

Rapport

Brannsikkerhet ved bruk av gassbeholdere i bygg

Forfattere:

Christian Sesseng, Are Wendelborg Brandt, Franz Evegren (RISE Safety & Transport)



Brannsikkerhet ved bruk av gassbeholdere i bygg

VERSJON
1

DATO
2018-01-17

FORFATTERE

Christian Sesseng, Are Wendelborg Brandt, Franz Evegren (RISE Safety & Transport)

OPPDRAGSGIVER
Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

OPPDRAGSGIVERS REF.
Berit Svensen

PROSJEKTNR.
20237

ANTALLSIDER OG VEDLEGG:
39 + 1 vedlegg

SAMMENDRAG

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). DSB har bedt RISE Fire Research om å bistå med evalueringer knyttet til bruken av gassbeholdere ved serveringssteder, overnattingssteder og forsamlingslokaler.

Prosjektet er delt inn i fire deloppgaver:

1. Kartlegge hvordan bruk av gassbeholdere reguleres i andre land.
2. Vurdere sannsynligheten for lekkasje fra LPG-flaske som ikke er tilkoblet gassforbrukende utstyr.
3. Vurdere sannsynligheten for gasslekkasje i rør, slange, koblinger, ventiler, regulatorer mv.
4. Beskrive aktuelle tiltak, også organisatoriske, for å redusere risiko.

UTARBEIDET AV
Christian Sesseng

SIGNATUR

KONTROLLERT AV
Anne Steen-Hansen

SIGNATUR

GODKJENT AV
Paul Halle Zahl Pedersen

SIGNATUR

RAPPORTNR.
A18 20237:1

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1	2018-01-17	Første versjon.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	4
Summary in English	6
1 Innledning	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Målsetting	8
1.3 Metode	8
1.4 Begrensninger	9
2 Definisjoner	10
3 Sammenfatting av eksisterende regelverk	11
3.1 Begrensninger	11
3.2 Norge	11
3.3 Sverige	12
3.4 Danmark	14
3.4.1 Generelle krav	14
3.4.2 Bolig- og fritidsbruk	15
3.4.3 Midlertidige installasjoner til festivaler og lignende	15
3.5 New Zealand	15
3.6 USA	16
4 Gassbeholdere i brann	18
5 Risikoanalyse	21
5.1 Fareidentifisering	21
5.2 Feiltreanalyse	23
5.3 Frekvens- og sannsynlighetsberegninger	27
5.3.1 Lekkasje	27
5.3.2 Gassansamling	32
5.3.3 Tennkilde	32
5.3.4 Antennelse	32
6 Diskusjon	34
7 Konklusjoner	37
Referanser	38

Vedlegg A: Failure Mode and Effect Analysis

Sammendrag

I forbindelse med revidering av det norske regelverket for bruk av gassbeholdere i bygg, har Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) bedt RISE Fire Research utrede risikoen ved bruk av gassbeholdere i bygg, samt å se på regelverk og erfaringer fra et utvalg av andre land.

I dagens regelverk er det ikke tillatt å oppbevare gassbeholdere innendørs ved serveringssteder, overnattingssteder eller forsamlingslokaler uten at særskilte tiltak blir gjennomført. Dette unntaket har vært tolket strengt, og i praksis er det kun en nisjeløsning (jf. kapittel 3.2) som er akseptert. Dette kan i enkelte tilfeller medføre noen ulemper og utfordringer, noe som gjør at regelverket av praktiske grunner ikke blir fulgt. Det er derfor et ønske om at det blir gjennomført en grundig kartlegging av hvilken risiko det medfører å oppbevare gass i de aktuelle lokalene, og utifra det vurdere om dagens regelverk kan lempes på uten at dette går på bekostning av sikkerheten.

Når man sammenligner det norske regelverket med de utenlandske regelverkene som er gjennomgått i dette prosjektet, ser man at det norske regelverket stiller strengere krav til bruken av gassbeholdere ved serveringssteder, overnattingssteder eller forsamlingslokaler enn det som er gjennomgående i de andre landene (med unntak av USA). Det er forøvrig uvisst hva som ligger til grunn for kravene som er satt i de enkelte regelverkene.

I risikoanalysen ble det sett på risikoene knyttet til både utendørs oppbevaring av gassbeholdere, slik regelverket krever per i dag, samt lagring og bruk av gassbeholdere innendørs ved serveringssteder, overnattingssteder eller forsamlingslokaler.

Vi ser at det knytter seg ulike risikoer til de to alternativene. Ved utendørs lagring og innendørs bruk vil systemet inneholde flere komponenter hvor det kan oppstå lekkasje. Samtidig er sannsynligheten for at systemet ikke blir stengt ved gassbeholderen betydelig større. Ved innendørs lagring og bruk, vil det normalt være kortere vei mellom gassflaske og konsument (gassforbrukende apparat), noe som medfører færre komponenter og dermed færre potensielle lekkasjer. Det er med andre ord ikke høyere sannsynlighet for gasslekkasje og antennelse om man oppbevarer gassen innendørs sammenlignet med utendørs.

