



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Risikovurdering av gassfylllestasjon i tettbygd strøk.



(Kilde: <http://nedgrace.files.wordpress.com/2009/06/naturalgasvehicle.jpg>)

Prosjektoppgave utført ved

Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag våren 2010

Sikkerhet, Brannteknikk og Maskin, Energi- og Prosessteknikk

Deltakere:

Veronica C. Andersen Haugan

Einar A. Kolstad

Kandidat nr. 51

Kandidat nr. 4



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund
Studie for ingeniørfag
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND
Tlf. nr. 52 70 26 00
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel		Rapportnummer
Risikovurdering av gassfylllestasjon i tettbygd strøk		(Fylles ikke ut)
Utført av		
Einar Arthur Kolstad		
Veronica C. A. Haugan		
Linje og studieretning		
Sikkerhet, Brannteknikk og Maskin, Energi- og Prosessteknikk		
Gradering	Innlevert dato	Veiledere
Åpen		Alf Reidar Nilsen, Høgskolen Stord/Haugesund
		Stefan Andersson, NorConsult AS

BACHELOROPPGAVE

Studenten(e)s navn: Einar A. Kolstad
Veronica C. A. Haugan

Linje & studieretning Maskin, Prosess- og Energiteknikk
Sikkerhet, Brannteknikk

Oppgavens tittel: Risikovurdering av gassfylllestasjon i tettbygd strøk.

Oppgavetekst:

Det er stor enighet om at bruken av sterkt forurensende drivstoff må reduseres. Dette gjør at flere ser naturgass som et alternativ, for senere å kunne gå over til og bruke miljøvennlige gasser som biogass. Derfor bør det etableres et godt distribusjonsnett for naturgass i og utenfor tettbygde strøk.

Plasseringen av slike anlegg i tett befolket område kan medføre en økning i risiko. I dette arbeidet skal risikobildet ved etablering av to ulike fyllestasjoner for naturgass, LCNG og CNG, beskrives. Arbeidet skal bidra til å danne beslutningsgrunnlag for hvilket anlegg som egner seg best for etablering i Haugesund.

Endelig oppgave gitt: Torsdag 4. mars 2010

Innleveringsfrist: Fredag 7. mai 2010 kl. 12.00

Intern veileder Alf Reidar Nilsen jr, HSH

Ekstern veileder Stefan Andersson, Norconsult

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

Monika Metallinou
28/4-10

Forord

I forbindelse med avslutning av Bachelor innen ingeniørfag ved Høyskolen Stord/ Haugesund skal studentene skrive en avsluttende hovedoppgave med selvvalgt problemstilling. Hensikten med hovedoppgaven er å bruke allerede tilegnet kunnskap fra tidligere fag, samt tilegne seg ny kunnskap når en fordyper seg i problemstillingen og løser problemet.

Denne oppgaven tar for seg risikovurderinger av gassfyllestasjoner i tettbygd strøk. Sammen med Stefan Andersson i Norconsult AS, kom vi fram til at denne problemstillingen kan være en viktig brikke i å redusere sterkt forurensende drivstoff på kjøretøy. Økes antall gassfyllestasjoner for naturgass i tettbygd strøk, kan antall biler som kjører på gass også øke. Disse kan med tiden fase over til mer miljøvennlig biogass.

I denne oppgaven har spesielt fagene Brannodynamikk, Eksplosjonssikring, Kvalitet – Sikkerhet og Risiko, Termodynamikk, kjemi, Prosjekt som arbeidsform, prosessteknikk I og II og Brannteknisk simulering, vært relevante. Det har vært en spennende prosess hvor nesten alle fag fra både studieretning Maskin og Brann er benyttet.

Vi ønsker å rette en stor takk til våre veiledere, Stefan Andersson (Norconsult AS) og Alf Reidar Jr. Nilsen (Høyskolen Stord/ Haugesund), for deres bidrag til denne oppgaven.

Vi ønsker også å takke:

- Familiene våre – for god støtte og tålmodighet
- Nils Jarle Lindtner – Gasnor AS
- Harald E. Arnøy – Gasnor AS
- Johnny Ødegård – Nærgass AS
- Dag Nordby – Chart Industries Inc.
- Stian Herrebrøden – Tolcon AS

Veronica C. A. Haugan

Einar A. Kolstad

Innhold

Forord	i
1. Innledning	1
2. Teori og metode	3
2.1. Grovanalyse	3
2.2. Beregningsteori.....	5
2.3. Dataprogram	8
2.4. Regelverk.....	9
3. Gass og fyllestasjoner for naturgass	10
3.1. Naturgass	10
3.2. Gassanlegg.....	13
4. Grovanalyse av LCNG anlegg i tettbygd strøk.....	17
4.1. Identifisering av uønskede hendelser	17
4.2. Årsaks analyse	18
4.3. Konsekvens analyse.....	20
4.4. Presentasjon av risiko	21
5. Grovanalyse av CNG anlegg i tettbygd strøk	22
5.1. Identifisering av uønskede hendelser	22
5.2. Årsaks analyse	23
5.3. Konsekvens analyse.....	24
5.4. Presentasjon av risiko	25
6. Diskusjon	26
6.1. LCNG anlegg.....	26
6.2. CNG anlegg	30
6.3. Grovanalysen	31
6.4. Plassering.....	31
6.5. LCNG vs CNG	35
7. Konklusjon.....	36
Kilder.....	37

Vedleggsliste

- A. Tetthetsberegninger
- B. Brennbarhetsgrenser
- C. Kart over gassrørnett
- D. Tabell av uønskede hendelser ved LCNG anlegg
- E. Begrunnelse for frekvenser til LCNG anlegg
- F. Argos simulering
- G. Tabell av uønskede hendelser ved CNG anlegg
- H. Begrunnelse for frekvenser til CNG anlegg
- I. FDS simulering
- J. Sammensetning av gass fra Snurrevaden
- K. Brosjyre LCNG anlegg

Tabell liste

Tabell 1: Konsekvensklasser	3
Tabell 2: Frekvensklasser	4
Tabell 3: Risikomatrise	4
Tabell 4: Beregning av LFL for naturgass(se vedlegg B)	11
Tabell 5: Tetthet og volum for naturgass	12
Tabell 6: Utsnitt fra vedlegg E	17
Tabell 7: Frekvens klasser for LCNG anlegget.....	19
Tabell 8: Utdrag fra vedlegg E	19
Tabell 9: Konsekvens matrise med hendelser	20
Tabell 10:Risikomatrise for LCNG anlegg	21
Tabell 11: Utdrag fra vedlegg G.....	22
Tabell 12: Frekvensklasser, CNG anlegg	24
Tabell 13: Utdrag fra vedlegg H.....	24
Tabell 14: Konsekvensklasser, CNG	24
Tabell 15: Risikomatrise, CNG anlegg	25
Tabell 16: Oppdatert risikomatrise for LCNG anlegg.....	30

Figur liste

Figur 1: Fasediagram for naturgass levert i gassrørnett i Haugesund	11
Figur 2: Skjematisk oppstilling av gassanlegg	13
Figur 3: LCNG anlegg (23).....	13
Figur 4: LCNG anlegg (25)	14
Figur 5: Dimensjonene på Nanobox (26)	15
Figur 6: Åpen Nanobox (33)	15
Figur 7: Feiltre.....	18
Figur 8: Feiltre eksplosjon.....	23
Figur 9: LCNG anlegg tegnet inn ved Gamle meieriet (32).....	33
Figur 10: Nanobox tegnet inn ved Gamle meieriet (32)	34



Sammendrag

Plassering av gassfyllestasjoner på tettsteder, kan gi økt risiko for allmennheten. Dette arbeidet skal bidra til å beskrive risikobildet ved etablering av ulike fyllestasjoner. Arbeidet skal bidra til å danne beslutningsgrunnlag for hvilket naturgassanlegg som egner seg best for etablering i Haugesund.

Det er gjort grovanalyse på to typer fyllestasjoner Liquified Compressed Natural Gas (LCNG anlegg) og Compressed Natural Gas anlegg (CNG). LCNG anlegget er et prinsippanlegg mens CNG anlegget er Nanobox fra produsenten Galileo.

Grovanalysene, viser at begge anleggene kan plasseres i tettbygd strøk. Plassering av slike anlegg i befolkningstette områder vil gi en økning i risikoen. Denne økningen er etter de vurderinger og beregninger som er gjort i dette arbeidet akseptable. Like fullt må det være sterkt fokus på vedlikehold og intern kontroll av gassfyllestasjoner. Spesielt gjelder dette LCNG anlegget, men også Nanoboxen.

LCNG anlegg er best egnet for steder hvor det ikke er gassrørnett. LCNG anlegg kan plasseres i tettbebygd strøk. Men det vil ut fra dette arbeidet bidra til en unødvendig økning i risikoen. LCNG anlegget har ikke bare høyere risiko enn Nanoboxen, den vil også medføre økning i veitransport av farlig gods, LNG.

Analysene viser at anlegg som skal plasseres på steder med gassrørnett, bør benytte gassrørnettet. Gevinsten dette gir, er mindre og enklere anlegg. I tillegg vil det ikke gi flere tankbiler på veien. Dette arbeidet har sett på plassering av gassfyllestasjon i Haugesund. Haugalandet er et av de områdene i Norge hvor gassrørnettet er best utbygd. Derfor vil det være naturlig å plassere et CNG anlegg, som Nanobox, i Haugesund. Et forslag til plassering av anlegget er ved Gamle meieriet i Karmsundgaten. Denne plasseringen er sentral, og det er lett å komme seg til anlegget både for små og store biler. Plassen er stor nok til å sette opp et LCNG anlegg. Andre plasseringer kan også være aktuelle, og det er lite i denne analysen som tyder på at det vil være problematisk med tanke på sikkerheten. Plassering under bygg, nært sykehus, gamle hjem, skoler eller lignende institusjoner har egne krav til sikkerhetsavstander.



1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Gass har tradisjonelt vært et biprodukt til olje. Den har blitt og blir enda noen steder brent av via fakler ved oljebrønnene. I den tidlige fasen av oljeproduksjonen ble gass benyttet som drivstoff i nærheten av oljebrønnen. Så tidlig som i 1820 årene drev det engelske firmaet London Portable Gas Company og fraktet gass i kobberbeholdere med tretti bars trykk til industri og rikfolk som ikke var tilknyttet gassrørnett. Tyskere og amerikanere kom tidlig inn på gassmarkedet. I 1840 årene utviklet de teknikker for å distribuere trykksatt gass. LNG har vært benyttet i USA siden 1912⁽¹⁾. Den første gassbrønnen var Hassi R'Mel gassfelt i Algerie og ble åpnet i 1964. Etter dette har gass blitt mer attraktivt og er i dag større enn kull som energikilde. Gass brukes i dag på store kraftverk og som drivstoff på kjøretøy⁽²⁾.

Energibehovet i verden øker. Om 40 til 50 år bør det finnes et alternativ til olje som hovedenergikilde til biler, båter og fly. Lederen for International Energy Agency (IEA), Nobuo Tanaka sa i 2008 ” *Tross all oppmerksomheten rundt biodrivstoff, vind og sol-energi, er realiteten at vi fortsatt er på vei mot en fremtid preget av fossile brenser. Olje, naturgass og kull vil være de største energikildene på verdensbasis og vil stå for 84 prosent av oppgangen de neste årene.* ”⁽³⁾. Det er derfor viktig å finne alternative kilder til energi, eller bruke dagens energikilder på en annen måte.

Den norske regjeringen har presisert at i perioden 2009-2013 skal Norge være et foregangsland i miljøpolitikken. De ønsker å gjøre det enklere for folk å være miljøvennlige i hverdagen, og at det må lønne seg for den enkelte å velge miljøvennlig. Regjeringen vil fortsette sitt arbeid for å legge til rette for økt bruk av gass i Norge, og fortsetter omleggingen av bilavgifter for å stimulere til valg av mer miljøvennlige biler. Norge skal stå i spissen for å ta i bruk miljøteknologi og fornybar energi i transportsektoren⁽⁴⁾.

Med tanke på de energiutsiktene og den miljøproblematikken verden står ovenfor, vil bruk av naturgass være et alternativ. Biler som bruker naturgass kan fases over på biogass, når produksjonen av denne øker. Derfor kan naturgass bli et alternativ som tilfredsstiller både miljø og ønsket om tilgjengelighet.

1.2. Tema

I dag brukes gass flere steder, også som drivstoff til kjøretøy. Ved utgangen av 2009 var det 16.568 Compressed Natural Gas (CNG) anlegg i verden, og det var omtrent 11,2 millioner biler som kjører på CNG. De største landene er Pakistan, Brasil og Argentina. Disse tallene viser at det er mange som bruker gass som drivstoff på bilene sine⁽⁵⁾. Ved utgangen av 2009 var det 10 CNG fyllestasjoner i Norge og to fyllestasjoner for biogass⁽⁶⁾, mens det var 180 kjøretøy som hadde naturgass som drivstoff. På verdensbasis har det vært en økning av gassdrevne biler på mellom tjue og tretti prosent de siste årene⁽⁵⁾. I Norge er det i dag ett Liquefied/Compressed Natural Gas (LCNG) anlegg, dette ligger på Mannsverk i Bergen. På



Bekkelaget i Oslo er det et anlegg for biogass som har Liquified Natural Gas (LNG) til driftsstøtte ⁽⁷⁾.

Det finnes ikke fyllestasjoner for naturgass mellom Oslo og Haugesund, noe som gjør det vanskelig å kjøre denne strekningen med en gassdrevne bil. For å kunne kjøre Oslo-Haugesund med gassdrevne biler kan det plasseres gassfyllestasjoner for eksempel på tettsteder langs strekningen. En slik plassering kan gi økt risiko for allmennheten. Dette arbeidet skal bidra til å beskrive risikobildet ved etablering av ulike fyllestasjoner. Arbeidet skal bidra til å danne beslutningsgrunnlag for hvilket naturgassanlegg som egner seg best for etablering i Haugesund.

1.3. Avgrensning

Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) legger i temaveiledning om bruk av farlig stoff fra mars 2010 ⁽⁸⁾ føringer for sikkerhetsvurderinger av gassanlegg. Det er mange krav som skal oppfylles når et anlegg skal plasseres. Derfor må hvert anlegg vurderes individuelt. I dette arbeidet beskrives kun en bestemt plassering i Haugesund. Det er også viktig å merke seg at det er kun naturgass som er beskrevet, hydrogen beskrives ikke. Anleggene som beskrives er CNG anlegget Nanobox som leveres av Galileo ⁽⁹⁾ og et LCNG anlegg etter prinsipp fra Gasnor sitt anlegg på Mannsverk i Bergen ⁽¹⁰⁾. Dette anlegget er levert av Chart Ferox.



2. Teori og metode

For å komme fram til et risikobilde er det brukt dataprogram, formler og en metode for sikkerhetsvurdering. Under følger den teoretiske bakgrunnen for arbeidet.

2.1. Grovanalyse

Sikkerhetsvurderingen blir utført med en grovanalyse. Dette er en analyseform der anlegget sees på i sin helhet slik at de alvorligste hendelsene kan avdekkes. Disse hendelsene blir identifisert og vurdert en etter en. Hensikten med grovanalysen er å gjøre en tidlig identifisering av farer uten detaljkunnskap om systemet, og å undersøke om ytterligere analyser er nødvendig.

Arbeidet starter med idemyldring rundt anlegget for å identifisere uønskede hendelser. Deretter blir hver enkelt hendelse sjekket mot litteratur for å se om det har vært tilsvarende hendelser andre steder. Søkemotorer på internett vil være viktig for å skaffe oversikt over tidligere hendelser. Slike tilfeller blir tatt med som dokumentasjon. Etter de uønskede hendelsene er identifisert, klassifiseres de etter hvor stor skade de kan gjøre, det vil si hvilken konsekvens de har. Det skal også settes en frekvens på hendelsen etter hvor ofte det kan forventes at den skjer. Klassifisering av uønskede hendelser er ikke en nøyaktig vitenskap, men baserer seg på skjønn. Det er derfor nødvendig med så god dokumentasjon som mulig. Konsekvensklassene⁽¹¹⁾ deles vanligvis inn som vist i Tabell 1

Tabell 1: Konsekvensklasser

Nr.	Grad	Konsekvens
I	Ufarlig	Resulterer ikke i personskader, mindre enn 1 dags stans i anlegg
II	Farlig	Små personskader, 1-3 dagers stans. Små materielle skader
III	Kritisk	Større personskader, 3-7 dager stans. Signifikant materiell skade
IV	Dødelig	Medfører død eller total uførhet, 7-30 dagers stans i anlegg. Større materielle skader
V	Katastrofal	Medfører død eller total uførhet av flere personer, stans av anlegg i over 1 mnd. Meget alvorlig materiell skade



Hyppigheten på hendelsene fastsettes ved hjelp av frekvensklasser⁽¹²⁾ som er vist i Tabell 2. Det bør være gode intervall på frekvensen, fordi det ikke alltid lar seg gjøre å sette en eksakt hyppighet på denne type hendelser.

Tabell 2: Frekvensklasser

	Frekvensklasser for ulykkeshendelser				
Betegnelser	Svært sannsynlig	Meget sannsynlig	Sannsynlig	Mindre sannsynlig	Lite sannsynlig
Hyppighet	Oftere enn 1 gang pr. år	1 – 10 års mellomrom	10 – 100 års mellomrom	100 -1000 års mellomrom	Mer enn 1000 års mellomrom
Kode	5.	4.	3.	2.	1.

Koblingen mellom hyppighet og konsekvens presenteres i en risikomatrix⁽¹²⁾. Risikomatriksen er vist i Tabell 3. Det grønne feltet er for hendelser med akseptabel risiko. Gult felt kalles As Low As Reasonable Practicable (ALARP)⁽¹¹⁾, og er når en hendelse kan aksepteres, men risikoen skal reduseres så langt som mulig. Det røde feltet er for hendelser med uakseptabel risiko. Dersom en hendelse kommer på det røde området kan ikke prosjektet gjennomføres før det er satt inn tiltak slik at hendelsen er kommet inn på gult område. Selv om det setts inn tiltak som gjør at hendelsen kommer inn på gult område, skal denne ha ekstra fokus.

Tabell 3: Risikomatrix

		Risikomatrix med indikering av områder der risikoen er vurdert å være akseptabel/ ikke akseptabel				
Klassifisering av risiko		I	II	III	IV	V
		Ufarlig	Farlig	Kritisk	Dødelig	Katastrofal
5.	Svært sannsynlig	A				
4.	Meget sannsynlig		L		Uakseptabelt	
3.	sannsynlig			A		
2.	Mindre sannsynlig		Akseptabelt		R	
1.	Lite sannsynlig					P

Hendelsene plasseres i risikomatriksen på denne måten: Hver hendelse har fått en gitt konsekvens og en gitt frekvens som gir en bestemt plassering i matrisen. Risikomatriksen danner grunnlaget for diskusjon rundt hendelsene.



For å finne årsaken, eller de initierende hendelsene, blir det ved behov gjort en enkel feiltre analyse (FTA)⁽¹¹⁾. FTA er en metode hvor en systematisk bygger blokker med logiske porter fra en topphendelse og ned til starthendelsene. De initierende hendelsene markeres med en ring under blokken. Oppover i feiltreet er det ”og/eller” -porter⁽¹¹⁾. Disse portene åpner for hendelsen over porten. Enten må en av hendelsene under (”eller”-port) eller så må alle hendelsene under (”og”-port) inntreffe for at hendelsen over skal kunne skje. Når porten åpner seg kan hendelsen fortsette til topphendelsen.

2.2. Beregningsteori

I dette arbeidet blir det utført noen beregninger. Beregningene det blir sett på er tetthetsberegninger av gass, brennbarhetsgrenser, energiproduksjon, flammehøyde og varmekonduktivitet. Dette vil bidra til å danne et bedre bilde av konsekvensene i grovanalysen.

Tetthetsberegninger

Tettheten til en gass varierer med temperatur og trykk. Når en gass slippes ut, blir trykket likt omgivelsestrykket. Dermed er temperaturen avgjørende for tettheten. En gass har høyere tetthet når den er kald enn når den er varm. Når tettheten til et stoff er kjent kan den sammenlignes med for eksempel luft. Luft har en tetthet på rundt $1,2 \text{ kg/m}^3$. Hvis en gass har høyere tetthet enn luft vil gassen legge seg langs bakken. Er derimot gassen lettere enn luft vil den stige. Gass som ligger langs bakken kan lettere komme i kontakt med tennkilder enn gass som stiger. Derfor er det viktig å vite tettheten til gass når sikkerheten vurderes.

Gassberegningene tar utgangspunkt i ideellgasslov med kompressibilitetsfaktor⁽¹³⁾. Denne måten å beregne trykk, temperatur og volum er velkjent. For å finne kompressibilitetsfaktor brukes pseudokritisk trykk og – temperatur, som hentes fra tabell B.1 i Elementary principles of chemical processes⁽¹³⁾, til å beregne pseudoreduert trykk og -temperatur⁽¹³⁾. Disse er tegnet inn i samme diagram slik at med å se på skjæringen mellom linjene kan kompressibilitetsfaktor leses av.

$$T_r = \frac{T}{T_k} \quad 2.1$$

Hvor T_r er pseudoreduert temperatur, T_k er pseudokritisk temperatur mens T er gitt temperatur.

$$p_r = \frac{p}{p_k} \quad 2.2$$

Hvor p_r er pseudoreduert trykk, p_k er pseudokritisk trykk, mens p er gitt trykk



Tettheten til en gass beregnes med ideell gasslov likning 2.3. Når kompressibilitetsfaktoren tas med er den en god tilnærming for reelle gasser. Tetthet uttrykkes med å skrive om ideellgasslov til likning 2.4.

$$pV = znRT \quad 2.3$$

Hvor p er trykk i $[\text{N/m}^2]$, V er volumet $[\text{m}^3]$, z er kompressibilitetsfaktor, R er gasskonstanten $8,3145 [\text{J/molK}]$ og T er temperaturen i kelvin $[\text{K}]$. Antall mol(n) er gitt ved $n = \frac{M}{m}$, M er molmassen $[\text{kg/mol}]$ og m er masse $[\text{kg}]$, og tettheten(ρ) $[\text{kg/m}^3]$ er $\rho = \frac{m}{V}$, dette settes inn og likningen løses med hensyn på ρ og da framkommer tettheten som:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{z \cdot R \cdot T} \quad 2.4$$

Brennbarhetsgrenser

En gass kan antennes hvis blandingen med luft er riktig. Dersom det er for lite luft kalles blandingen for feit. Er det derimot for mye luft kalles blandingen for tynn. Ingen av disse blandingene vil antenne. Det området hvor gassen kan antenne heter brennbarhetsområde og er begrenset av øvre og nedre brennbarhetsgrense⁽¹⁴⁾. For å beregne nedre brennbarhetsgrense til en blanding av flere stoff, må nedre brennbarhetsgrense til hvert enkelt stoff i blandingen være kjent. Sammensetningen til blandingen må også være kjent⁽¹⁴⁾.

$$\text{LFL} = \frac{100\%}{\sum_n \frac{P_n}{L_n}} \quad 2.5$$

Hvor LFL er nedre brennbarhetsgrense for blanding, P_n er prosentvis mengde av stoff n i blandingen, L_n er nedre brennbarhetsgrensen til stoff n i blandingen.

