

OKTOBER 2024
BIOCIRC

KONSEKVENSBEREKNINGER FOR BIOCIRC JAMMERBUGT GO GREEN

KONSEKVENSBEREKNINGER



COWI

OKTOBER 2024
BIOCIRC

KONSEKVENSBEREKNINGER FOR BIOCIRC JAMMERBUGT GO GREEN

KONSEKVENSBEREKNINGER

PROJEKTNR.

A273022

DOKUMENTNR.

A273022.1

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

30.10.2024

BESKRIVELSE

Orienterende beregninger

UDARBEJDET

ISAB

KONTROLLERET

MAVL

GODKENDT

FPN

INDHOLD

1	Introduktion	7
1.1	Konsekvenstyper og skadeskriterier	8
1.2	Opsummering af skadeskriterier	15
2	Beregningsmodel	16
3	Konsekvensberegninger	20
3.1	Sektion 1 – Antændt udslip af metan efter tankbrud/lækage fra tanke og reaktorer	20
3.2	Sektion 2 – Antændt udslip af metan efter rørbrud på metanrør efter reaktortank	24
3.3	Sektion 3 – Antændt udslip af metan (CH ₄) efter rørbrud/lækage i gasopgraderingen	26
3.4	Sektion 4 – Udslip af ammoniak (NH ₃) efter rørbrud/lækage (kondensatorsektion) i kølesystemet	29
3.5	Sektion 5 – Udslip af ilt (O ₂) efter brud/lækage fra tank	30
4	Resultater	33
4.1	Længste skadesafstande	33
5	Kilder	34

1 Introduktion

BioCirc har planer om at etablere et biogasanlæg, der skal modtage, behandle og omdanne organisk affald til biogas, anlæg til opgradering af biogas samt et anlæg til opsamling og rensning af kuldioxid (CC). Denne rapport omhandler indledende og orienterende konsekvenser af potentie lle ulykker med farlige stoffer på BioCirc i projektets fase 1. Dette gøres ved beregning af afstande for forskellige overtryks-, varmestrålings- og gaskoncentrationsniveauer, som må kunne forventes at kunne give alvorlige skader på personer eller anlæg. Beregningerne tager specifikt højde for uheld med metan, ammoniak og ilt på biogas-anlægget.

Beregningerne er foretaget på basis af begrænsede specifikke informationer om det planlagte Jammerbugt Go Green-anlæg, JGG, og derfor i høj grad baseret på anlægsdesign for et tilsvarende anlæg i Tjele. Beregningerne er derfor i høj grad foreløbige, men vurderes at være tilstrækkeligt dækkende til brug for godkendelse af arealplanlægning. Der er udover biogas og ammoniak indregnet risiko fra en lagertank for flydende ilt.

Beregningerne er udført med Phast version 9.0 fra DNV. Phast (Process Hazard Analysis Software Tool) er en softwarepakke udviklet af DNV (Det Norske Veritas) til konsekvensanalyse af udslip af farlige stoffer. Phast modellerer udviklingen af en hændelse fra det indledende udslip til dispersion, herunder modellering af jetbrand, flashbrand, pølbrand og eksplosion. Resultaterne fra dispersionsberegningerne indgår til beregning af effekterne af toksiske og brændbare materialer.

1.1 Konsekvenstyper og skadeskriterier

1.1.1 Terminologi

Ved konsekvensberegningerne beregnes der afstande til forskellige kriterier for forskellige skadesniveauer. Generelt regnes der til to forskellige skadesniveauer, konsekvensafstand og dominoeffekt, for de forskellige ulykkes-scenarier:

Dominoeffekt	Indenfor kriteriet for dominoeffekt kan der opstå skader på andre dele af anlæget i et omfang så det initierende uheld udløser nye uheld og evt. nye udslip af farlige stoffer
Konsekvensafstand	Er den afstand indenfor hvilken, det kan forventes, at der kan forekomme dødsfald ved et uheld.

1.1.2 Gasskybrand

En flashfire eller gasskybrand er en brand i en gassky, hvor der på forhånd er iblandet luft til en koncentration mellem LFL (Lower Flammable Limit) og UFL (Upper Flammable Limit). Branden varer kun nogle få sekunder og giver ikke noget overtryk af betydning. En flashfire påvirker dermed ikke udstyr alvorligt, men kan give alvorlige forbrændingsskader særligt på ubeskyttede personer.

Ved et udslip med konstant rate vil koncentrationen af gas i en given afstand nedvinds fluktuere over tid på grund af hvirvler i gassen og vertikale bevægelser i luften. Dette gør sig specielt gældende, hvis vejret er ustabilt, men kun i lille grad, hvis vejret er stabilt (F-vejr). Phast beregner ikke den specifikke koncentration af gas til et hvilket som helst tidspunkt, men den gennemsnitlige koncentration af gas over et kort tidsrum. Den faktiske koncentration af gas på et givet tidspunkt kan afvige meget fra den beregnede koncentration (+/- 100 %). Ved uheldige omstændigheder er det derfor muligt, at gas vil kunne antændes og give personskade, selvom der kun er beregnet en koncentration på 0,5 LFL på antændelsesstedet.

For antændelig gas beregnes derfor afstande til 0,5 LFL, som benyttes som kriterium for, hvor gassen kan antændes, og hvor der kan opstå dødsfald. Alle inden for en flashfire påregnes at omkomme, men ingen uden for, da flashfiren kun har få sekunders varighed.

En gas, der er lettere end luft, vil stige til vejrs. I helt stille vejr vil den stige lodret op. Derfor er skadesafstanden for den lette gas større ved store vindhastigheder end ved små. For en tung gas vil lavere vindhastighed generelt give større skadesafstand end høj, fordi vinden ikke fortynder gasskyen så hurtigt.

1.1.3 Varmestråling

Varmestråling kan stamme fra en jetbrand eller en pølbrand. En jetbrand er brand i en gas eller væske, der strømmer ud fra et rør eller en beholder under tryk. En pølbrand er en brand i dampene fra en væskepøl, dvs. på pølsens overflade.

Begge typer brande er farlige i kraft af varmemestrålingen fra flammerne. For begge typer brand benyttes $4,7 \text{ kW/m}^2$ som kriterium for konsekvensafstand (ca. 1 % dødsfaldsrisiko ved 1 minuts eksponering). Ved høj varmemestråling kan der opstå dominoeffekt. Generelt anvendes en strålingsintensitet på 35 kW/m^2 som grænse for dominoeffekt ved kortvarig eksponering og 15 kW/m^2 ved længere tids eksponering. I selve flammen regnes effekten at være en del større end 35 kW/m^2 . Skadeskriterierne svarer til vejledningen i Risikohåndbogen [1].

Effekten af varmemestråling på personer i form af dødsfaldsrisiko beregnes via probitfunktionen $Pr = -36,38 + 2,56 \cdot \ln(Q^{1,33} \cdot t)$, hvor Q er intensiteten af varmemestråling i W/m^2 , og t er eksponeringstiden i sekunder.

1.1.4 Ildkugle

En ildkugle er en gasbrand eller brand i væskedråber, hvor koncentrationen inderst i skyen er højere end UFL. Der skal først trækkes luft ind før forbrændingen er forbi, og dette giver et længere tidsforløb end en flashfire (5-10 sekunder).

En person i en given afstand vil modtage en strålingsdosis, der er afhængig af bl.a. afstand og tid. En strålingsdosis på $1000 [(\text{kW/m}^2)^{4/3} \cdot \text{s}]$ giver 1 % risiko for dødsfald. En ildkugle vil være kortvarig, varigheden vil typisk være nogle få sekunder. Det normale kriterium for dødsfald fra varmemestråling på $4,7 \text{ kW/m}^2$ overvurderer derfor effekten. Der benyttes et skadeskriterium på 10 kW/m^2 for dødsfald. 10 kW/m^2 angives som grænsen for, hvornår en fireball giver anledning til dødsfald jf. "Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants" [2]. Ildkugle forventes ikke at give anledning til dominoeffekt pga. den korte varighed.

1.1.5 Toksisk gas

I BioCirc Jammerbugt go Green bruger ammoniak i kølesystemet, som ved lækage har en akut toksisk virkning på eksponerede personer. Ammoniakgas kan dog lugtes i koncentrationer, der er langt under faregrænsen. Det forventes, at personalet vil være i stand til at flygte ved langt de fleste udslip af ammoniak. Kun såfremt personer ikke er i stand til at flygte, eksempelvis ved meget høj

koncentration, vil personer kunne lammes eller forvirres, så de udsættes for en dødelig dosis.

