

Trondheim - 24.10.2022
Ref. : Gexcon-22-100960-R2
Rev.: 02

RAPPORT

Kvantitativ risikoanalyse for hydrogenanlegg på Hellesylt

Kunde
Norwegian
Hydrogen AS

Forfatter(e)
Lillian Kråkmo

Dokumentinfo

Forfatter(e)

Lillian Kråkmo

Klassifisering

Fortrolig (F)

Tittel

Kvantitativ risikoanalyse for hydrogenanlegg på Hellesylt

Sammendrag

En kvantitativ risikoanalyse er utført for et hydrogenanlegg som planlegges bygd på Hellesylt. Estimert individuell risiko for tredjepart er presentert som risikokonturer, som kan benyttes for å etablere hensynssoner rundt anlegget.

Prosjektinfo

Kunde

Norwegian Hydrogen AS

Kundens ref.

Andreas Østigård

Gexcon prosjektnr

100960

Gexcon prosjektnavn

CO_Pilot-E_Hellesylt

Revisjon

Rev.	Dato	Forfatter	Kontrollert av	Godkjent av	Årsak til revisjon
00	04.10.2022	Lillian Kråkmo	Øystein Spangelo	Lillian Kråkmo	Første utkast
01	07.10.2022	Lillian Kråkmo	Øystein Spangelo	Lillian Kråkmo	Oppdatert basert på kommentarer fra kunde
02	24.10.2022	Lillian Kråkmo	Øystein Spangelo	Lillian Kråkmo	Oppdatert basert på kommentarer fra Norconsult og mindre justeringer av layout

Ansvarsfraskrivelse

Gexcon påtar seg ikke ansvar for skader som påføres oppdragsgiver, hans kunder, leverandører eller annen tredjepart, som anvender resultatene av Gexcons arbeid, med mindre det er utvist grov uaktsomhet av Gexcon eller personell som Gexcon har benyttet for å gjennomføre arbeidet.

Innhold

Ansvarsfraskrivelse	3
1 Innledning	5
1.1 Forkortelser og definisjoner	5
1.2 Analysegrunnlag	5
2 Systembeskrivelse	6
2.1 Lokasjon	6
2.2 Anlegg	7
2.3 Vinddata	8
2.4 Om hydrogen	9
3 Risikomodellering	10
3.1 Avgrensning	10
3.2 Initierende hendelser	10
3.3 Segmentering	12
3.4 Lekkasje frekvens	13
3.5 Tennsannsynlighet	15
3.6 Konsekvensmodellering	17
3.7 Sårbarhet	18
3.8 Risiko relatert til andre substanser	19
4 Resultater	21
4.1 Om hensynssoner	21
4.2 Risikokonturer	21
4.3 Risiko nordvest for anlegget	23
4.4 Risikokonturer uten dispenser	24
4.5 Fordeling av risiko	25
5 Konklusjon og anbefalinger	26
6 Referanser	28
Appendix A CFD-simuleringer av gasspredning	29

1 Innledning

Et produksjonsanlegg for hydrogen planlegges bygd på Hellesylt som en del av Hellesylt Hydrogen Hub (HHH)-prosjektet. Prosjektet har som mål å utvikle en helhetlig leveransekjede for grønt hydrogen på Nordvestlandet, som kan muliggjøre utslippsfrie løsninger for ferger, cruiseskip og hurtigbåter, samt transport langs vei og jernbane i regionen. Hydrogen skal produseres, tørkes og renses i et elektrolyseanlegg, før det komprimeres og overføres til lagertanker, som deretter fraktes med trekkvogn til aktuelle bunkringsanlegg.

I henhold til brann- og eksplosjonsvernloven §20 har virksomheter som håndterer farlig stoff, som hydrogen, plikt til å sørge for at håndteringen skjer på en slik måte at mennesker, miljø og omgivelser er tilfredsstillende sikret. Risikoen skal være redusert til et nivå som med rimelighet kan oppnås. Sikkerhetsnivået skal etableres gjennom tekniske og organisatoriske tiltak i virksomheten, eventuelt i kombinasjon med arealmessige begrensninger i området rundt denne.

Som en del av arbeidet med brann- og eksplosjonsvern er det gjennomført en kvantitativ risikoanalyse for det planlagte hydrogenanlegget. Individuell risiko for tredjepart er beregnet og presentert som risikokonturer, som kan benyttes for å etablere hensynssoner rundt anlegget. Risikoanalysen er utført på grunnlag av DSBs retningslinjer for kvantitative risikovurderinger for anlegg som håndterer farlig stoff [1].

1.1 Forkortelser og definisjoner

Forkortelse	Betydning
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
Flashbrann	Brennbar sky, forårsaket av en lekkasje av brennbar gass eller væske, som antenner
IR	Individuell risiko
Jetbrann	Gassjet fra trykksatt utstyr som antenner
LEL/LFL	Lower explosion limit/Lower flammability limit
LSIR	Lokasjonsspesifikk individuell risiko
P&ID	Piping and instrumentation diagram
PEM	Proton exchange membrane

1.2 Analysegrunnlag

Risikoanalysen er basert på følgende dokumentasjon:

- Project 22700500 Gexcon docu V1.05
- 22700500_Explosion_Protection_Concept_V1.00
- 22700500_220630_PID_Norwegian_Hydrogen_V1.00
- 22700500_220718_P&ID_Norwegian_Hydrogen_Maximator-components_V1.00
- 22700500_general information Compression 2.0_revB
- 22700500_Maximator_module-overview_220901
- 22700500 Hazardous Substances List V1.08
- Diverse informasjon utvekslet på møter og via epost

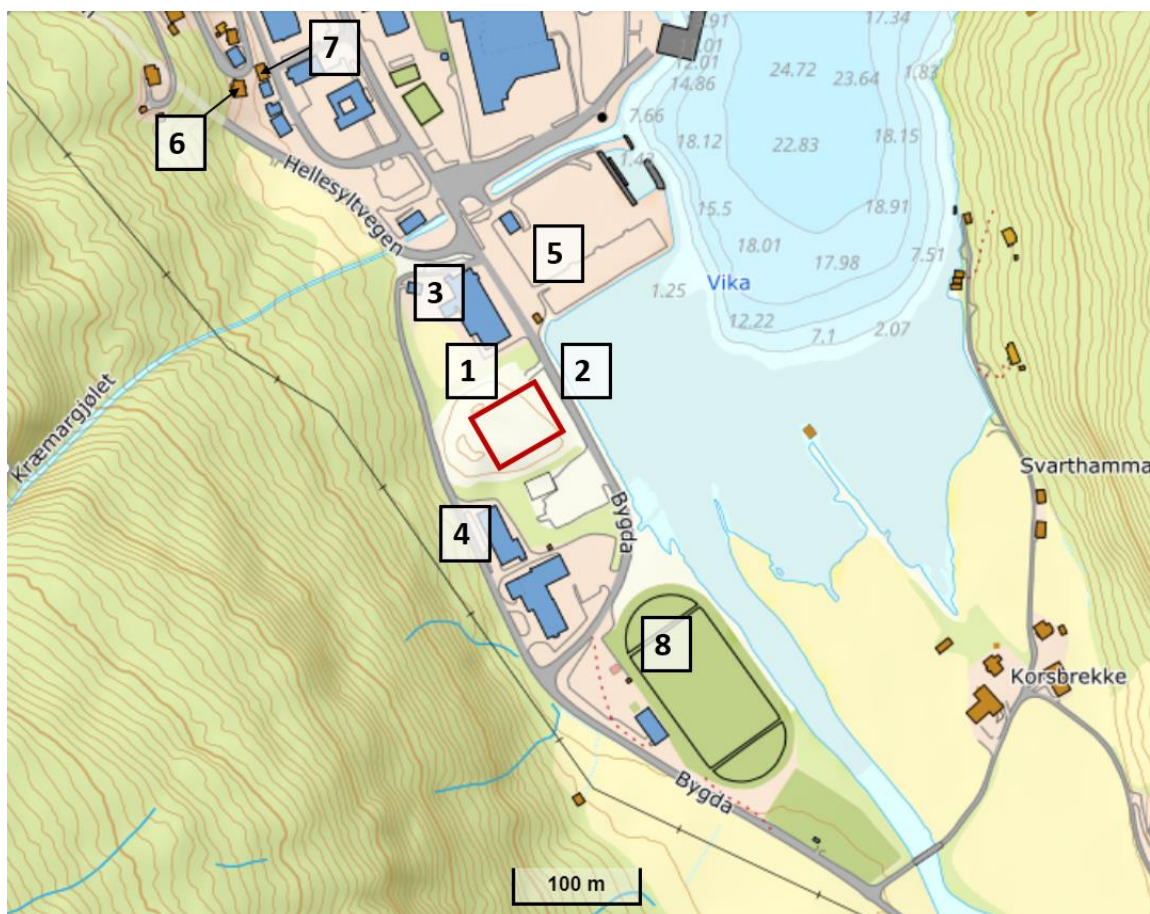
2 Systembeskrivelse

2.1 Lokasjon

Hydrogenanlegget skal installeres på gnr. 91 bnr. 242 i Stranda kommune. Plasseringen av anlegget er indikert med rødt rektangel i Figur 1. Figuren viser også objekter som vurderes som relevante i henhold til kriterier for akseptabel risiko etablert av DSB [2]:

- 1) Fremtidig kommunal parkeringsplass: 15 m fra anlegget
- 2) Fylkesvei 5920: 20 m fra anlegget
- 3) Industribygg: 50 m fra anlegget
- 4) Industribygg: 50 m fra anlegget
- 5) Hellesylt camping: 90 m fra anlegget
- 6) Kyrkjevegen 10 (enebolig): 320 m fra anlegget
- 7) Peer Gynt gata 14 (enebolig): 320 m fra anlegget
- 8) Hellesylt stadion: 170 m fra anlegget

Tomten har tidligere vært benyttet til lagring av tunellmasse, og skal planeres til kotehøyde 3 i første del av anleggsfasen. Terrenget rundt tomten er flatt mot nord, øst og sørøst, og skråner bratt oppover mot sørvest.



Figur 1: Plassering av planlagt hydrogenanlegg indikert med rødt rektangel. Kilde: norgeskart.no

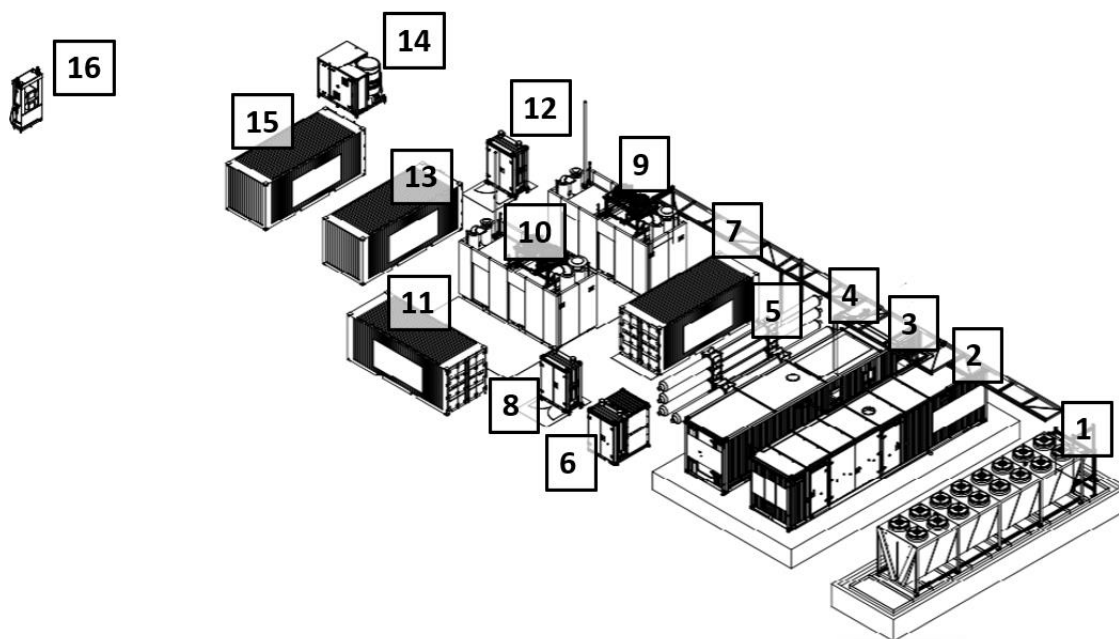
2.2 Anlegg

Hydrogenanlegget består av en rekke prefabrikkerte moduler konstruert for å stå utendørs, og foreløpig layout er vist i Figur 2. Vann og elektrisitet tilføres først en kraftcontainer (2), hvor vannet blir renset og elektrisiteten transformert. Vann og elektrisitet overføres så til en elektrolysør (3), der vannet blir spaltet til oksygen og hydrogen. Kjøling av kraftcontainer og elektrolysør besørges av en kjøler (1). Tørket og renset hydrogen overføres via et lavtrykkslager (4) til en av to kompressorer (9 og 10). Herfra føres trykksatt hydrogen gjennom en flowtech-modul (7) hvor et styringssystem bestemmer veien videre: enten til en recab-modul (8 og 12) for fylling av transportable containere (11, 13 og 15), til et medium- eller høytrykkslager (5 og 6), eller til en dispenser (16) for direkte tanking av kjøretøy. Hydrogen i dispenserens kjøles ved hjelp av en dedikert kjølemodul (14).

Transport av hydrogen og kjølemedium mellom modulene skal besørges av rør lagt i piperack over bakken, med unntak av rørene ut til dispenserens, som skal graves ned.