Varmegjennomgang

I anlegg som inneholder brannfarlige stoffer er det interessant og si noe om brannbelastningen. LCNG anlegget som blir beskrevet i dette arbeidet har en LNG tank. Hvis LNG tanken utsettes for varme, hvor lenge kan tankveggene sees på som halv uendelig? En halv uendelig vegg er en betegnelse på en vegg som blir utsatt for varmepåvirkning på den ene siden. Veggens evne til å lede og holde på varme gjør at med en bestemt varmepåvirkning over en gitt tid, vil motsatt side av veggen ikke få temperaturstigning. Hvis veggen tykkelse(L) oppfyller

$$L > 4 \cdot \sqrt{\alpha t} \quad 2.6$$



Vil veggen kunne sees på som halv uendelig⁽¹⁴⁾.

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad 2.7$$

Likning 2.7 viser varmekonduktiviteten til materialet.

For å si om veggen er halv uendelig, holder det å undersøke isolasjonen. Dersom isolasjonen i seg selv er halv uendelig, vil hele veggen være det. Dette fordi varmen ikke bare skal gå igjennom isolasjonen, men også to lag med stål.

Likning 2.6 kan løses med hensyn på t og da framkommer tiden veggen kan utsettes for varme og fortsatt kan sees på som halv uendelig

$$t < \frac{L^2}{16\alpha} \quad 2.8$$

Energiproduksjon

I en brann er det interessant å se hvor mye energi som produseres når noe brenner. Dette kalles energiproduksjon. Ved en lekkasje i LNG tanken, vil LNG samle seg i oppsamlingsbassenget under tanken. Dersom den oppsamlede gassen antenner vil det oppstå en pølbrann. Denne brannen vil utsette LNG tanken for varmpåkjenning og flammene vil trekke oppover langs tanken. Varmepåkjenning tanken blir utsatt for, kan beregnes med følgende formel⁽¹⁵⁾

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}^{ll} \cdot \chi \cdot \Delta H_c \quad 2.9$$

\dot{Q} er energiproduksjonen [KW], denne varierer med tiden. A_f beskriver arealet til brenselet [m^2]. Massetapsraten til brenselet pr. areal \dot{m}^{ll} [Kg/m^2s], beskriver hvor mye brenselet reduseres som følge av fordampning og forbrenning. χ er forbrenningseffektiviteten [-] og ΔH_c er forbrenningsvarmen [J/Kg].

For branner med diameter større enn 0,2 m gjelder følgende:

$$\dot{m}^{ll} = \dot{m}^{ll}_{\infty} (1 - e^{-k\beta D}) \quad 2.10$$

Hvor \dot{m}^{ll}_{∞} og $k\beta$ har gitte verdier for hvert enkelt stoff. Disse verdiene er oppgitt i tabell 3.3 i Enclosure Fire Dynamics⁽¹⁵⁾.

Forbrenningseffektiviteten χ varierer med hvilket stoff som brenner. Gasser som metan, naturgass og propan brenner med en nesten usynlig flamme. Disse stoffene produserer



omtrent ikke sot, noe som fører til at all energi går med til å produsere brannen. For metan, naturgass og propan vil forbrenningseffektiviteten bli tilnærmet lik 1 ⁽¹⁵⁾.

Flammehøyden er den høyden hvor flammen er 50 % av tiden. Metoden for å regne ut flammehøyden er basert på observasjoner og forsøk. Etter en rekke forsøk med metan, naturgass og propan er en kommet fram til følgende formel ⁽¹⁵⁾

$$L = 0,235 \dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad 2.11$$

Flammehøyden viser hvor langt opp på LNG tanken flammene kan komme.

2.3. Dataprogram

Brann er en komplisert kjemisk prosess som er vanskelig å beregne for hånd. Det finnes flere dataprogrammer som gjør disse beregningene. Fire Dynamics Simulator (FDS) og Argos er de programmene som blir brukt for å simulere eventuell brann og varmegjennomgang i dette arbeidet.

Siden naturgassen skal vurderes både i flytende og komprimert form er det hensiktsmessig å ha et fasediagram slik at det er lett å se om det er væske eller gass på komponenten. I denne rapporten blir det generert et fasediagram ved hjelp av Aspen Hysys, et dataprogram som gjør det enklere å beregne større prosesser.

FDS er et Brann simuleringsprogram som gir et godt bilde av hvordan temperaturen i brannbelastede rom er. Hvis veggene fjernes (ventileres) kan det også gi et bilde av branner utendørs.

Argos er et brannsimuleringsprogram som er godt egnet til å finne temperaturprofilen, gjennom for eksempel en vegg. Programmet har mange forhåndslagrede materialer og brannsenarioer. Det er også mulig å generere material og brannsenarioer som passer til bestemte situasjoner.



2.4. Regelverk

I denne rapporten blir det nevnt flere regelverk. Regelverket er hjemlet i brann- og eksplosjonsvernloven⁽¹⁶⁾, samt plan og bygningsloven⁽¹⁷⁾. Risikobilde dannes blant annet ved å ta hensyn til følgende forskrifter, veiledninger og relevante standarder:

- *”Temaveiledning om bruk av farlig stoff av 10. mars 2010, Del 1. Forbruksanlegg for flytende og gassformig brensel”* (DSB)⁽⁸⁾. Temaveiledningen forklarer forskriften om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff, samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen av disse (forskrift om håndtering av farlig stoff).
- *”Forskrift om trykkpåkjent utstyr av 10. juli 2002 nr.721”*⁽¹⁸⁾, gjelder for utstyr og enheter som har et maksimaltrykk på over 0,5 bar. Forskriften skal sikre at trykkpåkjent utstyr og enheter er i forsvarlig stand første gang det settes i drift. Dette for å forebygge skade på liv, helse og materielle verdier.
- *”Temaveiledning om transport og distribusjon av petroleum i rørledninger over land av mars 2010”* (DSB)⁽¹⁹⁾. Formålet med denne temaveiledningen er å utdype *”forskriften om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff, samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen (forskrift om håndtering av farlig stoff), i forbindelse med transport og distribusjon av petroleum i rørledning over land”*. I tillegg foreslås tekniske løsninger, slik at disse både ved ny installasjon, drift, endringer og vedlikehold opprettholder en sikker utførelse for å verne liv, helse, miljø og materielle verdier mot uhell og ulykker.
- NEK 420:2007, *”Elektriske anlegg i eksplosjonsfarlige områder med gass og støv”*. Kap 3 *”sikkerhet og områdeklassifisering”* og Kap 4 *”Prosedyre for områdeklassifisering”* med tilhørende vedlegg⁽²⁰⁾, viser hvordan områdeklassifisering skal gjennomføres.



3. Gass og fyllestasjoner for naturgass

Metodene i kapittel 2 krever kjennskap til gassanlegg og naturgass. I Kap 3 beskrives naturgass, og begrep som Compressed Natural Gas (CNG) og Liquefied Natural Gas (LNG) forklares. To typer anlegg beskrives, Liquefied/Compressed Natural Gas (LCNG) anlegg etter prinsipp fra Gasnor sitt anlegg på Mannsverk i Bergen levert av Chart Ferro. Det andre anlegget er CNG anlegget Nanobox fra Galileo.

3.1. Naturgass

Naturgass er ikke farlig under normale temperaturer og atmosfærisk trykk. Gassen vil da stige og forsvinne fordi den er lettere enn luft. Setter man derimot naturgass under trykk(CNG) eller kjøler den slik at den blir flytende (LNG), vil gassen bli betegnet som farlig, fordi den da blir tyngre en luft. (Vedlegg A)

Naturgassens fysiske egenskaper som tetthet og brennbarhetsgrense er viktig når risikoen til et anlegg skal vurderes. Er gassen lettere enn luft? Kan denne gassblandingen antenne? Er spørsmål som bør besvares under vurderingen.

For at naturgass skal antenne må visse kriterier oppfylles. Tilstedeværelse av gass og luft i riktig blandingsforhold og en tennkilde. Gass/luft blandingen kan blant annet skje ved utslipp i form av gass jet, gassky eller lekkasje av LNG til oppsamlingsbasseng.

Gass jet oppstår når det kommer gass fra en beholder eller et rør, ut gjennom en begrenset åpning. Antennes denne gassen får man en jetbrann. Varigheten på en jetbrann avhenger av hvor lang tid det tar før nødavstengningssystemet iverksettes. Dersom sikkerhetssystemet ikke virker vil volumet på tanken hvor lekkasjen inntreffer være begrensnings til jetbrannen.

En gassky av LNG vil legge seg langs bakken ettersom den er tyngre enn luft. Ved antennelse vil det medføre brann i gasskyen. Denne brannen vil kunne skade mennesker og materiell som befinner seg i gasskyen. Dersom gassen er innestengt eller befinner seg i et område med mye hindringer, kan det forekomme trykkbølger som følge av hurtige forbrenningsprosesser.

Under LNG tanken er det plassert et oppsamlingsbasseng som er stort nok til å romme hele innholdet av tanken ⁽⁸⁾. Skulle det oppstå en lekkasje i forbindelse med LNG tanken vil LNGen samle seg i dette bassenget. Ved antennelse av gassen i bassenget, vil det oppstå en kontrollert forbrenning av gassen innenfor bassengets fire vegger. Denne brannen blir omtalt som pølbrann.

Den gass/luft blandingen som kan antennes ligger i brennbarhetsområdet til stoffet. Derfor bør ikke konsentrasjon av gass ligge innenfor brennbarhetsgrensene.

- Nedre brennbarhetsgrense (LFL) Naturgass ligger ca på 5 vol %
- Øvre brennbarhetsgrense Naturgass ligger ca på 14 vol % ⁽²¹⁾

Nedre brennbarhetsgrense(LFL) er beregnet ut fra likning 2.5. Sammensetningen for naturgassen er Gasnor AS sine forventninger til leveranse fra Snurrevarden (se vedlegg J)

Tabell 4: Beregning av LFL for naturgass(se vedlegg B)

	Metan	Etan	Karbondioksid	Nitrogen	Propan	n-Butan	IsoButan
kjemisk formel	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	N ₂	C ₃ H ₈	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₄ H ₁₀
% av blanding	91,15 %	5,27 %	1,76 %	1,02 %	0,72 %	0,05 %	0,03 %
LFL	5,0 vol %	3,0 vol %	-	-	2,1 vol %	1,8 vol %	1,8 vol %
Samlet LFL = 4,90 vol %							

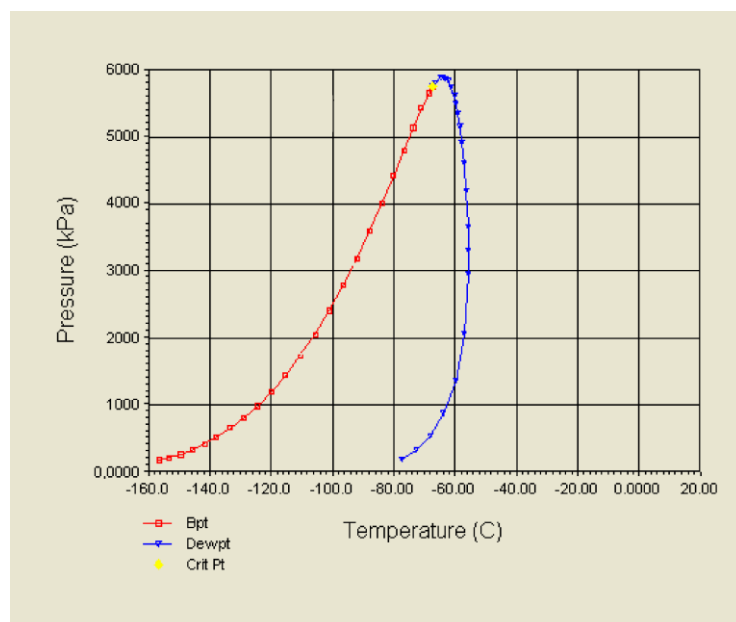
Dermed kan følgende settes opp ut fra likning 2.5.

$$LFL = \frac{100 \%}{\frac{91,15}{5,0} + \frac{5,27}{3,0} + \frac{1,76}{100} + \frac{1,02}{100} + \frac{0,72}{2,1} + \frac{0,05}{1,8} + \frac{0,03}{1,8}} = 4,90 \% \quad 3.1$$

Som er nedre brennbarhetsgrense for denne gassblandingen

Det finnes mange forskjellige antenneskilder. Naturgass kan antennes av blant annet statisk elektrisitet. Antennesesenergien til en optimal luft/gass blanding er på mellom 0,3 mJ og 2 mJ, mens gnisten fra statiskelektrisitet er på mellom 2 mJ og 20 mJ ⁽²²⁾,

Fasediagrammet for naturgass er et nyttig redskap, men det vil variere med sammensetningen av gassen.



Figur 1: Fasediagram for naturgass levert i gassrørnett i Haugesund



Fasediagrammet viser væske til venstre for den røde streken og gass til høyre for den blå streken området i mellom kalles to-fase området. Dersom temperaturen er høyere en ca -55 °C vil naturgass være i ren gassfase, det vil si at uansett hvilket trykk du utsetter den for vil den ikke kondensere. Væskefasen til naturgass ligger fra ca -65 °C , men da må trykket være over 58 bar, se Figur 1.

Det kan være interessant å regne ut flere tettheter for eksempel ved 4 bar trykk og 15 °C , da er z lik 0,9977 i følge Gasnor (se vedlegg J). Det er også interessant å se på tettheten ved atmosfæretrykk og 15 °C . Tettheten er regnet ut med formel 2.4.

$$\rho_{4\text{ bar},15^{\circ}\text{C}} = \frac{4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^3 \cdot 17,62 \text{ kg/kmol}}{0,9977 \cdot 8314,5 \text{ Nm/kmol} \cdot K \cdot 288 \text{ K}} = 2,95 \text{ kg/m}^3 \quad 3.2$$

Tettheten ved 4 bars trykk er større enn tettheten til luft. Dette har lite å si for utslipp da gass ikke har 4 bar trykk, men atmosfæretrykk som gir tettheten:

$$\rho_{1\text{ atm},15^{\circ}\text{C}} = \frac{1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^3 \cdot 17,62 \text{ kg/kmol}}{8314,5 \text{ Nm/kmol} \cdot K \cdot 288 \text{ K}} = 0,75 \text{ kg/m}^3 \quad 3.3$$

Tabell 5: Tetthet og volum for naturgass

	Rørgass (1atm trykk, 15°C)	CNG (250 atm trykk, og 15°C)	LNG -163°C
Tetthet [kg/m^3]	0,749	196	450
Volum [m^3]	200	0,75	0,33

Tettheten i Tabell 5 er beregnet i Excel, (se vedlegg A). Tabellen med sammensetningen er fra Gasnor AS (se vedlegg J). Molvekten kan finnes mange plasser blant annet i Elementary prinsipeles of chemical processes⁽¹³⁾.

Volum raden i Tabell 5 er en rad som viser hvor mye 200 m^3 med rørgass er, hvis det komprimeres eller blir omgjort til LNG.

CNG er den gassen som er komprimert til mer en 250 bar og holder omgivelsestemperatur.

Tettheten ved atmosfæretrykk er lavere enn tettheten til luft ($1,22\text{ kg/m}^3$). Når naturgass under normale atmosfæriske forhold har lavere tetthet enn luft, vil naturgassen stige ved et eventuelt utslipp. Da vil det ikke danne seg gasskyer ved bakken. Gass som stiger er ikke i samme grad utsatt for tennkilder, som gass på eller like over bakken.

3.2. Gassanlegg

Anleggene som beskrives har oppbygging som vist i Figur 2. Dette er utgangspunktet for analysen. Figur 2 viser et Prosess flyt diagram (PFD) for en generell fyllestasjon. Denne rapporten beskriver to typer fyllestasjoner LCNG og CNG. For CNG kommer gassen inn på anlegget via rør. LCNG anlegg får gassen levert av tankbil. LCNG anlegg har en eller flere større tanker hvor LNG lagres, etter at LNG er gjort om til CNG blir CNG lagret i et mindre mellom lager. Deretter fylles CNG på kjøretøy via dispensere.



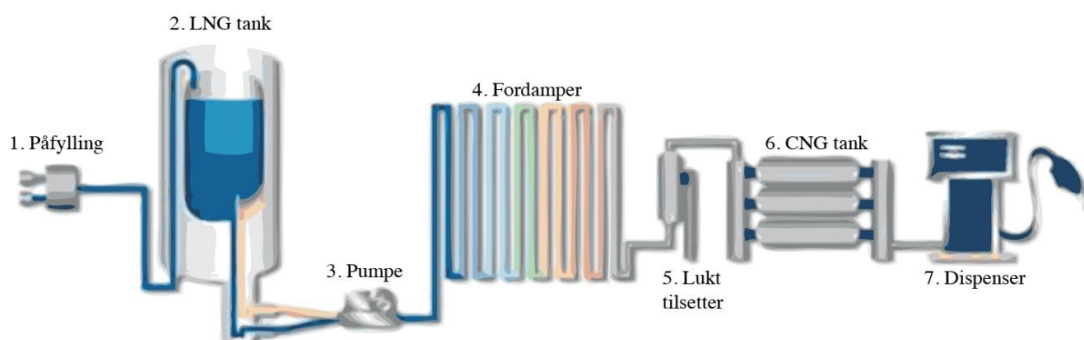
Figur 2: Skjematisk oppstilling av gassanlegg

Rene LNG fyllestasjoner finnes ikke. Likevel har Volvo tro på at LNG kan ha en framtid som drivstoff til større kjøretøy. Volvo slapp nylig en pressemelding hvor de delte sine erfaringer om LNG og diesel som drivstoff på tyngre kjøretøy ⁽²³⁾.

LCNG anlegg

Gassen i dette systemet er LNG og CNG. LCNG anlegg (se vedlegg K) er et anlegg som består av en LNG tank, pumpe, fordamer, luktilsetter, flaskebank (CNG) og dispenser. LCNG anlegget virker på den måten at det fylles LNG på en tank, fra tanken trykkes LNG opp til 250 bar og blir gjort om til gass gjennom en fordamer. Denne varmeveksler med omgivelsene. Gassen blir tilsatt lukt før den lagres i flaskebanken. Fra flaskebanken blir gassen tanket på kjøretøyet via en dispenser. Det er sikkerhetsventiler mellom pumpen og tanken. Dette for å hindre tilbakeslag av trykksatt LNG til tanken, som bare er dimensjonert for 19 bars trykk. Under LNG tanken er det et oppsamlingsbasseng som er stort nok til å romme hele innholdet i LNG tanken ⁽⁸⁾. Dette bassenget er dypt slik at det blir minst mulig overflateareal.

LCNG anlegget har hovedkomponenter som vist i Figur 3. Under følger en gjennomgang av hovedkomponentene som inngår i et LCNG anlegget.



Figur 3: LCNG anlegg (24)

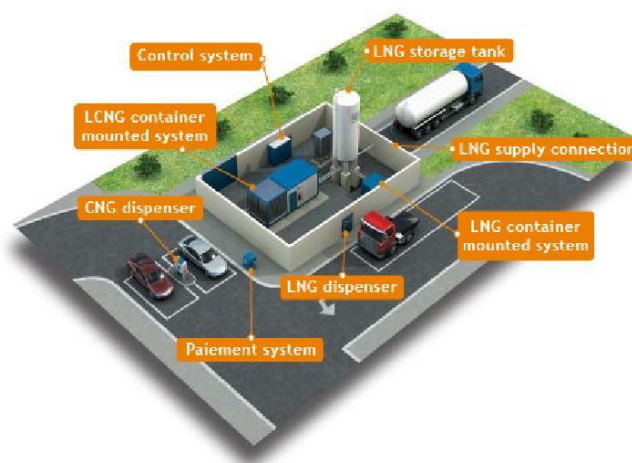
Påfyllingen av anlegget skjer via en tankbil og påfyllingsstussen, punkt 1 på Figur 3. LNG tanken, punkt 2 på Figur 3 er av typen singel Containment, som består av to tanker. Den indre tanken holder på LNG, mens den ytre tank er ment for å beskytte isolasjonen som er mellom disse tankene. Den ytre tanken er ikke ment for å oppbevare LNG, og vil derfor ikke tåle kuldepåkjenningen fra væsken. Tanken har termosifong for å holde temperaturen lav. Termosifong er et prinsipp basert på at varm væske stiger og kald væske synker. På tanken er dette en komponent som jobber etter Joul-Thomsen prinsippet⁽²⁵⁾: Om en gass med høyt trykk blåses inn i ett volum med lavt trykk vil temperaturen på gassen synke. Tanken har trykkventiler som avlastning ved høyt trykk. Skulle trykket bli for høyt vil trykkventilene slippe gass ut av tanken. Tanken rommer 20 000 liter LNG. Tanken er ca 7 m høy og litt over 3 m i diameter med 90 cm (3 fot) isolasjon. Tanken kan byttes ut med en annen størrelse eller flere tanker ved behov, men da må nye sikkerhetsvurderinger gjøres.

Pumpen, punkt 3 på Figur 3 er montert på anlegget for å trykksette LNGen fra litt over atmosfære trykk til 250 bar. Deretter fordampes gassen i fordamperen, punkt 4 på Figur 3. Fordamperen varmeveksler den trykksatte LNG med luft slik at den blir til gass.