Derimot vil konsekvensene kunne bli betydelig større ved å flytte gassbeholdere innendørs. Man må derfor iverksette sikkerhetstiltak for å redusere eksplosjonsfare forbundet med gassbeholdere. Med bakgrunn i det vi har kommet frem til i dette prosjektet, så mener vi derfor at det kan åpnes for at gassbeholdere kan oppbevares og benyttes innendørs ved serveringssteder, overnattingssteder og forsamlingslokaler, så fremt følgende kriterier oppfylles:

- Gassbeholderne oppbevares i egnet lagringsrom/-skap, også under bruk (EI60).
- Gassbeholderne tilkobles konsument via åpent rørsystem, med så få skjøter som mulig.
- Tillatelse til å oppbevare maks 2 gassbeholdere med totalvolum opp til 55 L innendørs i eget rom/skap med minimum brannklasse EI60.
- Gassbeholdere lagres i velventilerte rom. Mekanisk ventilasjon bør vurderes.

- Det er installert system for gassdeteksjon nært gulv i rom hvor det blir lagret gassbeholdere.
- Det er installert system for gassdeteksjon nært gulv i rom hvor konsumentene benyttes.
- Det er installert flammevakt eller lekkasjevern på gassinstallasjoner innendørs.
- Kontroll av lekkasje med lekkasjeindikator (lekkasjespray) gjennomføres ved flaskebytte.
- Gassbeholderne må være utstyrt med trykkavlastningsmekanisme.
- Gassbeholdere som brukes innendørs og på verandaer tilknyttet serveringsstedet, overnattingsstedet eller forsamlingslokalet er laget av komposittmateriale.
- Gassbeholdere som brukes innendørs og på verandaer tilknyttet serveringsstedet, overnattingsstedet eller forsamlingslokalet må være utstyrt med husholdningstilkobling.
- Rom/skap hvor gass oppbevares må være godt merket med varselskilt for gass under trykk, samt skilt med *røyking og bruk av åpen ild forbudt*.
- Det må ikke lagres lettantennelige materialer og væsker i rommet/skapet hvor gassbeholdere oppbevares.
- Rom/skap hvor gass oppbevares må kunne sikres, slik at uvedkommende ikke har adgang.
- Det gjennomføres en risikovurdering med mål å fange opp forhold som ikke dekkes av nevnte sikkerhetstiltak.

Summary in English

In connection with the revision of the Norwegian regulations for the use of gas containers in buildings, the Directorate for Civil Protection and Emergency Planning (DSB) has asked RISE Fire Research to investigate the risk of using gas containers in buildings as well as to look at regulations and experiences from a selection of other countries.

In the current regulations, it is not permitted to store gas cylinders indoors at eating places, accommodation or communal halls, without extra safety measures being made. This exception has been strictly interpreted, and in practice it is only a niche solution (see chapter 3.2) that is accepted. In some cases this may cause some disadvantages and challenges, and for practical reasons the regulations are not always followed. It is therefore a request to adapt the regulations to practical conditions without compromising safety.

Comparison of the Norwegian regulations with the foreign regulations in this project shows that the Norwegian regulations impose considerably more stringent requirements on the use of gas containers at eating places, accommodation or communal halls than in the other countries (with the exception of the United States). However, it is uncertain what the basis for the requirements laid down in the individual regulations is.

The risk analysis identified the risks associated with both outdoor storage of gas cylinders, as required by the regulations today, as well as the storage and use of gas containers indoors at eating places, accommodation or communal halls.

We see that there are different risks connected to the two options. For outdoor storage and indoor use, the system will contain several components where leaks can occur. At the same time, the likelihood that the system will not be closed at the gas tank will be significantly greater. For indoor storage and use, there will normally be a shorter way between the gas bottle and the consumer, which results in fewer components and thus fewer potential leaks. In other words, there is no greater likelihood of gas leakage and ignition if you store the gas indoors compared to outdoors.

On the other hand, the consequences could be significantly greater by moving gas cylinders indoors. Therefore, safety precautions must be taken to reduce the risk of explosion associated with gas cylinders. Based on what we have achieved in this project, we therefore believe that gas containers can be stored and used indoors in eating places, accommodations and assembly halls to a limited extent, provided that the following criteria are met:

- Gas cylinders are stored in suitable storage rooms/cabinets, even during use (EI60).
- Gas cylinders are connected to the consumer apparatus via open piping, with as few joints as possible.
- Permit to store max 2 gas containers with a total volume up to 55 L indoors in a separate room/cabinet with minimum fire class EI60.
- Gas cylinders must be stored in well-ventilated rooms. Mechanical ventilation should be considered.
- Gas detection system is installed close to the floor in rooms where gas cylinders are stored.