For ammoniak beregnes afstande til 1 % dødsfaldsrisiko via probitfunktioner. Derudover beregnes afstanden til LC1. Effekten af ammoniak bestemmes i 1,5 m højde over jordoverfladen.

Probitanalyse er en international anerkendt metode til vurdering af konsekvensafstande ved udslip af toksisk gas når koncentration varierer som funktion af tid. Probitanalyse er beskrevet i eksempelvis [3] og [4].

Den skadelige afstand beregnes til den nedvinds afstand, hvor der er 0.1 % sandsynlighed for dødsfald ved konstant ophold i den tid det tager gasskyen at drive forbi (dog maksimalt 1 time). Dødsfaldssandsynligheden beregnes ud fra en probitfunktion:

$$Pr = a + b \cdot \ln(C^N \cdot t)$$

hvor C er koncentrationen i ppm, t er tiden i minutter. Værdierne for konstanterne a, b og N er listet i *Tabel 1*. Hvis C varierer som funktion af tid udregnes dosisled som integralet af ($C^N \cdot dt$). Der benyttes koefficienter fra [4]. Det bemærkes at når faktoren $N > 1$ bidrager kortvarige høje koncentrationer betydelig mere til dosis end langvarige lave koncentrationer.

Tabel 1 Faktorer til probitfunktion for ammoniak

Stof	A	b	N
Ammoniak NH ₃	-16,21	1,0	2,0

[5] an probit værdien omsættes til en sandsynlighed for dødsfald ved den givne eksponering ved:

$$P_{dødsfald} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} e^{-u^2/2} du$$

Hvor Pr er probitværdien som fundet ovenfor, og $P_{dødsfald}$ er sandsynligheden for a omkomne ved den givne dosis af giftig gas. Nedenfor gengives udvalgte sammenhænge mellem probit værdier og dødsfaldsrisiko.

Tabel 2 Udvalgte sammenhænge mellem probitværdi og dødsfaldsrisiko, gengivet fra [5]

Probit værdi (Pr)	1.89	2.67	3.72	5.0	7.33
Dødsfaldsrisiko ($P_{dødsfald}$)	0.1 %	1 %	10 %	50 %	99 %

AEGL (Acute Exposure Guideline Level) er et sæt internationale retningslinjer for ved hvilke eksponeringstider og koncentrationer der kan forventes skade på eksponerede særligt udsatte personer. AEGL værdierne benyttes i stigende grad af de danske myndigheder i forbindelse med risikovurdering, herunder AEGL3 som mål for den maksimale konsekvensafstand for udslip af giftig gas.

AEGL1 er den luftbårne eksponering, hvor personer kan opleve ubehag eller irritation. Symptomer er fuldt reversible.

AEGL2 er den luftbårne eksponering, hvor personer kan få irreversible skader på heldbred eller have nedsat evne til at flygte (eksempelvis pga. bevidstløshed).

AEGL3 er den luftbårne eksponering, hvor det kan forventes, at personer kan omkomme.

For ammoniak er AEGL eksponeringstider/koncentrationer som listet i Tabel 3 [6] Dosis beregnes ud fra eksponeringstider/koncentrationer som:

$$D = C^2 \cdot t$$

Hvor D er dosis, C er koncentrationen af ammoniak i ppm og t er eksponeringstiden i minutter. Ovennævnte formel for dosis er i overensstemmelse med probitfunktionen for ammoniak, hvor netop $N = 2$. Hvis koncentrationen varierer over tid beregnes dosis ud fra integralet af $C^2 dt$. Se evt. Miljøstyrelsens arbejdsrapport nr. 4 af 2007, Kap. 4.

Tabel 3 Kriterier for AEGL1,2 og 3 samt ækvivalent dosis for AEGL3

Eksponerings tid	10 min	30 min	60 min	4 timer	8 timer
AEGL1	30 ppm	30 ppm	30 ppm	30 ppm	30 ppm
AEGL2	220 ppm	220 ppm	160 ppm	110 ppm	110 ppm
AEGL3	2700 ppm	1600 ppm	1100 ppm	550 ppm	390 ppm
Probit værdi (Pr), AEGL3 dosis	1.895	1.945	1.890	1.890	1.896

Ud fra Tabel 3 ses, at AEGL3 generelt svarer til en probitværdi på 1.89 svarende til en dødsfaldsrisiko på 0.1 %.

Dog vil LC1 blive anvendt til at bestemme konsekvensafstanden i henhold til den nye foreløbige version af Risikohåndbogen [7], i stedet for at anvende AEGL-3, som tidligere var kriteriet. Anvendelsen af LC1 er konservativ og vil i senere

versioner af denne rapport blive udskiftet med LC10, som alt andet lige giver en kortere konsekvensafstand.

1.1.6 Risiko fra ilt

En forhøjet koncentration af ilt i atmosfærisk luft vil betyde større risiko for, at personer bliver eksponeret for brand, herunder antændelse af egen beklædning, men også betyde, at brandraten for en brand bliver højere end ellers. Risikoen ved ilt er således, at der kan ske skade på personer eller udstyr som følge af brand.

Konsekvenserne af et iltudslip bestemmes ved at beregne dispersionen af ilt for de forskellige ulykkes-scenarier. Dispersionen kan eksempelvis beregnes med konsekvensberegningssoftware såsom Phast fra DNV. Phast tager ikke luftens normale iltindhold i betragtning ved beregning af spredning af ilt, men regner på iltkoncentrationer over det normale niveau. Kriteriet for konsekvensafstand baseres på LC1, som svarer til en 1% sandsynlighed for dødsfald.

Probitanalyse er en international anerkendt metode til vurdering af konsekvensafstande ved udslip af toksisk gas, når koncentration varierer som funktion af tid. Probitanalyse er beskrevet i eksempelvis [3] og [4].

Den skadelige afstand beregnes til den nedvinds afstand, hvor der er 1 % sandsynlighed for dødsfald ved konstant ophold i den tid det tager gasskyen at drive forbi (dog maksimalt 1 time). Dødsfaldssandsynligheden beregnes ud fra en probitfunktion:

$$Pr = a + b \cdot \ln(C^N \cdot t)$$

hvor C er koncentrationen i ppm, t er tiden i minutter. Værdierne for konstanterne a, b og N er listet i Tabel 4 Hvis C varierer som funktion af tid udregnes dosis som integralet af $(C^N \cdot dt)$. Der benyttes koefficienter fra [4]. Det bemærkes at når faktoren $N > 1$ bidrager kortvarige høje koncentrationer betydelig mere til dosis end langvarige lave koncentrationer.

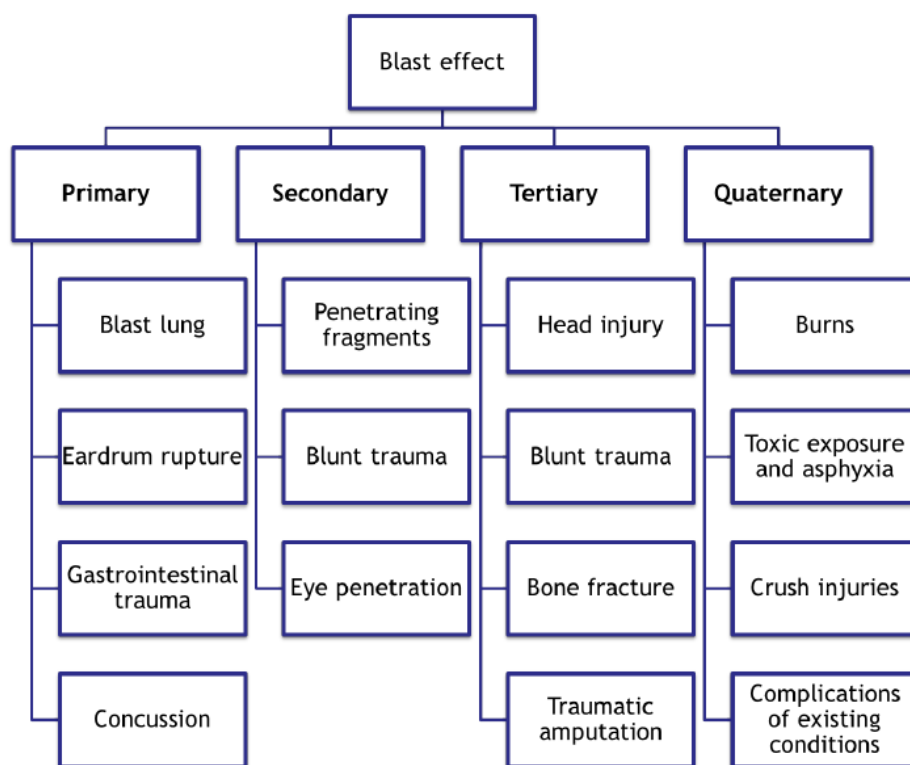
Tabel 4 Faktorer til probitfunktion for ilt