Naturgass har ingen lukt. Det tilsettes lukt stoffer til gassen i luktilsetteren, punkt 5 på Figur 3. Dette gjøres for at mennesker skal kjenne lukten dersom det oppstår en gasslekkasje.

LCNG anlegg har en flaskebank, punkt 6 på Figur 3. I flaskebanken er det lavtrykkflasker, mellomtrykkflasker og høytrykkflasker. De forskjellige trykknivåene gjør det lettere å fylle kjøretøy fra ”tom” flaskebank. Størrelsen på flaskebanken varierer fra anlegg til anlegg. Anlegget som står i Bergen har 6400 m³ gass i flaskebanken.

Pumpen, luktilsetter og fordamper er plassert i en konteiner. Det samme gjelder for CNG flaskebanken. Disse er derfor ikke i kontakt med hverandre. På LCNG anlegg er det dispensere, punkt 7 på Figur 3 for CNG.



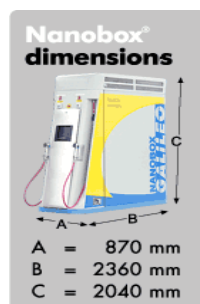
Figur 4: LCNG anlegg (26)

Alt på anlegget unntatt dispenseren står innen for en 2,5 m høy betongmur, se Figur 4. Det er plassert en skillevegg i bredderetning, slik at LNG tanken med basseng er på den ene siden og resten av anlegget på den andre siden.

CNG anlegg

I denne rapporten er det CNG anlegget Nanobox, fra Galileo ⁽⁹⁾ som blir beskrevet. Nanoboxen er en tett kasse med motor, kompressor, flaskebank og dispenser, se Figur 6. Boksen står under et tak og mellom trafikkøyer. Disse er plassert slik at det skal være vanskelig for en bil, som er kommet ut av kontroll, å treffe anlegget i høy hastighet.

Størrelsen på Nanobox er vist på Figur 5. Nanoboxen veier 3 200 kg, noe som gjør at den er lett å frakte. Den er plassert på en betong ”øy” som er minst 20 cm høy. I forkant og bakkant av anlegget er det plassert stålbøyer for å hindre påkjørsel.



Figur 5: Dimensjonene på Nanobox (27)

Nanobox er bygd på en slik måte at gassen fra gassrørnettet kommer inn i bakkant av boksen, se rødt område nede til høyre på Figur 6. Her blir gass med 4 bars trykk, komprimert til 250 bars trykk. Etter kompresjonen føres gassen til flaskebanken. Anlegget kan betjene ca 250 biler i døgnet.



Figur 6: Åpen Nanobox (33)



Kompressoren vises som blått område til høyre på Figur 6. CNG anlegget bruker elektrisk kraft for å komprimere naturgassen. Kompressoren komprimerer gassen til 250 bar.

Når gassen er komprimert blir den lagret i en flaskebank, se hvitt område midt på Figur 6. Nanoboxen som blir vurdert har en flaskebank på 625 liter eller 0,625 m³. Det finnes flere alternativer for størrelse og trykknivåer på flaskebanken. Denne flaskebanken er i tre trykknivåer, lavtrykkbank, mellomtrykkbank og høytrykkbank. Dispenseren henter først gass fra lavtrykkbanken så mellomtrykkbanken og til sist fra høytrykkbanken. Dette gjør at det går raskere å fylle en bil fra tomme flasker.

Dispenseren er plassert i framkant av Nanoboxen. Påfyllingsslangen har en ventil som stopper gasstrømmen dersom det blir budd på slangen. Anlegget har også bruddventil for innløpet under boksen. Av annet sikkerhetsutstyr kan det nevnes at Nanobox har gassdetektor innebygd. Alle komponentene inni boksen er eksplosjonssikret i gruppen Ex d. Ex d er en samlebetegnelse for elektrisk utstyr som er sikret mot eksplosjon. Kabinettet består av EI60 materialer, som betyr at det skal stå i mot en brann i 60 minutter.



4. Grovanalyse av LCNG anlegg i tettbygd strøk

Hensikten med denne analysen er å få en oversikt av risikobildet ved å plassere et LCNG anlegg i tettbygd strøk. Hvilke konsekvenser kan et slikt anlegg få. En risikomatrix med fargekodene rødt, gult og grønt gir en indikasjon på hvor farene ved et LCNG anlegget er.

4.1. Identifisering av uønskede hendelser

I denne analysen ble det ved hjelp av idemyldring (se kapittel 2.1) avdekket 25 forskjellige hendelser (se vedlegg D) som kan skape farlige situasjoner i og rundt LCNG anlegget. Konsekvensene av disse er klassifisert etter Tabell 1, og sannsynlighet etter Tabell 2. Hver hendelse ble gjennomgått med spørsmålene: Hva skjer og hvorfor skjer dette? Hvor kan det komme ut gass? Ved å stille disse spørsmålene kunne konsekvenser antas. Frekvensen (se vedlegg E) for når en hendelse ventes å inntreffe er vurdert ut fra historikk, data og skjønn.

Tabell 6 viser et utsnitt av matrisen med alle hendelsene fra vedlegg E. Hendelser som flystyrt, sabotasje eller terrorhandlinger er ikke tatt hensyn til i denne analysen. Dette fordi det er et anlegg som allmennheten har tilgang til. Dermed kan det ikke innføres noen form for adgangskontroll. Målet med hendelser, konsekvenser og frekvenser er å lage et bilde på risikoen knyttet til anlegget.

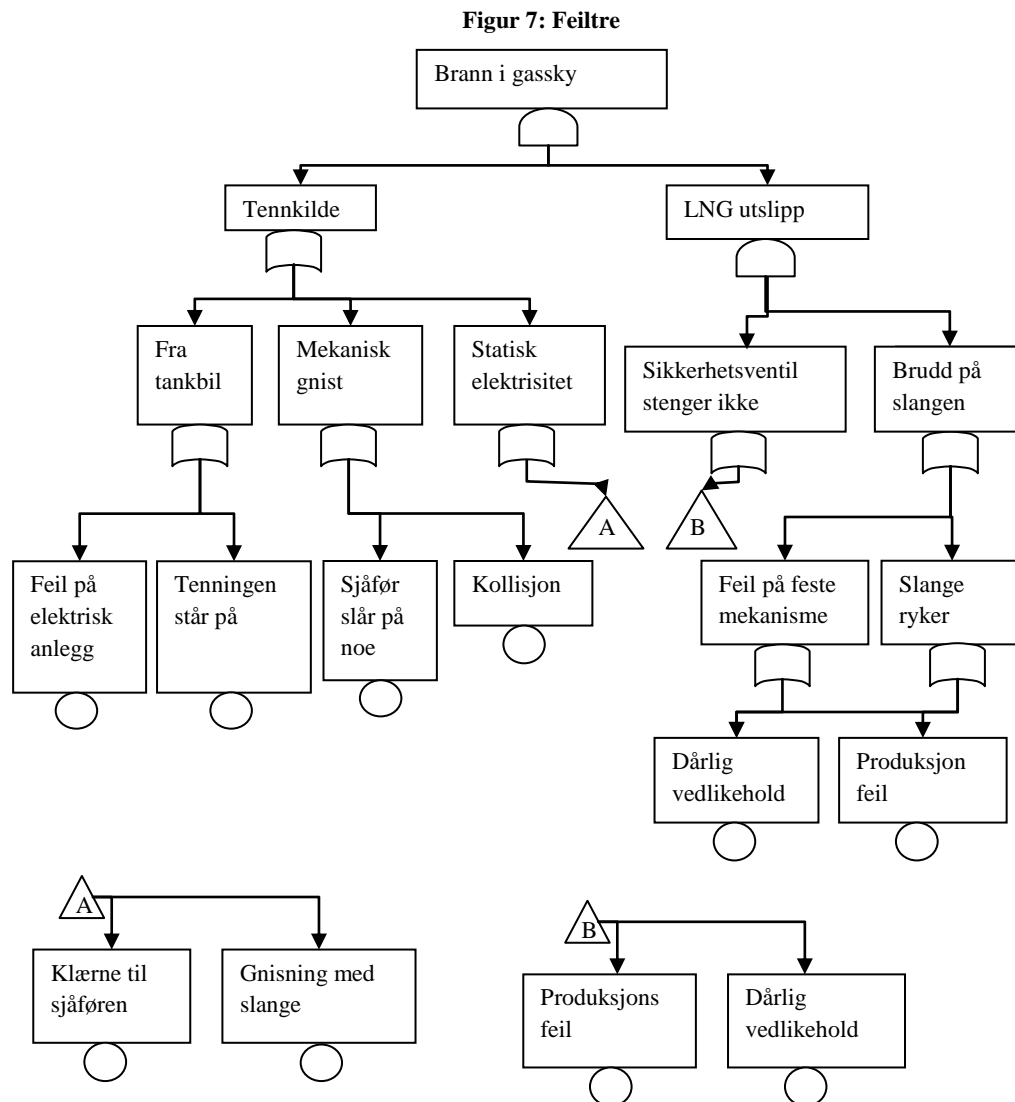
Tabell 6: Utsnitt fra vedlegg E

Nr.	Hendelse	Faremoment / årsak	Mulig konsekvens	P	K
4.		Feil på slangen, tåler ikke trykk og temperatur, LNG på avveier	Store mengder LNG samler seg rundt tankbil og anlegg, dersom sikkerhetsventil på tankbilen ikke stenger. Antenner, brann i gassky	2.	IV
5.	Fylleslange ryker	Tankbil kjører uten å koble fra slangen. LNG på avveier	Dersom tankbilen ikke er tom og sikkerhetsventil ikke stenger vil LNG renne ut i det fri	1.	II
6.		Feil på festemekanismen, LNG vil renne ut	LNG i det fri, mengde vil variere med hvor lang tid det tar før tilførsel stanses, antennes, brann i gassky	2.	IV

Tabell 6 viser en hendelse som kom fram gjennom idemyldring. Hendelsen at fylleslangen ryker ble delt opp i tre årsaker. Hver av disse årsakene ble sammen med "fylleslangen ryker" til egne hendelser som ble vurdert videre. Hendelse 4 og 6 brukes videre i arbeidet for å illustrere arbeidsmetoden. Disse hendelsene kan føre til brann i gassky og er også derfor interessante.

4.2. Årsaks analyse

For å finne årsaken til en hendelse, settes det opp et feiltre for hendelsen (se Kap 2.1), Figur 7 viser feiltreet for topphendelse ”Brann i gassky”.



Figur 7 viser at ”Brann i gassky” kan forekomme dersom fylleslangen som går fra tankbilen til påfyllingsstussen på LNG tanken ryker. Hendelse 4 og 6 (se Tabell 6) fører til at store mengder LNG strømmer ut på bakken og danner en gassky som vil legge seg rundt tankbil og anlegg. I hendelse 6 varierer denne skyen med hvor raskt tilførselen blir stanset, mens i hendelse 4 vil hele tanken til bilen tømme seg dersom sikkerhetsventilen til bilen ikke fungerer. Ved antenelse vil det oppstå brann i gasskyen. Årsaken til at fylleslangen ryker kan være at den ikke tåler trykk og temperatur på grunn av produksjonsfeil, eller at det er feil på festemekanismen til slangen. Tennkilde kan være statisk elektrisitet (se Kap 3.1), elektrisk feil på tankbilen, tenningen står på eller tankbilsjåføren slår metall mot metall (mekanisk gnist).



Feiltreet viser tankemåten for å finne årsaken til en uønsket hendelse. I prinsippet ble det laget feiltre for alle hendelsene, men feiltre analyser blir sjelden helt ferdige da det ofte er lett å overse sammenhenger.

Bakgrunnsdata for fyllestasjoner til naturgassbiler er mangelfull. For å kunne si noe om hvor ofte de enkelte hendelsene kan oppstå, er tidligere ulykker og hyppigheten av disse sammenlignet med årsakene til hendelsene i vedlegg E.

Tabell 7: Frekvens klasser for LCNG anlegget

Betegnelser	Frekvensklasser for ulykkeshendelser				
	Svært sannsynlig	Meget sannsynlig	Sannsynlig	Mindre sannsynlig	Lite sannsynlig
Hyppighet	Oftere enn 1 gang pr. år	1 – 10 års mellomrom	10 – 100 års mellomrom	100 -1000 års mellomrom	Mer enn 1000 års mellomrom
Kode	5.	4.	3.	2.	1.
Hendelser			2, 19	4, 6, 11, 12, 17, 18, 20, 24	1, 3, 5, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 21, 22, 23, 25

Tabell 7, viser hvor de forskjellige hendelsene fra vedlegg D er plassert. Denne plasseringen er gjort ut i fra historikk, bakgrunnsdata og skjønn. Begrunnelsen for gitte frekvenser er vist i vedlegg E, Hendelse 4 og 6 fra vedlegg E er vist i Tabell 8. For å finne hendelser som var av samme type som hendelse 4, altså feil på fyllerlangen, ble søk på internett benyttet. Disse søkene gav ingen treff som kunne brukes som dokumentasjon på frekvens. Derimot sier DBS ^{(8), (18)} noe om krav til vedlikehold og intern kontroll.

Tabell 8: Utdrag fra vedlegg E

Begrunnelse for valgt frekvens til hendelsene		
Nr.	Betegnelse	Begrunnelse
4.	Mindre sannsynlig	Gassanlegg har eksister i nesten 40 år. Ser en da på hvor mange gassanlegg det finnes på verdensbasis og hvor mange slike hendelser som har skjedd, er det greit å anta at hendelsen er mindre sannsynlig. Det kan også antas at personell som har ansvar for fylling, har fått korrekt opplæring om naturgass, vedlikehold og fører en oversiktlig internkontroll over arbeidet som utføres ⁽⁸⁾ . Lite registrert data.
6.	Mindre sannsynlig	Fabrikkfeil på festemekanismen kan forekomme, men svært sjeldent. Sikkerhetsventil på bilen vil løse seg ut når det oppdages uregelmessigheter i systemet. Det antas derfor at mengden gass ikke vil være stor.

Det er lite data å finne på de forskjellige hendelsene. Grunnen til dette kan være de strenge kravene regelverket stiller til gassfyllestasjoner.



4.3. Konsekvens analyse

Alle hendelsene i vedlegg D har en konsekvens. Noen hendelser får større konsekvenser for liv, helse og materielle verdier enn andre. Tabell 9 viser hvilken konsekvens de forskjellige hendelsene vil få dersom de skulle oppstå. Hendelse 4 og 6 kan føre til brann i gassky. Brann i gassky (Kap3.1), vil gi store skader for personer som befinner seg i gasskyen. Som ytterste konsekvens kan hendelsen ende med dødsfall. Hvis det blir en lekkasje under fylling av anlegget, er det naturlig å tro at tankbilsjåføren befinner seg midt i gasskyen. Konsekvensen av slike hendelser kan også være store materielle skader.

Tabell 9: Konsekvens matrise med hendelser

Nr.	Grad	Konsekvens	Hendelse*
I	Ufarlig	Resulterer ikke i personskader, mindre enn 1 dags stans i anlegg	2, 12, 13, 18, 19, 23, 24
II	Farlig	Små personskader, 1-3 dagers stans. Små materielle skader	5, 20, 21
III	Kritisk	Større personskader, 3-7 dager stans. Signifikant materiell skade	8, 9, 11, 14, 16, 17, 22
IV	Dødelig	Medfører død eller total uførhet, 7-30 dagers stans i anlegg. Større materielle skader	1, 4, 6, 25
V	Katastrofal	Medfører død eller total uførhet av flere personer, stans av anlegg i over 1 mnd. Meget alvorlig materiell skade	3, 15

*Ved plassering av hendelsene i Tabell 9 er det tatt med i betraktning at regelverk og temaveiledninger skal følges.

4.4. Presentasjon av risiko

Konsekvenser og frekvenser av hendelsene i vedlegg D danner et bilde av sikkerheten til anlegget. Dette bilde blir presentert i risikomatrisen (Tabell 10). Hendelsene ligger i forhold til akseptabel risiko (grønn), risikoen kan aksepteres, men skal reduseres til et minimum (gul) eller uakseptabel risiko (rød). De mest kritiske hendelsene kan enkelt plukkes ut, og vurderes nærmere.

Tabell 10: Risikomatrise for LCNG anlegg

		Risikomatrise med indikering av områder der risikoen er vurdert å være akseptabel / ikke akseptabel				
Klassifisering av risiko		I	II	III	IV	V
		Ufarlig	Farlig	Kritisk	Dødelig	Katastrofal
5.	Svært sannsynlig					
4.	Meget sannsynlig					
3.	sannsynlig	2, 19				
2.	Mindre sannsynlig	12, 18, 24	20	11	4, 6	
1.	Lite sannsynlig	13, 23	5, 17, 21	8, 9, 14, 16, 22	1, 25	3, 15

Tabell 10 viser at ingen hendelser har uakseptabel risiko. Derimot bør hendelse 1, 3, 4, 6, 11, 15 og 25 (se vedlegg D) sees nærmere på, da disse ligger nærmest uakseptabelt område. Hendelse 4 og 6 har tidligere fått konsekvens IV, dødelig og frekvens 2, mindre sannsynlig. Disse plasseres da i respektive kolonne for konsekvens og rad for frekvens. Dermed havner de innenfor ALARP (As Low As Reasonable Practicable) området og kan aksepteres. Det skal likevel være et spesielt fokus på disse hendelsene for å unngå at de inntreffer.

5. Grovanalyse av CNG anlegg i tettbygd strøk

Hensikten med denne analysen er å få et overblikk over risikobildet ved å plassere et CNG anlegg i tettbygd strøk. Anlegget som blir sett på er av typen Nanobox fra Galileo⁽⁹⁾. Hvilke konsekvenser kan et slikt anlegg få? En risikomatrix med fargekodene rødt, gult og grønt gir en indikasjon på hvor farene ved Nanobox er.

5.1. Identifisering av uønskede hendelser

I denne analysen ble det ved hjelp av idemyldring (Kap2.1) avdekket 19 forskjellige hendelser (se vedlegg G), som kan skape farlige situasjoner i og rundt Nanoboxen. Konsekvensen av disse er klassifisert (Tabell 1), og sannsynligheten (Tabell 2) for at hendelsen skal skje er vurdert ut fra tidligere data, historikk, skjønn og samtale med leverandør⁽²⁸⁾ (se vedlegg H). Målet med hendelser, konsekvenser og frekvenser er å lage et bilde på risikoen knyttet til anlegget. Analysen fulgte samme mal som analysen av LCNG anlegget (se Kap 4)

Tabell 11: Utdrag fra vedlegg G

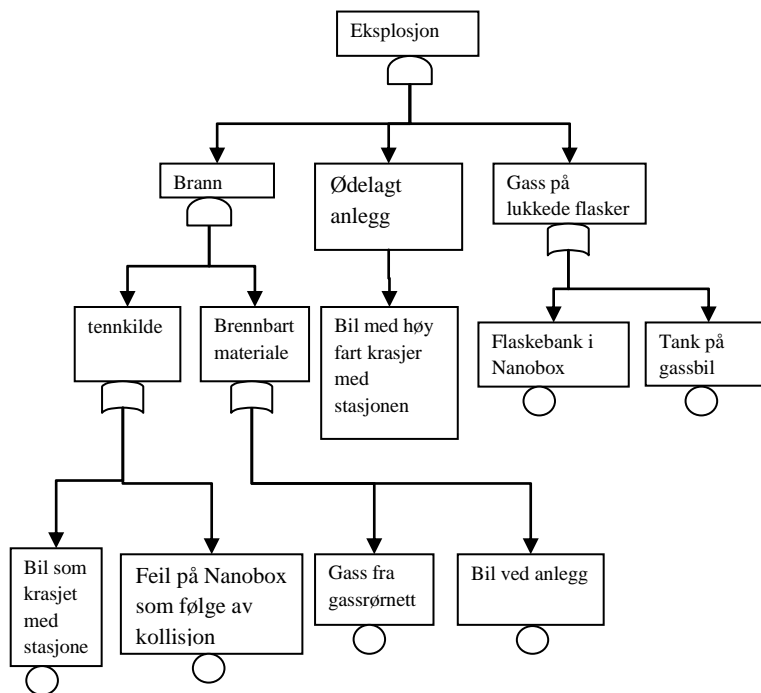
Nr.	Hendelse	Faremoment / årsak	Mulig konsekvens	P	K
9.	Påkjørsel av anlegget	Høy hastighet, stengeventil (akturator) svikter, mye gass på avveier, antennes pga. mange tennkilder i ødelagt anlegg og bil	Flytter anlegget fra opprinnelig posisjon og tilfører anlegget store skader. Stor brann, dersom det fremdeles er gass i flaskebanken som ligger rundt om kan denne varmes opp og føre til eksplosjon i flaskene, død og materielle skader	1.	IV
10.		Lav hastighet	Små skader på anlegget, liten gass lekkasje	3.	I

Videre i denne analysen blir det sett på hendelse 9 og 10 fra vedlegg G. Hendelsene er tatt ut og presentert i Tabell 11. Disse blir brukt til å vise forløpet for analysen.

5.2. Årsaks analyse

For å finne årsaken til en hendelse settes det opp et feiltre, Feiltre som innbefatter hendelse 9 er vist i Figur 8.

Figur 8: Feiltre eksplosjon



Eksplosjon i flasker fra flaskebanken kan få de alvorligste konsekvensene, som død eller varig ufør. Personen som kjører bilen inn i anlegget kan sitte i klem, fragmenter fra anlegget kan treffe skuelystne, eller andre som måtte befinne seg i nærheten av anlegget. Det er viktig å se på årsaken til disse hendelsene, for å se om det er hensiktsmessig å plassere et CNG anlegg i tettbygd område.

Årsaken til hendelse 9 (se Tabell 11) er at anlegget blir påkjørt av en bil i høy hastighet. Dette fører til at CNG anlegget blir flyttet fra sin opprinnelige posisjon. Ved stor gasslekkasje og tennkilde kan det oppstå en stor brann. Det ødelagte anlegget og den ødelagte bilen er begge potensielle tennkilder. Dersom det fremdeles er gass i CNG flaskene fra flaskebanken, kan disse bli varmet opp av brannen. Dette kan føre til eksplosjoner i gassflaskene.