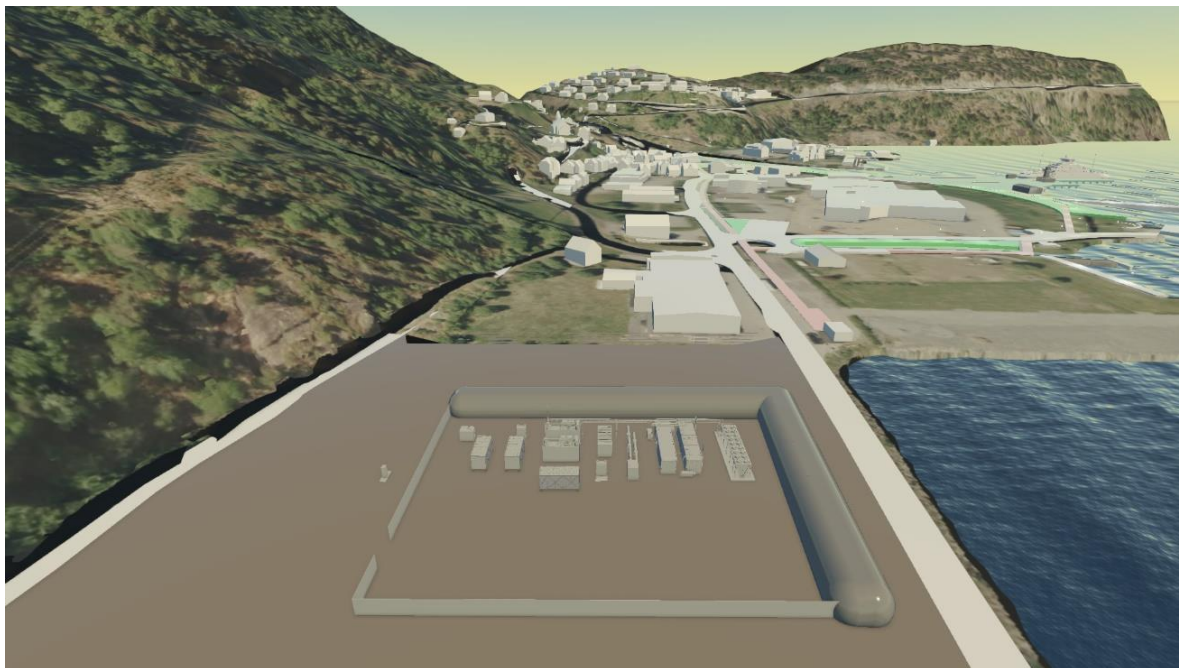
Hydrogenanlegget har en produksjonskapasitet på 1300 kg hydrogen i døgnet. Det vil til enhver tid ikke være mer enn 2000 kg hydrogen lagret på anlegget.

Installasjonen er i sin helhet godkjent av TÜV i henhold til PED 97/23/EC.



Figur 2: Foreløpig layout av hydrogenanlegg.

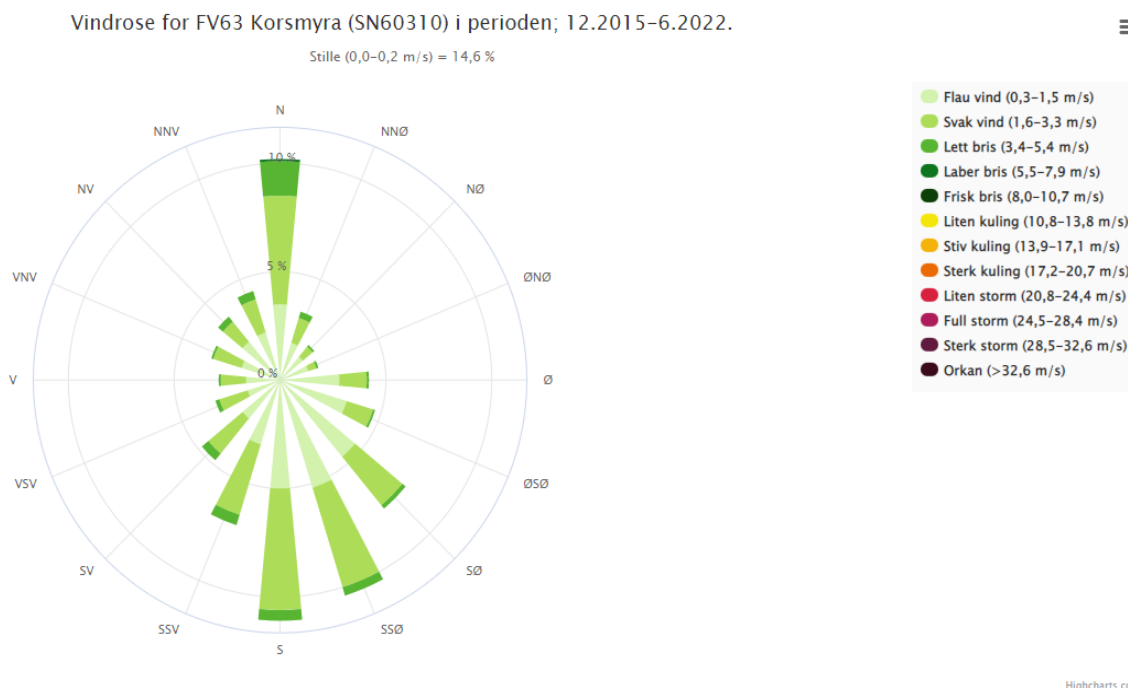
Det vil bli anlagt en 4 m høy jordvoll nordvest og nordøst for anlegget, og et 2.5 m høyt gjerde mot sørøst og sørvest. Disse vil ha en beskyttende effekt på omgivelsene ved eventuelle ulykkeshendelser på anlegget, spesielt for fylkesveien og parkeringsplassen. Jordvollen og gjerdet er illustrert i Figur 3, som viser en geometrimodell av anlegget som Gexcon har laget for bruk i CFD-simuleringer. Tilgang til anleggsområdet skal kontrolleres ved hjelp av en port i gjerdet.



Figur 3: Geometrimodell av anlegget, med jordvoll mot nordvest og nordøst, og gjerde mot sørøst og sørvest. (Modellen er laget for bruk i CFD-simuleringer, og viser ikke nøyaktig utforming av voll og gjerde.)

2.3 Vinddata

Vinddata fra tre værstasjoner nær Hellesylt har blitt hentet fra seklime.met.no. Dataene fra værstasjonen på Korsmyra (ca. 18 km unna) vurderes som mest representative, og er derfor benyttet i risikoanalysen. Vindrosen er gjengitt i Figur 4, og viser at dominerende vindretninger er fra nord, sørøst og sør. Dette synes rimelig, da det bratte terrenget mot sørvest og øst antas å ha en kanaliserende effekt på vinden.



Figur 4: Vindrose benyttet i risikoanalysen.

2.4 Om hydrogen

Hydrogen er en svært reaktiv gass med flere unike egenskaper. Den har vide brennbarhetsgrenser – fra 4 - 75 vol% i luft. I blanding med rent oksygen er hydrogen brennbar opp til 95%. Hydrogen har en høy maksimal flammehastighet – 3.0 m/s mot f.eks. 0.4-0.45 m/s for metan [3]. Sammen gjør disse egenskapene at et utslipp av hydrogen vil gi en sky med stor brennbar andel, og som vil forbrenne hurtig. Dette leder til kraftigere eksplosjoner sammenlignet med andre gasser som det er vanlig å behandle i industrien.

Hydrogen har en høy risiko for å detonere. En detonasjon er når en eksplosjon går fra å være flammedrevet (deflagrasjon) til å være drevet av sjokkbølgen. Trykkstigningen er kraftig nok til at gassen antennes av trykkbølgen som sprer seg med en hastighet på nesten to kilometer i sekundet. I praksis betyr det at hele skyen brenner samtidig, og trykkoppbyggingen blir voldsom. Alle scenarier hvor store reaktive skyer av hydrogen oppstår, har en forhøyet risiko på grunn av dette fenomenet.

Hydrogen er svært enkelt å antenne. En elektrostatisk utladning kan være tilstrekkelig til å antenne gassen. Et trykksatt utslipp av hydrogen har også en tendens til å kunne selvantenne uten at det er noen opplagt kilde til antennelse.

Hydrogenmolekylet består av to hydrogenatomer og er det nest minste stabile molekylet i naturen. På grunn av dette kan gassen lett trenge gjennom små åpninger, og lekker lettere ut fra flenser og pakninger enn andre gasser. Hydrogen vil også trenge inn i stål og svekke dette, noe som må tas hensyn til når utstyr som skal håndtere trykksatt hydrogen designes. ATEX-utstyr som er designet for andre gasstyper er ikke nødvendigvis akseptabelt for bruk i områder hvor hydrogen kan oppstå, siden hydrogen kan trenge gjennom kapslinger som hindrer inntrengning av andre brennbare gasser.

Hvis en trykksatt lekkasje av hydrogen antennes før en brennbar sky er dannet, vil det dannes en jet-brann med intens varme. Imidlertid er stråleverdien til hydrogen lavere enn mange andre gasser. Det betyr at varmen inni selve flammen avtar hurtig med avstand, og den vil derfor være mindre farlig enn en tilsvarende flamme av f.eks. metan. Flammen vil være klar og det kan være vanskelig å se utstrekningen nøyaktig, men den vil lage kraftig lyd og det er derfor ikke sannsynlig at personell med normal hørsel uforvarende kommer i kontakt med flammen.

Hydrogen har en standard tetthet på under 90 g/l (mot 1 225 g/l for luft). Dette betyr at de mest reaktive konsentrasjonene av hydrogen har en sterk oppdrift og vil stige opp og bort utendørs, spesielt i stillestående luft eller ved lave vindhastigheter.

3 Risikomodellering

3.1 Avgrensning

Denne risikoanalysen vurderer risiko knyttet til aktiviteten på produksjonsanlegget. Risiko relatert til transport av containere mellom anlegget og aktuelle bunkringslokasjoner er ikke inkludert. Imidlertid var transport mellom anlegget og Hellesylt kai (hvor et bunkringssystem er under planlegging) omfattet i en tidlig HAZID for HHH-prosjektet [4]. Blant scenarioene som ble diskutert var hydrogenlekkasje som følge av eventuell kollisjon eller utforkjøring. På bakgrunn av at containerne er ADR-godkjente ble det vurdert at den strukturelle integriteten til containerne er ivaretatt, tilsvarende som for annet utstyr som benyttes for veitransport av farlig gods.

Det er kun individuell risiko for tredjeperson som er beregnet i analysen. Risiko for første- og andre person er ikke vurdert¹.

3.2 Initierende hendelser

Initierende hendelser på anlegget som kan forårsake storulykke er hovedsakelig utslipp av hydrogengass fra de ulike modulene. Det benyttes også andre gasser og væsker som karakteriseres som farlige, men disse vurderes å ikke medføre betydelig risiko for tredjepart. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 3.8.

Hydrogensystemet er utstyrt med trykkavlastning, som sørger for at overtrykk i prosessen ventileres ut. Trykkavlastningssystemets design er ikke kjent i detalj, men det legges til grunn for analysen at trykkavlastning foregår på en trygg måte, slik at relaterte hydrogenutslipp ikke utgjør vesentlig risiko. Slike utslipp er derfor ikke vurdert nærmere i denne rapporten.

En kvalitativ vurdering av hydrogenlekkasjer fra ulike deler av anlegget, som antas å kunne medføre storulykke, er gitt under.

3.2.1 Elektrolysør

I elektrolysøren spaltes rensert vann til hydrogen og oksygen ved hjelp av PEM-elektrolyse i tre parallelle blokker. Vannet spaltes først til oksygen, protoner og frie elektroner. Protonene ledes gjennom en membran til katoden, hvor de bindes til hydrogen ved hjelp av elektroner fra en strømkilde. Produsert oksygen er løst i vannet, og tas ut i en separator, før det ventileres ut gjennom taket. Produsert hydrogen sendes videre for tørking, rensing og komprimering, før det føres videre til lavtrykkslageret ved et trykk på 37 barg.

Elektrolysøren står i en container, som er naturlig ventilert i tillegg til at den har en vifte i taket. Containeren har gassdeteksjon ved ventilasjonsutkast i taket, og deteksjon av 20 % LEL medfører nedstengning av systemet. Det er ingen ATEX-soner i containeren ved normal drift, men ved feil på systemet er det en 0.5 m høy sone langs taket. Alt strømførende utstyr som ikke er ATEX-godkjent slås av ved deteksjon av 40 % LEL.

Et utslipp av hydrogen fra trykksatt utstyr i containeren vil treffe utstyr og vegger, slik at det mister impuls og blandes med luft før det ventileres ut gjennom taket. Utslipet vil kunne ha en høy initiell rate, men denne vil avta raskt som følge av trykkløst fall, da det til enhver tid er mindre enn 1 kg hydrogen til stede i systemet. (Det antas at ESD-ventil ved utløpet til elektrolysøren stenger ned relativt raskt ved en lekkasje, og hindrer vesentlig tilbakestrømning fra lavtrykkslageret.)

¹ Førsteperson er personer direkte involvert i drift av anlegget. Andreperson er personer som på annet vis er tilknyttet eller nyter godt av anlegget. Tredjeperson er personer som er indirekte berørt av anlegget, som naboer eller tilfeldig forbi passerende.

3.2.2 Kompressorer

Fra lavtrykkslageret overføres hydrogengassen til to parallelle kompressoranlegg, som er plassert i hver sin container. Her komprimeres gassen til et trykk på omkring 1000 barg ved hjelp av totrinns hydrauliske stempelkompressorer.

Hver container har mekanisk ventilasjon med 50 luftutskiftninger per time, og gassdeteksjon ved ventilasjonsutkast i tak gir nedstengning ved 20 % LEL. Hele containeren er klassifisert som ATEX-sone. Containeren har brannbeskyttende paneler på alle vegger, og et trykkavlastningspanel på 3 m² i taket som åpner ved et overtrykk på 4-6 mbarg.

Et utslipp fra trykksatt utstyr i containeren vil kunne ha svært høy initiell hastighet, men vil treffe utstyr og vegger og miste impuls før det ventileres ut.

3.2.3 Flowtech

Fra kompressorene overføres hydrogengassen til flowtech-containeren, hvor et styringssystem bestemmer hvorvidt gassen skal sendes videre til en av recab-modulene, til medium- eller høytrykkslageret, eller til dispenseren. Potensielle lekkasjekilder her er hovedsakelig instrumenter og ventiler, som overvåker og regulerer prosessstrømmen.

Containeren er delt i to separate rom, og utstyr som inneholder trykksatt hydrogen er samlet i det ene rommet, som er definert som ATEX-sone. Dette rommet er naturlig ventilert, og gassdeteksjon ved ventilasjonsutkast i tak gir nedstengning ved 20 % LEL. Et trykkavlastningspanel på 1 m² i taket åpner ved et overtrykk på 2.5 mbarg.

Også her vil et utslipp treffe utstyr og vegger og miste impuls, før det ventileres ut gjennom taket.

3.2.4 Permanente lagringstanker

Lavtrykkslageret er en horisontal sylindrisk tank i stål med en kapasitet på 4 kg hydrogengass ved et trykk på 30 barg. Mediumtrykkslageret består av 3 horisontale sylindriske tanker i stål, med en samlet kapasitet på 100 kg ved 500 barg. Høytrykkslageret består av 15 komposittflasker, med en samlet kapasitet på 35 kg ved 1000 barg. Mens lav- og mediumtrykkslaget står ute i det fri, er høytrykkslageret innebygd i et containerskap, som er naturlig ventilert med ventilasjonsutkast på toppen.