Stof	A	b	N
Ilt	-28,37	1,21	2,0

1.1.7 Eksplosion

Skader fra eksplosion på mennesker er meget afhængig af, hvor en person befinder sig i forhold til eksplosionen, da der er mange forskellige muligheder for, hvordan personer kan komme til skade i forbindelse med en eksplosion. Generelt inddeles personskader i fire typer af skader:

- > Primære skader skyldes deformation af organer som indeholder luft på grund af trykbølgers kompression af luften. Der kan eksempelvis være tale om skader på lunger, øre eller mavetarmkanalen. Kroppen kan modstå relativt høje direkte overtryk, skader på lunger opstår fra omkring 1 barg mens der kan ske skader på øret fra omkring 0,25 barg [8], hvilket betyder at personer skal være relativt tæt på eksplosionens arnested for at pådrage sig denne type skader. Primære skader er derfor relativt sjældne.
- > Sekundære skader skyldes fragmenter eller flyvende objekter, der slynges omkring på grund af eksplosionen. Fragmenter kan give trauma/slagskader og læsioner. Skaderne er afhængige af størrelsen/types af fragmenter og deres hastighed. En stor andel af sekundære skader skyldes glasfragmenter fra knuste ruder mv. Iht. HSE [8] vil et overtryk på 0,017 barg bryde omkring 1 % af vinduer. 0,070 barg anses som den nedre grænse for snitsår.
- > Tertiære skader skyldes, at personer mister balancen eller kastes omkring på grund af eksplosionsovertrykket. Herved kan folk falde eller på anden måde skades mod objekter i omgivelserne, eksempelvis ved at slå hovedet mod et fast underlag. Iht. HSE [8] er sandsynligheden for at omkomme fra denne type skader ca. 1% ved et overtryk på 0,21 barg.
- > Kvartære skader dækker alle andre typer af skader, der kan opstå i forbindelse med en eksplosion, eksempelvis brandsår, (CO) forgiftning eller indånding af støv. Skader fra bygningskollaps falder også indenfor denne kategori.



Figur 1-1 Klassifikation af eksplosionsskader, gengivet fra ref. [9]

Bygninger og vinduespartier, der ikke er designet med henblik på at modstå en eksplosion, er typisk dårlige til at modstå eksplosionsovertryk. Personer, der opholder sig indendørs, vil derfor ofte have større risiko for at komme til skade ved en eksplosion.

Ved eksplosionsberegningerne benyttes 0,05 barg som nedre grænse for personskade fra eksplosion i overensstemmelse med vejledningen fra Risikohåndbogen [1]. Ligeledes anvendes 0,20 barg som generelt kriterium for dominoeffekt fra eksplosion (skader på procesudstyr, kollaps af bygninger mv.).

Sandsynligheden for at omkomme fra en eksplosion beregnes vha. probitfunktioner, hvor Probitværdien Pr beregnet for et givet overtryk, omsættes til en sandsynlighed for at omkomme ved det givne tryk.

$$Pr = A + B \cdot \ln(P^n)$$

hvor P er overtrykket i pascal

Tabel 5 Konstanter til probitberegninger for eksplosionsovertryk

	A	B	N
Indendørs (PSG1)	-15,7	2,2	1
Udendørs (udledt fra JRC data)	-28,26	3,24	1

Det antages her, at kun udslip, hvor der opbygges en gassky med 100 kg brændbar gas eller derover kan resultere i en gasskyeksplosion.

1.1.7.1 Modellering af eksplosion

Ved antændelse af en gassky er forbrændingshastigheden afgørende for, om der overhovedet kan opstå en eksplosion og i givet fald det resulterende eksplosionsovertryk. Hvis forbrændingshastigheden overstiger lydhastigheden, opstår der en detonation, som giver et meget højt eksplosionsovertryk. Forskellige forhold kan påvirke flammeacceleration gennem gasskyen. Generelt vil forbrænding af en indesluttet (confined) gassky resultere i et højere eksplosionsovertryk end en forbrænding i det fri. Objekter i gasskyen (congestion) kan også resultere i flammeacceleration og dermed højt overtryk fra forbrændingen. Flammeudvidelsen bestemmer, hvor flammen kan udvide sig, og en høj begrænsning (f.eks. i én retning) vil øge flammehastigheden og overtrykket. I beregningen er der antaget en flammeudvidelse på 2,5. Objektætheden i skyens område påvirker hastigheden, hvor en høj tæthed øger flammehastigheden og dermed overtrykket. Der er valgt en medium objektæthed. Brændstoffets reaktivitet påvirker flammehastigheden, og med lav reaktivitet for metan resulterer dette i en langsommere flammehastighed.

Tabel 6 Flammehastighed for Metan, gengivet fra ref. [10]

Stof	Fundamental flammehastighed (cm/s)
Methan	40

1.2 Opsummering af skadeskriterier

Tabel 7 Skadeskriterier

Effekt	Konsekvensafstand	Dominoeffekt
Gasskybrand	0,5 LFL (i højde 1,5 m)	-
Varmestråling	4,7 kW/m ² (langvarig påvirkning) 10 kW/m ² (ildkugle)	15 kW/m ² (langvarig påvirkning) 35 kW/m ² (kortvarig påvirkning)
Ekspllosionsovertryk	0,05 barg	0,20 barg
Ammoniak giftvirkning	LC1 / 1 % dødsfaldsrisiko (i højde 1,5 m)	-
Ilts farlighed	1 % dødsfaldsrisiko (i højde 1,5 m)	-