Bakgrunnsdata for fyllestasjoner til naturgassbiler er mangelfull. For å kunne vurdere hvor ofte de enkelte hendelsene kan oppstå, er årsakene til de uønskede hendelsene sammenlignet med tidligere ulykker og hyppigheten av disse.

Tabell 12: Frekvensklasser, CNG anlegg

Betegnelser	Frekvensklasser for ulykkeshendelser				
	Svært sannsynlig	Meget sannsynlig	Sannsynlig	Mindre sannsynlig	Lite sannsynlig
Hyppighet	Oftere enn 1 gang pr. år	1 – 10 års mellomrom	10 – 100 års mellomrom	100 -1000 års mellomrom	Mer enn 1000 års mellomrom
Kode	5.	4.	3.	2.	1.
Hendelser			10, 15	1, 7, 8, 12, 13, 16, 19	2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 14, 17, 18

Tabell 12 viser hvor de forskjellige hendelsene er plassert ut fra historikk, bakgrunnsdata, skjønn og samtale med leverandør ⁽²⁸⁾ (se vedlegg H). Ingen hendelser ligger i de 2 første tidsinndelingene, noe som viser at det er et strengt regelverk rundt fyllestasjoner for naturgass.

Tabell 13: Utdrag fra vedlegg H

Nr.	Betegnelse	Begrunnelse
9.	Lite sannsynlig	Ettersom anlegget settes opp i tettbygd område er det få muligheter for å komme opp i høy hastighet med bil. Ytre barrierer som trafikkøyene på hver side, og søylene som holder taket, er strategisk plassert for å hindre påkjørsel. Dette gjør at denne hendelsen er lite tenkelig. At stengeventilen også svikter gjør at enda en barriere har sviktet og hendelsen blir mer sjelden.

Hendelsene 9 kommer trolig ikke til å skje ofte, på grunn av trafikkøyer og andre hindringer som settes opp.

5.3. Konsekvens analyse

Alle hendelsene i vedlegg G, har en konsekvens. Noen hendelser får større konsekvenser for liv, helse og materielle verdier enn andre. Tabell 14 viser hvilken konsekvens de forskjellige hendelsene vil få dersom de skulle oppstå. Hendelse 9 (se Tabell 11) kan føre til dødsfall. Personen som kjører bilen inn i anlegget kan sitte i klem, fragmenter fra anlegget kan treffe skuelystne eller andre som måtte befinne seg i nærheten av anlegget. Hvis dette scenarioet skal inntreffe må anlegget få store skader, og vil være ute av drift en periode.

Tabell 14: Konsekvensklasser, CNG



Nr.	Grad	Konsekvens	Hendelse*
I	Ufarlig	Resulterer ikke i personskader, mindre enn 1 dags stans i anlegg	4, 5, 10, 13, 15, 18, 19
II	Farlig	Små personskader, 1-3 dagers stans. Små materielle skader	2, 3, 7, 8, 11, 12, 16
III	Kritisk	Større personskader, 3-7 dager stans. Signifikant materiell skade	1, 6, 17
IV	Dødelig	Medfører død eller total uførhet, 7-30 dagers stans i anlegg. Større materielle skader	9, 14
V	Katastrofal	Medfører død eller total uførhet av flere personer, stans av anlegg i over 1 mnd. Meget alvorlig materiell skade	

*Ved plassering av hendelsene i Tabell 14 er det tatt med i betraktning at regelverk og temaveiledninger skal følges.

5.4. Presentasjon av risiko

Konsekvenser og frekvenser av hendelsene (se vedlegg G) utgjør bilde på sikkerheten rundt anlegget. Dette bildet blir presentert i risikomatriksen (Tabell 15). Hendelsene ligger i forhold til akseptabel risiko (grønn), risikoen kan aksepteres, men skal reduseres til et minimum (gul) eller uakseptabel risiko (rød). De mest kritiske hendelsene kan plukkes ut, og vurderes nærmere.

Tabell 15: Risikomatrikse, CNG anlegg

Klassifisering av risiko		Risikomatrikse med indikering av områder der risikoen er vurdert å være akseptabel / ikke akseptabel				
		I	II	III	IV	V
		Ufarlig	Farlig	Kritisk	Dødelig	Katastrofal
5.	Svært sannsynlig					
4.	Meget sannsynlig					
3.	sannsynlig	10, 15				
2.	Mindre sannsynlig	13, 19	7, 8, 12, 16	1		
1.	Lite sannsynlig	4, 5, 18	2, 3, 11	6, 17	9, 14	

Tabell 15 viser at ingen hendelser har uakseptabel risiko, og har heller ingen hendelser som ligger på gult felt (ALARP). Derimot bør hendelse 1, 9 og 14 sees nærmere på da disse ligger nærmest ALARP. Hendelse 9 har tidligere fått konsekvens IV, dødelig og frekvens 1, lite sannsynlig. Disse plasseres i respektive kolonne for konsekvens og rad for frekvens. Dermed havner hendelsen innenfor akseptabelt område.



6. Diskusjon

Gass har lenge vært benyttet til matlaging og som drivstoff til maskiner. Allerede tidlig på 1800-tallet var det utbygget distribusjonsnett for gass i London. Fra midten av 1900-tallet og fram til i dag, er naturgass blitt mer vanlig som drivstoff til kjøretøy. Med tanke på de energiutsiktene og den miljøproblematikken verden står ovenfor, vil bruk av naturgass være et alternativ. I Norge har regjeringen lagt føringer for å fremme bruk av miljøvennlige gasser som biogass. Biler som bruker naturgassen kan fases over på biogass når produksjonen av biogass øker. Siden naturgass er veldig lik biogass kan de bruke samme infrastruktur. Dette gjøres i dag av Lyse på Nord Jæren. Dermed vil et godt utbygd naturgasssystem, lette overgangen til biogass. I dag er det god tilgang til naturgass, men begrenset tilgang til biogass. Likevel er det ikke mange fyllestasjoner for naturgass. Det er 11 CNG anlegg og 1 LCNG anlegg i Norge.

I Norge har det ikke vært ulykker med fyllestasjoner for naturgass. Det er registrert en hendelse i desember 2009 hvor det oppsto en lekkasje fra en buss⁽²⁹⁾ på Mannsverk i Bergen. Denne ble ikke antent og det oppsto ingen skader. Det er få registrerte ulykker og hendelser ved fyllestasjoner for gass. Dette skyldes at det er få anlegg og strenge krav til sikkerhet.

Selv om det er få rapporterte hendelser av skade eller ulykker ved fyllestasjoner, betyr ikke dette at gassfyllestasjoner er ufarlige. Det er flere hendelser som kan få relativt store konsekvenser. I dette arbeidet er det gjort en grovanalyse som har belyst noen av disse hendelsene.

6.1. LCNG anlegg

LCNG anlegget har syv hendelser som krever videre diskusjon. Dette er de hendelsene som etter grovanalysen kom ut med ALARP eller akseptabel risiko rett ved ALARP-området Tabell 10. Hendelsene 1, 3, 4, 6, 11, 15 og 25 fra tabellen i vedlegg D kan få alvorlige konsekvenser som jetbrann, brann i gassky, pølbrann eller eksplosjon (Kap 3.1). Hendelse 4: Feil på fylleslangen, tåler ikke trykk eller temperatur, hendelse 6: Feil på festemekanismen til fylleslangen, hendelse 3: Stor lekkasje i røret mellom påfyllingstuss og LNG tank og, hendelse 15: Lekkasje i LNG tanken, havner på gult i risikomatriksen, ALARP.

Hendelse 1 og 25 fører til jetbrann (Kap 4.2). Hendelse 25: Fylleslangen med gass på 250 bars trykk revner og sikkerhetsventilen virker ikke. Dette kan føre til store personskader dersom personen som håndterer slangen ikke kommer seg bort fra slangen. Hvis gassen antennes vil det oppstå en jetbrann. Hendelse 1: Tankbil brenner og varmer opp LNG tanken og utløser sikkerhetsventilen. Gass jeten (kap3.1) som kommer ut av toppen på tanken antennes, og gir en jetbrann.



For å se på muligheten for at dette scenarioet kan inntreffe beregnes tiden LNG tanken har ”halv uendelige” vegger. Det vil si, hvor lang tid det tar før varmen kommer gjennom tankveggene. Denne beregningen blir utført etter likning 2.8. Først må α beregnes etter 2.7

$$\alpha = \frac{0,078 \text{ W / m} \cdot \text{K}}{250 \text{ kg / m}^3 \cdot 387 \text{ J / kg} \cdot \text{K}} = \frac{8,06 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}}{16} \quad 6.1$$

Tetthet, spesifikk varmekapasitet og termisk konduktivitet er hentet fra Engineering toolbox ⁽³⁰⁾

$$t < \frac{l^2}{16 \cdot 8,06 \cdot 10^{-7}}$$
$$t < 77500 \text{ s} \quad 6.2$$

Dette betyr at innholdet i tanken ikke vil begynne å varmes opp før etter 21 timer. Deretter skal LNGen inne i tanken varmes opp slik at trykket blir over 14 bar som er trykkgrensen til sikkerhetsventilen. Ut i fra fasediagrammet i Figur 1, kan det leses at temperaturen da må være ca -155°C. Slik at det vil ta mer enn 21 timer før LNGen blir så varm at sikkerhetsventilen vil løses ut.

Simuleringer av tankveggene i Argos (vedlegg F) viser at tanken holder temperaturen ute, og at det er korrekt å se på tankveggene som halv uendelig ⁽¹⁴⁾. Ut fra disse beregningene vil det ikke være fare for menneskeliv som følge av jetbrannen. Dermed kan hendelse 1 i Tabell 10 flyttes fra dødelig konsekvens til kritisk. Det er fortsatt en alvorlig hendelse med brann så tett på anlegget. Temperaturen som ble brukt i Argos ble hentet fra FDS simulering (se vedlegg I).

Hendelse 25 er vanskelig å si noe om. Vedlikehold og intern kontroll av anlegget må være godt planlagt og følges ⁽¹⁸⁾.

Pølbrann kan oppstå i hendelse 3 og 15 (vedlegg D). Hendelse 3 kan forekomme under fylling av LNG tanken fra tankbil. Dersom det oppstår en stor gasslekkasje fra røret som går fra påfyllingsstussen til tanken, vil LNG samle seg i oppsamlingsbassenget under tanken. Antennes gassen i dette bassenget, blir brannen betegnet som en pølbrann. Samme type brann skjer i hendelse 15, men i denne hendelsen er det en stor lekkasje i LNG tanken. LNG renner ut og samler seg i bassenget under tanken hvor den kan bli antent.



Ved lekkasje i eller rundt LNG tanken vil LNG samler seg i oppsamlingsbasseng under LNG tanken. Skulle denne gassen bli antent oppstår en pølbrann (Kap 3.1). Konsekvensene av pølbrannen er sett nærmere på ved beregninger. Energiproduksjonen \dot{Q} (se likning 2.9) er beregnet for å se hvor mye energi LNG tanken blir utsatt for. Flammelengden L (se likning 2.11) er beregnet for å se hvor langt opp på LNG tanken flammene vil strekke seg (Kap 2.2).

$$\dot{m}'' = 0,078 \text{ kg} / (\text{m}^2 \text{ s}) \cdot 1 - e^{-1,1 \cdot 3,39} = \underline{0,076 \text{ kg} / \text{m}^2 \text{ s}} \quad 6.3$$

$$\dot{Q} = 9,0 \text{ m}^2 \cdot 0,076 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{ s}} \cdot 1 \cdot 50,0 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} = 34,2 \text{ MW} \quad 6.4$$

$$L = 0,235 \cdot 34200^{2/5} - 1,02 \cdot 3,39 = 11,8 \text{ m} \quad 6.5$$

Ved antennelse av LNGen, vil flammene være høyere en LNG tanken. Som tidligere vist utrekning i 6.2 kunne tankveggene anses som halv uendelige. Faren for at LNG tanken skal eksplodere kan anses som svært usannsynlig. For at en eksplosjon eller BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) skal inntreffe må tanken være utsatt for brann over svært lang tid, mer enn 21 timer. I løpet av denne tiden er det god grunn til å tro at brannvesenet er på plass og har fått kontroll på situasjonen. Faren for menneskeliv minsker når det tar lang tid fra brannen starter til eksplosjonen skjer. Dette fordi det er god tid til å evakuere området. Brannen kan utsette resten av anlegget for ødeleggelse, men vil brenne kontrollert innen for sine fire vegger (Kap 3.2). Skadene som følge av den kraftige brannen (se likning 6.4 og 6.5) vil påføre anlegget store skader og anlegget vil sannsynligvis være ute av drift i mer enn en uke. Dermed havner konsekvensen av hendelse 3 og 15 i kategori IV (se Tabell 1). Det er lite trolig at frekvensen på disse hendelsene vil endre seg. Tanken er av typen "singel containment". Den indre tanken som holder på LNGen er meget godt beskyttet mot ytre påvirkninger (se Kap 3.2). Røret som hendelse 3 beskriver ligger innen for muren til anlegget. Dermed er ikke denne rørstussen i kontakt med tankbilen eller i bevegelse. Dette sammen med hyppig vedlikehold gjør det lite trolig at røret svikter. Det er liten sannsynlighet for at hendelsene skal inntreffe.

Dersom pumpen begynner å brenne og utsetter CNG flaskebanken for varmpåkjenning over lengre tid, vil det kunne føre til eksplosjoner i flaskebanken. Dette er hendelse 11 (se vedlegg D). Årsaken til at flaskebanken utsettes for varme er at LNG tilførselen til pumpen ikke stanser. Dette indikerer at sikkerhetsventilen ikke virker. Konsekvensen av hendelse 11 kan bli overopphetning av CNG flasker. Dersom CNG flaskene varmes opp kan det oppstå eksplosjoner i flaskene. Etersom flaskebanken står inni en konteiner hvor det er krav til



eksplosjonssikkert utstyr og konteineren er innenfor betongvegger, er faren for skader utover anlegget liten. Som vist over er det liten sannsynlighet for at det skal brenne innen for murene på anlegget. Derfor er det også lite sannsynlig at CNG flaskene skal bli utsatt for en brann.

Hendelse 4 og 6 kan gi store mengder LNG rundt tankbilen og anlegget (se Kap 4). Den kalde naturgassen vil legge seg langs bakken ettersom den er tyngre enn luft. Etter hvert som den varmes opp vil den stige. Når gassen ligger langs bakken kan den komme i kontakt med en tennkilde. På tankbilen er det mange mulige tennkilder. Blir gassen antent vil det oppstå brann i gasskyen. Denne brannen kan føre til store personskader eller dødsfall. Materielle skader kan også oppstå, men det er mindre sannsynlig i og med at selve anlegget ligger bak en murvegg. Det kan bli skader på tankbil eller andre biler. For at denne hendelsen skal inntreffe må to barrierer brytes. Slangen eller festemekanismen til slangen må ryke, samtidig som stengeventilen til tankbilen må svikte eller stenge for sent. Skal det oppstå personskader må det befinne seg en person i gasskyen. Ettersom sjåføren av tankbilen frakter farlig gods, er det naturlig å anta at sjåføren har fått kursing og opplæring i farlige situasjoner og regelverk rundt tanking av LNG. Det er også krav til hyppig vedlikehold og intern kontroll av fylleoperasjonen. Ut fra dette vil det være naturlig å tro at en slik hendelse er mindre sannsynlig. For å minimere faren for menneskeliv, vil det være naturlig å stenge anlegget for tanking av personbiler i det tidsrom fylling av LNG tank pågår. Disse to hendelsene havner på ALARP. Det forventes at de vil skje sjeldent, men de kan føre til dødsfall. Dermed må det settes inn tiltak slik at risikoen blir minimal. Gode rutiner for fylling av LNG, samt stenging av området under fylling, krav til vedlikehold og intern kontroll fra eierne av tankbil, vil være tiltak for å holde frekvensen nede. Med disse tiltakene er det mer sannsynlig at hendelsene havner på grønt område, enn på rødt, i risikomatriksen.



Risikomatrisen i Tabell 16 indikerer hvor hendelsene kan være plassert ut fra de ingeniørmessige vurderinger som er utført i diskusjonen. Hendelse 3 og 15 er flyttet fra ALARP til akseptabelt område. Hendelse 1 og 11 er flyttet lengre inn på akseptabelt området, mens hendelse 4, 6 og 25 blir stående.

Tabell 16: Oppdatert risikomatrix for LCNG anlegg

Klassifisering av risiko		Risikomatrix med indikering av områder der risikoen er vurdert å være akseptabel / ikke akseptabel				
		I	II	III	IV	V
		Ufarlig	Farlig	Kritisk	Dødelig	Katastrofal
5.	Svært sannsynlig					
4.	Meget sannsynlig					
3.	sannsynlig	2, 19				
2.	Mindre sannsynlig	12, 18, 24	20		4, 6	
1.	Lite sannsynlig	13, 23	5, 17, 21	1, 8, 9, 11, 14, 16, 22	3, 15, 25	

Denne risikomatrisen bør tolkes slik at hendelse 4: Feil på fylleslangen, tåler ikke trykk eller temperatur og hendelse 6: Feil på festemekanismen til fylleslangen fortsatt er plassert på gult område og derfor må det være et spesielt fokus på disse hendelsene.

Hendelser som flystyret, sabotasje eller terrorhandlinger er ikke tatt hensyn til i denne analysen. Dette fordi det er et anlegg som allmennheten har tilgang til. Dermed kan det ikke innføres noen form for adgangskontroll.

6.2. CNG anlegg

CNG anlegget har tre hendelser som krever videre diskusjon. Dette er de hendelsene som etter grovanalysen kom med akseptabel risiko nært ALARP området Tabell 15. Hendelse 1: Anleggsarbeid som fører til brudd på gassrør inn på anlegget, hendelse 9: Anlegget blir truffet av bil som holder høy fart og hendelse 14: Fylleslangen sprekker eller revner. Disse kan få alvorlige konsekvenser som brann og eksplosjon (Kap 3.1).

Hendelse 1 og 14 kan føre til jetbrann. Årsaken til hendelse 1 er brudd på rørledningen som går fra hovedledningen og inn på anlegget. Det vil oppstå en gass jet hvor skaden ble påført. Stengeventilene stenges manuelt og gasstilførselen stanser. Ved antenning av gassen vil det oppstå en jetbrann som begrenses av gasstilførselen. For å unngå overgraving er det viktig at kommune og entreprenør har klare retningslinjer for hvem som har ansvar for hva.

Kommunen skal ha oppdatert kart over gassrørnett. Entreprenøren skal holde seg oppdatert



på kartene. I områder hvor det er mye gassrør skal graving godkjennes av kommunen⁽³¹⁾. Hendelsen får liten innvirkning på sikkerheten til mennesker, men kan sette anlegget ut av drift i flere dager. Med god kontroll er det grunn til å anta at hendelsene ikke vil få økt frekvens.

Hendelse 14 er identisk med hendelse 25 på LCNG anlegget.

Den mest kritiske hendelsen ved CNG anlegget er hendelse 9, hvor anlegget blir påført store skader og det oppstår brann. Blir CNG flaskene varmet opp, kan de eksplodere. Denne hendelsen kan som ytterste konsekvens føre til dødsfall for en person, f. eks: føreren av bilen.

Påkjørsel av anlegget i høy hastighet hvor stengeventil svikter, kan føre til mye gass på avveie. Muligheten for at gassen antenner anses for å være stor, ettersom det er tennkilder tilstede både fra bil og anlegg. Konsekvensene av en slik hendelse vil være store ødeleggelse på anlegget og kan føre til stor brann/ jetbrann. Dersom det fremdeles er gass i gassflaskene, kan disse varmes opp og eksplodere. Siden anlegget plasseres med ytre barrierer som trafikkøyer på hver side og søyler som holder taket, er sannsynligheten for at en slik hendelse skal inntreffe er liten. Disse hindringene gjør det vanskelig for en bil å treffe anlegget i stor hastighet.

Drøftinger rundt Nanoboxen førte ikke til endring av risikomatrisen.

6.3. Grovanalysen

Grovanalyse er en måte å finne de farlige hendelsene knyttet til anleggene. Den er enkel å utføre og den gir raskt svar. Grovanalysen har ikke et godt system for å fange opp mer komplekse hendelser. Resultatet baserer seg på erfaringen til de som gjennomfører analysen. Gruppen som jobber med grovanalysen bør ha kjennskap til anlegget, samt kjenne tidligere ulykker. Dermed kan de vurdere om ulykkene kan skje på anlegget som analyseres. Det kan være bra for gruppen som driver med grovanalyse, og ta inn personer som ikke har erfaring med denne type arbeid. Disse personene kan belyse anlegget fra en ny side. Dette kan gi et innblikk i hvordan utenforstående ser på anlegget. Risikomatrisen som blir presentert på slutten av analysen gir en indikasjon på risikobildet. Det kreves flere og grundigere analyser for å få et godt overblikk over risikobildet til anlegget. Grundige analyser som HAZID og HAZOP vil gi et tydeligere bilde av risikoen.

6.4. Plassering

Er det naturlig å plassere gassfyllestasjoner i forbindelse med bensinstasjoner? Drivstoff til biler er da samlet på et sted. Selv om det er få registrerte ulykker med naturgass betyr ikke det at naturgass under høyt trykk eller lave temperaturer, ikke er farlig. Det skjer sjeldent ulykker, men konsekvensen ved en eventuell ulykke kan være store. Regelverk rundt naturgass er blitt tydeligere de siste årene.



Det er også kommet regelverk som anbefaler sikkerhetsavstander til gassanlegg. Temaveiledningen om bruk av farlig stoff ⁽⁸⁾, gir følgende anbefaling for sikkerhetsavstand når det gjelder LCNG tankeanlegg med beholder volum fra 8 -63 m³:

- Nabogrense, parkering, privat vei, tennkilde: 8 m.
- Offentlig ferdsel, bolig, skole, barnehage, faste arbeidsplasser: 10 m.
- Åpning i vegg, vindu, ventilasjon, luftinntak, dør, avløp, sluk: 10 m.
- Vanskelig rømbare lokaler: 100 m.
- fordamper og pumpe: 1,5 m.
- Brennbare bygninger, brennbart opplag: 8 m.

”Det bør være en sikkerhetsavstand på minst 15 m rundt losseslange for LNG- tankkjøretøy ved omfylling. Innenfor dette området skal den som har ansvar for omfyllingen ha kontroll over nærområdet” ⁽⁸⁾.