- Gas detection system is installed close to the floor in rooms where consumer apparatus is used.
- A flame guard or leakage guard is installed on indoors gas installations.
- It is controlled for leakages with leakage indicator (leakage spray) when changing gas cylinder.
- The gas cylinders must be equipped with pressure relief mechanism.
- Gas containers used indoors and on balconies at eating places, accommodation or communal halls are made of composite material.
- Gas containers used indoors and on balconies at eating places, accommodation or communal halls must be fitted with household appliances.
- Rooms/cabinets where gas is stored must be well labeled with pressure signs for gas under pressure, plus signs prohibiting the use of open fire.
- Inflammable materials are not stored in the room/cabinet where the gas containers are stored.
- Rooms/cabinets where gas is stored must be secured so that unauthorized persons do not have access.
- A risk assessment is conducted with the aim of capturing matters not covered by the said security measures.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I forbindelse med revidering av det norske regelverket for bruk av gassbeholdere i bygg, har Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) bedt RISE Fire Research utrede risikoen ved bruk av gassbeholdere i bygg, samt å vurdere regelverk og erfaringer fra et utvalg av andre land.

Det er per i dag ikke tillatt å oppbevare og benytte gassbeholdere innendørs ved serveringssteder, overnattingssteder og forsamlingslokaler, noe som i enkelte tilfeller kan medføre noen ulemper og utfordringer. Når gass skal benyttes i denne typen lokaler, er det krav om at gassbeholderne skal oppbevares utendørs, og at rør og slanger benyttes for å transportere gassen til konsumenten (gassforbrukende apparater). Eksempel på konsumenter er:

- Terrassevarmere
- Gassfyrte varmeovner
- Gasskomfyrer
- Gassgriller
- Gassbelysning

DSB fører statistikk over uhell med farlig stoff i virksomheter som håndterer farlig stoff. Det finnes imidlertid ingen statistikk over lekkasjer eller uhell med gassbeholdere hos private eller bedrifter som benytter gassbeholdere i mindre omfang.

1.2 Målsetting

Målsettingen for dette prosjektet har vært å gi DSB et bedre grunnlag for en eventuell revisjon av regelverket for bruk av gassbeholdere i bygg.

1.3 Metode

I denne studien er internasjonalt regelverk fra Sverige, Danmark, New Zealand og USA kartlagt og oppsummert. Dette for å undersøke hvordan andre land regulerer bruk av gassbeholdere innendørs, samt å gi et inntrykk av hvilke vurderinger som eventuelt ligger til grunn for å tillate innendørs bruk.

Videre er det gjennomført risikoanalyser, hvor man har kombinert ulike metoder for å kartlegge ulike feilmodi samt estimere sannsynligheten for at de inntreffer: HazId, FMEA og feiltreanalyse (metodene er nærmere beskrevet i kapittel 5). Grunnet manglende statistisk grunnlag for feilrater til komponenter som brukes i gassystem, er store deler av

risikoanalysen basert på faglige vurderinger (expert judgement). Noe statistisk grunnlag ble imidlertid funnet i OREDA-håndboken¹, men det stilles spørsmålstegn ved dataenes relevans.

Konsekvensene av gasslekkasjer med påfølgende antennelse er vurdert kvalitativt.

1.4 Begrensninger

Det er kartlagt og gjennomgått regelverk fra et utvalg land : Sverige, Danmark, New Zealand og USA. Dette er land Norge kan sammenlignes med på dette området, og der regelverkene har vært lett tilgjengelig.

Studien er begrenset til å kun omfatte bærbare gassbeholdere, som innebærer størrelse opptil ca. 15 kg.

En risikoanalyse innebærer gjerne å kvantifisere både sannsynlighet for at en hendelse skal inntreffe, samt konsekvensen av hendelsen. I denne analysen har vi ikke kvantifisert konsekvensene, men heller diskutert konsekvensene av mulige utfall kvalitativt. På bakgrunn av dette har vi gitt et sett med anbefalinger.

¹ Offshore & Onshore Reliability Data handbook.

2 Definisjoner

I denne rapporten brukes en del uttrykk som enten har spesifikke definisjoner, eller som trenger å defineres. Disse er gitt nedenfor.