2 Beregningsmodel

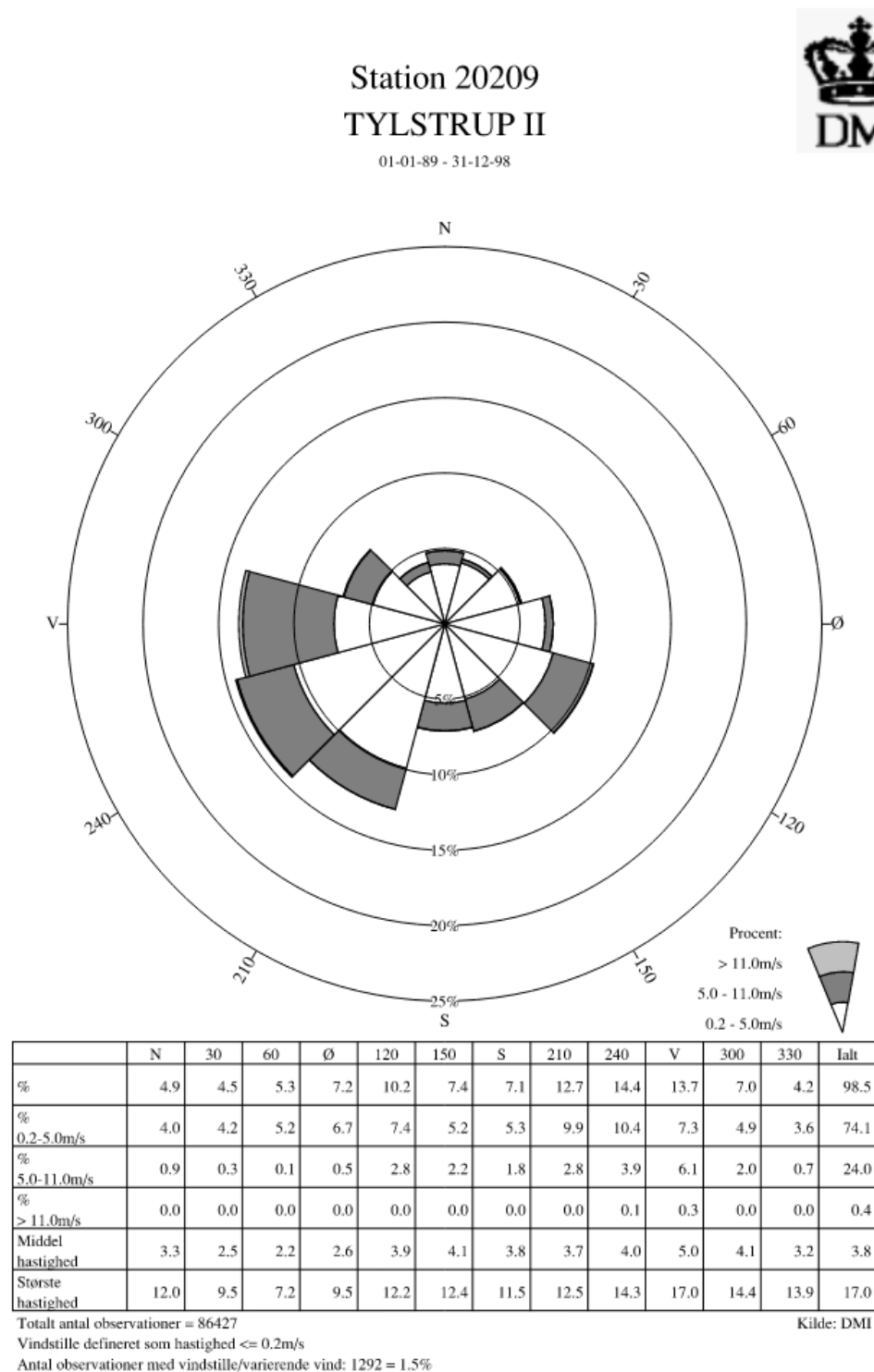
2.1.1 Vejrklasser

Beregningerne udføres for fire vejrtyper:

- > vindhastighed 1,5 m/s, Pasquill stabilitetsklasse F
- > vindhastighed 1,5 m/s, Pasquill stabilitetsklasse D
- > vindhastighed 5 m/s, Pasquill stabilitetsklasse D
- > vindhastighed 10 m/s, Pasquill stabilitetsklasse D

Pasquill stabilitetsklasse F er et ugunstigt vejrforhold med lille vertikal bevægelse i luften, som optræder forholdsvis sjældent og da kun om natten. Pasquill stabilitetsklasse D er et typisk dansk vejrforhold, og det giver hurtigere opblanding med luften. Ved risikoberegningerne antages F-vejr at forekomme 15 % af tiden.

Ved alle vejrlig benyttes en omgivelsestemperatur på 10 °C. DMI var gennemsnits temperaturen i Danmark mellem 2011 og 2020 omkring 9,1 °C. Der benyttes en vindrose fra for Tylstrup II fra DMI [11].



Figur 2 Anvendt vindrose og vindrose data, fra DMI [11]

2.1.2 Terræn

Phast tager ikke hensyn til specifikke bygninger og topografi. Terrænet indregnes med den generelle parameter terrænuhed, som repræsenterer den generelle tæthed af objekter (huse, træer hegn mv.) i terrænet omkring udslippet. Ved en høj terrænuhed er der mange objekter i landskabet, som vil forhindre

udslippet i at dispergere. Generelt vil udslip give relativt små skyer med høj koncentration ved stor tærrenruhed, mens en lille tærrenruhed vil give større skyer med lavere koncentration af farligt stof. Programmet tager ikke hensyn til, at en stor del af gassen kan fanges i lavninger i terrænet eller bag bygninger, hvilket gør, at Phast generelt overvurderer dispersionsafstande.

Danske terrænkategorier og terrænparametre fra /DS/EN-1991-1-4FU2010/ angives i Figur 2-3. DNVs vejledning til input for tærrenruhed i Phast gengives i Figur 2-4.

Tylstrup's terræn er for det meste fladt med landbrugsmarker og spredte træer. Bygningerne er lave, ligger langt fra hinanden og er primært boliger eller landbrug, hvilket fører til et relativt åbent terræn med få forhindringer. Det vurderes, at en tærrenruhed på 10 cm vil være relevant for spredningsberegninger over land.

Terrænkategori	z_0 m	z_{min} m	Illustration
0 Hav- eller kystområde eksponeret til åbent hav <i>Kommentar: Denne kategori anvendes ikke.</i>	0,003	1	
I Søer eller fladt og vandret område uden væsentlig vegetation og uden forhindringer, samt kystområde eksponeret til åbent hav.	0,01	1	
II Område med lav vegetation som fx græs og enkelte forhindringer (træer, bygninger) med indbyrdes afstande på mindst 20 gange forhindringens højde	0,05	2	
III Område med regelmæssig vegetation eller bebyggelse eller med enkeltvis forhindringer med afstande på højst 20 gange forhindringens højde (som fx landsbyer, forstadsområder, permanent skov)	0,3	5	
IV Område, hvor mindst 15 % af overfladen er dækket med bygninger, hvis gennemsnitshøjde er over 15 m.	1,0	10	
NOTE – Terrænkategorierne er illustreret i DS/EN 1991-1-4, A.1, men hér indsat i yderste kolonne			

Figur 2-3 Terrænrheder i Danmark jævnfør /DS-EN-1991-1-4FU:2010/ z_0 er terrænrheden i m

Type of Surface	Roughness Length (m)
Open water, at least 5 km	0.0002
Mud flats, snow; no vegetation, no obstacles	0.005
Open flat terrain; grass, few isolated objects	0.03
Low crops; occasional large obstacles, $x/h > 20$	0.10
High crops; scattered large obstacles, $15 < x/h < 20$	0.25
Parkland, bushes; numerous obstacles, $x/h < 15$	0.5
Regular large obstacle coverage (suburb, forest)	1
City centre with high- and low-rise buildings	3

Figur 2-4 Angivelser af typiske terrænrheder fra baggrundsmaterialet til Phast

3 Konsekvensberegninger

3.1 Sektion 1 – Antændt udslip af metan efter tankbrud/lækage fra tanke og reaktorer

Dette afsnit omhandler 3 udslipsscenarioer for udslip fra reaktortanke:

- 1 10 mm lækage
- 2 10 minutters tømning af hele indholdet
- 3 Brud af hele volumen

Huldiameteren ved lækage antages at være 10% af rørets diameter.

Der kan udføres beregninger for nedenstående enheder:

- > Primærreaktor 1 til 6
- > Sekundærreaktor 1 til 6
- > Øko primær reaktor
- > Øko sekundær reaktor
- > Tertiære reaktortanke 1 til 3

Tertiær reaktortank blev brugt som repræsentativ og konservativ konsekvensberegning for alle tanke og reaktorer, da tertiær reaktortank har det største oplag af alle af metangas på 1683 m³.

Inputparametre for beregningerne kan ses i tabellen nedenfor.

Tabel 8 Input til konsekvensberegninger

Produkt	CH ₄ (Metan)	Volumen af tank	9.000 m ³
Temperatur	46 °C	Højde	1 m
Tryk	15 mbarg	Udslipssrate af lækage	0,002 kg/s
		Udslipssrate af tømning	1,75 kg/s
Metan volumen	1.683 m ³	Varighed	Lækage: 3600s Tømning: 600 s