For CNG anlegg tar den amerikanske standarden NFPA 52 (National Fire Protection Association) for seg design og installasjon av CNG fyllestasjoner for alle typer kjøretøy. I kapittel 6.4 i NFPA 52, omtales beliggenhet av CNG fyllestasjoner. Der er det blant annet spesifisert at:

- *Stasjoner skal ikke ligge under elektriske høyspendt ledninger eller i et område som kan trues ved feil i slike ledninger (punkt 6.4.2.3)*
- *Stasjonen skal ha en avstand på minst 3 m. fra nærmeste viktige bygning, fra eiendommer som kan/skal bebygges eller andre tennkilder (punkt 6.4.2.3)*
- *Stasjonen skal ha en avstand på 3 m. fra nærmeste offentlige vei eller fortau, og på minst 15 m. fra nærmeste jernbanne linje (punkt 6.4.2.4)*
- *Under tanking av kjøretøy skal tilkoblingsstussen ha en avstand på minst 3 m. fra nærmeste viktige bygning, campingvogn, fortau, offentlige vei, og en avstand på minst 1 m. fra lagertankene (flaskebatteri) (punkt 6.4.2.8)*
- *Avstanden fra tilkoblingsstussen til nærmeste bygning kan reduseres hvis bygningens vegger er brannhemmende i minst 2 timer, men avstanden til åpninger i veggen må være minst 3 m. (punkt 6.4.2.8).*

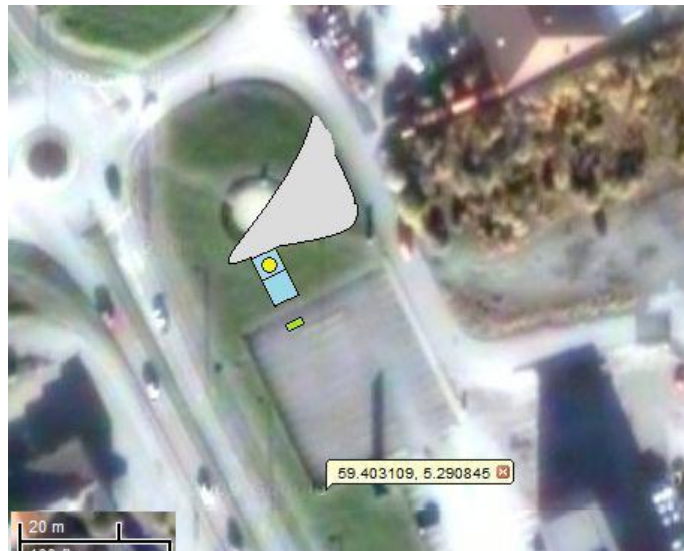
Disse punktene er hentet fra *”Sikkerhetsvurdering av LCNG-anlegg på Mannsverk” ⁽¹⁰⁾.*

Disse avstandene er veiledende og kan økes eller reduseres ved spesielle tiltak.

I standardene EN 1473:1997 og EN 13645:2001 kan det leses mer om hvordan spesielle sikkerhetsavstander og sikringsfelt skal beregnes.

LCNG anlegget som er vurdert i analysen er et tett anlegg, som er beskyttet av ca 2,5 m høye betongvegger. Dette gir flere barrierer som gjør anlegget sikrere mot påkjørsel og lignende. Oppbyggingen til anlegget gir beskyttelse for personer, bygninger og veier, som er ved anlegget. Ved å følge dagens regelverk vil LCNG anlegget, ut fra denne analysen, betegnes som sikkert. Selv om det er faremomenter med anlegget anses disse som lite sannsynlige. Det

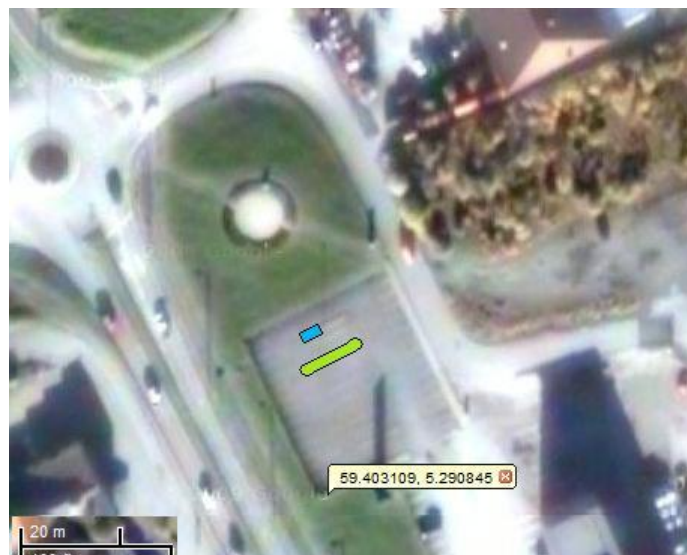
vil være mulig å plassere anlegget på nordligste parkeringsplass ved Gamle Meieriet i Karmsundgaten se Figur 9.



Figur 9: LCNG anlegg tegnet inn ved Gamle meieriet (32)

Figur 9 viser LCNG anlegget plassert på den valgte tomten. Hele anlegget er det blå feltet, mens den gule ringen viser selve LNG tanken. Det grå feltet viser innkjøring og parkerings område til LNG tankbilen. Den lille grønne firkanten viser hvor dispenseren for fylling av personbiler er plassert.

CNG anlegget som er vurdert i denne analysen, er typen Nanobox fra Galileo. Ytre sikkerhetstiltak på anlegget er trafikkøyer og betongsøyler. Dette fører til flere barrierer som gjør anlegget sikrere mot påkjørsel av bil og lignende. Ved å følge dagens regelverk nøye vil anlegget ut fra analysen i dette arbeidet kunne betegnes som sikkert. Selv om det er faremomenter med anlegget, anses disse som lite sannsynlige. Det vil derfor være mulig å plassere anlegget på nordligste parkeringsplass ved Gamle Meieriet i Karmsundgaten.



Figur 10: Nanobox tegnet inn ved Gamle meieriet (32)

Figur 10 viser Nanoboxen plassert på den valgte tomten. Den blå firkanten er selve anlegget, mens det grønne feltet er barrieren på sør siden av anlegget. Barrieren på nordsiden er naturlig i form av grøntareal. Taket er ikke tegnet inn. Dette for å kunne se selve anlegget.

Plasseringen av anlegget ved Gamle meieriet i Karmsundgate er ment som et eksempel. Andre plasseringer enn den nevnte kan være aktuell. Plasseringen er valgt fordi den skaper en situasjon som er vanlig i tettbygd strøk, trafikkert vei og kontorbygninger tett på anlegget. Det blir også plassert rett ved eksisterende gassrørnett (se vedlegg C). Dermed er plasseringen et godt eksempel på plassering av en gassfyllestasjon i tettbygd strøk. Dette fører til at analysen passer for flere lokasjoner. Men det er viktig å påpeke at alle anlegg og lokasjoner må gjennomgå en egen risikovurdering.

Distribusjonsnett for bensin og diesel gir trafikkanter lett tilgang til bensinstasjoner. Dette bør videreføres til gassfyllestasjoner. Gamle meieriet ligger i den mest trafikkerte gaten i Haugesund, og tilkjørsel via rundkjøring gjør det enkelt å komme inn og ut fra anlegget. Plasseringen gjør gassfyllestasjonen synlig for allmennheten.

Områdeklassifisering av anlegget, er eiers ansvar⁽⁸⁾. I områder hvor eksplosiv atmosfære kan være tilstede skal elektrisk utstyr og elektriske installasjoner tilfredsstillende kravene i NEK 420-1, "Eletriske anlegg i eksplosjonsfarlige områder med gass og støv"⁽²⁰⁾.



6.5. LCNG vs CNG

LCNG anlegget og Nanoboxen er to veldig forskjellige anlegg. Nanoboxen er liten, mens LCNG anlegget er stort (se Figur 9 og Figur 10). LCNG anlegget må få LNG fraktet med trailer, mens Nanoboxen får gassen via gassrørnett. Dette gjør at LCNG anlegget trenger en stor tank til LNGen. Denne tanken sammen med utstyr til fordampning gjør LCNG anlegget mer komplekst, og dermed mer sårbart, enn Nanoboxen. LNG tanken er ca 7 m høy og 3 m i diameter. Den vil ruve i området og kan virke skjemmende for omgivelsene. 2,5 m høye murer rundt anlegget kan gi publikum en følelse av utrygghet. Samtidig vil anlegget se mer ryddig ut med murene enn bare med bruk av vanlig stålgerder. Nanoboxen er litt større enn vanlig bensinpumpe. Den har en moderne og fremtidsrettet utforming. Designet virker balansert i forhold til risikoen ved anlegget, noe som betyr at det vil oppfattes som sikret, men ikke over sikret. Trafikkøyene som gir mer grøntareal og taket over Nanoboxen har to hensikter, det ser penere ut og beskytter mot påkjørsel.

Sikkerhetsmessig kan begge anleggene aksepteres, men LCNG anlegget må være under strengere overvåkning med hensyn på sikkerheten. Dette skyldes at LCNG anlegget har en stor LNG tank, og mye prosessutstyr som kompliserer risikobildet. Nanoboxen, som er et CNG anlegg, har et enklere regelverk enn LCNG anlegget. Dette skyldes at Nanoboxen ikke lagrer store mengder gass.



7. Konklusjon

Grovanalysene, viser at begge anleggene kan plasseres i tettbygd strøk. Plassering av slike anlegg i befolkningstette områder vil gi en økning i risikoen. Denne økningen er etter de vurderinger og beregninger som er gjort i dette arbeidet akseptable. Like fullt må det være sterkt fokus på vedlikehold og intern kontroll av gassfyllestasjoner. Spesielt gjelder dette LCNG anlegget, men også Nanoboxen.

LCNG anlegg er best egnet for steder hvor det ikke er gassrørnett. LCNG anlegg kan plasseres i tettbebygd strøk. Men det vil ut fra dette arbeidet bidra til en unødvendig økning i risikoen. LCNG anlegget har ikke bare høyere risiko enn Nanoboxen, den vil også medføre økning i veitransport av farlig gods, LNG.

Analysene viser at anlegg som skal plasseres på steder med gassrørnett, bør benytte gassrørnettet. Gevinsten dette gir, er mindre og enklere anlegg. I tillegg vil det heller ikke gi flere tankbiler på veien. Dette arbeidet har sett på plassering av gassfyllestasjon i Haugesund. Haugalandet er et av de områdene i Norge hvor gassrørnettet er best utbygd. Derfor vil det være naturlig å plassere et CNG anlegg, som Nanobox, i Haugesund. Et forslag til plassering av anlegget er ved Gamle meieriet i Karmsundgaten. Denne plasseringen er sentral, og det er lett å komme seg til anlegget både for små og store biler. Plassen er stor nok til å sette opp et LCNG anlegg. Andre plasseringer kan også være aktuelle, og det er lite i denne analysen som tyder på at det vil være problematisk med tanke på sikkerheten. Plassering under bygg, nært sykehus, gamle hjem, skoler eller lignende institusjoner har egne krav til sikkerhetsavstander.



Kilder

1. **Center for Energy Economics.** www.beg.utexas.edu/energyecon. [Online] [Cited: mars 12, 2010.] http://www.beg.utexas.edu/energyecon/Ing/LNG_introduction_06.php.
2. **Ghalambor, dr. Boyun Gou/Dr. Ali.** *Natrual Gas Engineering Handbook*. Houston : Gulf Publishing Company, 2005. ISBN 0-9765113-3-9.
3. **Bjerke, Espen.** dn.no. [Internett] 27 august 2008. [Sitert: 22 februar 2010.] http://www.dn.no/energi/article1476805.ece?jgo=c1_re_left_3.
4. **Regjeringspartiene.** arbeiderpartiet.no. [Online] oktober 7, 2009. [Cited: februar 19, 2010.] <http://arbeiderpartiet.no/Politikken/Politisk-plattform-2009-13>.
5. **International Association for Natrual Gas Vehicle.** iangv.org. [Online] International Association for Natrual Gas Vehicle, april 15, 2010. [Cited: april 19, 2010.] <http://www.iangv.org/about-iangv/membership.html>.
6. **Teknisk Ukeblad Media AS.** energilink.tu.no. [Online] Teknisk Ukeblad Media AS. [Cited: februar 12, 2010.] http://energilink.tu.no/no/naturgass_cng.aspx.
7. **Melby, John.** www.gassforum.no. [Online] juni 2009. [Cited: mai 2, 2010.] http://www.gassforum.no/global/91/Biogass_som_drivstoff_-_John_Melby.pdf.
8. **Direktorat for samfunnssikkerhet og beredskap.** *Temaveiledning om bruk av farlig stoff*. Tønsberg : Direktorat for samfunnssikkerhet og beredskap, 2010.
9. **GNC GALILEO S.A.** *Nanobox, User Manual*. Argentina : GNC GALILEO S.A. DMUSUANXCE001.
10. **Tranøy, Yngve.** *Sikkerhetsvurdering av LCNG-anlegg på Mannsverk"*. Bergen : Scandpower, 2005. 33.610.004/R1.
11. **Aven, Terje.** *Pålitelighets- og risikoanalyse*. Oslo : Universitetsforlaget, 2006, 4 utgave. ISBN-10: 82-15-01010-5.
12. **Andersson, Stefan.** *Grovanalyse(PHA), HazOp, vernerunder, SJA, STEP*. Haugesund : Høgskolen Stord/Haugesund. Ing1018 RisikoanalyseI.
13. **Richard M. Felder, Ronald W. Rousseau.** *Elementary Principles of Chemical Processes*. s.l. : John Wiley & Sons, 2005. ISBN10: 0471718777.
14. **Drysdale, Dougal.** *An introduction to fire dynamics (2. utg.)*. Chichester : John Wiley and Son, 1999. ISBN-10:0471972916.
15. **Quintiere, Bjørn Karlsson og James G.** *Enclosure Fire Dynamics*. Washington, D.C. : CRC Press, 2000. ISBN 0-8493-1300-7.



16. **Stortinget.** Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farligstoff og om brannvesenets redningsoppgaver. *Brann- og eksplosjonsvernloven*. s.l. : Stortinget, 2009.
17. —. Plan- og Byggningsloven. s.l. : Stortinget, 2010.
18. **DSB og Petroleumstilsynet.** Forskrift om trykkpåkjent utstyr. 1999.
19. **DSB.** *Temaveiledning om transport og distribusjon av petroleum i rørdning over land*. 2010. ISBN 978-82-7768-228-0.
20. **Norsk elektroteknisk komite.** *Elektrisk anlegg i eksplosjonsfarlige områder med gass og støv*. 3. utgave. Oslo : NEK Normkomite: NK31, 2007. ISBN 82-91974-22-5.
21. **Industrial FireJournal.** Responding to LNG vapour releases & fires. [//www.hemmihttpngfire.com/news/fullstory.php/aid/292/Responding_to_LNG_vapour_releases_fires.html](http://www.hemmihttpngfire.com/news/fullstory.php/aid/292/Responding_to_LNG_vapour_releases_fires.html). [Online] Industrial FireJournal, juni 1, 2007. [Cited: april 19, 2010.]
22. **Pablo G. Fazzini, Jose Luis Otegui.** Self-ignition of natural gas inside pipes at a regulation station. *Engineering Failure Analysis*. 1, 2009, Vol. 16, s 187-199.
23. **Volvo Trucks Corporation.** www.volvotrucks.com. [Online] AB Volvo, desember 15, 2009. [Cited: mars 30, 2010.] <http://www.volvotrucks.com/trucks/norway-market/no-no/newsmedia/pressreleases/Pages/pressreleases.aspx?pubid=8105>.
24. **Chart Inc.** www.nextgenfuling.com. [Online] 2009. [Cited: februar 19, 2010.] http://www.nexgenfueling.com/p_fs_howstationworks.html.
25. **Kyle, B. G.** *Chemical and Process Thermodynamics*. New Jersey : Prentice Hall PTR, 1999. ISBN 0-13-087411-6.
26. **Cryostar SAS.** www.cryostar.com. [Online] 2009. [Cited: mars 12, 2010.] <http://www.cryostar.com/web/lcng-lng-vehicle-refuelling-stations.php>.
27. **Gallileoar.com.** www.galileoar.com. [Online] 2010. [Cited: Februar 20, 2010.] www.galileoar.com.
28. **Ødegård, Jonny.** Prosjektingeniør. Haugesund : s.n., mars 25, 2010.
29. **Vaksdal, Birgitte.** [ba.no](http://www.ba.no). [Online] Bergensavisen, 12 30, 2009. [Cited: mars 8, 2010.] <http://www.ba.no/nyheter/article4781486.ece>.
30. www.engineeringtoolbox.com. [Online] 2005. [Cited: mai 2, 2010.] http://www.engineeringtoolbox.com/perlite-insulation-k-values-d_1173.html.
31. **Lea, Jon.** *Gassdistribusjonsprosjekt*. s.l. : DSB, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2008. ISBN: 978-82-7768-123-8.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



32. **Google.** <http://maps.google.no/maps>. [Online] google. [Cited: april 30, 2010.]
<http://maps.google.no/maps?hl=no&q=%22grov%20analyse%22&um=1&ie=UTF-8&sa=N&tab=wl>.
33. <http://ecogaz.uz>. [Online] http://ecogaz.uz/img/nanobox_2_1.jpg.
34. **Marvin Rausand, Ingrid Bouwer Utne.** *Risikoanalyse, -teori og metode*. Trondheim : Tapir Akademisk Forlag, 2009. ISBN 978-82-519-2446-7.
35. **Eastop, T. D. McConkey, A.** *Applied thermodynamics : for engineering technologists, 5th ed.* s.l. : Harlow : Longman, 1993. 0-470-21982-3.

**Vedlegg A: Tetthetberegninger**

Beregninger på tetthet for reelle gasser

Sammensetning:

Komponent:	Molmasse	LNG:	CNG:	Tk	Pk
C1	16,026	92,100 %	91,148 %	190,7	45,8
C2	30,044	5,500 %	5,268 %	305,4	48,2
C3	44,062	1,300 %	0,714 %	369,9	42,0
C4	58,08	0,400 %	0,077 %	425,2	37,5
C5	72,098		0,008 %	469,8	33,3
C6+	86,116		0,006 %	507,9	29,9
N2	28	0,700 %	1,017 %	126,2	33,5
CO2	44,01		1,762 %	304,2	72,9
		100,000 %	100,000 %	Tk	Pk
			Molmasse	199,6	46,2
Molmasse[kg/kmol]		17,41	17,62		

	Omgivelsene	LNG	CNG
Trykk[bar]	1	8	250
Temperatur[C]	15	-163	15
Redusert trykk [-]	46,24		0,18
Redusert temp [-]	6,23		6,23
Kompresibilitetsfaktor (4 bar)	1		0,94
Kjent tetthet [kg/m ³]	0,7477		
Gasskonstant[J/(kmol*K)]	8314,5		

Trykk	Temperatur[K]	z	Molmasse	Tetthet
100000	288,15	1,00	17,62	0,74
500000	288,15	1,00	17,62	3,69
800000	288,15	0,80	17,62	7,35
25000000	288,15	0,94	17,62	195,60



Vedlegg B: Brennbarhetsgrenser

Naturgass består i hovedsak av metan, men har også innslag av andre gasser som etan, propan, karbondioksid, nitrogen, n-butan og iso butan. Tabellene under viser forskjellige sammensetninger av naturgass som beveger seg i rørrettet på Haugalandet. Gassen som kommer inn fra Trollfeltet kan variere noe. Den første tabellen viser den ønskelige gassblandingen på Snurrevarden, mens tabell to viser den ønskelige sammensetningen etter utvidelsen av Snurrevarden i 2011. Målet med å se blandingsforholdene er å kunne regne ut en nedre brennbarhetsgrense for gassblandingen. De to siste tabellene viser hvilke sammensetninger som gir lavest og høyest brennbarhetsgrense innen de godkjente gassblandings forhold.