Et utslipp fra lav- eller mediumtrykkslageret vil kunne gi en gassjet med høy impuls og lang varighet, da tilgjengelig volum er stort og effektiv nedstengning ikke er mulig. Et utslipp fra høytrykkslageret vil ha lang varighet av samme årsaker, men antas å miste impuls før det ventileres ut.

3.2.5 Recab-moduler og dispenser

Fylling av transportable containere besørges av to recab-moduler. I tillegg skal det installeres en dispenser for direkte tanking av kjøretøy. Potensielle lekkasjekilder her er fleksible slanger som brukes for påkobling av containere/kjøretøy, filtre for fjerning av urenheter, og diverse ventiler og instrumenter. Modulene er naturlig ventilert med ventilasjonsutkast på toppen.

Utvendige lekkasjekilder er hovedsakelig fylleslangene, og disse er beskyttet av bruddkoblinger som vil utløses ved lav belastning og begrense utslipp som følge av strekk i slangen. Hvis et utslipp likevel skulle skje under fylling vil det kunne gi en gassjet med høy impuls. Et utslipp fra innvendig utstyr vil treffe utstyr og vegger og miste impuls, før det ventileres ut gjennom toppen.

Når modulene ikke benyttes for fylling/tanking, vil de være nedstengt, og eventuelle lekkasjer vil være begrenset da hver modul kun inneholder ca. 120 g hydrogengass.

3.2.6 Transportable containere

De transportable containerne består av 53 vertikale sylindriske komposittflasker, med en samlet kapasitet på omkring 500 kg hydrogengass ved 380 barg. Flaskene er koblet sammen i fire batterier, og fyllesekvensen kontrolleres via ventiler av et styringssystem.

Flaskene er omgitt av en stålramme, der sideveggene er kledd med presenning. Gulv og tak består av perforerte plater, som sørger for naturlig ventilasjon av containerne. (Det antas at gulvet er noe hevet over bakken, slik at luft kommer til fra undersiden.) Flaskene er tilkoblet smelteventiler, som sørger for trykkavlastning hvis temperaturen i flaskene stiger over 110 °C, f.eks. som følge av oppvarming ved en brann. Det er ikke planlagt gassdeteksjon i containeren, eller mulighet for nedstengning av individuelle batterier.

Et hydrogenutslipp fra en transportabel container antas å treffe flasker og vegger og miste impuls, før det ventileres ut gjennom det perforerte taket. Ved større utslipp antas det at noe hydrogengass også vil lekke ut gjennom det perforerte gulvet. Varigheten vil være lang, da tilgjengelig volum er stort.

3.2.7 Rørføringer mellom modulene

Transport av hydrogen mellom modulene skal besørges av rør lagt i piperack over bakken, med unntak av rørene ut til dispenserene, som skal graves ned.

Et utslipp fra et rør over bakken vil gi en gassjet med høy impuls. Tiltak for å detektere utendørs utslipp er ikke kjent, så varigheten antas å være lang. Et utslipp fra et nedgravd rør vil følge trekkerør til dispenserene eller tilbake til forgreiningspunkt ved flowtech-container. Hvis trekkerøret også er skadet, vil man kunne få et diffust utslipp av hydrogengass opp fra bakken.

3.3 Segmentering

Hydrogensystemet er logisk inndelt i isolerbare segmenter av nedstengningssystemet. Etter nedstengning vil enhver lekkasje være begrenset til mengden hydrogen i det aktuelle segmentet. Segmenteringen som er lagt til grunn for analysen er presentert i Tabell 1. Noen av segmentene er videre inndelt i subsegmenter, for å reflektere variasjoner i lokasjon og/eller trykk innad i segmentet. Det bemerkes at segmenteringen er noe forenklet; f.eks. vil det i realiteten være langt flere segmenter bestående av rør utendørs. Disse er representert av to segmenter, «Piperack LT» og «Piperack HT», hvor hydrogenmengdene er anslått basert på et estimat av den totale rørlengden.

Tabell 1: Segmentering lagt til grunn for analysen (LT = lavt trykk, MT= medium trykk, HT=høyt trykk).

Segment	Subsegment	Lokasjon	Trykk ved normal drift (barg)	Temperatur (°C)	Mengde per enhet (kg)
Elektrolysør		I container	30	10	1
Lavtrykkslager		Utendørs	30	10	4
Kompressor (x2)	LT	I container	30	10	0.6
	MT	I container	150	10	
	HT	I container	1000	10	
Flowtech MT		I container	500	10	0.1
Flowtech HT		I container	1000	10	0.1
Høytrykkslager		I containerskap	1000	10	35
Mediumtrykkslager (x3)		Utendørs	500	10	33
Dispenser	LT inne	I dispenser	350	10	0.12
	LT ute	Utendørs	350	10	
	HT inne	I dispenser	800	10	
	HT ute	Utendørs	800	10	
Recab LT	LT inne	I containerskap	350	10	0.12
	LT ute	Utendørs	350	10	
Recab HT	HT inne	I containerskap	800	10	0.12
	HT ute	Utendørs	800	10	
Transportabel container (x3)		I container	380	10	500
Piperack LT		Utendørs	30	10	0.06
Piperack HT		Utendørs	1000	10	0.2

3.4 Lekkasjefrekvens

Lekkasjefrekvenser for hydrogensystemet er estimert ved hjelp av HyRAM-modellen [5], med tellinger av utstyrskomponenter som input. HyRAM er basert på analyser utført ved Sandia National Laboratories, og DSBs retningslinjer anbefaler at denne brukes for hydrogenanlegg. For hver utstyrstype som dekkes av modellen foreslås lekkasjefrekvenser per komponent for ulike hullstørrelser (tilsvarende hhv. 0.01 %, 0.1 %, 1 %, 10 % og 100 % av antatt strømningsareal gjennom komponenten). For rør er lekkasjefrekvenser angitt per meter rør. Lekkasjefrekvenser for filtre er nedjustert med en faktor 10, også i tråd med retningslinjene.

Beregnete årlige lekkasjefrekvenser fordelt på subsegmenter og hulldiameterer er vist i Tabell 2. Kun lekkasjer med hulldiameter på minst 0.5 mm er inkludert, da mindre lekkasjer antas å ikke kunne medføre storulykke. (For utendørs utslipp gir disse svært små skyer, og for innendørs utslipp er det gjort beregninger basert på ventilasjonsrater og vurdert at disse vil gi nedstengning ved gassdeteksjon før en vesentlig eksplosiv sky kan akkumuleres.) Estimert årlig lekkasjefrekvens for anlegget er totalt 0.33. Modulene som gir størst bidrag til lekkasjefrekvensen er elektrolysøren (0.089) og kompressorene (0.098 per kompressor).

Lekkasjefrekvensene vil i realiteten variere med aktivitetsnivået ved anlegget, f.eks. med antall fylleroperasjoner for containere og kjøretøy, antall transportable containere som er til stede, og mengden hydrogen i disse. HyRAM-modellen beregner lekkasjefrekvenser basert på andel tid utstyret er trykksatt, og som en konservativ forenkling er det i denne analysen antatt at alle modulene er trykksatt og i drift året rundt. (Det antas altså at det alltid er tre fulle transportable containere parkert på anlegget.)

Det forutsettes i analysen at prosedyrer er på plass for å hindre hydrogenlekkasjer i forbindelse med lasting og lossing av de transportable containerne, f.eks. som følge av kollisjon mellom trekkvogn og trykksatt utstyr. Videre er det lagt til grunn at de transportable containerne er godkjente i henhold til ADR-direktivet, og at selve transporten av disse inne på anlegget ikke påvirker lekkasjefrekvensen til containerne.

Når det gjelder fylleslangene, som gir et vesentlig bidrag til lekkasjefrekvensene, så er det antatt at det til enhver tid er to trykksatte slanger ved dispensereren, og én trykksatt slange ved hver recab-modul. Det kan argumenteres for at lekkasjefrekvenser for fylleslanger heller bør beregnes basert på antall fylleoperasjoner per år, da dette kan ha mer å si for slitasje på slangen, frekvens for operatørfeil mm. Shell har gjort en studie av lekkasjefrekvenser for standard fylleslanger for LNG, og det antas at hydrogenslangene på anlegget er underlagt et lignende sikkerhetsregime (bruddkoblinger, prosessdeteksjon, samt hyppige inspeksjoner og testing). Basert på studien foreslår Shell en frekvens på 2.9E-07 per operasjon for større lekkasjer fra fylleslange. HyRAM-modellen, som er brukt i denne analysen, antar en årlig frekvens på totalt 2.1E-04 per slange for de to største hullkategoriene. Dette er på nivå med frekvensen fra Shell hvis man antar to fylleoperasjoner per dag per slange, altså totalt fire fyllinger av transportable containere og fire fyllinger av kjøretøy.

Det bemerkes at utstyrstillingene er basert på foreløpige P&ID'er for de ulike modulene, og at disse bør verifiseres når endelig design foreligger.

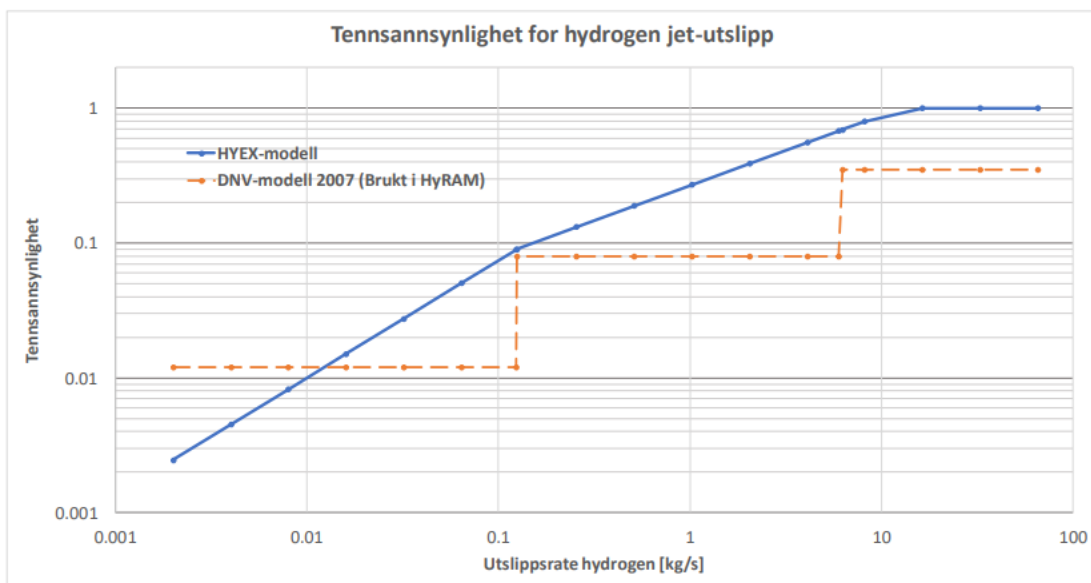
Tabell 2: Beregnede lekkasjefrekvenser fordelt på subsegmenter og huldiametere.

Subsegment	Huldiameter (mm)							Sum
	0.5-1	1-2	2-6	6-11	11-20	20-50	>50	
Elektrolyser	0.00E+00	6.50E-02	1.61E-02	0.00E+00	4.61E-03	3.18E-03	0.00E+00	8.89E-02
Lavtrykkslager	2.79E-05	2.05E-05	1.40E-06	1.74E-05	1.47E-05	7.90E-07	6.83E-07	8.33E-05
Kompressor LT (x2)	1.05E-02	3.19E-03	1.73E-04	2.13E-03	1.75E-03	0.00E+00	0.00E+00	1.77E-02
Kompressor MT (x2)	4.08E-02	1.35E-02	3.94E-03	0.00E+00	3.08E-03	0.00E+00	0.00E+00	6.13E-02
Kompressor HT (x2)	0.00E+00	1.30E-02	3.19E-03	0.00E+00	2.29E-03	0.00E+00	0.00E+00	1.85E-02
Flowtech MT	0.00E+00	1.99E-03	1.20E-03	0.00E+00	6.04E-04	0.00E+00	0.00E+00	3.80E-03
Flowtech HT	0.00E+00	3.35E-03	2.03E-03	0.00E+00	1.02E-03	0.00E+00	0.00E+00	6.39E-03
Høytrykkslager	5.24E-04	0.00E+00	5.00E-04	4.23E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.45E-03
Mediumtrykkslager	1.00E-04	0.00E+00	9.74E-05	7.77E-05	3.57E-06	2.37E-06	2.05E-06	2.83E-04
Dispenser LT inne	1.02E-03	4.30E-04	9.79E-04	6.34E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.06E-03
Dispenser LT ute	1.81E-04	0.00E+00	1.66E-04	7.45E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.21E-04
Dispenser HT inne	1.00E-03	4.30E-04	9.64E-04	6.22E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.02E-03
Dispenser HT ute	1.81E-04	0.00E+00	1.66E-04	7.45E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.21E-04
Recab LT inne	1.42E-03	8.61E-04	1.42E-03	8.01E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.50E-03
Recab LT ute	1.81E-04	0.00E+00	1.66E-04	7.45E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.21E-04
Recab HT inne	1.42E-03	8.61E-04	1.42E-03	8.01E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.50E-03
Recab HT ute	1.81E-04	0.00E+00	1.66E-04	7.45E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.21E-04
Transportabel container (x3)	9.14E-04	3.02E-03	1.93E-03	5.46E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.41E-03
Piperack LT	3.24E-04	1.77E-04	0.00E+00	1.38E-04	9.99E-05	0.00E+00	0.00E+00	7.39E-04
Piperack HT	1.77E-04	0.00E+00	1.38E-04	9.99E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.15E-04
Sum	1.12E-01	1.42E-01	4.59E-02	9.81E-03	2.06E-02	3.18E-03	2.73E-06	3.33E-01

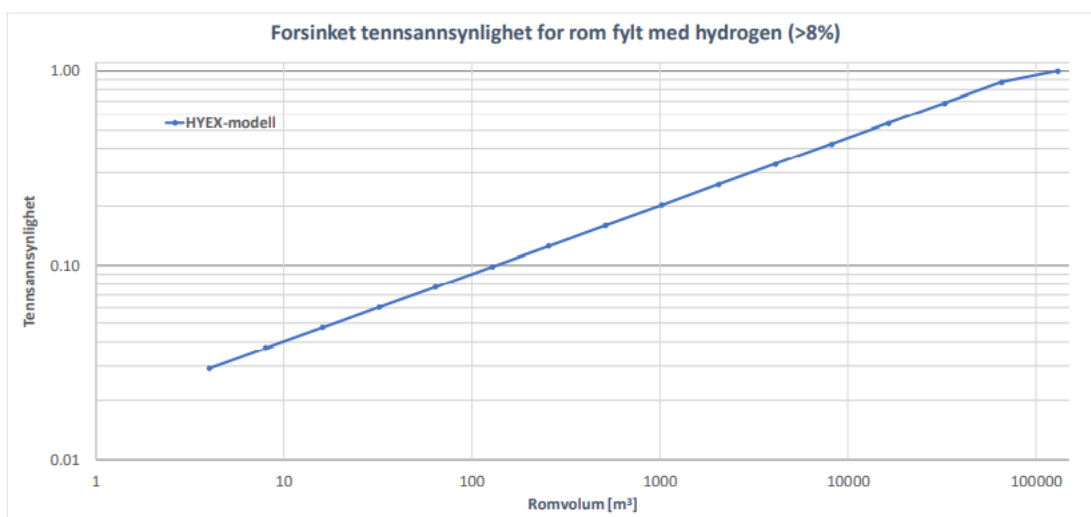
3.5 Tennsannsynlighet

HyRAM implementerer en tidsuavhengig tennmodell basert på lekkasjerate, hvor 1/3 av antenner er forsinket (eksplosjon/flashbrann potensielt etterfulgt av brann) og 2/3 er umiddelbar tenning (brann). DSBs retningslinjer anbefaler å bruke HYEX for hydrogenanlegg, som anses å være en forbedring av HyRAM-modellen. Foreslåtte tennsannsynligheter for de to modellene er vist i Figur 5. For innendørs lekkasjer, hvor hele rommet kan fylles til en konsentrasjon over 8 % LEL, foreslår HYEX en justert modell for forsinket tennsannsynlighet basert på romvolum, som vist i Figur 6 (men med en øvre begrensning på $1.0 - P(\text{tidlig})$, der $P(\text{tidlig})$ er gitt av Figur 5).