3.1.1 Beregning 1: 10 mm lækage

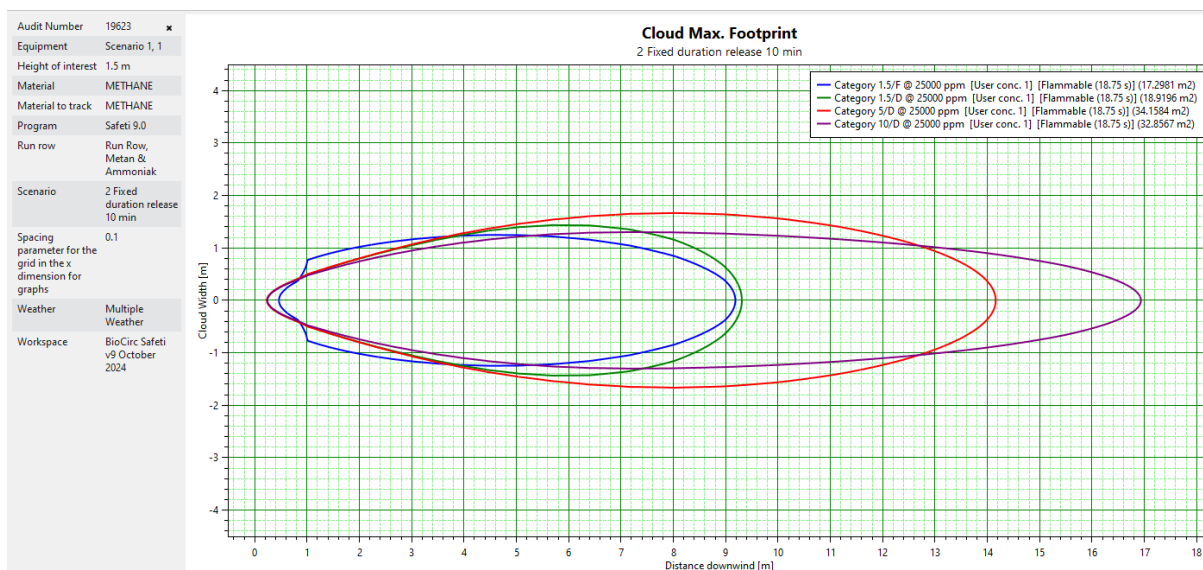
Der er regnet på lækage fra et 10 mm hul på tertiær reaktortank.

Tabel 9 Konsekvensberegninger fra 10 mm lækage

Kriterium	Vejr			
	1.5F	1.5D	5D	10D
0,5LFL (i højde 1,5 m)	Ikke overskredet			
Varmestråling	Ikke overskredet			
Ekspllosion	Ikke overskredet			

3.1.2 Beregning 2: 10 minutters tømning

Der er regnet på en tømning af reaktortankens fulde volumen af gas over 10 minutter.



Figur 5 Maks. fodaftryk til 0,5 LFL i 1,5 m højde



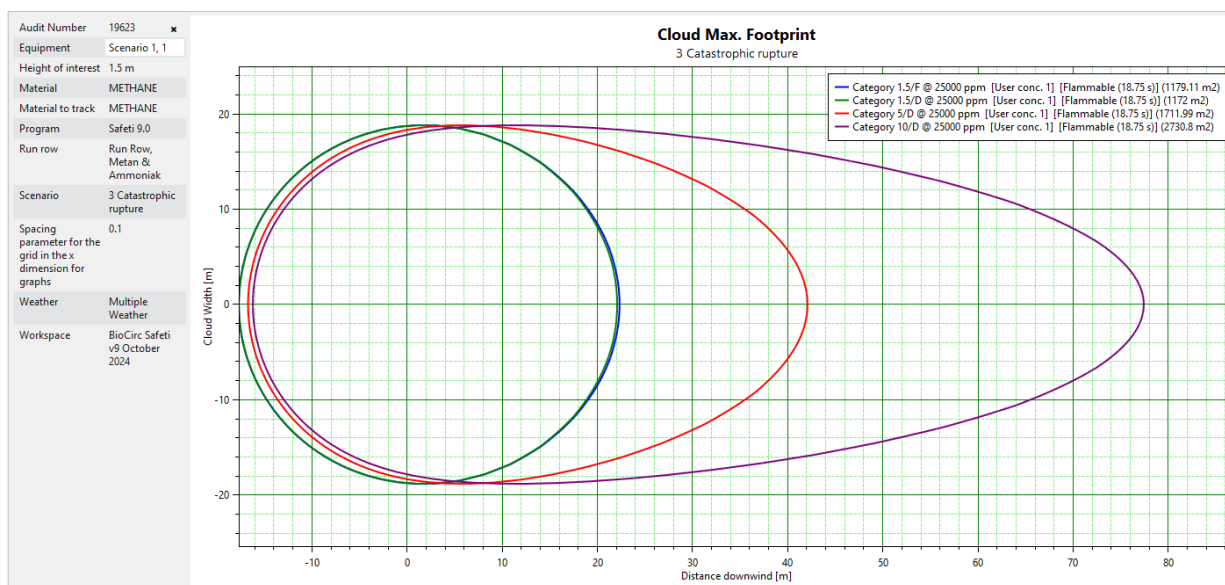
Figur 6 Stråling som funktion af afstand ved jetbrand

Tabel 10 Konsekvensberegninger for 10 minutters tømning

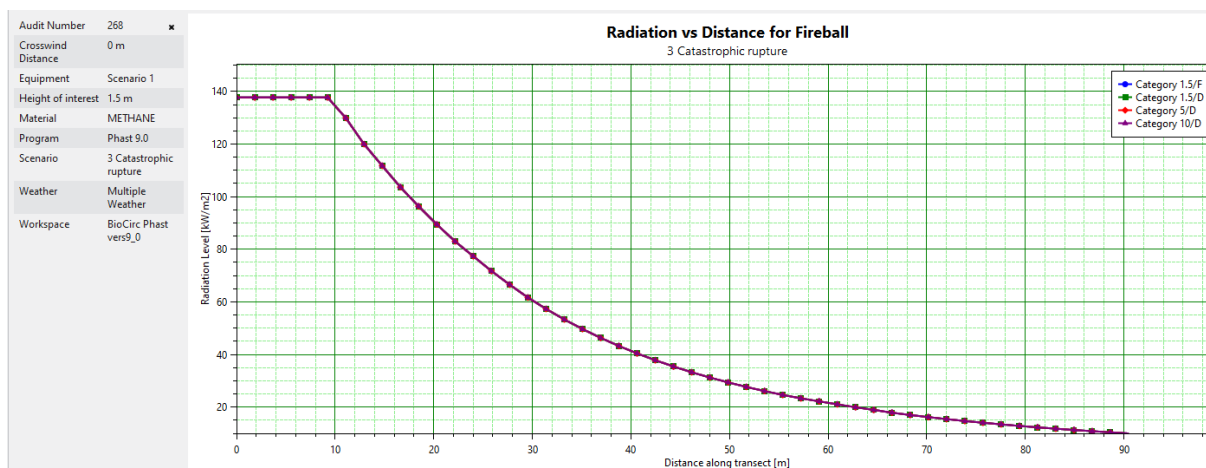
Kriterium	Vejr			
	1.5F	1.5D	5D	10D
0,5LFL gasskybrand (1,5 m)	9 m	9 m	14 m	17 m
4,7 kW/m ² varmemstråling	12,3 m	12,3 m	15 m	15 m
15 kW/m ² varmemstråling	10 m	10 m	13,5 m	13,5 m
35 kW/m ² varmemstråling	9 m	9 m	13 m	13 m
0,05 barg eksplosion	-	-	-	-
0,20 barg eksplosion	-	-	-	-

3.1.3 Beregning 3: Pludseligt brud

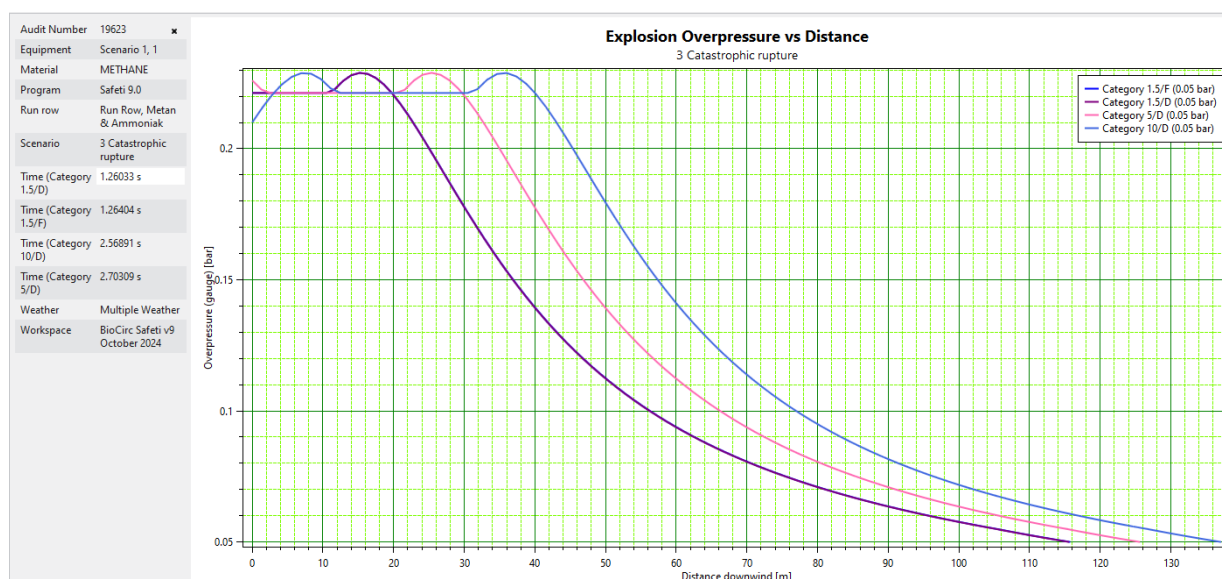
Der er regnet på et pludseligt brud af reaktortanken.