	Metan	Etan	Karbondioksid	Nitrogen	Propan	n-Butan	IsoButan
kjemisk formel	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	N ₂	C ₃ H ₈	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₄ H ₁₀
% av blanding	91,15 %	5,27 %	1,76 %	1,02 %	0,72 %	0,05 %	0,03 %
LFL	5,0 vol %	3,0 vol %	-	-	2,1 vol %	1,8 vol %	1,8 vol %
Samlet LFL = 4,90 vol % (Ønskelig sammensetning i gassblanding på Snurrevarden. (HGC 303 analyse. 12.01.06)							

$$L_L = \frac{100 \%}{\frac{91,15}{5,0} + \frac{5,27}{3,0} + \frac{1,76}{100} + \frac{1,02}{100} + \frac{0,72}{2,1} + \frac{0,05}{1,8} + \frac{0,03}{1,8}} = 4,90 \%$$

	Metan	Etan	Karbo ndioksid	Nitroge n	Propan	n- Butan	Iso Butan	Iso pentan	n- pentan	Heksan	Heptan og tyngre
kjemisk formel	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	N ₂	C ₃ H ₈	n- C ₄ H ₁₀	i- C ₄ H ₁₀	i- C ₅ H ₁₂	n- C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₇ H ₁₆
% av blandin g	84,51	8,79	2,5	1,147	2,54	0,235	0,205	0,03	0,022	0,009	0,016
LFL	5,0 vol %	3,0 vol%	-	-	2,1 vol %	1,8 vol %	1,8 vol %	1,4 vol%	1,4 vol%	1,2 vol%	1,05 vol%
Samlet LFL = 4,68 vol %											

Ca normale verdier, Snurrevarden fra april 2011. (HGS-1185720)

$$L_L = \frac{100 \%}{\frac{84,51}{5,0} + \frac{8,79}{3,0} + \frac{2,5}{100} + \frac{1,147}{100} + \frac{2,54}{2,1} + \frac{0,235}{1,8} + \frac{0,205}{1,8} + \frac{0,03}{1,4} + \frac{0,022}{1,4} + \frac{0,009}{1,2} + \frac{0,016}{1,05}} = 4,68 \%$$



	Metan	Etan	Karbo ndioks id	Nitroge n	Propan n	n- Butan	Iso Butan	Iso pentan	n- pentan	Heksan	Heptan og tyngre
kjemisk formel	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	N ₂	C ₃ H ₈	n- C ₄ H ₁₀	i- C ₄ H ₁₀	i- C ₅ H ₁₂	n- C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₇ H ₁₆
% av blandin g	85,30 4	9,1	0,8	0,8	3,0	0,4	0,39	0,07	0,04	0,08	0,016
LFL	5,0 vol %	3,0 vol%	-	-	2,1 vol %	1,8 vol %	1,8 vol %	1,4 vol%	1,4 vol%	1,2 vol%	1,05 vol%
Samlet LFL = 4,52 vol %											

Ca laveste LFL, Snurrevarden fra april 2011. (HGS-1185720)

$$L_L = \frac{100 \%}{\frac{85,304}{5,0} + \frac{9,1}{3,0} + \frac{0,8}{100} + \frac{0,8}{100} + \frac{3,0}{2,1} + \frac{0,4}{1,8} + \frac{0,39}{1,8} + \frac{0,07}{1,4} + \frac{0,04}{1,4} + \frac{0,08}{1,2} + \frac{0,016}{1,05}} = 4,52 \%$$

	Metan	Etan	Karbo ndioks id	Nitroge n	Propan n	n- Butan	Iso Butan	Iso pentan	n- pentan	Heksan	Heptan og tyngre
kjemisk formel	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	N ₂	C ₃ H ₈	n- C ₄ H ₁₀	i- C ₄ H ₁₀	i- C ₅ H ₁₂	n- C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₇ H ₁₆
% av blandin g	91,23	3,5	2,9	1,6	0,7	0,04	0,03	0,0	0,0	0,0	0,0
LFL	5,0 vol %	3,0 vol%	-	-	2,1 vol %	1,8 vol %	1,8 vol %	1,4 vol%	1,4 vol%	1,2 vol%	1,05 vol%
Samlet LFL = 5,04 vol %											

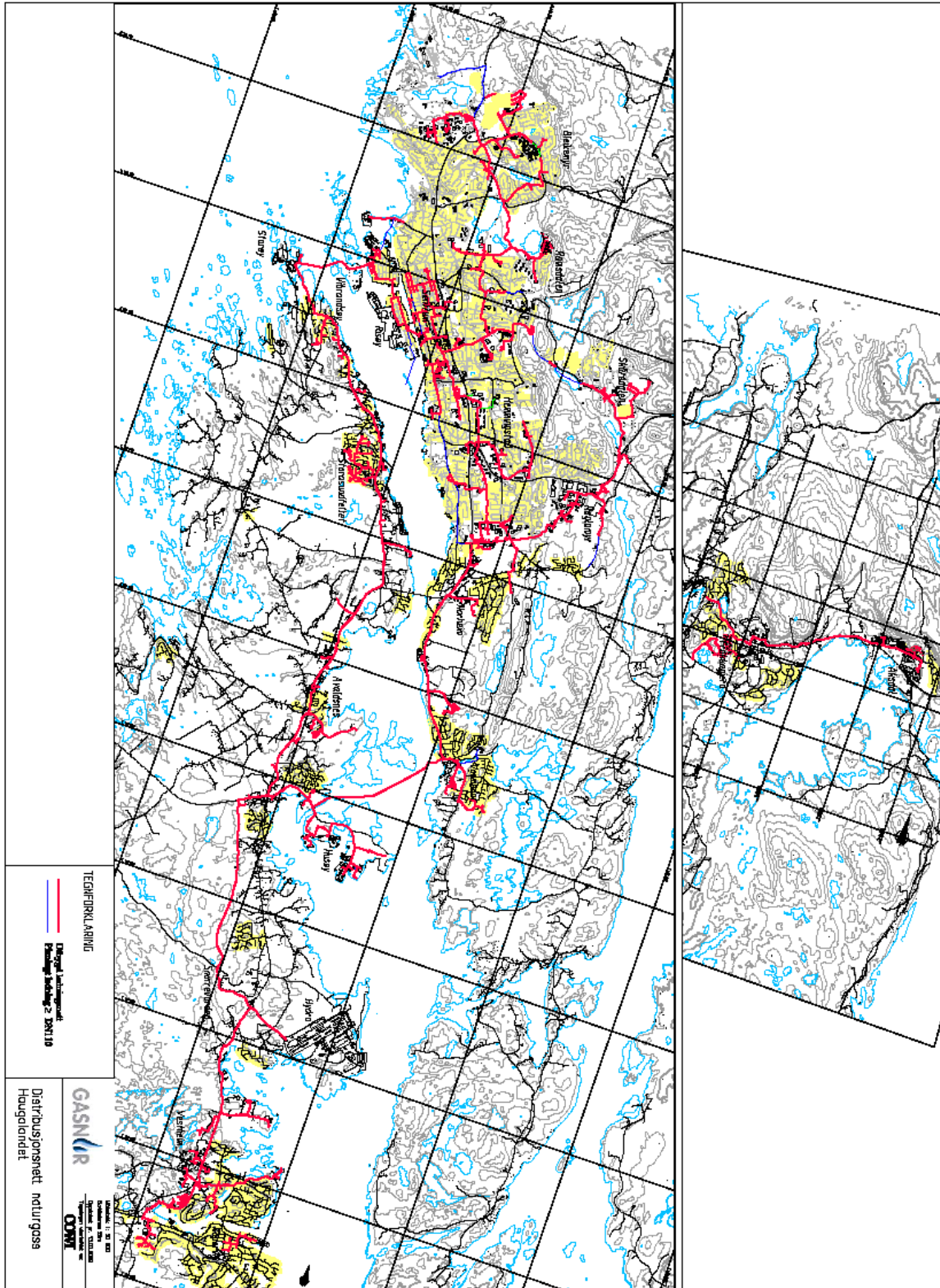
Ca høyeste LFL, Snurrevarden fra april 2011. (HGS-1185720)

$$L_L = \frac{100 \%}{\frac{91,23}{5,0} + \frac{3,5}{3,0} + \frac{2,9}{100} + \frac{1,6}{100} + \frac{0,7}{2,1} + \frac{0,04}{1,8} + \frac{0,03}{1,8} + \frac{0,0}{1,4} + \frac{0,0}{1,4} + \frac{0,0}{1,2} + \frac{0,0}{1,05}} = 5,04 \%$$



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Vedlegg C: Kartover lavtrykksgassnett



**Vedlegg D: Tabell av uønskede hendelser ved LCNG anlegg**

Nr.	Hendelse	Faremoment / årsak	Mulig konsekvens	P	K
1.	Tanking av LNG tank	Tank bil begynner å brenne, varmer opp LNG tanken, utløser sikkerhets ventil	Dersom gass fra sikkerhetsventil antennes vil det oppstå en jet brann	1.	IV
2.		Liten og kortvarig gass lekkasje, antennes	Liten brann som slukker raskt	3.	I
3.		Stor gass lekkasje i rør fra påfyllings komponent til LNG tank, gassen samler seg i oppsamlings basseng, antennes	Pølbrann som fører til oppvarming av tank, sikkerhetsventil utløses ikke, Ved langtids varmeeksponering kan gi BLEVE, mange døde og store materielle skader.	1.	V
4.	Fylleslange ryker	Feil på slangen, tåler ikke trykk og temperatur, LNG på av veier	Store mengder LNG samler seg rundt tank bil og anlegg dersom sikkerhetsventil på tankbilen ikke stenger. Antenner, brann i gass sky	2.	IV
5.		Tanke bil kjører uten å koble fra slangen. LNG på av veier	Dersom tank bilen ikke er tom og sikkerhets ventil ikke stenger vil LNG renne ut i det fri	1.	II
6.		Feil på festemekanismen, LNG vil renne ut	LNG i det fri, mengde vil variere med hvor lang tid det tar før tilførsel stanses, antennes, brann i gass sky	2.	IV
7.		Sabotasje	Ser bort fra denne		
8.	Tank bilen kjører på LNG tanken	Rygger i LNG tanken når den skal fylle, uoppmerksom, LNG på av veier	Brann i tankbil og skade på LNG tank, anlegget ute av drift i flere dager	1.	III
9.	Fyller feil gass på LNG tanken	CPG eller CNG→ høyt trykk som vil sprengte sikkerhets ventil	Ødelegger LNG tanken	1.	III
10.		LPG	Ser bort fra denne		
11.	Pumper brenner	LNG tilførsel ikke stopper	Stor langvarig brann, påvirker CNG tanker, eksplosjon	2.	III
12.	Vifte brenner	Komponent tar fyr	Liten brann	2.	I
13.	Kjøle anlegg til LNG tank stopper	Temperatur på LNG stiger → trykk økning	Sikkerhetsventil utløses	1.	I
14.			Sikkerhetsventil utløses ikke, tank vil bli ødelagt,	1.	III
15.	Stor lekkasje i LNG tank	LNG samler seg i oppsamlings basseng	Antennes ved tilstedeværelse av tennkilde, pølbrann,	1.	V



			BLEVE.		
16.	På kjørsel av CNG flaskebank	Gass på av veier	Ekspløsjon i en eller flere flasker pga. høyt trykk	1.	III
17.		Oppvarming av CNG flasker	Ekspløsjon ved langvarig eksponering	2.	III
18.		Feil på slangen, gass på av veier, sikkerhetsventil stenger	Anlegget ut av drift	2.	I
19.	Slange brudd ved fylling av kjøretøy	Kjøretøy kjører med slangen festet til bilen, lite gass på av veier, bruddventil stenger		3.	I
20.		Kjøretøy kjører med slangen festet til bilen, gass på av veier, bruddventil stenger ikke		2.	II
21.	Kollisjon på vei ved anlegget	Ved brann som fører til eksplosjon kan deler fra bilene treffe anlegget	Skader på komponenter / anlegget,	1.	II
22.	Skader pga. været	Lyn nedslag	Store ødeleggelser på anlegget, brann / eksplosjon	1.	III
23.	Skader pga. geologiske aspekt	Jordskjelv	Skade på anlegg	1.	I
24.		Sprengnings arbeid		2.	I
25.	Fylleslange CNG sprekker / revner	Gass på av veier, sikkerhetsventil stenger ikke, 250 bars trykk vil gjøre at slangen løper løpsk, antennes	Store person skader, jet brann	1.	IV

**Vedlegg E: Begrunnelse for frekvenser til LCNG anlegg**

Begrunnelse for valgt frekvens til hendelsene		
Nr.	Betegnelse	Begrunnelse
<p>Når det kommer til bakgrunnsdata for fyllestasjoner til naturgassbiler er denne mangelfull. Gassfyllestasjoner har eksistert på verdensbasis i neste 40 år, mens i Norge har det kun vært fyllestasjoner for naturgassbiler i ca 15 år. I dag eksisterer det ca 10 CNG stasjoner og 1 LCNG stasjon i Norge. For å kunne sette en tilnærmet korrekt frekvens på de nevnte hendelsene, er tidligere ulykker og hyppigheten av disse lagt til grunn både på landsbasis og verdensbasis.</p> <p>Et annet moment er at de forskjellige komponenter og ventiler er EX sikret.</p>		
1.	Lite sannsynlig	Det er registrert mange tankbiler som ferdes med farlig last på veien. Det er få registrerte tilfeller av brann i disse bilene. Muligheten for at en tankbil skal brenne og være plassert rett ved en LNG tank anses som meget liten. I tillegg er LNG tanken plassert innenfor armerte betong vegger.
2.	Sannsynlig	Liten lekkasje i forbindelse med fylling er mulig, men sjansen for at den antennes anses for å være liten. Ved små mengder utslipp vil LNGen raskt gå over i lettere gassform og forsvinne. Lite registrerte data på slike hendelser.
3.	Lite sannsynlig	Ved lekkasje på dette stedet vil man raskt kunne stoppe tilførselen av LNG fra tankbilen. Mengde gass vil ikke bli så stor at dette blir et problem.
4.	Mindre sannsynlig	Gassanlegg har eksisterer i nesten 40 år. Ser enn da på hvor mange gass anlegg det finnes på verdensbasis og hvor mange slike hendelser som har skjedd, er det greit å anta at hendelsen er mindre sannsynlig. Det kan også antas at personell som har ansvar for fylling har fått korrekt opplæring om naturgass, vedlikehold og fører en oversiktlig inter kontroll over arbeidet som utføres. Lite registrert data.
5.	Lite sannsynlig	For at denne hendelsen skal inntreffe må flere barrierer brytes. Det er korrekt og anta at personen som har ansvar for tankingen har fått tilstrekkelig opplæring og retningslinjer som gjør at denne hendelsen er lite sannsynlig.
6.	Mindre sannsynlig	Fabrikk feil på festemekanismen kan forekomme, men svært sjeldent. Sikkerhets ventil på bilen vil løse seg ut når systemet oppdager uregelmessigheter i systemet. Det antas derfor at mengden gass ikke vil være stor.
7.	Ingen	Ser bort fra sabotasje
8.	Lite sannsynlig	Ettersom LNG tanken på dette anlegget er plassert innenfor armerte betongvegger vil det ikke være mulig for en tank bil å treffe LNG tanken.
9.	Lite sannsynlig	Det er ikke mulig å fylle CNG på en LNG tankbil uten at dette merkes. Dette kommer av at LNG tanken til tankbilen vil bli ødelagt grunnet høyere trykk i tanken enn det tanken er dimensjonert for.
10.	Ingen	Ser bort fra denne
11.	Mindre	Dersom pumpen begynner å brenne noe som er lite tenkelig, vil

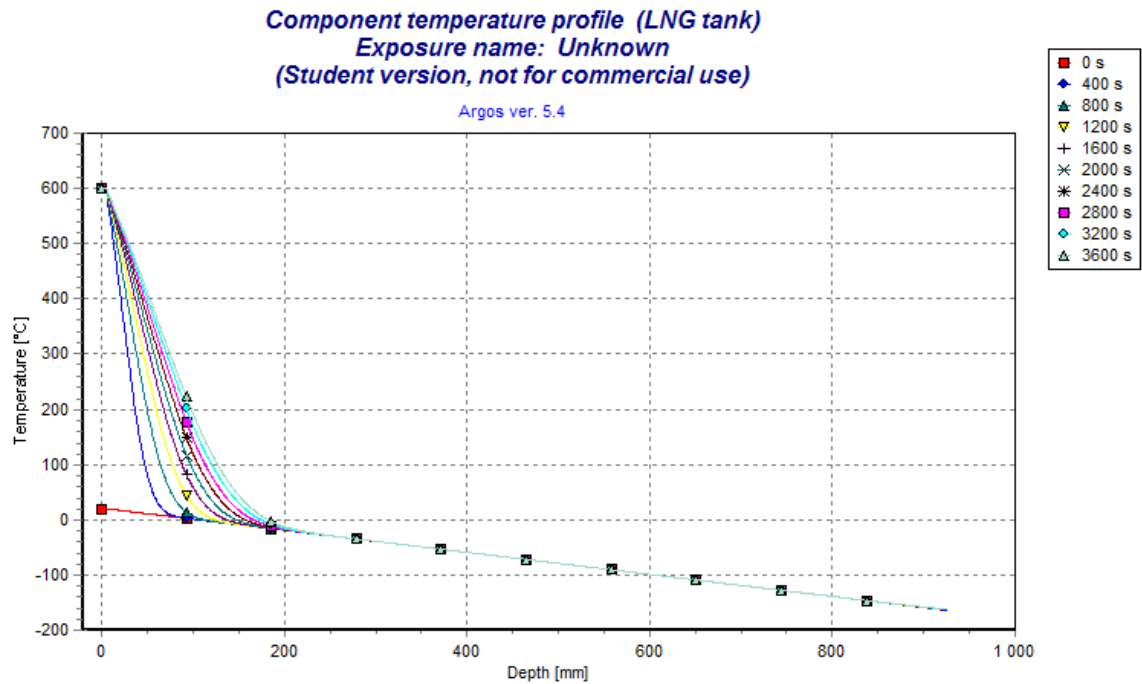


	sannsynlig	deteksjonssystemet fange opp dette og utløse automatisk slukkeanlegg. For at LNG tilførselen ikke skal stoppe må sikkerhetsventilen svikte. Muligheten for å få en så stor brann at CNG flaskebanken blir opphetet er svært liten. 2 barrierer må svikte. Antar nærmere 1000 anleggsår for en slik hendelse, basert på få ulykker i verden.
12.	Mindre sannsynlig	Lite tenkelig at viften begynner å brenne. Slukkeanlegg vil slukke en eventuell brann raskt.
13.	Lite sannsynlig	Det er ikke mulig at kjølesystemet til LNG tanken stopper. Oppbygd på bakgrunn av fysikk. (J.T)
14.	Lite sannsynlig	Det er ikke mulig at kjølesystemet til LNG tanken stopper. Oppbygd på bakgrunn av fysikk. (J.T)
15.	Lite sannsynlig	Tatt i betraktning tankens oppbygning og historikk i forhold til antall slike ulykker, er det korrekt å anta at det er over 1000 anleggs år mellom en slik hendelse.
16.	Lite sannsynlig	CNG flaskebanken er plassert i "hus" innenfor armerte betongvegger. En slik hendelse vil være svært sjelden på verdensbasis. Derfor mer enn 1000 anleggs år mellom hver hendelse.
17.	Mindre sannsynlig	Lite som kan utsette flaskebanken til CNG for varme. Flere barrierer må svikte og EX sikring på komponenter.
18.	Mindre sannsynlig	I Norge er det ca 10 CNG anlegg, med tanke på vedlikehold, inter kontroll og regelverk rundt CNG anlegg, skjer ikke slike hendelser. Men pga. produksjonsfeil og feil på "stuss" kan forekomme, er det rett å konkludere med 100 - 1000 anleggs år mellom slike hendelser.
19.	Sannsynlig	Ettersom man slipper å holde slangen fysisk under påfylling og fyllingen ikke blir operert av fagfolk er dette en hendelse som kan hende.
20.	Mindre sannsynlig	Ettersom man slipper å holde slangen fysisk under påfylling og fyllingen ikke blir operert av fagfolk kan det antas at personer kan kjøre med slangen festet til bilen, men at "brake away" ventilen ikke skal fungere i tillegg er mindre sannsynlig. Nok en barriere må da svikte.
21.	Lite sannsynlig	De fleste komponenter er beskyttet i "hus", og anlegget er beskyttet av ca 2m. Høye armerte betongvegger.
22.	Lite sannsynlig	Tatt i betraktning at det er ca 500 lyn nedslag på vestlandet i året, og ingen historikk forteller om hyppige/ store ulykker i forbindelse med disse, er det lite sannsynlig at en slik hendelse vil inntreffe. LNG tanken er utstyrt med lyn avleder.
23.	Lite sannsynlig	Jordskjelv er ikke et kjent fenomen på vestlandet
24.	Mindre sannsynlig	Pga. utvidelse av Karmsundsgata i Haugesund er denne hendelsen tatt med i betraktningene.
25.	Lite sannsynlig	Med tanke på vedlikehold, intern kontroll og regelverk, skjer ikke slike hendelser. Produksjonsfeil på slangen kan forekomme, men her må også enda en barriere brytes, sikkerhetsventilen må feile. Ut fra dette er det korrekt å si at denne hendelsen ikke kommer til å skje oftere enn 1000 år.



Vedlegg F: Argos simulering

Dette programmet ble brukt for å se på temperaturstigningen igjennom tankveggen. Veggene ble eksponert med 600°C i en time.