Brannfarlig gass kategori 1	Gass som ved 20 °C og standard trykk på 101,3 kPa kan antennes i en blanding på 13 % eller mindre med luft, eller har et eksplosjonsområde i luft på minst 12 prosentpoeng uavhengig av nedre eksplosjonsområde, tilsvarende GHS kategori 1 [1].
Brannfarlig gass kategori 2	Gass som har et eksplosjonsområde i luft ved 20 °C og standard trykk på 101,3 kPa og ikke er brannfarlig gass kategori 1 [1].
Forsamlingslokale	Lokale hvor allmennheten har tilgang og som benyttes av mange mennesker i forbindelse med arrangementer. Skole vil også inngå her, men kun for de rom/lokaler som brukes av skolen, eller leies ut, til typisk forsamlingslokaleformål [1].
Husholdningstilkobling	Kobling med ventil som trykkes ned på gassbeholderen. Denne er typisk for gassgriller og terrassevarmere.
Industritilkobling	Kobling med skruventil. Denne finnes typisk på gassbeholdere som brukes i forbindelse med eksempelvis takteking.
Konsument	Gassforbrukende apparat og utstyr.
Overnattingssted	Bygning som benyttes til erverv, med 10 overnattingsplasser eller mer [1].
Serveringssted	Virksomhet som driver med servering av mat og/eller drikke, og hvor salget skjer under forhold som innbyr til fortæring på stedet (inne/ute). Typiske eksempler er restaurant, kafé, pub, bar og gatekjøkken [1].

3 Sammenfatting av eksisterende regelverk

3.1 Begrensninger

I denne sammenfatningen har vi kun fokusert på oppbevaring og håndtering av mobile gassbeholdere som benyttes i restauranter, overnattingssteder og forsamlingslokaler. Det er dermed ikke sett på bestemmelser for utforming av beholdere og gassapparater, og krav som stilles til disse generelt.

3.2 Norge

I Norge er bruken av gassbeholdere regulert i *forskrift om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen* [2] som er hjemlet i *lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver* (brann- og eksplosjonsvernloven) [3]. Videre utdyper forskriftens veiledning [4] hvordan forskriften skal tolkes. I tillegg til dette har DSB utarbeidet en temaveiledning om bruk av farlig stoff [1] som gir eksempler på hvordan forskriften kan oppfylles.

Bruk av gass i restauranter, overnattingssteder og forsamlingslokaler, som er fokuset for denne studien, reguleres i forskriftens kapittel 2 §6 hvor det står at det "*i serveringssted, i overnattingssted og i forsamlingslokale er det ikke tillatt å oppbevare brannfarlig gass kategori 1 og 2, med mindre særskilte tiltak er iverksatt*". Til sammenligning tillates det å oppbevare inntil 55 liter brannfarlig gass i kategori 1 og 2 i boenhet.

Av forskriftens § 14 fremgår det at enhver virksomhet som håndterer farlig stoff skal kartlegge farer og mulige problemer knyttet til håndteringen og på bakgrunn av dette vurdere risiko. Det presiseres at man skal ta høyde for både interne og eksterne forhold, samt uønskede tilskitete handlinger. På bakgrunn av denne risikovurderingen skal virksomheten utarbeide planer og gjennomføre tiltak for å redusere risikoen til et akseptabelt nivå. Temaveiledningen gir informasjon om hvilke forhold som bør vurderes i risikovurderingen. Risikovurderingen skal kunne dokumenteres.

Sikkerhetstiltak er beskrevet i temaveiledningens kapittel 15.2.4.1 (plassering av gassbeholdere ute) og 15.2.4.3 (plassering av gassbeholdere i nisje). For førstnevnte tilfelle, hvor gassbeholderne plasseres utendørs, skal følgende være oppfylt:

- Gassbeholdere skal oppbevares stående og sikres mot å velte.
- Gassbeholdere skal plasseres i godt ventilert skap/rom av ubrennbart materiale. Skapet/rommet skal være låst.
- Skapet/rommet må beskyttes mot varmepåvirkning ved brann i andre objekter/brennbart materiale, og omgis med en tilpasset sikkerhetsavstand avhengig av brannenergi og brannvesenets innsatstid.
- Krav om sikkerhetsavstand kan fravikes dersom skapet/rommet har brannmotstand minst EI 120.
- Det må vurderes montering av ekstra beskyttelse (autovern) ved motorisert aktivitet nær skapet/rommet.
- Det skal være ryddig og fritt for brennbart materiale rundt skapet/rommet.

For tilfellene hvor gassbeholdere er plassert i en egen nisje (del av bygning), skal følgende være oppfylt:

- Gassbeholdere kan plasseres i nisje som er del av bygningen hvor gassen brukes.
- Nisjen skal være i utførelse minst REIM 120, godt forankret og innfestet til øvrig bygningsmasse.
- Trykkavlastning skal skje via dør til det fri.
- Døren til nisjen skal flukte med utvendig vegg.
- Samlet gassmengde bør ikke overstige 1 000 liter. Slik plassering i nisje er et eksempel på et særskilt tiltak med hensyn til oppbevaring av brannfarlig gass i tilknytning til serveringssted, overnattingssted og forsamlingslokale.