I denne analysen benyttes en tennsannsynlighet som tilsvarende maksverdien av sannsynlighetene gitt i Figur 5. Et unntak er gjort for utslipp i fra elektrolyser, kompressorer, og flowtech-modul, hvor forsinket tennsannsynlighet er beregnet basert på HYEX' modell for innendørs lekkasjer.



Figur 5: Tennsannsynlighet som funksjon av utslippsrate ifølge HyRAM- og HYEX-modellen. Kilde: [1]

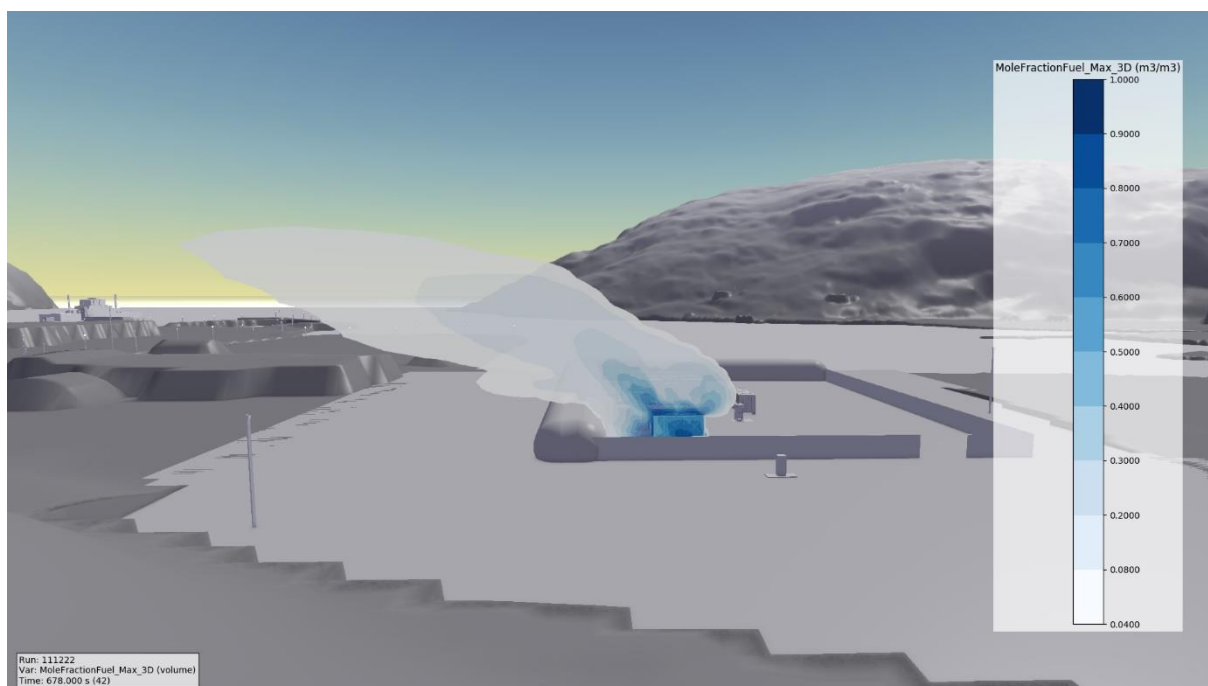


Figur 6: Anbefalt betinget bidrag fra forsinket tenning innendørs ifølge HYEX-modellen. Kilde: [1]

For utslipp hvor brennbar gass når utenfor området som kontrolleres av anlegget, sier DSBs retningslinjer at en total tennsannsynlighet på 1 skal benyttes. Dette reflekterer at det ikke kan antas ferdselsbegrensninger for tredje person eller noen form for tennkildekontroll utenfor dette området. For anlegget på Hellesylt antas det at jordvoll og gjerde vil ha en beskyttende effekt mot gasspredning utenfor det kontrollerte området. For å undersøke dette er det kjørt en rekke simuleringer i FLACS av utvalgte store lekkasjescenarioer ved anlegget. Resultatene indikerer at man i noen tilfeller vil kunne få brennbar gass utenfor anlegget, men at denne vil befinne seg i en høyde over bakken hvor det normalt ikke vil være tennkilder til stede. Figur 7 viser maksimal utbredelse av brennbar gass fra et simulert rørbrudd i en transportabel container, med 2.5 m/s vind fra øst. (Simuleringen er kjørt med en tidligere layout av anlegget, som avviker noe fra layouten lagt til grunn for analysen.) Figuren viser brennbar gass utenfor anlegget, men kun i en høyde på minst 5 m over bakken. Det bemerkes også at, selv om hydrogen er brennbart i konsentrasjoner på 4 vol% og oppover, så har eksperimenter indikert at forbrenning ikke kan opprettholdes ved hydrogenkonsentrasjoner under 8 vol% [6]. Det betyr at i området mellom 4 og 8 vol% kan man få lokal tenning, men trolig ikke en brann som forplanter seg til den rikere delen av skyen.

Maksimal utbredelse av brennbar gass for flere simulerte lekkasjescenarioer er vist i Appendix A. Laveste høyde med forekomst av brennbar gass utenfor anlegget er oppnådd for en simulering av rørbrudd i mediumtrykkslageret med lekkasjeretning mot vest (Figur 19). Her observeres det brennbar gass ned til 3 m over bakken, og konsentrasjoner på 8 vol% ned til 3.5 m over bakken, men kun i et svært begrenset område.

På bakgrunn av diskusjonen over er HyRAM/HYEX benyttet for alle lekkasjer inne på det avspærrede anleggsområdet. For dispenserens, som er plassert utenfor gjerdet, er en total tennsannsynlighet på 1 antatt for alle lekkasjer.



Figur 7: Maksimal utbredelse av brennbar gass fra rørbrudd i transportabel container, i 2.5 m/s vind fra øst.

3.6 Konsekvensmodellering

3.6.1 Modelleringsverktøy

Potensielle konsekvenser av lekkasjer har blitt modellert med Gexcons empiriske verktøy EFFECTS/RISKCURVES versjon 11.5 (heretter omtalt som RISKCURVES) og Shells FRED 2022 (heretter omtalt som FRED). RISKCURVES er opprinnelig basert på modellene i TNOs Colored Books, og har blitt videreutviklet i mer enn 35 år. FRED er utviklet av Shell i mer enn 40 år og lisensieres gjennom Gexcon. RISKCURVES og FRED er akseptert og brukt i risikostudier verden over.

3.6.2 Lekkaserater

Representative lekkaserater er beregnet med FRED for hvert subsegment og hver lekkasjekategori i Tabell 2. Disse er beregnet som stasjonære rater fra et hull med diameter tilsvarende øvre grense for lekkasjekategorien, fra et reservoar med prosessbetingelser som gitt i Tabell 1, og med en utslippskoeffisient på 0.85. Dette er en konservativ tilnærming, da det ikke tas hensyn til at utslippsraten kan avta som følge av trykkfall i systemet, spesielt hvis mengden hydrogen i segmentet er liten og utslippsraten høyere enn strømningsraten ved normal drift. Det er imidlertid gjort noen unntak for å begrense konservatismen:

- For segmenter som hovedsakelig består av rør er hulldiameter begrenset av største rørdiameter i subsegmentet.
- For elektrolysør og kompressorer er største utslippsrate beregnet basert på et utslipp av hele segmentet i løpet av 3 s, dvs. til 0.33 kg/s for elektrolysøren og 0.2 kg/s for kompressorene.
- For utslipp fra medium- og lavtrykkslager er lekkasjer i kategorien 20-50 mm og større behandlet som momentane utslipp av hele tanken. (For disse lekkasjene blir beregnet utslipp per sekund større enn tankens kapasitet.)

3.6.3 Lekkasjevarighet

Varigheten av en lekkasje vil avhenge av tid til deteksjon og nedstengning, samt gjenværende hydrogenmengde i segmentet etter nedstengning. Hydrogensystemet er underlagt et omfattende prosesskontrollsystem, som antas å stenge ned raskt ved lekkasjer som følge av avvikende prosessbetingelser. I tillegg er elektrolysør, kompressorer og flowtech-container utstyrt med gassdeteksjon. Fylling av transportable containere vil overvåkes av personell, med mulighet for manuell nedstengning. Som grunnlag for vurdering av lekkasjevarighet for ulike deler av anlegget er følgende antagelser lagt til grunn:

- For lekkasjer fra transportable containere og permanente lagringstanker, hvor nedstengning vil ha begrenset effekt, antas det at lekkasjen varer til containeren/tanken er tom.
- For lekkasjer fra rørstrekk utendørs, hvor deteksjon antas å kunne ta lang tid, antas det at lekkasjen varer til den brennbare delen av hydrogenskyen når steady-state.
- For lekkasjer fra dispenser og recab-moduler antas nedstengning innen 20 s, som følge av prosess- eller manuell deteksjon.
- Gassdetektorer i containere (for elektrolysør, kompressorer og flowtech) er oppgitt å ha en reaksjonstid på 3 s, mens nedstengningstiden til prosesskontrollsystemet er oppgitt til 30 ms. For lekkasjer i containere med gassdeteksjon antas følgende:
 - For rater under 10 g/s antas nedstengning før en betydelig eksplosiv sky kan dannes.
 - For rater mellom 10 og 100 g/s antas nedstengning innen 20 s.
 - For rater mellom over 100 g/s antas nedstengning innen 10 s.

3.6.4 Gasspredning

Gasspredning for de ulike lekkasjene er modellert med en utetemperatur på 10 °C som vurderes som typisk for Hellesylt, og en representativ vindhastighet på 2.5 m/s. Lekkasjer fra permanente lagringstanker, dispenser, recab-moduler og utendørs rør er i hovedsak modellert direkte som horisontale jetutslipp 1 m over bakken. (Et unntak er gjort for medium- og høytrykkslager, der utslippsretningen er antatt å være uniformt fordelt over vinkler på 0 - 90 grader med horisontalen.) Utslipp fra elektrolysør, kompressorer, flowtech-moduler og transportable containere er modellert med

rater som tilsvarer hullstørrelsen, men som slippes ut vertikalt med hullareal og høyde tilsvarende ventilasjonsutkast.

3.6.5 Antente hendelser

Antente hendelser som oppstår som følge av et utslipp av hydrogengass på anlegget er jetbrann, flashbrann og eksplosjon. En umiddelbar antenning av lekkasjen vil resultere i en jetbrann. Ved forsinket antenning har en brennbar sky utviklet seg over tid, og antenning gir en flashbrann eller eksplosjon, som kan brenne tilbake til kilden og fortsette som en jetbrann. Hvis gasskyen befinner seg i et åpent område oppstår en flashbrann, som er karakterisert ved kortvarig varmestråling uten vesentlige trykkbølger. Hvis gasskyen derimot befinner seg i et fortettet eller innestengt område kan det oppstå en eksplosjon, som også innebærer risiko relatert til overtrykk.

Jetbranner på anlegget er i denne analysen modellert på tilsvarende måte som gasspredning; enten direkte fra jetutslipp 1 m over bakken eller fra vertikale utslipp med justert hullareal og høyde basert på ventilasjonsutkast.

Overtrykk ved forsinket antenning er beregnet ved hjelp av TNOs Multienergimetode, som er implementert i RISKCURVES. For lekkasjer modellert som direkte utslipp er hydrogenmassen i den brennbare skyen beregnet i FRED brukt som input til Multienergimetoden. For lekkasjer i containere med gassdeteksjon (fra elektrolysør, kompressorer og flowtech-moduler) antas det at kildetrykket primært vil genereres av hydrogengass inni containeren. For slike eksplosjoner er hydrogenmassen beregnet basert på estimert hydrogenkonsentrasjon i containeren ved antatt tid for nedstengning, gitt utslipps- og ventilasjonsrate. Det bemerkes også at flashbrann ikke er hensyntatt for disse scenarioene, da eksplosjonstrykk antas å gi verre konsekvenser. (Brennbar sky fra ventilasjonsutkast vil befinne seg høyt over bakken.) For lekkasjer fra transportable containere er hydrogenmassen beregnet basert på simulert sky i FLACS med konsentrasjon over 8 vol% for de største hullstørrelsene (6 og 11 mm). For mindre hullstørrelser er det antatt at hydrogengass fyller det åpne volumet i containeren.