**Vedlegg G: Tabell av uønskede hendelser ved CNG anlegg**

Nr.	Hendelse	Faremoment / årsak	Mulig konsekvens	P	K
1.	Anleggsarbeid fører til brudd på rørledning som går fra hovedledning og inn på anlegget	Gass på av veier, antennes, stengeventil stenges manuelt og gasstilførsel vil opphøre	Brann/ jet brann som begrenses av gasstilførselen. CNG flaskebanken vil ikke bli utsatt for påkjenning ettersom Nanoboxen er laget i EI 60 materiale (9)	2.	III
2.	Brudd etter automatisk stengeventil (aktuator), i forbindelse med kobling som ligger i hulerommet under Nanoboxen (9)	Gass samles i hulerommet, ved 4 bars trykk vil løftekraften til gassen være 20 000 kg, og kan løft dekselet som ligger over hulerommet på hver side av Nanoboxen (9), gass på av veier, antennes	Brann (difusjonsflamme), stengeventil stenges automatisk eller manuelt, dersom man ikke kommer til den manuelle ventilen i hulerommet under Nanoboxen stenges den manuelle ventilen på rørledningen. CNG flaskebanken vil ikke bli utsatt for påkjenning ettersom Nanoboxen er laget i EI 60 materiale (9)	1.	II
3.	Brudd før automatisk stengeventil (aktuator), i forbindelse med kobling som ligger i hulerommet under Nanoboxen (9)	Gass samles i hulerommet, ved 4 bars trykk vil løftekraften til gassen være 20 000 kg, og kan løft dekselet som ligger over hulerommet på hver side av Nanoboxen (9), gass på av veier, antennes	Brann (difusjonsflamme), gasstilførsel må stenges manuelt	1.	II
4.	Kompressor brenner		Brann inne i skapet	1.	I
5.	Elektrisk motor brenner			1.	I
6.	Brudd i ventil, skjøte, eller rør mellom	Gass på av veier, dersom gass detektor ikke utløses, systemet stenger ikke	Ingen tennkilder inni Nanoboxen (EX sikker) (9), utlufting av gassen, dersom gassen antenner utenfor, brann i gassen	1.	III
7.	kompressor og flaskebank	Gass på av veier, gass detektor utløses, systemet stenger	Utlufting av gassen, antennes, liten kortvarig brann	2.	II
8.	Lekkasje i flasker fra flaskebanken	Max 0,625 m ³ gass på av veier ettersom sikkerhetsventil vil	Utlufting av gassen, antennes, liten flamme	2.	II



		stenge			
9.	Påkjørsel av anlegget	Høy hastighet, stengeventil (aktuator) svikter, mye gass på av veier, antennes pga. mange tennkilder i ødelagt anlegg og bil	Flytter anlegget fra opprinnelig posisjon og tilfører anlegget store skader, stor brann, dersom det fremdeles er gass i flaskebanken som ligger rundt om kan denne varmes opp og føre til eksplosjon i flaskene, små BLEVE effekter, død og materielle skader	1.	IV
10.		Lav hastighet	Små skader på anlegget, liten gass lekkasje	3.	I
11.	Bil ulykke på vei ved anlegget	Deler fra biler treffer Nanobox	Skade på anlegg, gass på av veier, brann	1.	II
12.	Brann i bil ved anlegget	Varmer opp anlegget, utsetter CNG flaskebanken for påkjenning	Fører ikke til opphetning av CNG flaskebanken	2.	II
13.	Fylleslange sprekker / revner	Gass på av veier, sikkerhetsventil stenger tilførsel av gass dersom den oppfatter forandring i mottrykket, antennes	Liten brann i gass skyen, anlegg ut av drift	2.	I
14.		Gass på av veier, sikkerhetsventil stenger ikke, 250 bars trykk vil gjøre at slangen løper løpsk, antennes	Store person skader, jet brann	1.	IV
15.	Slange brudd ved fylling av kjøretøy	Kjøretøy kjører med slangen festet til bilen, lite gass på av veier, bruddventil stenger (9)	Anlegg ut av drift	3.	I
16.		Kjøretøy kjører med slangen festet til bilen, gass på av veier, bruddventil stenger ikke	Mye gass ut, brann	2.	II
17.	Skader pga. været	Lyn nedslag	Store ødeleggelser på anlegget, brann / eksplosjon	1.	III
19.		Sprengnings arbeid		2.	I

**Vedlegg H: Begrunnelse for frekvenser til CNG anlegg**

Begrunnelse for valgt frekvens til hendelsene		
Nr.	Betegnelse	Begrunnelse
<p>Når det kommer til bakgrunnsdata for fyllestasjoner til naturgassbiler er denne mangelfull. Gassfyllestasjoner har eksistert på verdensbasis i neste 40 år, mens i Norge har det kun vert fyllestasjoner for naturgassbiler i ca 15 år. I dag eksisterer det ca 10 CNG stasjoner i Norge. For å kunne sette en tilnærmet korrekt frekvens på de nevnte hendelsene, er tidligere ulykker og hyppigheten av disse lagt til grunn både på landsbasis og verdensbasis. Informasjonen er mangelfull, og det eksisterer lite data og statistikker på tidligere hendelser.</p> <p>Et annet moment er at de forskjellige komponenter og ventiler er EX sikret.</p>		
1.	Mindre sannsynlig	I følge DSB rapport "gassdistribusjonsprosjekt" er det vanskelig å sette en frekvens på denne type hendelser. Rapporten viser til at rørledningsnettet i Norge er lite og nytt i forhold til resten av Europa. Scandpower som har gjort analysen i rapporten til DSB har regnet en frekvens på bakgrunn av hendelser og rørledningsnett i land hvor denne typen gassdistribusjon er mye mer utbrett enn i Norge, og hvor mange av anleggene er gamle. De reduserer derfor frekvensen med en faktor ti ut fra at rørledningsnettene i Norge er nye og gjennomgående godt beskyttet. Samtidig sier rapporten at siden røret ligger i tettbygd område er det sårbart med tanke på overgraving. Ut fra dette settes frekvensen til 100 til 1000 år mellom hver hendelse.
2.	Lite sannsynlig	Ettersom det er strenge krav til vedlikehold på alle komponenter ved anlegget, og røret er av plast vil et brudd være svært lite sannsynlig.
3.	Lite sannsynlig	Ettersom det er strenge krav til vedlikehold på alle komponenter ved anlegget, og røret er av plast vil et brudd være svært lite sannsynlig.
4.	Lite sannsynlig	Alle komponentene i kompressoren er EX sikker i følge produsenten Galileo.
5.	Lite sannsynlig	Alle komponentene i den elektriske motoren er EX sikker i følge produsenten Galileo.
6.	Lite sannsynlig	Små lekkasjer i nanoboxen er ikke uvanlig i følge Jonny Ødegård hos Nærgass, disse i seg selv er ikke farlige ettersom det er EX sikring på alle komponenter i boksen. At gassen skal antenne på utsiden samtidig som systemet ikke stenger gasstilførselen er lite sannsynlig.
7.	Mindre sannsynlig	Små lekkasjer i nanoboxen er ikke uvanlig i følge Jonny Ødegård hos Nærgass, men at den antenner når den kommer ut er svært uvanlig. Derfor skjer ikke denne hendelsen mer enn mellom 100 -1000 år.
8.	Mindre sannsynlig	Samme utfall som hendelse 7.
9.	Lite sannsynlig	Ettersom anlegget settes opp i tettbygd område er det få muligheter for å komme opp i høy hastighet med bil. Ytre barrierer som trafikk øyer på hver side, og søyler som holder taket, som er strategisk plassert for å hindre påkjørsel. Dette gjør at denne hendelsen er lite tenkelig. At stengeventilen også svikter gjør at enda en barriere har sviktet og hendelsen blir mer sjelden.

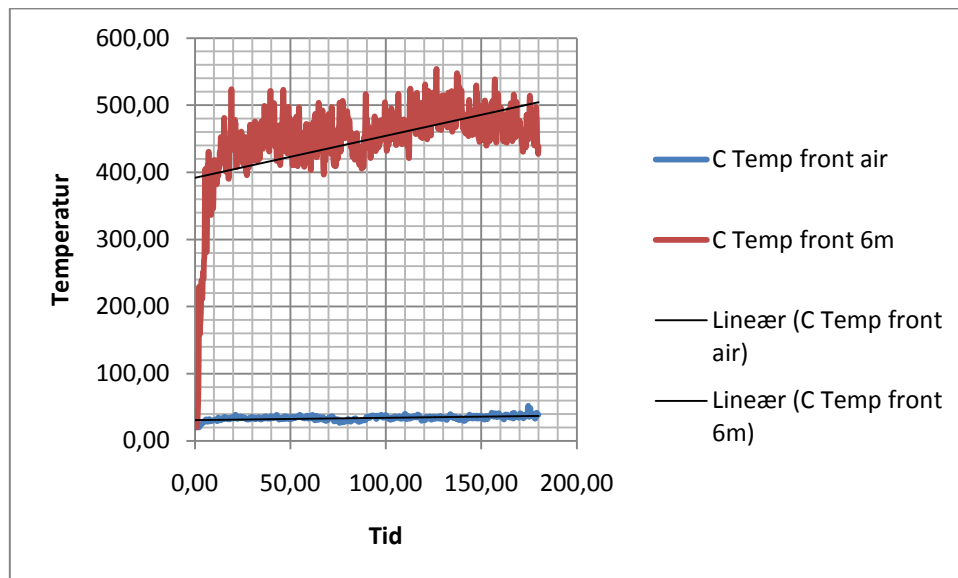


10.	Sannsynlig	Det kan forekomme at anlegg blir streifet av biler i lav hastighet, dette skjer oftest når biler kjører inn for å fylle. Sjelden skader.
11.	Lite sannsynlig	Ettersom anlegget plasseres i tettbygd strøk vil ikke hastigheten på bilene være så høye at en kollisjon skal føre til store ødeleggelser på anlegget.
12.	Mindre sannsynlig	Brann i bil ved anlegget kan forekomme, men skjer sjeldent. Ettersom det eksisterer kun 10 CNG stasjoner i Norge, er dette en hendelse som ikke har forekommet enda. Tar en utgangspunkt i resten av verden, har dette skjedd. Det som er viktig å merke seg er at det er lite statistikk på dette, og mye av det som er kommer fra land som har eldre anlegg og biler en hva man har i Norge.
13.	Mindre sannsynlig	I Norge er det ca 10 CNG anlegg, med tanke på vedlikehold, inter kontroll og regelverk rundt CNG anlegg, skjer ikke slike hendelser. Men pga. produksjonsfeil på slangen kan forekomme, er det rett å konkludere med 100 - 1000 anleggs år mellom slike hendelser.
14.	Lite sannsynlig	Denne hendelsen har samme begrunnelse som hendelse 13. men i tillegg må en barriere til brytes, sikkerhetsventilen må feile. Ut fra dette er det korrekt å si at denne hendelsen ikke kommer til å skje oftere enn 1000 år.
15.	Sannsynlig	Ettersom man slipper å holde slangen fysisk under påfylling og fyllingen ikke blir operert av fagfolk er dette en hendelse som kan hende.
16.	Mindre sannsynlig	Ettersom man slipper å holde slangen fysisk under påfylling og fyllingen ikke blir operert av fagfolk kan det antas at personer kan kjøre med slangen festet til bilen, men at "brake away" ventilen ikke skal fungere i tillegg er mindre sannsynlig. Nok en barriere må da svikte.
17.	Lite sannsynlig	Tatt i betraktning at det er ca 500 lyn nedslag på vestlandet i året, og ingen historikk forteller om hyppige/ store ulykker i forbindelse med disse, er det lite sannsynlig at en slik hendelse vil inntreffe. LNG tanken er utstyrt med lyn avleder.
18.	Lite sannsynlig	Jordskjelv er ikke et kjent fenomen på vestlandet
19.	Mindre sannsynlig	Pga. utvidelse av Karmsundsgata i Haugesund er denne hendelsen tatt med i betraktningene.



Vedlegg I: FDS simulering

FDS simulering blir brukt for å forutsi hvordan en brann utvikler seg. Det er vanskelig å beregne en branns eksakte forløp. Denne simuleringen er gjort for å finne temperaturen på en vegg. Under følger temperatur grafen og til slutt programmeringen av simuleringen.



Graf av temperaturen på tanken

/ Brann i tankbil 1,5 m over bakken

/Laget av Bjarne Paulsen, Modifisert av Einar Kolstad

```
&HEAD CHID='tank', TITLE='Tank'/
```

```
&TIME T_END=180, /
```

```
&MESH ID='MESH', IJK=60,34,75, XB=-3.0,3.00,-1.7,1.70,0.00,7.5/ (10*10*10 cm) 6 m * 3.4 m * 7.5 m
```

```
&REAC ID='Fire',  
  C=3.00,  
  H=8.00,  
  O=0.00,  
  N=0.00,  
  X_O2_LL=0.00,  
  SOOT_YIELD=0.1000/
```

```
&SURF ID='ADIABATIC',  
  COLOR='GRAY 80',  
  ADIABATIC=.TRUE./
```

```
&SURF ID='Fire',  
  COLOR='RED',  
  HRRPUA=50000.00/ ! Petroleum
```

```
&OBST XB=2.00,2.7000,-0.5000,0.500,0.00,1.000, RGB=255,51,51, SURF_IDS='INERT','ADIABATIC','ADIABATIC'/ Obs.brannområde
```

```
&VENT SURF_ID='Fire', XB=2.00,2.7000,-0.5000,0.500,1.00,1.00/ Vent
```

```
/Plassering av hindringer
```



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

&OBST XB=-0.10,0.10,-2.00,2.00,0.000,2.50, COLOR='ORANGE', SURF_ID='LIGHT-CONCRETE-WALL'/ Murvegg
&OBST XB=1.0,1.200,1.80,2.00,0.00,1.80, RGB=0,0,255, SURF_ID='LIGHT-CONCRETE-WALL'/ illustrasjon av menneske på 1.80
&OBST XB=-2.1,-1.1,-1.5,1.5,0.00,7.00, COLOR='GRAY', SURF_ID='ISOL',/Projeksjonen av tanken med vegg tykkelse

/ Åpning av siderne

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-3.0, 3.00, -2.0,-2.0, 0.00,10.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-3.0, 3.00, 2.00, 2.00, 0.00,10.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-3.0,-3.0, -2.0, 2.00, 0.00,10.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent
&VENT SURF_ID='OPEN', XB= 3.00, 3.00, -2.0, 3.00, 0.00,10.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent

/ Åpning av top

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-3.0,3.00,-2.0,2.00,10.00,10.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent

/ _____
/
/ 10.0 Uddata
/ _____

/ Måling av temperatur på tanken

&DEVC XYZ=-1.0,0.0,5.0, QUANTITY='TEMPERATURE',		ID='Temp front air' /
&DEVC XYZ=-1.1,0.00,5.0, QUANTITY='NET HEAT FLUX',	IOR=1,	ID='Net heat flux front' /
&DEVC XYZ=-1.1,0.00,5.0, QUANTITY='CONVECTIVE HEAT FLUX'	IOR=1,	ID='Convective heat flux front' /
&DEVC XYZ=-1.1,0.00,5.0, QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'	IOR=1,	ID='Raditative heat flux front' /
&DEVC XYZ=-1.1,0.00,5.0, QUANTITY='GAUGE HEAT FLUX',	IOR=1,	ID='Gauge Heat Flux front' /
&DEVC XYZ=-1.1,0.00,5.0, QUANTITY='INCIDENT HEAT FLUX',	IOR=1,	ID='Incident heat flux front' /
&DEVC XYZ=-1.1,0.00,5.0, QUANTITY='RADIOMETER',	IOR=1,	ID='Radiometer' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,6.9, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',	IOR=1,	ID='Temp front 7m' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,6.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',	IOR=1,	ID='Temp front 6m' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',	IOR=1,	ID='Temp front 5m' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,4.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',	IOR=1,	ID='Temp front 4m' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,3.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',	IOR=1,	ID='Temp front 3m' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,2.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',	IOR=1,	ID='Temp front 2m' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,1.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',	IOR=1,	ID='Temp front 1m' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,0.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',	IOR=1,	ID='Temp front 0m' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.05, IOR=1		ID='Temp 5 mm' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.10, IOR=1		ID='Temp 10 mm' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.20, IOR=1		ID='Temp 20 mm' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.30, IOR=1		ID='Temp 30 mm' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.40, IOR=1		ID='Temp 40 mm' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.50, IOR=1		ID='Temp 50 mm' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.60, IOR=1		ID='Temp 60 mm' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.70, IOR=1		ID='Temp 70 mm' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.80, IOR=1		ID='Temp 80 mm' /
&DEVC XYZ=-1.10,0.0,5.0, QUANTITY='INSIDE WALL TEMPERATURE', DEPTH=0.90, IOR=1		ID='Temp 90 mm' /
&DEVC XYZ=-2.10,0.0,5.0, QUANTITY='WALL TEMPERATURE',	IOR=-1,	ID='Temp back' /
&DEVC XYZ=-2.15,0.0,5.0, QUANTITY='TEMPERATURE',		ID='Temp back air' /

/ Temperatur gjennom midten og foran tanken

/ &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=-1.10/

/Viser overflate temperaturen

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE', /

/ Plot 3D fil hvert sekund



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

&DUMP DT_PL3D=1.00, WRITE_XYZ=.TRUE., PLOT3D_QUANTITY='soot','TEMPERATURE','U-VELOCITY','V-VELOCITY','W-VELOCITY'/

&MATL ID = 'STEEL'
EMISSIVITY = 0.5
DENSITY = 7850.
CONDUCTIVITY = 45.8
SPECIFIC_HEAT = 0.46 /

&MATL ID = 'LIGHT-CONCRETE'
DENSITY = 1200.
CONDUCTIVITY = 1.0
SPECIFIC_HEAT = 0.88 /

&SURF ID = 'LIGHT-CONCRETE-WALL'
RGB = 170,170,170
MATL_ID = 'LIGHT-CONCRETE'
BACKING = 'EXPOSED'
THICKNESS = 0.3 /

&MATL ID = 'PERLITE'
EMISSIVITY = 0.7
DENSITY = 250.
CONDUCTIVITY = 0.0387
SPECIFIC_HEAT = 0.46

&SURF ID = 'ISOL'
MATL_ID = 'PERLITE'
THICKNESS = 1.0
BACKING = 'EXPOSED'/

&SURF ID = 'WALL'
MATL_ID = 'LIGHT-CONCRETE'
THICKNESS = 0.1
BACKING = 'EXPOSED' /

&TAIL /

HGC 303 Analysis Report

Source : Gass Inn L1 Report Date - Time : Jan-12-2006 9:00:12
 Station : Snurre Analysis Date - Time : Jan-12-2006 8:58:00
 Station Name : MR Process Pressure :
 Field : Snurrevarden Process Temp. :

File Name :

Gas Analysis by HGC 303

PV	Name	Raw mol %	Normalized mol %
PV1	C6+	0.006	0.006
PV2	C3H8	0.708	0.714
PV3	i-C4H10	0.031	0.031
PV4	n-C4H10	0.046	0.046
PV5	neo-C5H12	0.000	0.000
PV6	i-C5H12	0.000	0.000
PV7	n-C5H12	0.008	0.008
PV8	N2	1.009	1.017
PV9	CH4	90.470	91.148
PV10	CO2	1.749	1.762
PV11	C2H6	5.229	5.268
	Helium	-----	-----
	Total	99.256	100.000

PV16	Total (except He)	99.256
------	-------------------	--------

HGC Configuration data

PV outputs

PV	Configuration data
PV12	SCV (real) (MJ/m3)
PV13	Density(real) (kg/m3)
PV14	Wobbe index(real) (MJ/m3)
PV15	Compressibility Factor
PV16	Total of raw concentrations
PV17	Oven temperature
PV18	Carrier gas pressure
PV19	ICV (real) (MJ/m3)
PV20	Relative Density (real)

Reference conditions

Combustion temperature	15.00	degree C
Metering temperature	15.00	degree C
Atmospheric pressure	101.325	kPa

Helium option

Helium output (mol%)	Condition
-----	-----
-----	-----
-----	-----
-----	-----

Heat Value Calculation by HGM

	Ideal		Real	
Superior Calorific Value (SCV)	38,6361	MJ/m3	38,7262	MJ/m3
Inferior Calorific Value (ICV)	34,8510	MJ/m3	34,9323	MJ/m3
Density	0.7460	kg / m3	0.7477	kg / m3
Relative density	0.6090		0.6102	
Wobbe Index	49,5094	MJ/m3	49,5775	MJ/m3
Compressibility Factor	0.9977			

HGC Status : OK

Vedlegg K

Fuel Stations Selection Guide

Liquid Natural Gas – The Clean Fuel for Today and Tomorrow



A division of Chart Industries



A division of Chart Industries

LNG

The preferred fuel for heavy-duty vehicles.

Clean Burning LNG

According to Natural Gas Vehicle Coalition data, dedicated natural gas vehicles can reduce exhaust emissions from diesel engines by up to the following percentages:

Carbon monoxide (CO)	70%
Non-methane organic gas (NMOG)	87%
Oxides of nitrogen (NOx)	87%
Carbon dioxide (CO ₂) (below gasoline emissions)	20%

LNG Properties

- Cryogenic Liquid -260° F (-162° C)**
Yes, LNG is cold; but vacuum-jacketed piping and dispensing components keep the cold inside, and not outside the pipes and dispensers.
- 98% Methane**
In the process of liquefaction, most natural gas impurities are filtered out. LNG is the feedstock that produces the highest quality natural gas for vehicle engines.
- Lighter Than Air**
Unlike diesel or propane, fumes don't linger at ground level where they might contaminate ground water. Instead, they quickly dissipate.
- Low Pressure**
LNG is stored at pressures of 50 PSI (3.5 bar) to 150 PSI (10.3 bar) versus a pressure of 3,000 PSI (206.8 bar) to 3,600 PSI (248.2 bar) for CNG. Reduced pressure lessens the chance for a leak, and reduces the consequence of a leak if it should occur.
- High Ignition Temperature**
999° F versus 480° F for diesel
- Small Flammability Range**
5% to 15% of atmosphere versus 1% to 99% for gasoline
- High-Energy Density**
3.5 times the density of CNG. The benefit is you need a lot less on-board storage for LNG than you do for CNG.

LNG Precautions

- Always use gloves to prevent obvious exposure to hands and fingers.
- Always use eye protection.

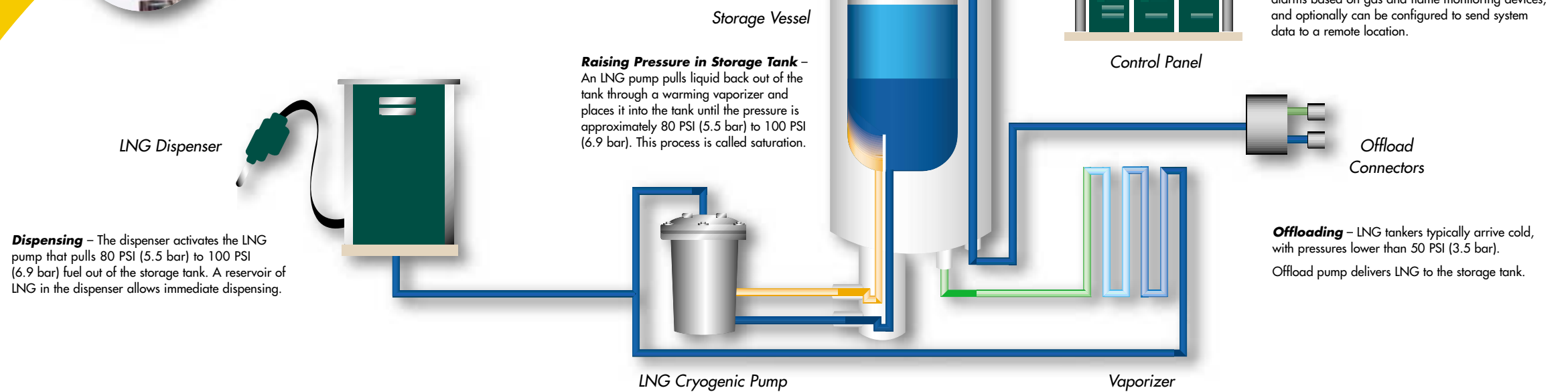


Chart Industries, Inc.



LNG – Liquid Natural Gas How the Station Works

LNG stations are designed to deliver LNG to vehicle tanks at a pressure of 75 PSI (5.2 bar) to 120 PSI (8.3 bar), which is the pressure natural gas engines need to run properly.



