengelig fra: <https://www.dsb.no/rapporter-og-evalueringer/sikkerheten-rundt-anlegg-som-handterer-brannfarlige-reaksjonsfarlige-trykksatte-og-eksplosjonsfarlige-stoffer/>.
- /7/ Aven, T. (2011). The risk concept – historical and recent development trends. *Reliability Engineering and System Safety* 99 (2012) 33–44
- /8/ VROM, Methoden voor het bepalen van mogelijke schade (Green Book), PGS1, Voorburg, December 2003. (<http://www.vrom.nl/pagina.html?id=20725>, 03 October 2008).
- /9/ Royle, M., Shirvill, L.C., & Roberts, T.A. (2007). Vapour Cloud explosions from the ignition of methane/hydrogen/air mixtures in a congested region. In: *Proceedings of 2nd International Conference on Hydrogen Safety*, San Sebastian, Spain.







Om DNV GL

DNV GL er et internasjonalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering. Siden 1864 har vårt formål vært å sikre liv, verdier og miljøet. Vi bistår våre kunder med å forbedre deres virksomhet på en sikker og bærekraftig måte.

Vi leverer klassifisering, sertifisering, teknisk risiko- og pålitelighetsanalyse sammen med programvare, datahåndtering og uavhengig ekspertrådgivning til maritim sektor, til olje- og gass-sektoren, og til energibedrifter. Med 80,000 bedriftskunder på tvers av alle industrisektorer er vi også verdensledende innen sertifisering av ledelsessystemer.

Med høyt utdannede ansatte i 100 land, jobber vi sammen med våre kunder om å gjøre verden sikrere, smartere og grønnere.