En viktig parameter i Multienergimetoden er kurvenummeret, som beskriver typen eksplosjon og varierer fra 1 («veldig svak deflagrasjon») til 10 («detonasjon»). Det er gjort studier ved Air Liquide [7] for å vurdere hvilket kurvenummer som best representerer ulike typer hydrogenlekkasjer. For frie jetutslipp anbefales det å benytte kurvenummer 4 for rater under 100 g/s, 5 for rater mellom 100 og 1000 g/s og 6 for rater over 1000 g/s. For obstruerte jetutslipp anbefales det å benytte kurvenummer 10.

Det vurderes at lekkasjer som er modellert som direkte jetutslipp (fra lagringstanker, dispenser, recab-moduler og utendørs rør) i stor grad vil være frie, men at noe obstruksjon kan forekomme fra bakken, nærliggende moduler og jordvoll/gjerde avhengig av utslippsretning. På bakgrunn av dette er kurvenummer 7 benyttet for disse lekkasjene. Leckasjer i containere vurderes derimot som obstruerte jetutslipp, og er derfor modellert med kurvenummer 10.

I tråd med DSBs retningslinjer antas det generelt at forsinket antenning skjer ved største utbredelse av den brennbare skyen. Det antas også at alle eksplosjoner/flashbranner brenner tilbake til kilden og fortsetter som en jetbrann.

3.7 Sårbarhet

Dødelighet fra brann er beregnet basert på en terskelverdi for varmestråling på 35 kW/m² som innebærer en dødelighet på 1, i tillegg til en probitfunksjon. Probitfunksjonen, som også tar hensyn til varigheten av varmestrålingen, er basert på TNOs Green Book [8], og er definert ved:

$$Pr = -36.38 + 2.56 \ln(q^{4/3} \cdot t),$$

hvor q angir varmestråling i W/m², og t angir eksponeringstid i sekunder. Maksimal eksponeringstid for varmestråling er satt til 30 s, og ingen beskyttelse fra bekledning er antatt.

For flashbrann er det antatt en dødelighet på 1 innenfor den brennbare skyen, og 0 utenfor. For eksplosjon er det antatt en dødelighet på 1 for områder som eksponeres for overtrykk over 400 mbar, og 0 ellers.

Antagelsene beskrevet over er i tråd med anbefalingene for vurdering av dødelighet gitt i DSBs retningslinjer.

3.8 Risiko relatert til andre substanser

3.8.1 Oksygen

Elektrolyseprosessen involverer vesentlige mengder oksygen, som er karakterisert som farlig, da det kan påvirke brennbarheten og forbrenningshastigheten til andre stoffer. For elektrolyseanlegget vurderes det at oksygen kan påvirke risikonivået på følgende måter:

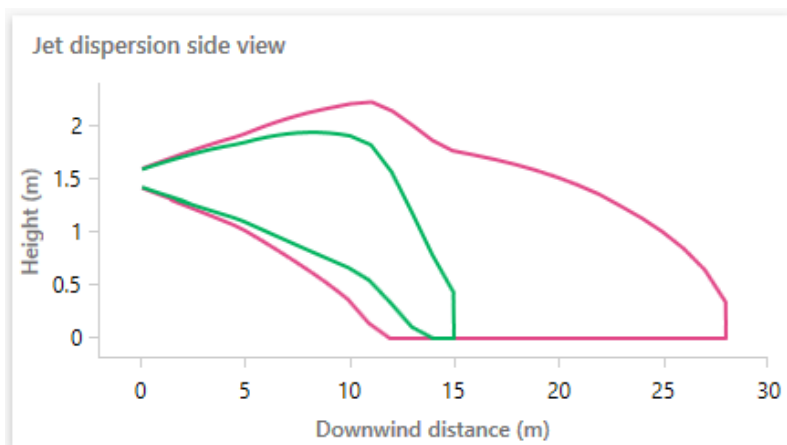
- Ved hydrogenlekkasjer ut i rommet, som følge av at økt oksygeninnhold i lufta
- Internt i prosessen, som følge av at oksygen trenger inn i hydrogensystemet eller omvendt

Når det gjelder risiko relatert til hydrogenlekkasjer ut i rommet, er denne kun påvirket ved en samtidig lekkasje fra oksygensystemet. Det er oksygendeteksjon i rommet, som gir alarm og nedstengning hvis oksygeninnvået blir for høyt. Risikoen relatert til dette er spesifikt vurdert i en intern risikoanalyse gjennomført av leverandør [9], og funnet akseptabel gitt dette sikkerhetstiltaket.

Risikoen relatert til blandinger av hydrogen og oksygen i prosesssystemet er også vurdert i en intern risikoanalyse [10]. Her påpekes det at hydrogensiden av elektrolyseblokken har overtrykk ved normal drift, slik at transport av oksygen til hydrogensiden kun kan forekomme via diffusjon gjennom membranen. Det er da snakk om svært lave konsentrasjoner med oksygen, som fjernes katalysisk fra hydrogenet i rensesystemet. Når det gjelder blanding som følge av at hydrogen kommer inn i oksygensystemet, så kan dette skje enten via diffusjon, eller som følge av at membranen er skadet. Ulike tiltak for å kontrollere risiko i forbindelse med dette er beskrevet nærmere i risikoanalysen. Blant annet er oksygensystemet utstyrt med hydrogendeteksjon, og mengden hydrogen som kan lekke inn i oksygensystemet er begrenset av tilbakeslagsventiler.

3.8.2 Karbondioksid

For kjøling av dispenser benyttes flytende karbondioksid (CO₂), som tilføres via rør (delvis nedgravd) fra en dedikert kjølemodul. CO₂-gass kan medføre risiko for kvelning som følge av fortrenkning av oksygen. Ifølge NIOSH [11] kan en konsentrasjon på 50 000 ppm medføre tegn på forgiftning innen 30 minutter, mens en konsentrasjon på 100 000 ppm kan medføre bevisstløshet etter noen få minutter. CO₂ tilføres dispenserens ved et trykk på 30 barg, og avhengig av rørlengde vil total mengde CO₂ på anlegget være ca. 60-70 kg. Spredningsberegninger har blitt gjort for en lekkasje 1.5 m over bakken fra et hull på 16 mm (som antas å tilsvare fullt rørbrudd) med vindhastighet 2.5 m/s. Figur 8 viser konturer for konsentrasjoner på 50 000 ppm (rosa) og 100 000 ppm (grønn) sett fra siden. Det bemerkes at konturene er beregnet basert på en stasjonær lekkasjerate på 10 kg/s, som tilsvarer den beregnede initielle raten. Denne raten vil synke raskt som følge av trykkfall i systemet og forventes å være tilnærmet 0 innen 30 sekunder. Siden gassen er tyngre enn luft vil den synke og hovedsakelig spre seg langs bakken, hvor det er mindre sannsynlig at den innåndes av mennesker.



Figur 8: Konturer for 50 000 ppm (rosa) og 100 000 ppm (grønn) sett fra siden, som følge av rørbrudd i CO₂-systemet.

3.8.3 Andre farlige substanser

For kjøling av kraftcontainer og elektrolyser benyttes en kjølevæske bestående av 47 % etylenglykol og resten vann. Etylenglykol er brennbart som rent stoff, men brennbarheten avtar betraktelig ved innblanding av selv små mengder vann. En lekkasje fra kjølesystemet vil medføre trykkfall i systemet, som vil medføre nedstengning og begrense utslippet.

Elektrolyser-containeren inneholder også betydelige mengder trykksatt nitrogen, som ved lekkasje kan medføre risiko for kvelning som følge av fortrenkning av oksygen. Oksygendetektoren i containeren gir alarm og nedstengning også hvis oksygennivået blir for lavt. Risikoen relatert til nitrogen er spesifikt vurdert i en intern risikoanalyse gjennomført av leverandør [9], og funnet akseptabel gitt dette sikkerhetstiltaket.

Det finnes også en større mengde hydraulikkvæske, men denne vurderes å være vanskelig å antenne. En eventuell lekkasje vil også fanges opp i container og begrense omfanget av en eventuell brann. I tillegg finnes det mindre mengder andre væsker (som smøremidler, frostvæske og andre kjølevæsker) rundt omkring på anlegget, men mengdene anses å være for små til å utgjøre vesentlig risiko.

3.8.4 Vurdering av risiko relatert til andre substanser

Basert på diskusjonene over vurderes det at de omtalte substansene ikke vil påvirke risiko for tredjepart i vesentlig grad, og scenarioer relatert til disse er derfor ikke inkludert i beregningen av risikokonturer.

4 Resultater

4.1 Om hensynssoner

DSB har definert hensynssoner rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer [2]. Definisjonene er basert på lokasjonsspesifikk individuell risiko (heretter omtalt som individuell risiko), dvs. det legges til grunn at tredjepart er til stede og eksponert for risiko hele tiden:

- **Indre sone (innenfor 10^{-5} per år risikokontur)**
Dette er i utgangspunktet virksomhetens eget område. I tillegg til eget anleggsområde kan for eksempel LNF-områder (landbruks-, natur- og friluftsområder) inngå i indre sone. Kun kortvarig forbi-passering for tredjeperson (turveier etc.) er tillatt.
- **Midtre sone (mellom 10^{-5} per år og 10^{-6} per år risikokontur)**
Offentlig vei, jernbane, kai og liknende. Faste arbeidsplasser innen industri- og kontorvirksomhet kan også ligge her. I denne sonen skal det ikke være overnatting eller boliger. Spredt boligbebyggelse kan aksepteres i enkelte tilfeller.
- **Ytre sone (mellom 10^{-6} per år og 10^{-7} per år risikokontur)**
Områder regulert for boligformål og annen bruk av den allmenne befolkningen kan inngå i ytre sone, herunder butikker og mindre overnattingssteder.
- **Utenfor ytre sone (utenfor 10^{-7} per år risikokontur)**
Skoler, barnehager, sykehjem, sykehus og lignende institusjoner, kjøpesentra, hoteller eller store publikumsarenaer må normalt plasseres utenfor ytre sone.

For virksomheter som omfattes av storulykkesforskriften skal hensynssoner etableres som en del av arbeidet med innhenting av samtykke fra DSB. Hydrogenanlegget på Hellesylt er ikke omfattet av storulykkesforskriften, og vedtak om samtykkeplikt er ikke fattet [12]. For å synliggjøre risiko for tredjepart er det likevel beregnet risikokonturer, som kan indikere hvorvidt restriksjoner på arealbruk rundt anlegget er tilrådelig.

4.2 Risikokonturer

Individuell risiko for hydrogenanlegget er beregnet i RISKCURVES basert på:

- Vinndata som beskrevet i kapittel 2.3
- Initierende hendelser som beskrevet i kapittel 3.2
- Lekkasje-frekvens som beskrevet i kapittel 3.4
- Tennsannsynlighet som beskrevet i kapittel 3.5
- Konsekvensmodellering som beskrevet i kapittel 3.6
- Sårbarhet som beskrevet i kapittel 3.7

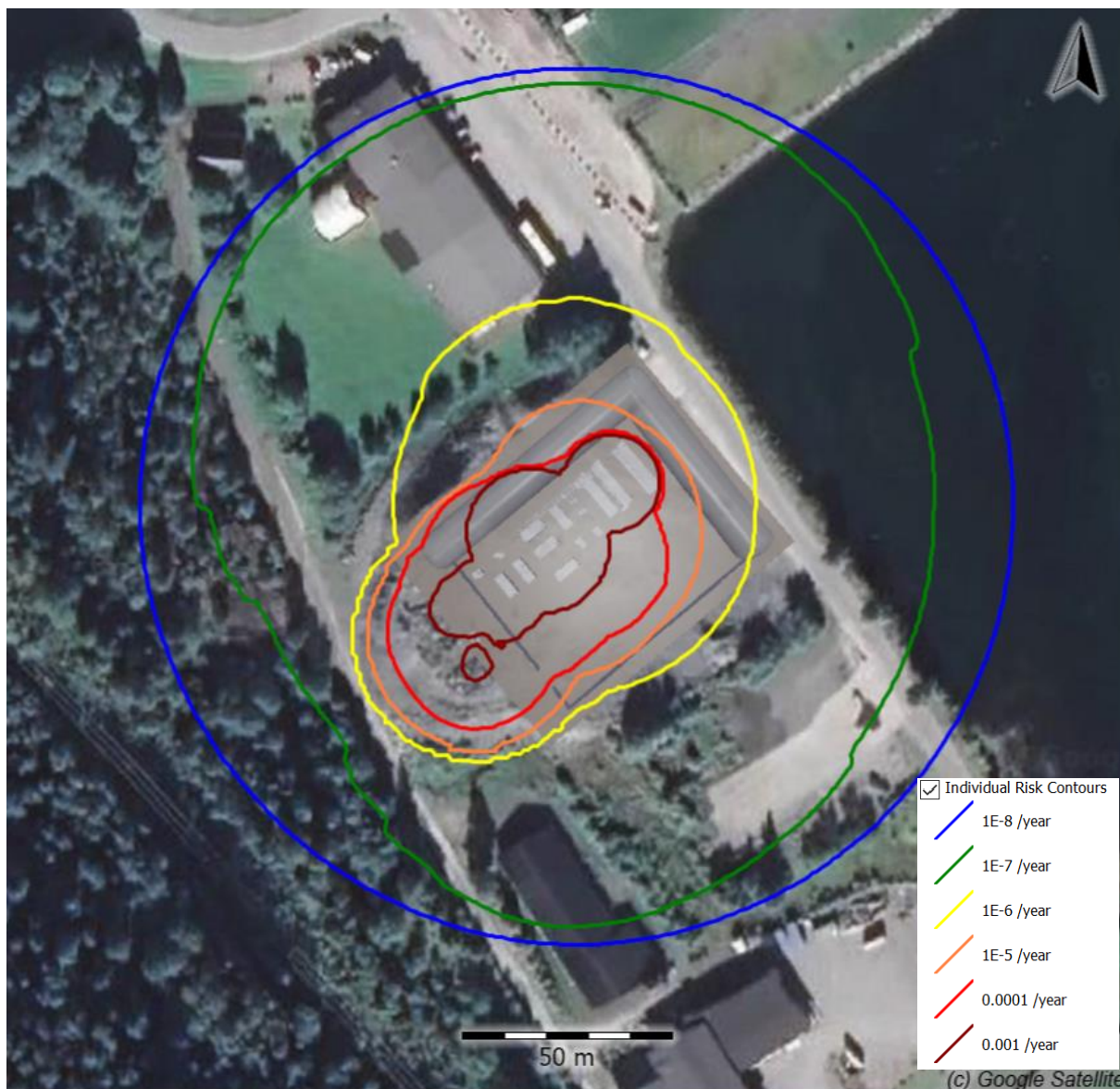
RISKCURVES samler frekvensbidrag til dødelighet fra alle konsekvenser og kombinerer disse til en oversikt over individuell risiko i alle punkt. Basert på beregnet individuell risiko kan konturer dras som tilsvarer grensene til hensynssonene beskrevet over.