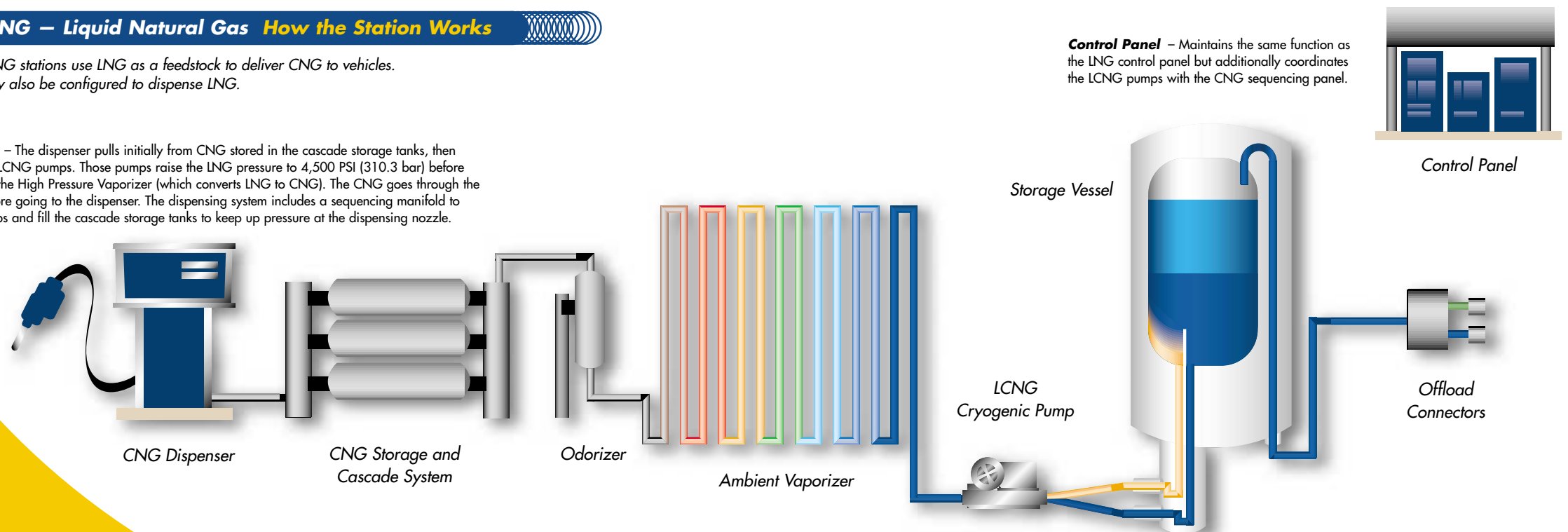
NexGen Fueling has supplied over 99% of the LNG onboard fueling systems in use today



LCNG – Liquid Natural Gas How the Station Works

LCNG stations use LNG as a feedstock to deliver CNG to vehicles. May also be configured to dispense LNG.

Dispensing – The dispenser pulls initially from CNG stored in the cascade storage tanks, then activates the LCNG pumps. Those pumps raise the LNG pressure to 4,500 PSI (310.3 bar) before sending it to the High Pressure Vaporizer (which converts LNG to CNG). The CNG goes through the odorizer before going to the dispenser. The dispensing system includes a sequencing manifold to activate pumps and fill the cascade storage tanks to keep up pressure at the dispensing nozzle.



Station Selection Chart

NexGen Fueling offers a wide variety of stations, from small temporary stations to large custom stations, that provide both CNG and LNG dispensing for upwards of 200 vehicles. The stations are designed with a modular approach so that components can be quickly installed and serviced, and most of the stations are designed to be easily upgraded in the future.

One-Stop Complete Service

- Pre-bid assistance in sizing station, station design and site selection
- Assist in obtaining permitting and regulatory approvals
- Plants in Plaisitow, NH; New Prague, MN; and Burnsville, MN manufacture most of the station's key components
- Supervise and install, test and debug, and assist in a station's early operations
- Monitor station's performance and status remotely
- Service personnel stationed in key markets

From Design to Commissioning

NexGen Fueling has an engineering and sales staff experienced in all aspects of station design. We will help you set up the design and functional specifications for the station as well as provide installation, commissioning and training.

* All prices are in US dollars and are estimates based on typical installation. Prices may change based on specific site and performance requirements

V LNG 230

Demonstration Fueler for 1-2 Vehicles

\$30 Investment* (US \$ Thousands)

2 Number of Vehicles

NO Expandable



Spill Containment at Site
By Customer

Offloading
Pressure Transfer

Metering
None

\$30,000

ORCA

Mobile Fueler for Fleet Start-Ups

\$300 Investment* (US \$ Thousands)

30 Number of Vehicles

NO Expandable



Spill Containment at Site
By Topography or Other Means

Offloading
Pressure Transfer

Metering
2.5% Accurate Metering

\$300,000

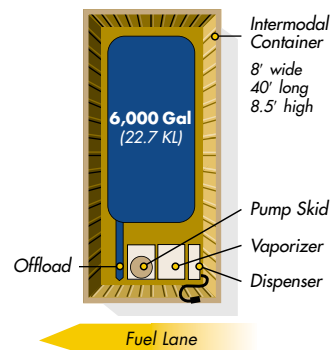
IMC 6000

Lowest Cost Introduction to LNG Fuel Stations

\$350 Investment* (US \$ Thousands)
\$225 Equipment
\$125 Installation

30 Number of Vehicles

NO Expandable



Spill Containment at Site
Integrated in IMC

Offloading
Multi-Function Pump Skid

Metering
10% Accurate Metering

\$350,000

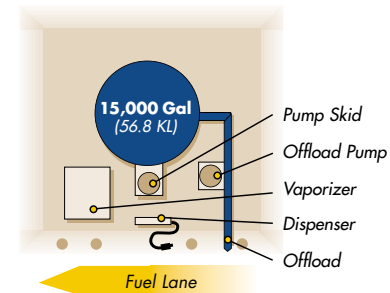
NG-15/1i

Low Cost Fueling Station for Private Fleets

\$575 Investment* (US \$ Thousands)
\$425 Equipment
\$150 Installation

40 Number of Vehicles

NO Expandable



Spill Containment at Site
By Topography or Other Means

Offloading
Multi-Function Pump Skid

Metering
2.5% Accurate Metering

\$575,000

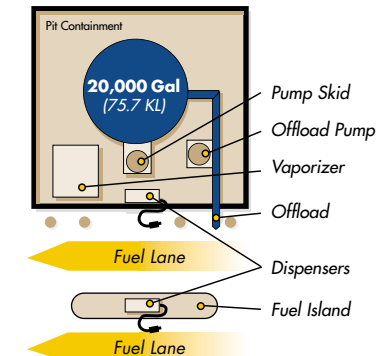
NG-15/1

Preferred Fuel Station Offering for Growing Fleets

\$750 Investment* (US \$ Thousands)
\$600 Equipment
\$150 Installation

70 Number of Vehicles

YES Expandable



Spill Containment at Site
Designed Full Containment Without Transfer Area

Offloading
Multi-Function Pump Skid

Metering
1.5% Accurate Weights and Measures Metering

\$750,000

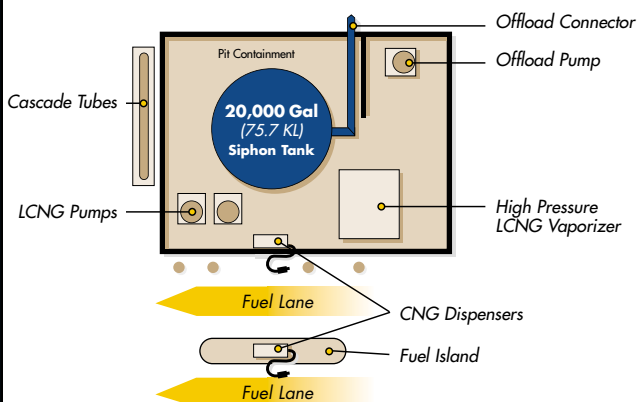
NG-20/2

CNG from LNG Station for a Private Fleet

\$975 Investment* (US \$ Thousands)
\$800 Equipment
\$175 Installation

80 Number of Vehicles

YES Expandable



Spill Containment at Site
Designed Full Containment Without Transfer Area

Offloading
Multi-Function Pump Skid

Metering
1.5% Accurate Weights and Measures Metering

\$975,000

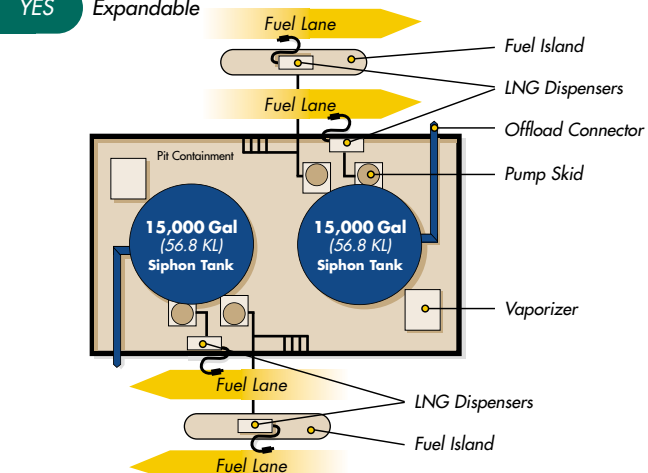
NG-30/4

Preferred Fuel Station Offering for Growing Fleets

\$1,500 Investment* (US \$ Thousands)
\$1,250 Equipment
\$250 Installation

165 Number of Vehicles

YES Expandable



Spill Containment at Site
Designed Full Containment With Transfer Area

Offloading
Multi-Function Pump Skid

Metering
1.5% Accurate Weights and Measures Metering

\$1,500,000

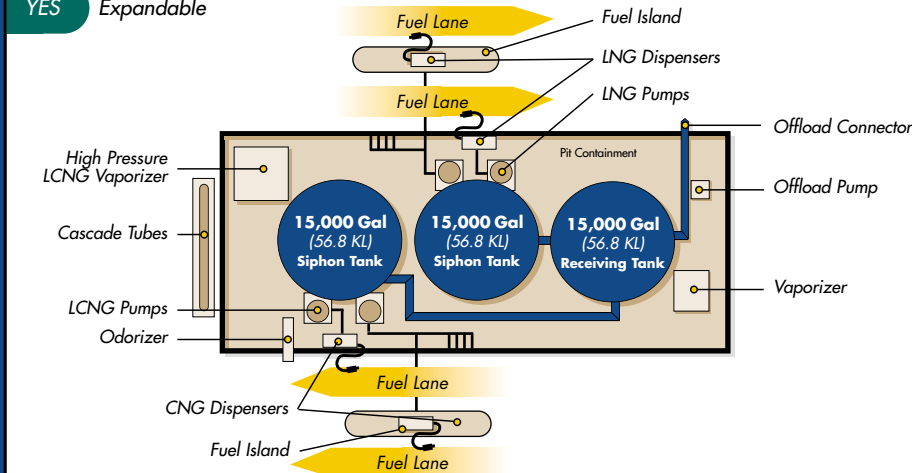
NG-45/4

Preferred Fuel Station Offering for Growing Fleets

\$2,200 Investment* (US \$ Thousands)
\$1,800 Equipment
\$400 Installation

200 Number of Vehicles

YES Expandable



Spill Containment at Site
Designed Full Containment With Transfer Area

Offloading
Dedicated Ground Pump, Separate Receiving Tank, 24/7 Dispensing

Metering
1.5% Accurate Weights and Measures Metering

\$2,200,000

Sampling of Fuel Stations

1 Waste Management – El Cajon, CA
LNG station with three 15,000 gallon tanks, a dedicated offloading pump and four LNG dispenser station with two fuel lanes to serve a fleet of 165 refuse trucks. Below grade pit containment. *Completion date: 2/01*

2 Waste Management – Washington, PA
LNG/LCNG station with one underground 15,000 gallon storage tank with one LNG and one LCNG dispenser. Fuels fleet of 25 refuse haulers with one fuel lane. At grade containment with a crash barrier. *Completion date: 5/97*

3 City of San Diego Waste Management & Environmental Services – San Diego, CA
One 15,000 gallon tank and a multipurpose pump for offloading and dispensing, one remote dispenser and one fuel lane to serve refuse trucks. Serves up to 150 LNG vehicles. Expansion for an additional 15,000 gallon storage tank is designed in for future build out. Pit containment. *Completion date: 2/01*

Vons/Safeway – Sante Fe Springs, CA
LNG station with one 13,000 gallon tank with pressure transfer unloading, a free-standing fuel tank and one fueling lane. The site has expansion designed in for a future 15,000 gallon storage tank and additional dispensers. Now serves 40 LNG delivery trucks. Future build out will fuel more than 100 vehicles. Below grade pit containment. *Completion date: 1/01*

4 Sun Metro – El Paso, TX
LNG/LCNG station with three 20,000 gallon vertical storage tanks feed three LNG and two LCNG dispensers. Offload pump with independent pumps for LNG and CNG dispensing and a CNG cascade storage system, which includes three CNG storage tubes. Four fuel lanes serving over 100 vehicles per day. Containment pit. *Completion date: 4/96*

5 Orange County Transportation Authority – Orange County, CA
LNG station with two underground 30,000 gallon tanks, four remote LNG dispensers, four LNG submerged pumps, and two dedicated offload pumps. Four fuel lanes serve 220 buses per day. Buried containment field. *Completion date: 6/01*

Zhongyuan – Beijing, China
LNG station with one 13,000 gallon tank, and a multipurpose pump skid for offloading and dispensing. One CNG dispenser and one fuel lane serve up to 100 buses per day. Field containment. *Completion date: 1/02*

6 Applied LNG Technologies (ALT) – Amarillo, TX
Two LNG mobile fueling Orcas with 3,450 gross capacity, one truck mounted and one trailer mounted. Orcas have an LNG pump and dispenser. *Completion date: 9/01*

7 Phoenix Transit – Phoenix, AZ
LNG station with two 30,000 gallon vertical tanks, offloading through a separate offload pump. Three free-standing LNG dispensers on separate islands with three fuel lanes. Fuels over 220 LNG buses in an eight hour period. At grade containment with a 4' wall. *Completion date: 8/98*

Citensy – Lueven, Belgium
LNG/LCNG/hydrogen station. One 15,000 gallon storage tank, two CNG dispensers, one LNG dispenser, one hydrogen dispenser with dedicated pump offload. Public access station with three fuel lanes and pit containment to serve up to 100 vehicles per day. *Completion date: 6/02*

8 LAX – Los Angeles, CA
LNG/LCNG station with a single 13,000 gallon horizontal tank, dedicated offload pump, two remote CNG dispensers and one LNG dispenser on the containment wall with two fuel lanes. Serves over 50 CNG vehicles. At grade containment with a crash barrier. *Completion date: 5/99*

LNG—LCNG Stations A Modular Approach

NexGen Fueling Stations are designed with a modular approach with options to minimize and speed installation and maintenance.

	Equipment	How it works	Benefits	Drawbacks	Cost Premium
Offloading Options					
Pressure Transfer	Offloading Connections	Vaporizers on tanker Raise tanker pressure until it overcomes storage tank pressure	Lowest cost, no additional pumps required	Can take two hours or more to offload Significant losses in LNG during transfer	Included in base price of station
Multi-Function Pump Skid	Offloading Connections Multi-Function Pump Skid	Pump-assisted offloads Pump also used as dispensing pump	Cut offload time to less than two hours	Can't dispense while offloading	Additional \$10,000 to \$15,000 over base price
Dedicated Offloading Pump Skid	Offloading Connections Offloading Pump Skid	Pump-assisted offloads	Large volume. Cuts offload time by 1 hr. Can dispense while offloading if LNG is saturated properly	Requires an additional pump skid Short cool down cycle required	Additional \$10,000 to \$15,000 over base price
Separate Receiving Tank	Offloading Connections Offloading Pump Additional Storage Tank and Distribution Pump Skid	Receiving tank distributes LNG to tanks that feed dispensers	Allows offloading and uninterrupted 24/7 fueling	Most expensive option	Additional \$150,000 to \$250,000 over base price
Dispensing Pumps					
Stand Alone Pump <i>Note: One pump required per dispenser</i>	Single Function Pump Skid	Submerged pump in LNG for instant start-up Dedicated to dispensing only	Maximum redundancy for multiple dispensers No cool down required	Single-purpose pump Piping, etc. installed on site rather than at factory	Included in base price of station
Multi-Function Pump System <i>Note: This skid is used both for offloading and dispensing</i>	Multi-Function Pump Skid	Submerged pump in LNG Multi-function skid controls for offloading, saturation and dispensing	No cool down required Allows dispensing at remote islands Factory built for ease of installation	Higher cost	Additional \$10,000 to \$15,000 per pump over base price
Dispensers					
Wall Mount ± 10% accuracy	Dispenser Model D4	Variable frequency drives, pump and dispensing nozzles controlled by the main LNG system PLC	Low cost	Fueling lane must be adjacent to station No composition compensation for flow rates	Included in base price of station
Remote or Wall Mount ± 1.5% accuracy	Dispenser Model D10	Variable frequency drives, pumps and dispensing nozzles with a dedicated metering controller and dispenser PLC	Can be located on a remote fuel island Weight and measures metering	Higher cost	Additional \$15,000 to \$20,000 per dispenser over base price
Tanks					
Vertical, from 6,000 to 30,000 (22,700 to 113,500 L)	Vertical Storage Tank	Thermosiphon Tanks Piping, valves and assorted trim	Smallest footprint Lower cost	Tanks will be 40 to 50 feet high	Included in base price of station
Horizontal, from 6,000 to 30,000 (22,700 to 113,500 L)	Horizontal Storage Tank	Thermosiphon Tanks Piping, valves and assorted trim	Meets height restrictions that apply in certain locations	Requires large containment area and large concrete pad	Additional \$20,000 to \$50,000 per tank over base price
Underground Horizontal, from 20,000 to 30,000 (75,700 to 113,500 L)	Horizontal Storage Tank	Piping, valves and assorted trim	Meets permitting restrictions for sites close to airports	Requires more civil work Requires inspection every five years to be sure tank is not leaking May require boost pumps	Additional \$250,000 to \$400,000 per tank over base price
Containment					
At Grade Containment	Grade level with walls or trenches to contain spills	Contains spill from 10,000 (37,850 L) gal. tanker. Spill dissipated to atmosphere	Lowest cost	Requires a much larger footprint for LNG site More difficult to recover LNG	Included in base price of station
Below Grade Pit Containment	Sump pump required for rain water	Pit contains LNG spill	Most effective way to contain a spill per NFPA Easiest clean up	More stringent site requirements	Additional \$40,000 to \$100,000 over base price



A division of Chart Industries

NexGen Fueling Invites You to Attend Liquefied Natural Gas Training School

NexGen Fueling, the leading supplier of LNG products to the alternative fuels industry, invites you to attend the NexGen Fueling LNG Training School.

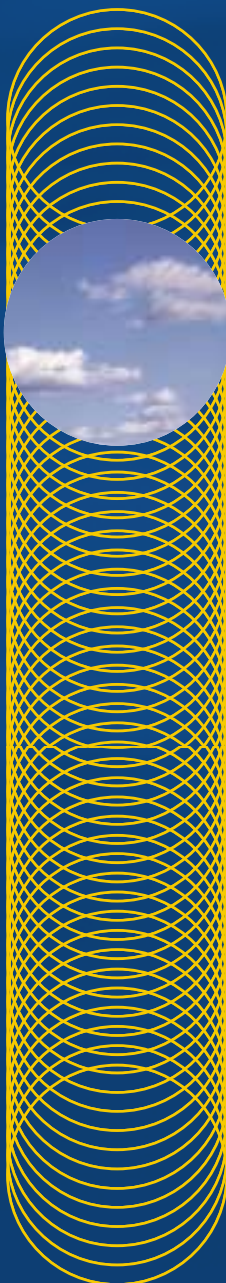
This two-day course is offered at NexGen Fueling's headquarters in Burnsville, MN (in the Minneapolis, MN area). The course will offer a general LNG product overview, the theory of cryogenics and vacuum technology. Design, operation, performance and safe handling of LNG vehicle tanks and fuel stations, as well as some "hands on" training for general maintenance and repairs. The course also includes a tour of one of the NexGen Fueling's manufacturing facilities.

The course is free but class size is limited.

For more information call -

Tel: **(800) 838-3803** or Fax: **(952) 882-5080**

E-Mail: training@nexgenfueling.com



LNG Station Safety Features

Alarm Systems

NexGen Fueling's fuel stations include gas and flame detection as well as emergency shutdown buttons. A low level of flammable gas at 20% of the flammable limit will give a visual alarm. Gas levels to 40% flame detection or an emergency shutdown button give visual and audible alarms and shut down the station to a safe condition. Hard contacts are available for remote monitoring services that can in turn call emergency services.

Emergency Shutdown Features

Fail-safe valves that isolate the storage tank in the event of an automatic shutdown protect all main LNG connections. The shutdown signal is further supported by a redundant system of pneumatic lines that will close these valves when subject to heat.

Dispensing safety is enhanced with drive-away protection on each fueling hose. NexGen Fueling's frangible breakaway device instantly shuts down dispensing operations while also protecting the dispenser and nozzle.

NFPA 57 & NFPA 59A Containment Area

NFPA 57 and NFPA 59A Chapter 10 are guidelines for LNG and LCNG station spill containment. NFPA 57 section 3-2.33 requires containment for a 10-minute worst case spill from offload equipment. The standard site preparation includes an at grade foundation and containment by means of a wall. Alternately, the site can be configured with the foundation below grade. The offload area can then be sloped to drain into the primary containment area.

Codes and Regulations Met:

NFPA 57, NFPA 59A, NFPA 70, NFPA 72
Uniform Building Code, California Title 8,
ASME Sec. VIII div. 1, ANSI B31.3

**3505 COUNTY ROAD 42 WEST
MINNEAPOLIS, MN 55306-3803
TEL: 1-800-838-0856
FAX: 952-882-5172**

**2970 AIRWAY AVENUE
COSTA MESA, CA 92626
TEL: 714-966-0731 EXT. 119
FAX: 714-966-0236**

**1300 AIRPORT DRIVE
CANTON, GA 30107
TEL: 770-720-6770
FAX: 770-479-4603**

**BROSSHAUSER STR. 20
D-42697 SOLINGEN, GERMANY
TEL: 011-49-212-700570
FAX: 011-49-212-700577**

WEB: WWW.NEXGENFUELING.COM • E-MAIL: MARKETING@NEXGENFUELING.COM

US PAT NO: 4,956,975 • 5,121,609 • 5,163,409 • 5,228,295 • 5,228,582 • 5,373,702 • 5,404,918 • 5,411,374
5,421,161 • 5,421,162 • 5,421,160 • 5,477,690 • 5,518,140 • 5,537,824 • 5,542,255 • 5,551,488
5,572,875 • 5,616,838 • 5,651,473 • 5,682,750 • 6,044,647 • RE35874 • OTHER PATENTS PENDING



www.chart-ind.com