Figur 7 Maks. fodafttryk til 0,5 LFL i 1,5 m højde



Figur 8 Stråling som funktion af afstand ved ildkugle



Figur 3-9 Eksplosionsovertryk som funktion af afstand

Tabel 11 Konsekvensberegninger fra pludselig brud

Kriterium	Vejr			
	1.5F	1.5D	5D	10D
0,5LFL gasskybrand (1,5 m)	22 m	22 m	42 m	78 m
10 kW/m ² varmestråling	90 m	90 m	90 m	90 m
15 kW/m ² varmestråling	73 m	73 m	73 m	73 m
35 kW/m ² varmestråling	45 m	45 m	45 m	45 m
0,05 barg Eksplosion	116 m	116 m	126 m	137 m
0,20 barg Eksplosion	25 m	25 m	41 m	69 m

3.2 Sektion 2 – Antændt udslip af metan efter rørbrud på metanrør efter reaktortank

Dette afsnit omhandler udslipsscenario for udslip fra rør efter tertiær reaktortank. Den potentielle udslipsmængde vil være 1683 m³ gas i reaktortanken plus 150 m³ gas i selve røret (Ø150mm)

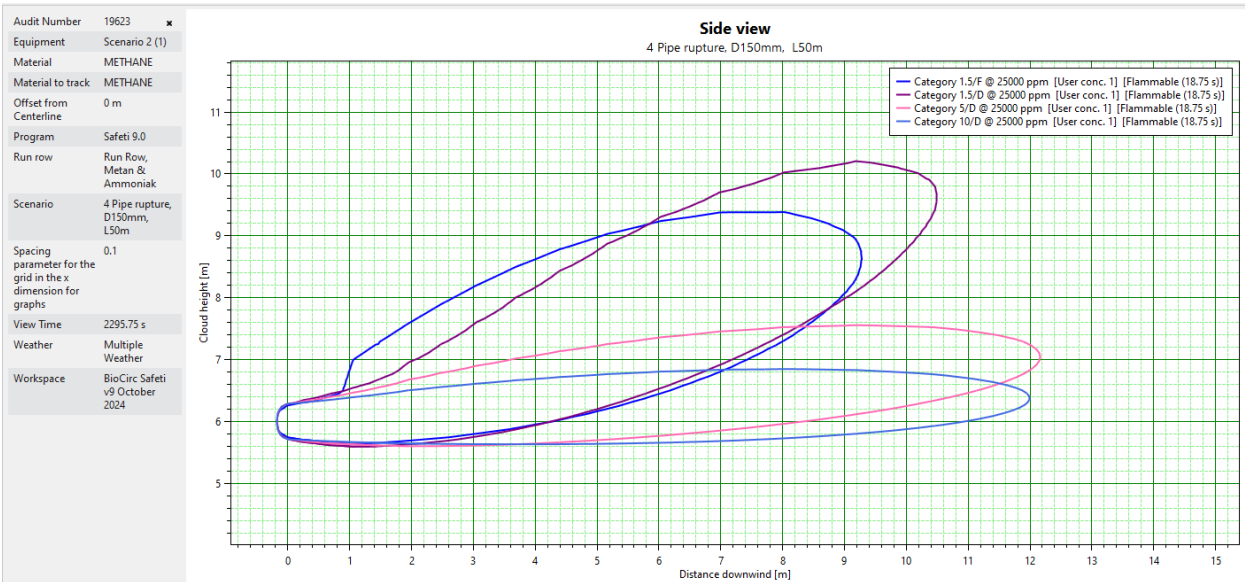
Inputparametre for beregningerne kan ses i tabellen nedenfor.

Tabel 12 Input til konsekvensberegninger

Produkt	CH ₄ (Metan)	Volumen af tank	9.000 m3
Temperatur	46 °C	Udslip højde	6 m
Tryk	10 mbarg	Udslipsrate af rørbrud	0,46 kg/s
		Varighed	2300 s
Metan volumen	1.683 m3	Rør diameter	150 mm
Gasrør gasoplag	150 m3	Rørlængde	10 m

3.2.1 Beregning 4: Brud Ø150 mm rør

Der er lavet beregning af udslip ved brud af Ø150 mm gasrør.



Figur 10 Dispersion til 0,5 LFL (udslip højde 6 m)

Tabel 13 Konsekvensberegninger for rørbrud

Kriterium	Vejr			
	1.5F	1.5D	5D	10D
0,5LFL (ved 1,5 m)	Ikke overskredet			
Varmestråling	Ikke overskredet			
0,05 bar eksplosion	-	-	-	-

0,2 bar eksplosion	-	-	-	-
--------------------	---	---	---	---

3.3 Sektion 3 – Antændt udslip af metan (CH₄) efter rørbrud/lækage i gasopgraderingen

Dette afsnit omhandler 2 udslipsscenarier for udslip af metangas i gasopgraderingsdelen af biogasanlægget:

- 1 7,5 mm lækage
- 2 75 mm rørbrud

Huldiameteren ved lækage antages at være 10% af rørets diameter.

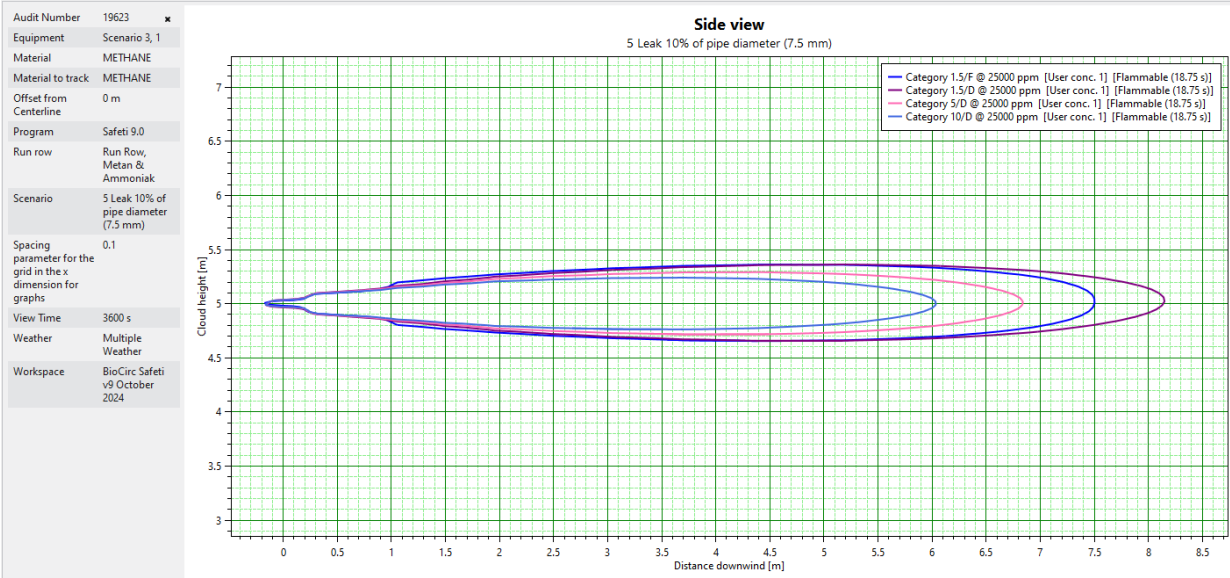
Gasrør indgår i konsekvensberegningen, da den har oplag af metangas på 150 m³.