Temaveilederen også gir føringer for oppbevaring av gassbeholdere i boenhet (kapittel 15.2.5), som det er åpnet for i forskriftens § 6:

- Det er kun tillatt å oppbevare inntil 55 liter (23,1 kg) brannfarlig gass (propan/butan).
- Gassbeholdere skal oppbevares stående, luftig og sikres mot å velte.
- Ved innvendig plassering i skap skal det være god lufting ved gulvnivå, til det fri eller til oppholdsrom.
- Gassbeholdere skal ikke oppbevares på lavpunkt som kjeller eller annet rom under terreng, på loft, i fyrrom, i elektrisk sentral, nedgang til slike rom eller ved sluk.
- Ved oppbevaring av gassbeholdere og bruk av gass på verandaer i leilighetskompleks, må borettslaget eller boligsameiet vurdere verandaenes utforming med tanke på evakuering av gass ved eventuelle gasslekkasjer. Styret må i slike tilfeller lage egne retningslinjer med utgangspunkt i gjeldende regelverk.
- Ved leilighetskompleks på mer enn 2 etasjer bør det ikke være flere boenheter som benytter egne gassbeholdere til drift av varmeanlegg (for eksempel peis). I slike tilfeller bør det velges felles nedgravd gasstank med fast røropplegg.
- Det bør ikke plasseres gassbeholdere med fast tilknytning til gassforbrukende utstyr, i bod som er del av fellesareal i bygg med flere boenheter.
- Tomme beholdere skal oppbevares på samme måte som beholdere i bruk.

3.3 Sverige

I Sverige er det i hovedsak *Sprängämnesinspektionens föreskrifter om brandfarlig gas i lös behållare* [5] som omhandler bruk av mobile gassbeholdere.

I følge forskriften skal gassbeholdere oppbevares utilgjengelig for uvedkommende, og på en slik måte at de er beskyttet mot brann. Løse beholdere over 150 L, samt gassbeholdere, skal oppbevares og transporteres med påsatt tettepropp og beskyttelseshette, dersom beholderen er utstyrt med det. I tillegg skal beholderen håndteres på en slik måte at sikkerhetsventilens funksjon ikke hindres.

Det presiseres også at beholderen skal stå stødig mot underlaget, og at stenge- og reduksjonsventiler tilsluttet beholdere og beholdere større enn 150 L skal være beskyttet mot vær og vind.

Propanbeholdere større enn 5 L som tilkobles slange uten reduksjonsventil skal være beskyttet mot gassutslipp ved slangebrudd.

Forskriften beskriver videre at det er et generelt krav til advarsel- og forbudsmerking ved håndtering av mobile gassbeholdere til næringsformål; større enn 30 L innendørs, eller mer enn 250 L utendørs.

For offentlige lokaler spesielt, skal beholdere større enn 5 L håndteres enten utendørs, eller i avskjermet rom med brannklasse minst EI 30, og med direkte ventilering til det fri. Dersom man skal håndtere mer enn 250 L, skal rommet ha brannklasse minst EI 60. Om dette rommet i tillegg ligger under bakkenivå, skal rommet være utstyrt med mekanisk ventilasjon.

Gassbeholdere mindre enn 5 L skal håndteres på samme måte som større beholdere når de ikke er i bruk.

I tillegg til forskriften om *Brandfarlig gas i lös behållare* har Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) utarbeidet et informasjonsskriv om bruk av propan i restauranter [6]. Skrivet oppsummerer blant annet krav til minsteavstander mellom bygning og beholdere som oppbevares utendørs, se Tabell 3-1.

Tabell 3-1 **Krav til minimumsavstander mellom gassbeholdere og bygninger [6].**

Gassbeholdernes samlede volum V	Minste avstand til	
V < 60 liter	Åpninger ¹⁾	3 meter, eller 1 meter i skap eller lignende. Ingen avstand ²⁾ med EI 30
60 liter < V < 250 liter	Bygning	3 meter eller ingen avstand ²⁾ med EI 30
250 liter < V < 1000 liter	Bygning	3 meter eller ingen avstand ²⁾ med EI 60

1) Åpninger til restaurantens offentlige deler, lokaler som benyttes av andre samt nødutganger. Eksempler på åpninger er åpningsbare vindu, dører og ventilasjonsåpninger.

2) 1,5 meter mellom skapets ventilasjonsåpninger og ventilasjonsluftinntak i bygning.

Videre gir skrivet veiledning om utforming av rør- og slangestrekke fra gassbeholder til gassapparat. Eksempelvis anbefales det å unngå skjøter i strekket, men heller la gassen føres i en sammenhengende slange eller rør. I tillegg er det frarådet å føre strekket i vegg og tak hvor en eventuell lekkasje vil være vanskelig å oppdage.

Videre presiseres det at det er viktig å tetthetskontrollere utstyret, gjerne hver gang man bytter gassbeholder.

3.4 Danmark

I Danmark er det *Tekniske forskrifter for gasser* [7], *Vejledning til tekniske forskrifter for gasser* [8] og *Gasreglementets afsnit B-5* [9] som setter krav til gassflaskeinstallasjoner. Sistnevnte setter spesielle krav til både bolig- og fritidsbruk og midlertidige installasjoner for bruk på festivaler og lignende. Restaurant- og overnattingsbygg er ikke nevnt eksplisitt, men bestemmelsene for hjemmebruk, festivalbruk, mindre erverv og lignende kan ha noen relevante føringer.