Estimerte risikokonturer for hydrogenanlegget er vist i Figur 9, og indikerer at:

- Nærmeste offentlige vei ligger utenfor 10^{-5} -konturen
- Nærmeste industribygg ligger utenfor 10^{-6} -konturen
- Nærmeste private bolig utenfor 10^{-8} -konturen
- Hellesylt camping ligger utenfor 10^{-8} -konturen, med unntak av en del av parkeringsplassen
- Hellesylt stadion ligger utenfor 10^{-8} -konturen
- Den planlagte kommunale parkeringsplassen ligger hovedsakelig mellom 10^{-6} - og 10^{-5} -konturen.

Det gjøres oppmerksom på at beregningene er basert på en layout der avstanden mellom anlegg og voll nordvest for anlegg er 1 m større enn indikert i nyeste versjon mottatt fra kunde [13], dvs. hele anlegget er forskjøvet 1 m mot sørøst.

Det bemerkes at risikokonturene er basert på konsekvensmodellering som i hovedsak er gjennomført med empiriske verktøy, som ikke fanger opp effekt av voll og gjerde på gassspredning, brann og eksplosjonstrykk utenfor anlegget. (Voll og gjerde er hovedsakelig reflektert via redusert tennsannsynlighet for utslipp som ellers ville vært modellert med tennsannsynlighet 1, som diskutert i Kapittel 3.5.)

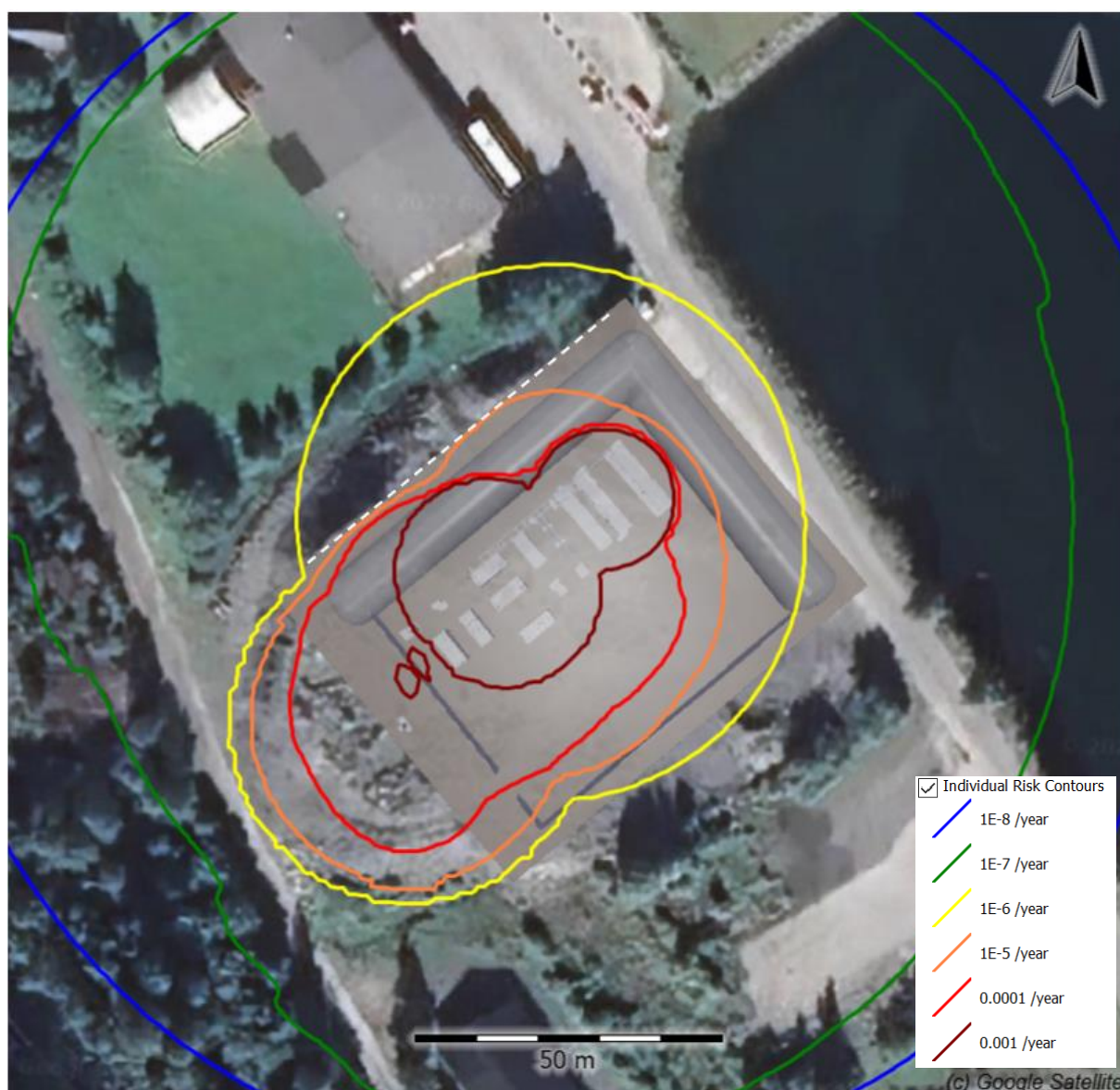


Figur 9: Estimerte risikokonturer for hydrogenanlegget: 10^{-3} (mørk rød), 10^{-4} (rød), 10^{-5} (oransje), 10^{-6} (gul), 10^{-7} (grønn), 10^{-8} (blå).

4.3 Risiko nordvest for anlegget

Effekt av voll er særlig relevant for området nordvest for anlegget, som ønskes benyttet som parkeringsplass. Her vurderes det at vollen vil gi effektiv beskyttelse mot gassspredning og brann for tredjepart som befinner seg på bakkenivå. Effekt på eksplosjonstrykk er noe mer usikker, spesielt med tanke på detonasjon. (Simuleringer i FLACS, som kun modellerer deflagrasjon, indikerer at trykknivået bak vollen vil være betydelig redusert, men at det fortsatt kan forekomme vesentlige trykkbølger nær bakken.)

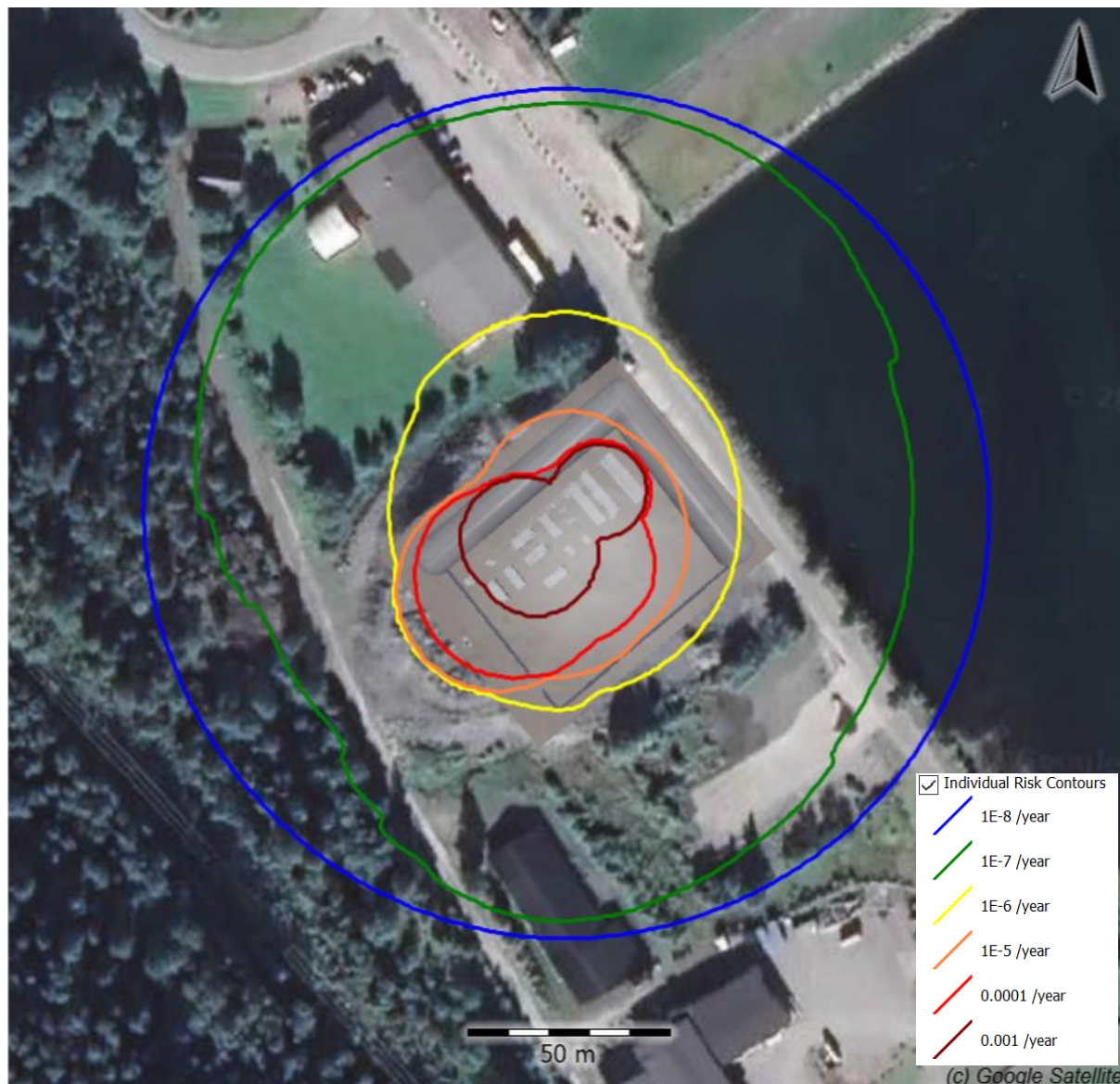
For å gi et mer realistisk bilde av risikoen på parkeringsplassen er det også beregnet risikokonturer der bidrag fra jetbrann er utelatt, dvs. kun bidrag fra flashbrann/eksplosjon er inkludert. Disse konturene er vist i Figur 10 sammen med planlagt plassering av parkeringsplass (nordvest for hvit stiple linje). På bakgrunn av dette vurderes det at dødelighet for tredjepart som befinner seg på bakkenivå på parkeringsplassen er under 10^{-5} .



Figur 10: Estimerte risikokonturer for hydrogenanlegget uten bidrag fra jetbrann: 10^{-3} (mørk rød), 10^{-4} (rød), 10^{-5} (oransje), 10^{-6} (gul), 10^{-7} (grønn), 10^{-8} (blå). (Planlagt plassering av parkeringsplassen er nordvest for hvit stiple linje.)

4.4 Risikokonturer uten dispenser

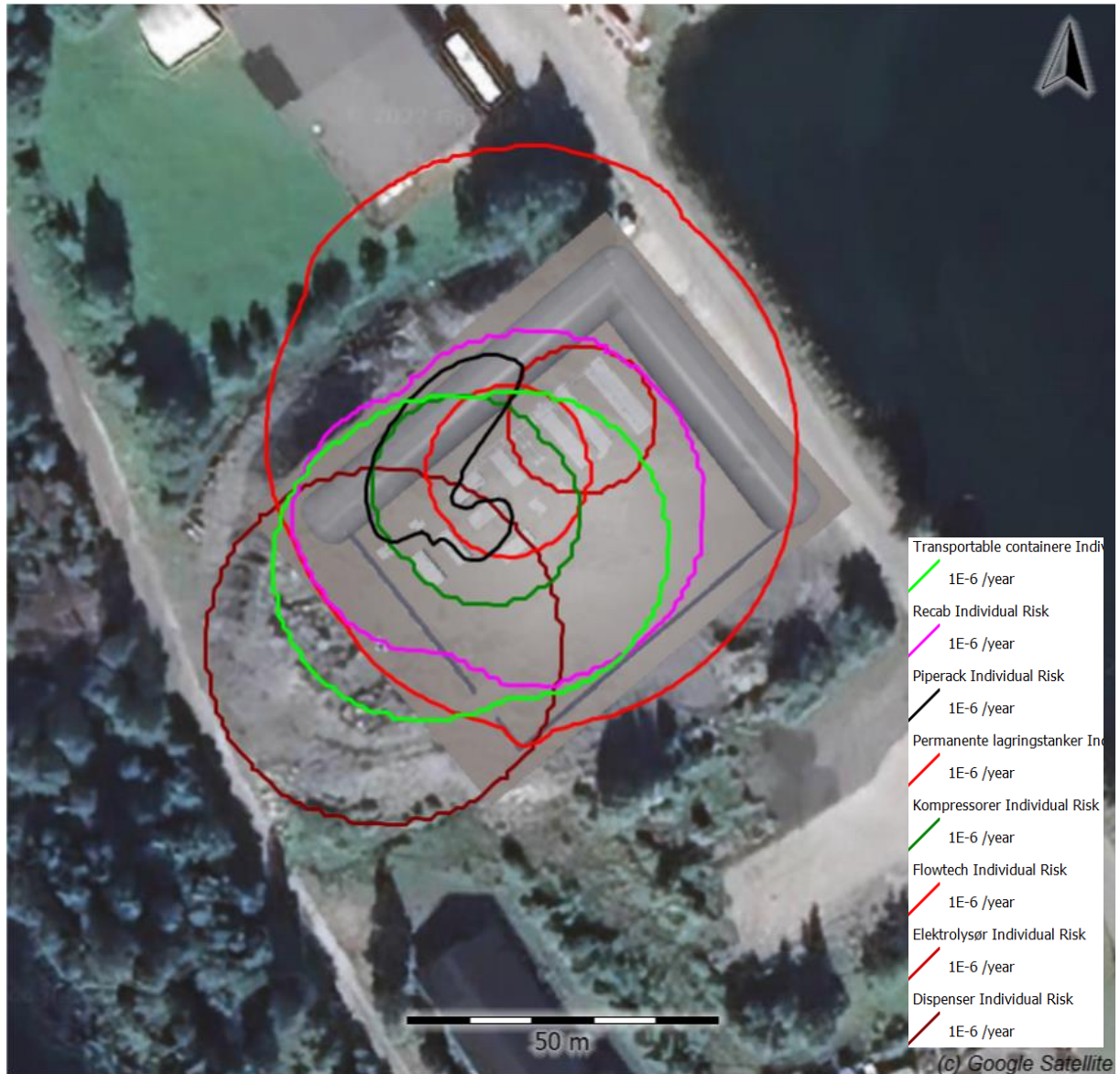
Det er også beregnet risikokonturer for anlegget *uten* dispenser. Disse konturene er presentert i Figur 11, og viser som forventet noe mindre utstrekning mot sørvest.