Inputparametre for beregningerne kan ses i tabellen nedenfor.

Produkt	CH ₄ (Metan)	Højde	5 m
Temperatur	70 °C	Udslipssrate af lækage	0,129 kg/s
Tryk	20 barg	Udslipssrate af rørbrud	12,9 kg/s
		Varighed	Lækage: 3600s Rørbrud: 140 s
Metan volumen	150 m ³	Rør diameter (lækage)	7,5 mm
Rørlængde	3 m	Rør diameter	75 mm

3.3.1 Beregning 5: 7,5 mm lækage

Der er regnet på en lækage fra et Ø75 mm rør i gasopgraderingen.

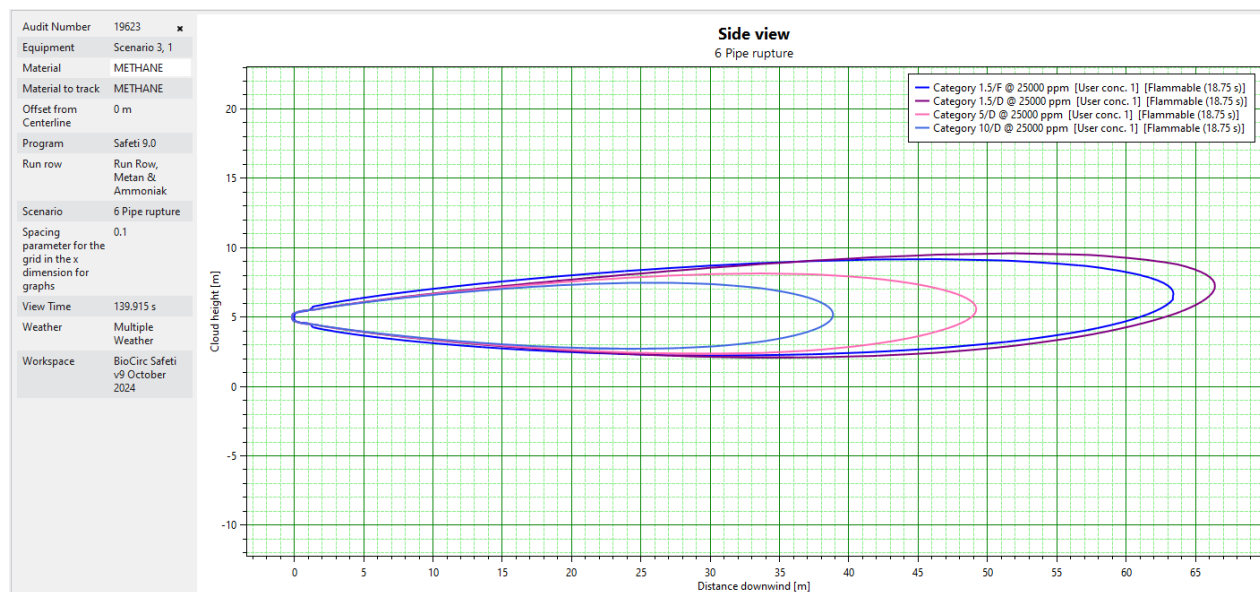


Figur 11 Dispersion til 0,5 LFL

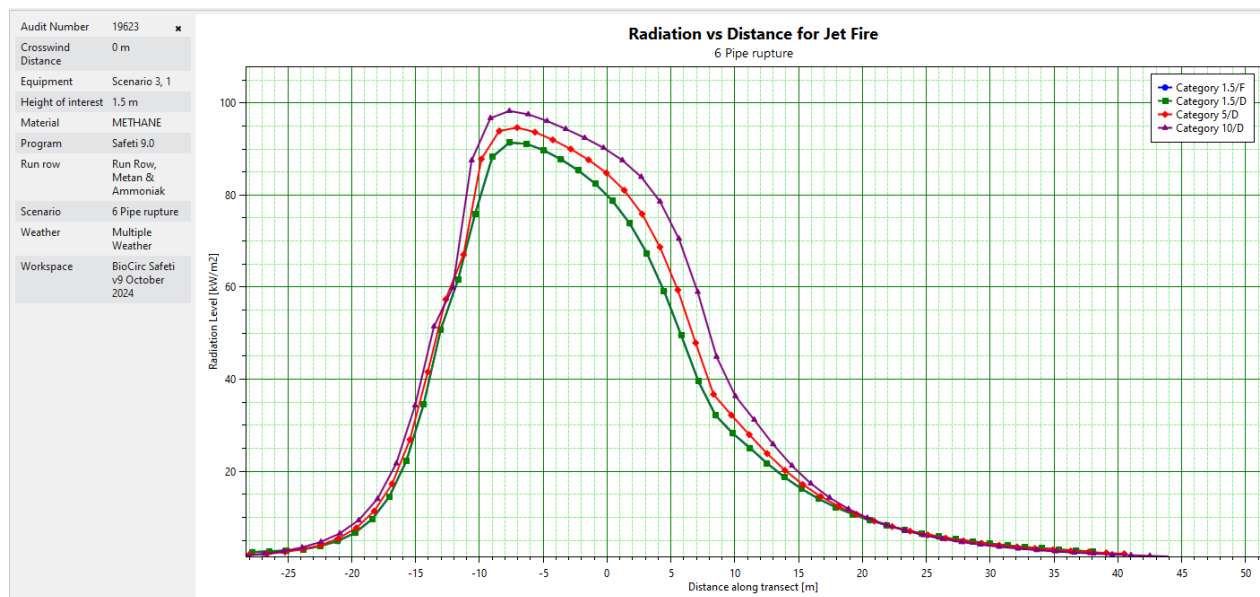
Kriterium	Vejr			
	1.5F	1.5D	5D	10D
0,5LFL gasskybrand (ved 1,5 m)	Ikke overskredet			
Varmestråling	Ikke overskredet			
0,05 bar eksplosion	Ikke overskredet			
0,2 bar eksplosion	Ikke overskredet			

3.3.2 Beregning 6: 75 mm rørbrud

Der er foretaget beregning på brud af et Ø75 mm gasrør under tryk i gasopgraderingen.



Figur 12 Dispersion til 0,5 LFL



Figur 13 Stråling som funktion af afstand ved jetbrand

Tabel 14 Konsekvensberegninger for rørbrud

Kriterium	Vejr			
	1.5F	1.5D	5D	10D
LFL gasskybrand (1,5 m)	Ikke overskredet			
4,7 kW/m² varmemstråling	34,5 m	34,5 m	35 m	35 m

15 kW/m ² varmestrling	19 m	19 m	19 m	19 m
35 kW/m ² varmestrling	11 m	11 m	12 m	13 m
0,05 bar eksplosion	-	-	-	-
0,2 bar eksplosion	-	-	-	-

3.4 Sektion 4 – Udslip af ammoniak (NH₃) efter rorbrud/lkage (kondensatorsektion) i kolesystemet

Dette afsnit omhandler et scenarie for udslip fra ammoniakkolesystemet:

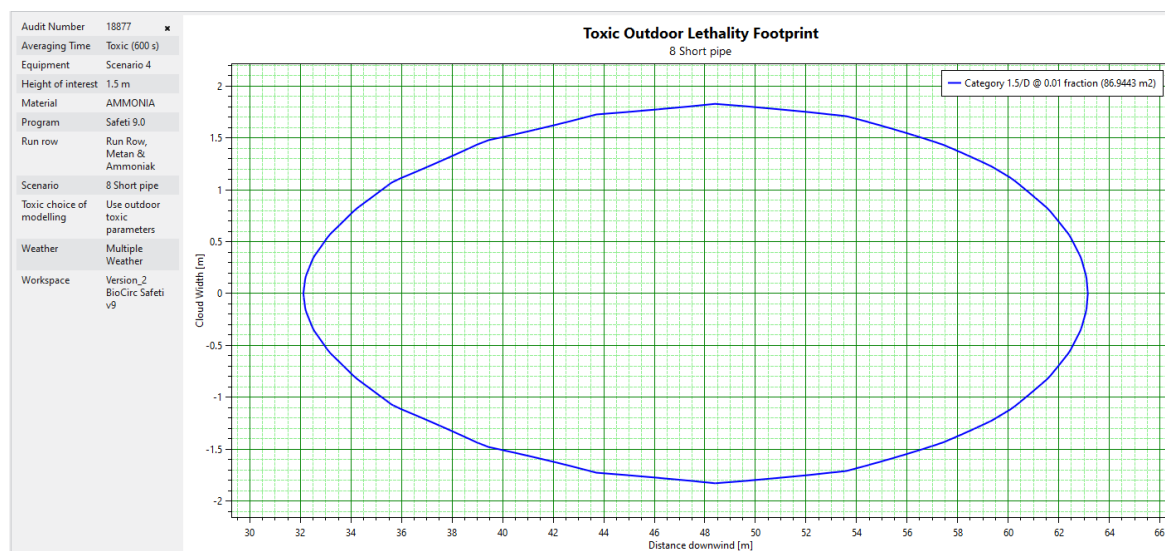
1 125 mm rorbrud

Ammoniakudslippet antages at ske ved et potentielt udslip p op til 300 kg ammoniak.