Forskriften gir en del generelle føringer for hvor store mengder gass som kan lagres på et område, samt sikkerhetsavstander som må oppfylles. Forskriften virker å omfatte en del større anlegg enn det som er i fokus i denne utredningen. *Gasreglementet* gir derimot en del generelle krav til gassanlegg med mobile beholdere i samt en del spesielle krav knyttet til de ulike bruksområdene nevnt ovenfor.

Vi er blitt gjort med at det kommer en revisjon av det danske regelverket innen kort tid, men vi har ikke kjennskap til hvilke endringer som evt. vil bli foreslått. Bestemmelsene som er gjeldende i skrivende stund er sammenfattet i følgende underkapitler.

3.4.1 Generelle krav

Følgende er hentet fra *Gasreglementets afsnit B-5*.

Det er ulike bestemmelser med tanke på maksimalt tillatt gasstrykk i bygninger ut i fra hvilken type bygg det er snakk om. Det sies ingenting om overnatting eller restaurantbygg, men følgende eksempler gis:

- For boliger må ikke trykket overstige 100 mbar.
- For sykehus eller lignende kan man ha et trykk på opptil 2 bar, dersom utstyret krever det.
- For bruk til oppvarming i industri og landbruk kan man ha opptil 4 bar.

I tillegg er det krav om at gassbeholderne skal utstyres med trykkavlastningsventil. Dette gjelder imidlertid ikke gassregulatorer som er koblet direkte på en gassflaske eller for hus- eller målerregulatorer med maksimalt fortrykk på 100 mbar.

Gassforbrukende apparater som benyttes innendørs skal være utstyrt med flammeovervåkning, som hindrer utslipp av gass uten tilstedeværelse av flamme. Apparater med effekt opptil 18 kW kan tilkobles med fleksibel slange, så lenge det påses at denne ikke kan skades mekanisk eller ved oppvarming. Slangen skal være tilgjengelig for inspeksjon og skal kunne skiftes ut. Apparater med høyere effekt enn 18 kW skal tilkobles med rør. Apparater som skal brukes utendørs kan, tilkobles en slange med maksimum lengde på 4 m.

Gassbeholdere skal ikke plasseres under bakkenivå, da gassen er tyngre enn luft.

3.4.2 Bolig- og fritidsbruk

Det er ingen krav til friskluftstilførsel for rom større enn 15 m³. For mindre rom er det krav til friskluftstilførsel hvis gassapparatenes samlede effekt overstiger 0,25 kW/m³.

Ved installasjon av gassapparat som komfyrer eller kokeplater i nybygg, skal det være en avtrekkshette med mekanisk utlufting til det fri.

Dersom gassbeholderne skal oppbevares og brukes innendørs, er største tillatte gassbeholderstørrelse 11 kg. Dersom gassbeholderen oppbevares utendørs vises det til Beredskapsstyrelsens forskrifter med veiledning [7,8].

Eier/bruker av gassanlegget er ansvarlig for korrekt bruk av utstyret, jevnlig vedlikehold og at ventilasjonsåpninger ikke blokkeres.

3.4.3 Midlertidige installasjoner til festivaler og lignende

Det gis ingen relevante tilleggskrav for bruk av gassapparater på festivaler og lignende, utover at minimumsavstanden mellom brenner og brennbart materiale skal være 1 m.

3.5 New Zealand

I 1996 ble *The Hazardous Substances and New Organisms (HSNO) Act* [10,11] vedtatt. Loven gir et rammeverk for en helhetlig fremgangsmåte å forvalte farlige stoffer på. Det er også lansert en offentlig webside som reflekterer dette rammeverket, og hvor informasjon om krav og regler knyttet til ulike farlige stoffer er gitt. Eksempelvis er det listet referanse til ulike lover som er relevante for håndtering av propan.

Lovverket setter en del generelle krav vedrørende bruk av propan. Krav og regler som er relevante for de anvendelsesområdene som er omfattet av denne studien, er oppsummert nedenfor.

Oppbevaring av større kvanta farlige stoffer utløser en del krav. For propan inntrekr kravene ved oppbevaring av mer enn 100 kg. Over denne grensen må man blant annet ha et godkjent oppbevaringssted, opplæring i håndtering av stoffet, og tennkilde- eller atmosfærekontroll [12]. For de anvendelsesområdene som inngår i denne studien, vil man sannsynligvis komme under denne grensen, og kravene er derfor ikke nærmere beskrevet.

Om man derimot oppbevarer mer enn 50 kg, skal området utstyres med en håndslukker. I tillegg skal det monteres et skilt som identifiserer stoffet, samt sier hva man skal gjøre i en nødsituasjon [13,14].