Figur 11: Estimerte risikokonturer for hydrogenanlegget uten dispenser: 10^{-3} (mørk rød), 10^{-4} (rød), 10^{-5} (oransje), 10^{-6} (gul), 10^{-7} (grønn), 10^{-8} (blå).

4.5 Fordeling av risiko

Fordelingen av risiko mellom ulike moduler kan også være av interesse. Figur 12 viser bidraget til 10^{-6} -konturen fra de ulike modulene, og indikerer at det største bidraget kommer fra de permanente lagringstankene.



Figur 12: Bidrag til 10^{-6} -konturen fra ulike moduler.

5 Konklusjon og anbefalinger

Det er utført en kvantitativ risikoanalyse for et hydrogenanlegg planlagt bygd på Hellesylt. Individuell risiko for tredjepart er estimert og presentert som risikokonturer, som kan benyttes for å definere hensynssoner rundt anlegget.

Det understrekes at risikoanalysen er gjennomført før endelig design foreligger. Lekkasjefrekvenser er beregnet basert på foreløpige P&ID-er, og disse bør verifiseres basert på endelige versjoner. Gexcon bør også underrettes om andre vesentlige endringer i design av anlegget, slik at det kan vurderes om en oppdatering av risikoberegningene er nødvendig.

En forutsetning for gyldigheten av risikoanalysen er at relevant regelverk for å ivareta sikkerhet er overholdt, og at design, konstruksjon, igangsettelse og operasjon av anlegget er basert på beste bransjepraksis. F.eks. er følgende antagelser lagt til grunn, som bør følges opp og verifiseres i senere faser av prosjektet:

- ATEX-direktivet er overholdt med hensyn til soneklassifisering og utstyr som skal benyttes i ATEX-soner i de ulike modulene.
- For trykksatt utstyr er mulighet for trykkavlastning ivaretatt i henhold til PED-direktivet. (F.eks. fremgår det ikke av de foreløpige P&ID-ene hvordan trykkavlastning er ivaretatt for de permanente lagringstankene, men det er antatt i analysen at dette er på plass.)
- Med hensyn til risiko relatert til elektrisitet er det antatt at jording er ivaretatt i henhold til NEK 400, og at beskyttelse mot lynnedslag er ivaretatt i henhold til EN 62305 (eller ekvivalente standarder).
- Det er antatt at prosedyrer etableres for å minimere risiko i forbindelse med lasting og lossing av transportable containere. (F.eks. kan det vurderes å kreve at trekkvogn ikke er til stede mens fylling pågår.)
- Det er antatt at de transportable containerne er noe hevet fra bakken (ved hjelp av chassis e.l.) slik at luft kommer til fra undersiden og gir naturlig ventilasjon gjennom det perforerte gulvet og taket.
- Det er antatt at prosedyrer etableres for regelmessig kontroll, trykktesting og utskifting av fylleslanger.
- Det er antatt at egnet trykkavlastning for eksplosjonstrykk installeres på kompressor- og flowtech-containerne. Her må lokale værforhold hensyntas, f.eks. med tanke på snø som kan bli liggende på taket.

Med tanke på å redusere risiko til et nivå som med rimelighet kan oppnås, bør tiltak beskrevet under vurderes. (Disse tiltakene er ikke lagt til grunn i risikoanalysen.)

- For å begrense potensielle lekkasjer fra de transportable containerne bør gassdeteksjon vurderes, sammen med nedstengningsventiler for hver av de fire seksjonene.
- For å begrense varigheten av lekkasjer utendørs, som kan være vanskelige å detektere med gassdeteksjon, bør akustiske sensorer vurderes.
- For å redusere risiko relatert til inntrengning av oksygen i hydrogensiden av elektrolysøren bør oksygendeteksjon vurderes.
- For å ytterligere redusere potensielle lekkasjer fra elektrolyser bør det vurderes å installere tilbakeslagsventil i nærheten av utløpet. Dette vil hindre tilbakestrømning fra lavtrykkslageret også før nedstengning finner sted. Tilsvarende gjelder for kompressormodulene, for å hindre tilbakestrømning fra flowtech-modulen eller fra den andre kompressoren.

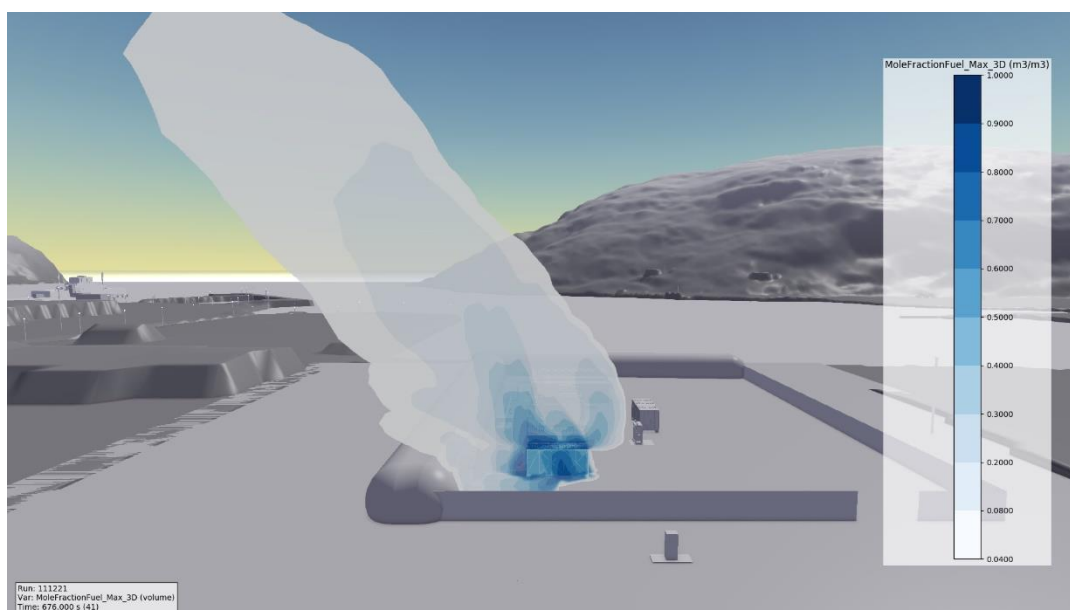
- Ved etablering av fyllestasjon med dispenser bør det vurderes å installere en kraftigere vegg (av betong e.l.) mellom dispenser og produksjonsanlegg. (I denne risikoanalysen er det kun antatt et tett gjerde.) En kraftigere vegg vil kunne beskytte fyllestasjonen bedre ved hendelser på anlegget (f.eks. mot prosjektiler fra eksplosjoner). Motsatt vil også anlegget være bedre beskyttet mot mulige konsekvenser av økt trafikk i området (f.eks. økt kollisjonsfare).

6 Referanser

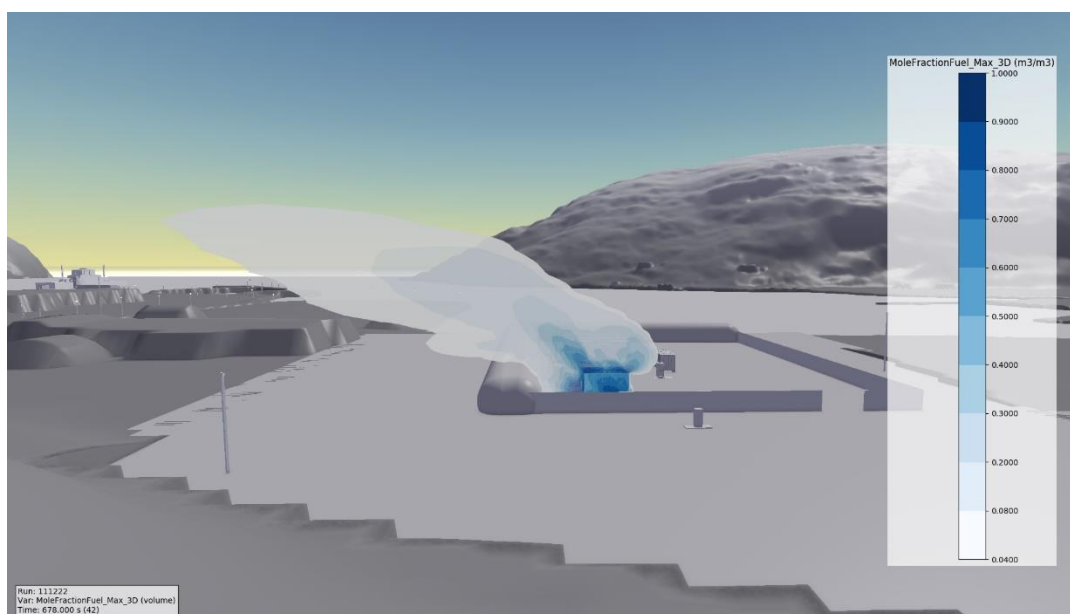
- [1] DSB, «Retningslinjer for kvantitative risikovurderinger for anlegg som håndterer farlig stoff - Revidert utgave,» 2021.
- [2] DSB, «Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer - Kriterier for akseptabel risiko,» 2012.
- [3] Lloyd's Register, «Hydrogen and Ammonia Infrastructure - Safety and Risk Information and Guidance,» 2020.
- [4] Gexcon, «Gexcon-20-100960-RA-1_Rev01 HAZID Report: HAZID Hellesylt Hydrogen Hub,» 2020.
- [5] Sandia National Laboratories, «Hydrogen Risk Assessment Model (HyRAM),» [Internett]. Available: <https://energy.sandia.gov/programs/sustainable-transportation/hydrogen/hydrogen-safety-codes-and-standards/hydrogen-risk-assessment-model-hyram/>.
- [6] National Fire Protection Association, «NFPA 2: Hydrogen Technologies Code,» 2020.
- [7] FABIG, «Technical meeting 103 proceedings: What do we understand about hydrogen fire & explosion hazards?,» 2021.
- [8] TNO, Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials (Green Book), 1992.
- [9] FEST/Maximator, «22700500 Hazardous Substances List V1.08,» 2022.
- [10] FEST, «22700500_Explosion_Protection_Concept_V1.00,» 2022.
- [11] The National Institute for Occupational Safety and Health, «CDC - Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH): Carbon dioxide - NIOSH Publications and Products,» [Internett]. Available: <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/124389.html>.
- [12] DSB, «Tilbakemelding vedrørende samtykkeplikt,» 09.03.2022.
- [13] A. Østigård, «L-70-10-01 Illustrasjonsplan.pdf,» Mottatt på epost 21.10.22.

Appendix A CFD-simuleringer av gasspredning

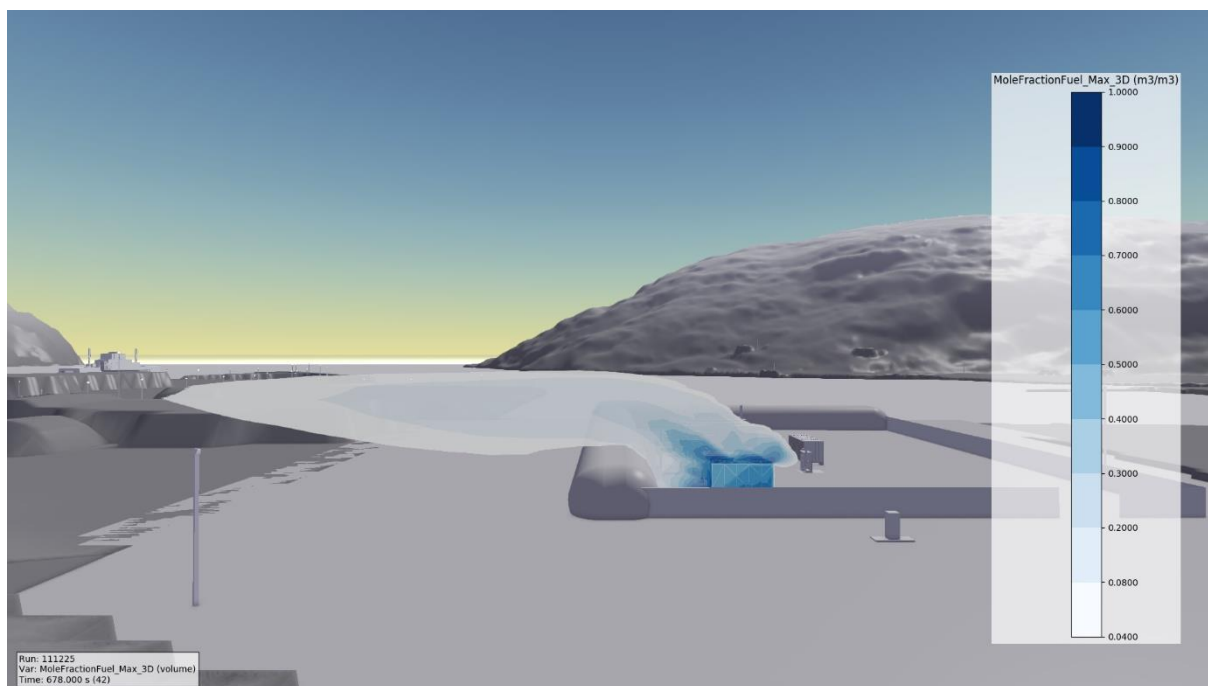
For å undersøke effekt fra voll og gjerde på gasspredning utenfor anlegget er det kjørt simuleringer i FLACS av utvalgte store lekkasjescenarioer ved anlegget. Resultater fra simuleringene er vist i figurene under: Figur 13 - Figur 18 viser maksimal utbredelse av brennbar gass fra et simulert rørbrudd i en transportabel container, med ulike vindretninger og vindhastigheter. Figur 19 - Figur 20 viser tilsvarende for et simulert rørbrudd i mediumtrykkslageret, med ulike lekkasje- og vindretninger. (Simuleringene er kjørt med en tidligere layout av anlegget, som avviker noe fra layouten lagt til grunn for analysen.) Det bemerkes at man i området mellom 4 og 8 vol% kan få lokal tenning, men trolig ikke en brann som forplanter seg til den rikere delen av skyen.