Produkt	NH ₃ (Ammoniak)	Udslipshøjde	5 m
Temperatur	30 °C	Udslipsrate af rørbrud	20,3 kg/s
Tryk	10,61 barg		
		Varighed: 15 s	
Ammoniak volumen	300 kg	Rør diameter	125 mm
		Rørlængde	10 m

3.4.1 Beregning 7: Brud Ø125mm NH₃ ror

Der er foretaget beregning af udslip fra et Ø125mm ror i koleanlget.



Figur 14 Toksisk virkning afstanden til LC1 i 1,5 m højde

Kriterium	Vejr			
	1.5F	1.5D	5D	10D
LC ₁ (toksisk virkning)	-	63 m	-	-

3.5 Sektion 5 – Udslip af ilt (O₂) efter brud/lækage fra tank

Dette afsnit omhandler 3 udslipsscenarier for udslip fra en ilttank:

- 1 10 mm lækage
- 2 10 minutters tømning af tanken
- 3 Brud af tanken

Den oplagrede ilt har et tryk på 15 barg og en temperatur på -145 °C. Inputparametre for beregningerne kan ses i tabellen nedenfor.

Tabel 15 Input til konsekvensberegninger for ilt

Produkt	Ilt (gas)	Volumen	
Temperatur	-145 °C	Højde	1 m
Tryk	15 barg	Udslipssrate fra lækage	2,56 kg/s

		Udslipsrate af tømning	305 kg/s
Indhold	200 m ³	Varighed	Lækage: 3600s Tømning: 600 s

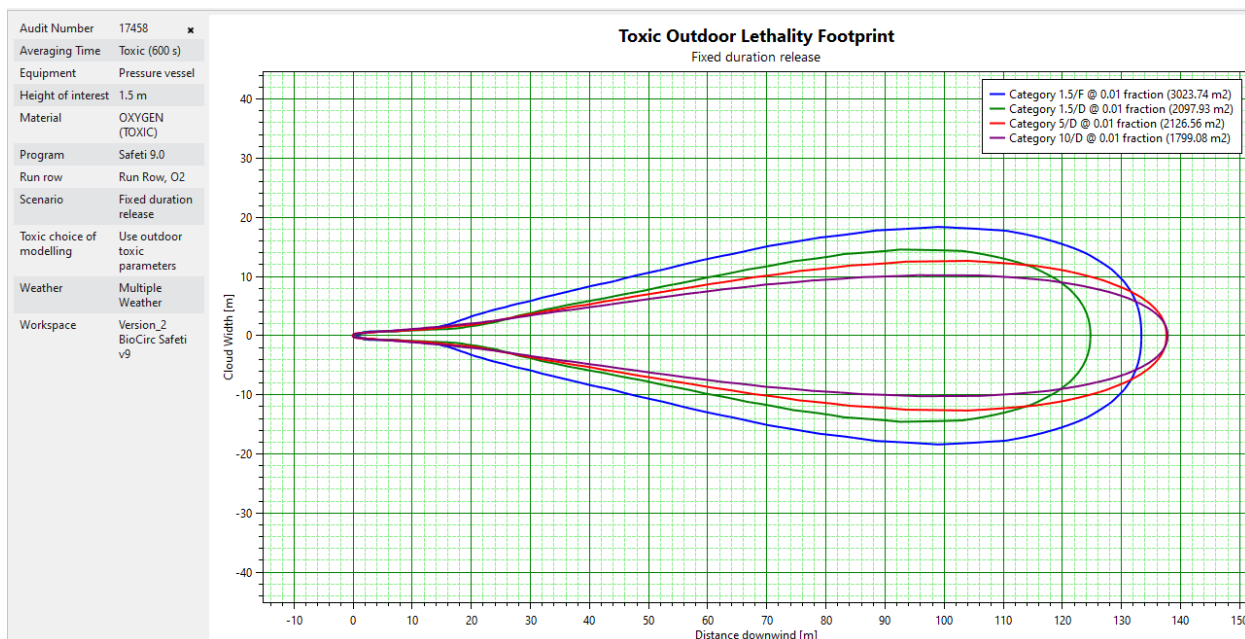
3.5.1 Beregning 8: 10 mm lækage

Der er foretaget beregning af udslip fra tank for flydende ilt fra et hul med diameter 10 mm. Kriteriet for ilt risiko er baseret på LC₁, hvilket svarer til en 1% dødssandsynlighed. I dette scenarie er kriteriet ikke overskredet.

Kriterium	Vejr			
	1.5F	1.5D	5D	10D
LC ₁ (toksisk virkning)	-	-	-	-

3.5.2 Beregning 9: 10 minutters tømning

Der er foretaget beregning af udslip af ilt fra tank ved komplet tømning af tanken over en tid på 10 minutter.



Figur 15 Afstand til LC₁ (1% sandsynlighed for at omkomme ved udslip)

Kriterium	Vejr
-----------	------

	1.5F	1.5D	5D	10D
LC ₁ (toksisk virkning)	133 m	125 m	138 m	138 m

3.5.3 Beregning 10: Pludseligt brud

Der er foretaget beregning af udslip fra ilttank ved pludseligt brud. Kriteriet for dødsfald er ikke overskredet.

Kriterium	Vejr			
	1.5F	1.5D	5D	10D
LC ₁ (toksisk virkning)	-	-	-	-

4 Resultater

4.1 Længste skadesafstande

Nedenfor opsummeres de beregnede længste skadesafstande for de enkelte uheldsscenarier. Metans dispersion ved 0,5 LFL aflæses i en højde af 1,5 m over jordoverfladen. Den største konsekvensafstand er bestemt til 138 meter, hvilket ikke rækker ind i områder med fremmede arbejdspladser eller boligområder. Den maksimale konsekvensafstand vil derfor være acceptabel.

Tabel 16 Længste skadesafstande for ulykkesscenarier med farlige stoffer

Beregning	Farligt stof	Konsekvensafstand	Dominoeffekt
1	Metan	-	-
2	Metan	17 m	13,5 m
3	Metan	137 m	69 m
4	Metan	-	-
5	Metan	-	-
6	Metan	35 m	19 m
7	Ammoniak	63 m (LC1)	-
8	Ilt	-	-
9	Ilt	138 m (LC1)	-
10	Ilt	-	-

5 Kilder

- [1] Miljøstyrelsen, »Risikohåndbogen,« oktober 2016. [Online]. Available: <http://risikohaandbogen.mst.dk/>. [Senest hentet eller vist den 26 oktober 2016].
- [2] J. Casal, »Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants,« Elsevier , 2017.
- [3] RIVM, Guidelines for quantitative risk assessment, 2005.
- [4] A. I. o. C. Engineers, Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases, 1999.
- [5] F. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, 1999.
- [6] »Additional Risk Management Program Guidance, EPA,« [Online]. Available: http://www.epa.gov/oem/content/rmp/rmp_guidance.htm.
- [7] Miljøstyrelsen, »Risikohåndbogen v. 3,« Maj 2024.
- [8] HSE, *Methods of approximation and determination of human vulnerability for offshore major accident hazard assessment*, 2010.
- [9] F.v.d.Schoor, *Probit function analysis of blast effects on human beings - The Flemish 40 mbar overpressure criterion*, 2016.
- [10] NFPA, »Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting,« NFPA, 2018.
- [11] D. M. INSTITUTE, *Observed Wind Speed and Direction in Denmark*.
- [12] DNV, »Application of Phast and Safeti to Hydrogen Consequences and Risks,« 2022.