Videre settes det grenser for hvor store mengder propan man kan oppbevare i forskjellige typer bygninger, se Tabell 3-2 [15].

Tabell 3-2 Maksimum tillatt mengde oppbevart propan innendørs [15].

Sted	Mengdegrense
Eneboliger, rekkehus med 3 etasjer eller mindre	20 kg per boenhet. Maks beholderstørrelse: 10 kg.
Rekkehus med mer enn 3 etasjer	10 kg per boenhet. Maks beholderstørrelse: 10 kg.
Bygg som er tilgjengelig for publikum, som ikke grenser mot bygg som brukes til boformål	10 kg per 10 m ² av innendørsareal opp til maks 100 kg. Maks beholderstørrelse: 10 kg.
Bygg som er tilgjengelig for publikum, som i tillegg grenser mot bygg som brukes til boformål	20 kg per lokale. Maks beholderstørrelse: 10 kg.

3.6 USA

Bruk og håndtering av brennbar gass er i USA regulert av *Occupational Safety and Health Standards – Storage and handling of liquefied petroleum gases* [16]. Bestemmelsene gir en rekke generelle og spesielle føringer for bruk av blant annet propan i ulike sammenhenger. Det som gjelder spesielt for de anvendelsesområdene som ligger til grunn i denne studien, er sammenfattet nedenfor.

Bestemmelsene sier at beholdere og førstetrinnsregulatorer (første regulator etter gassbeholder) i utgangspunktet skal oppbevares utendørs, og de skal beskyttes slik at de ikke er utsatt for varme, fysisk skade og at de ikke blir tuklet med. Avhengig av beholderens størrelse, settes det krav til avstand til nærmeste bygning. For de kvanta som er relevante for denne studien (mindre enn 125 US liquid gallons, som tilsvarer volumer mindre enn 473 liter), settes det imidlertid ingen krav til minimumsavstand mellom beholdere og bygninger eller innbyrdes avstand mellom flere beholdere dersom beholderne er plassert på bakkenivå. Dersom beholderen er plassert under bakkenivå, skal det være en minsteavstand på 3 meter (10 fot) til nærmeste bygning. Videre presiseres det at beholdere i bruk ikke skal stables i høyden.

Det stilles også krav til området hvor beholderne plasseres. Lettantennelige materialer, som tørt gress, skal fjernes fra området. Samtidig skal man unngå grøfter og groper hvor gass kan samle seg i nærheten av oppstillingsplassen.

Gass som føres i rør i bygninger skal ha et trykk som ikke overstiger 1.4 bar (20 psig). Gassforbrukende utstyr og tilhørende rørstrekk for husholdningsbruk eller kommersiell virksomhet skal oppfylle krav gitt i *NFPA 54 National Fuel Gas Code* [17].

Personell som opererer gassutstyr skal ha fått tilstrekkelig opplæring, uten det defineres hvem som kan gi slik opplæring.

Gassbeholdere kan oppbevares innendørs dersom det er strengt nødvendig, men det utløser en rekke krav til sikkerhetsinnretninger på beholderne (avhengig av beholderens størrelse), eksempelvis overstrømsventil og mekanisme for å bryte gasstilførselen dersom flammen på apparatet slokner. Beholdere som oppbevares innendørs må heller ikke oppbevares nær utganger, trapper eller områder som inngår i rømningsveier.

4 Gassbeholdere i brann

Gassbeholdere utgjør generelt ikke en risiko, bare i de tilfellene hvor feil ved beholderen eller tilhørende koblinger fører til lekkasje. Det er en kjent utfordring at beholdere som blir påvirket av en brann i verste fall kan eksplodere. Det er blitt gjennomført et litteratursøk for å kartlegge forskning og dokumentasjon på hvordan gassbeholdere oppfører seg når de blir utsatt for en ekstern brann. I denne sammenhengen har både mobile stål-, aluminiums- og komposittbeholdere, av typen som brukes i sammenheng med eksempelvis griller, terrassevarmere og kokeplater vært av interesse.

Litteratursøket viser at det eksisterer begrenset med informasjon vedrørende hvordan mobile gassbeholdere responderer på en brann. Det understrekes derfor at informasjonen som blir presentert i dette kapitlet er basert på et begrenset antall kilder og et begrenset antall tester. Til tross for dette, belyser kildene likevel potensielle utfordringer vedrørende bruk og lagring av gassbeholdere innendørs.

I 2016 ble en svensk studie publisert hvor effekten av trykkavlastningsventiler og smeltesikringer var undersøkt [18]. I studien ble det gjennomført åtte forsøk, hvorav det i fire av forsøkene ble benyttet gassbeholdere av komposittmateriale, to forsøk med aluminiumsbeholdere og to forsøk med stålbeholdere. Videre hadde beholderne i halvparten av testene trykkavlastningsventil. I to av testene var beholderne også utstyrt med smeltesikring i tillegg til trykkavlastningsventilen. Hovedkonklusjonene fra studien er at propanbeholdere for konsumentbruk bør være utstyrt med en trykkavlastningsinnretning. Alle beholderne som var utstyrt med trykkavlastningsinnretning ble tømt relativt raskt uten at beholderne revnet.