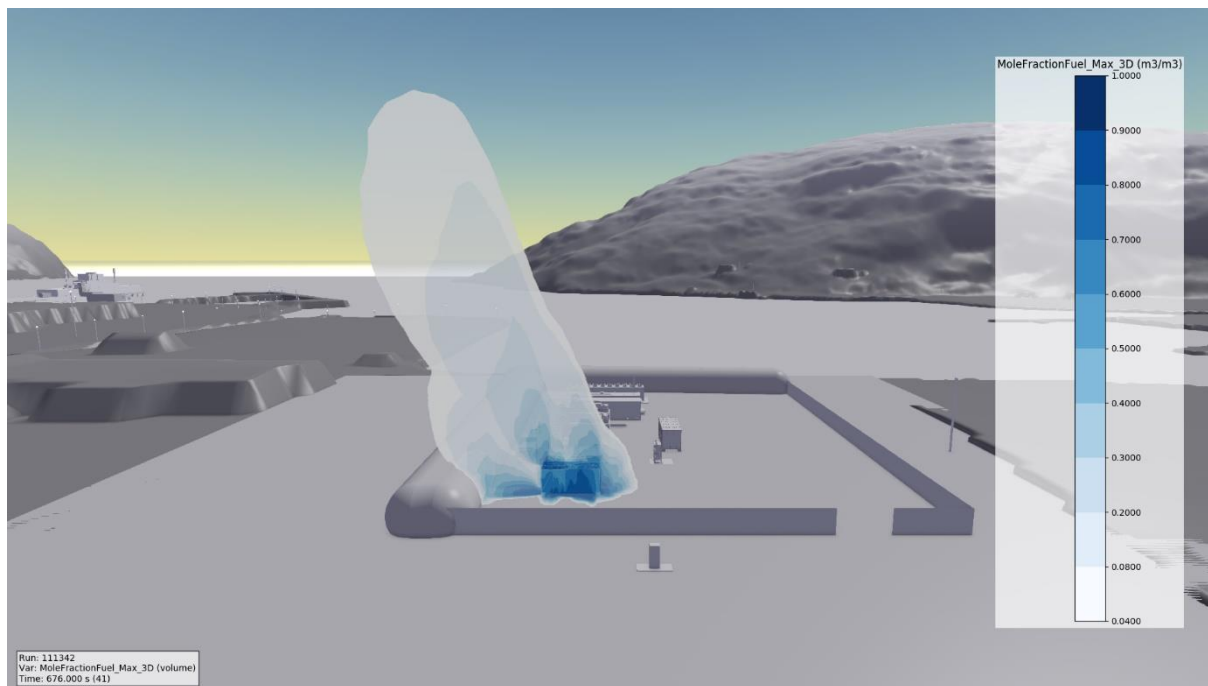
Figur 13: Maksimal utbredelse av brennbar gass fra rørbrudd i transportabel container, i 1 m/s vind fra øst.



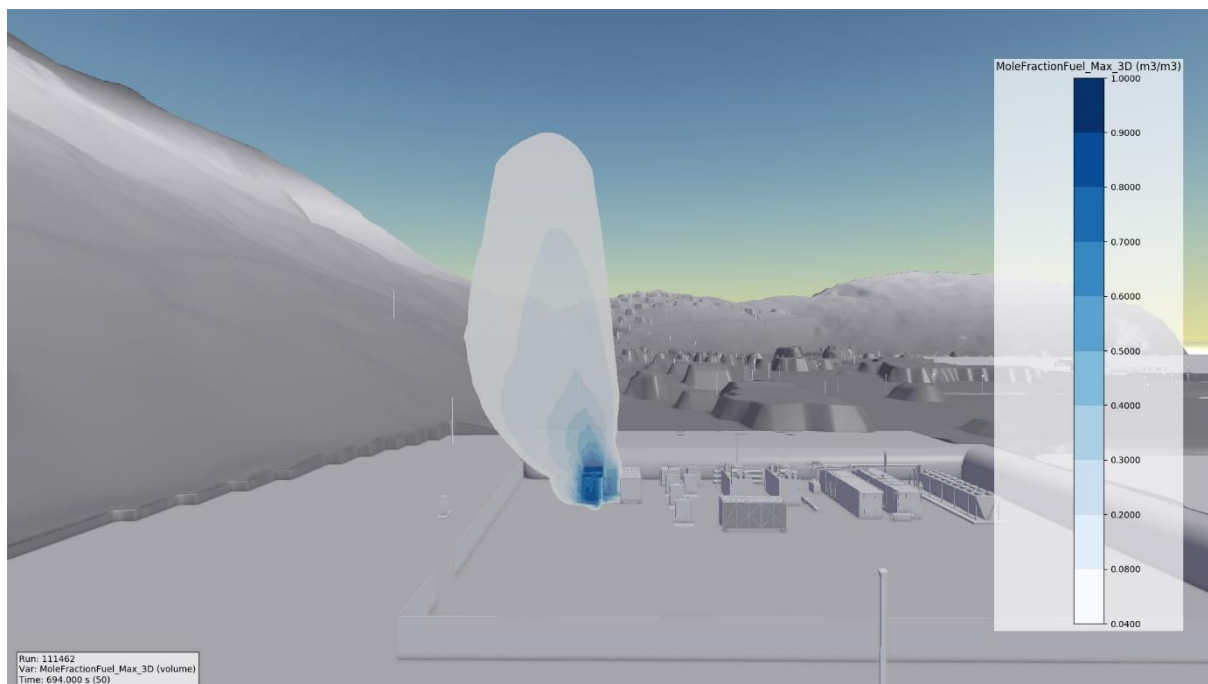
Figur 14: Maksimal utbredelse av brennbar gass fra rørbrudd i transportabel container, i 2.5 m/s vind fra øst.



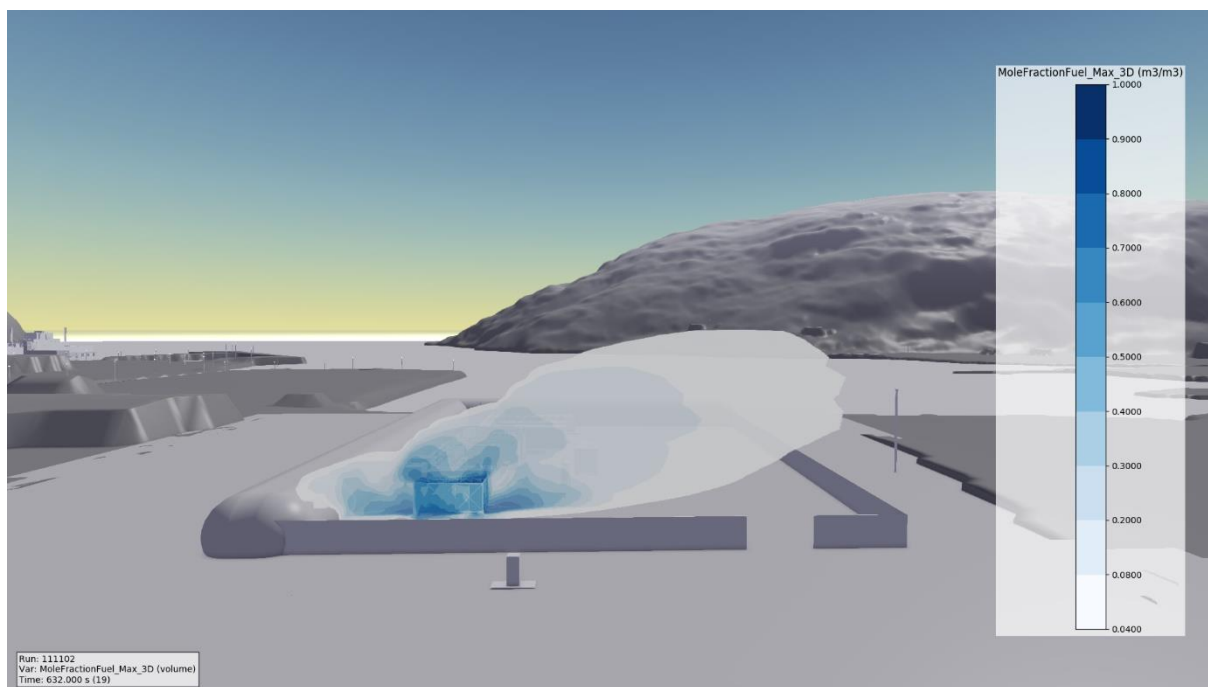
Figur 15: Maksimal utbredelse av brennbar gass fra rørbrudd i transportabel container, i 5 m/s vind fra øst.



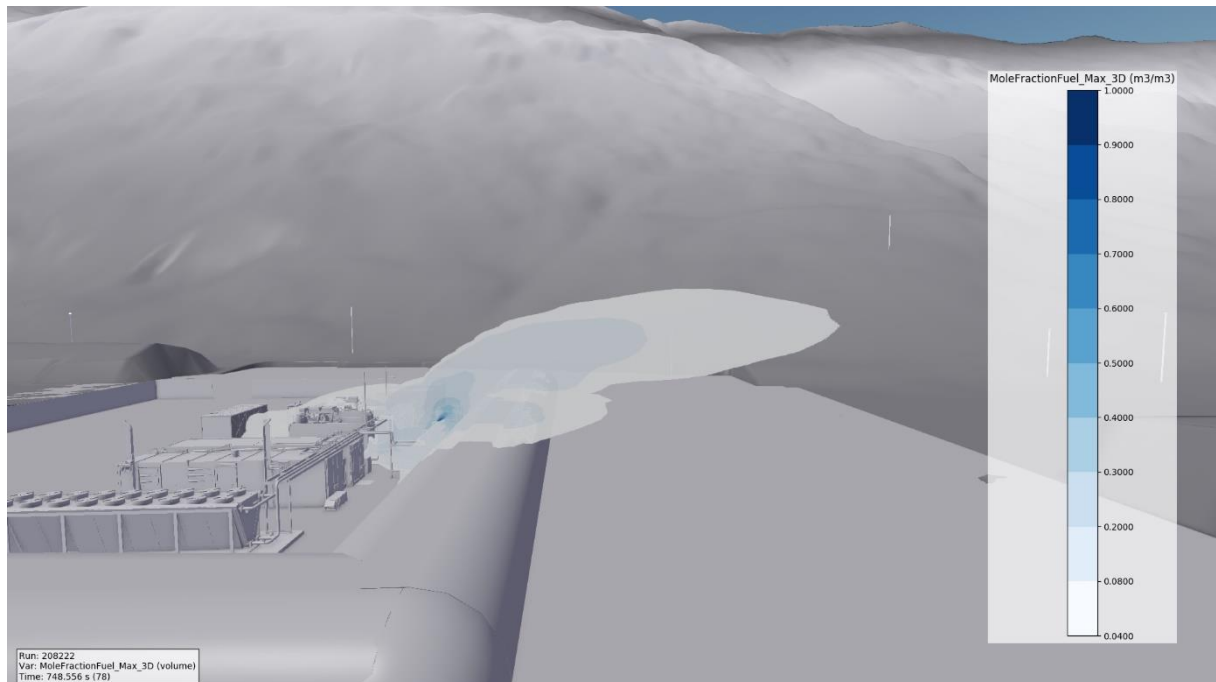
Figur 16: Maksimal utbredelse av brennbar gass fra rørbrudd i transportabel container, i 2.5 m/s vind fra sør.



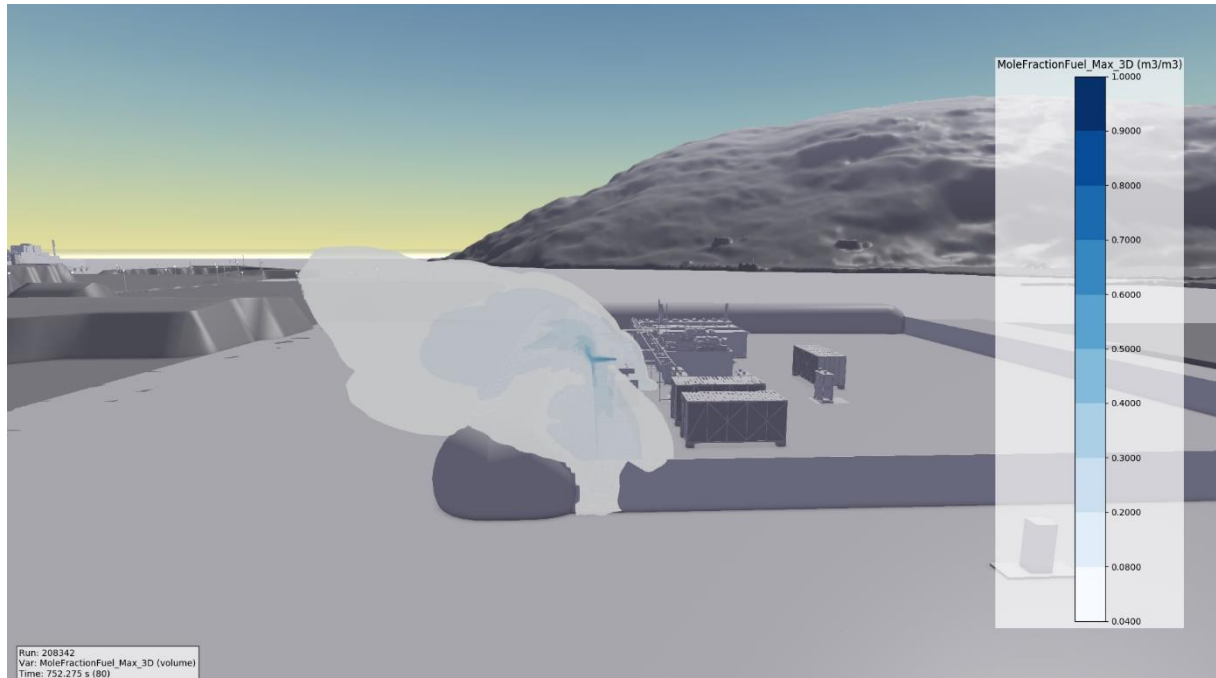
Figur 17: Maksimal utbredelse av brennbar gass fra rørbrudd i transportabel container, i 2.5 m/s vind fra vest.



Figur 18: Maksimal utbredelse av brennbar gass fra rørbrudd i transportabel container, i 2.5 m/s vind fra nord.



Figur 19: Maksimal utbredelse av brennbar gass fra rørbrudd i mediumtrykklager, med lekkasjeretning mot vest og 2.5 m/s vind fra øst.



Figur 20: Maksimal utbredelse av brennbar gass fra rørbrudd i mediumtrykklager, med lekkasjeretning mot nord og 2.5 m/s vind fra sør.