Videre beskrives det at når trykkavlastningsmekanismer utløses, vil det oppstå en jetflamme som kan være flere meter lang og holde høy temperatur. Denne flammen vil kunne spre brannen og skade personer. Samtidig påpekes det at det gjerne tar litt tid før trykkavlastningsmekanismen utløses, og at personer i så måte bør ha nok tid på å komme seg i sikkerhet. Selv om det ikke har blitt undersøkt i den gjeldende studien, argumenteres det for at en jetflamme også kan føre til at beholderen velter og øke risikoen for brannspredning. Forfatterne mener derfor at beholderen bør være festet på en slik måte at den ikke velter, samt at beholderens plassering bør være gjennomtenkt, slik at man kan redusere risikoen for brannspredning, selv om trykkavlastningsmekanismen utløses.

De metallbeholderne som ikke var utstyrt med trykkavlastningsmekanisme revnet etter noen minutter med branneksplosjon, noe som resulterte i en eksplosjon. I den ene testen ble det funnet rester av aluminiumsbeholderen 70 m unna testoppsettet. Det antas at en tilsvarende eksplosjon innendørs ville gitt store bygningsmessige skader. Komposittbeholderne som ikke var utstyrt med trykkavlastning revnet ikke, men begynte å lekke, og trykket ble på den måten redusert.

En kanadisk studie fra 2003 undersøkte forskjellene mellom aluminiums- og stålbeholdere med tanke på materialstyrke under brannpåvirkning [19]. I studien ble det gjennomført seks tester med 15 kg propanbeholdere for bruk i gaffeltrucker, hvorav tre av testene var med aluminiumsbeholdere og de øvrige tre testene var med stålbeholdere. Alle beholderne var

utstyrt med trykkavlastningsventiler. Resultatet av forsøkene var at alle tre aluminiumsbeholderne revnet, mens stålbeholderne forble intakte. Forfatterne stiller spørsmål til hvordan aluminiumsbeholderne har greid å bestå godkjenningstestene, og anbefaler at både teststandarden og bruken av slike beholdere vurderes på nytt.

I en tysk studie som ble publisert i 2017 undersøkte man konsekvensene av ikke-fungerende trykkavlastningsventiler på gassbeholdere som ble utsatt for brann [20]. Femten stålbeholdere ble fylt med 11 kg flytende propan, og ble utsatt for branner med ulike typer brensel: tre, bensin og propan. Alle beholderne revnet en gang mellom 70 – 152 sekunder etter teststart, med et internt trykk i revningsøyeblikket (bruddtrykket) mellom 70,7 – 98,2 bar. Dette er en del høyere enn minimumskravet som er gitt i NS-EN 1442, som er på 50,1 bar [21], noe som gjør at man har en forholdsvis god margin mellom hva som kreves av beholderne og hva de faktisk yter.

I seks av testene førte eksplosjonstrykket til at fragmenter fra beholderne ble kastet over 100 m, og i én test ble fragmenter funnet 238 m fra testoppsettet. Det ble også målt overtrykk ved tre distanser fra sylindere, og i de fleste testene målte man et overtrykk mellom 0,05 – 0,15 bar ved 5 m avstand.

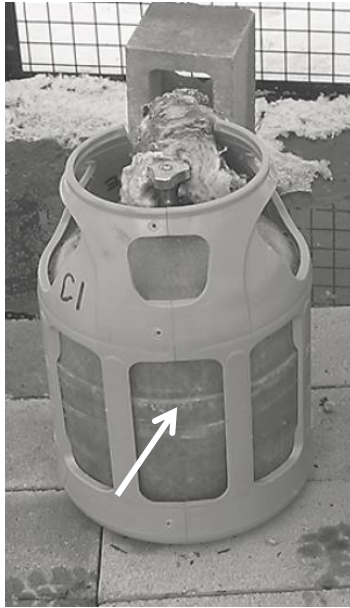
I boken *LP-Gas Code Handbook*, som utgis av NFPA², er det referert til en testserie som ble gjennomført for å undersøke risikoene forbundet med innendørs bruk og lagring av komposittgassbeholdere [22,23]. Det ble gjennomført et forskningsprogram som involverte tre testserier med to forskjellige typer gassbeholdere. Den første testserien (heretter kalt type 1-test), som ble gjennomført utendørs, undersøkte effekten av ulike brannpåkjenninger, ulike fyllingsgrader og orientering av gassbeholderne. I den andre serien (type 2), som ble gjennomført i et testrom, undersøkte man konsekvensene av en ekstern tennkilde på beholderne, og hvilket bidrag gassbeholderne ga til brannutviklingen i rommet. I den siste testserien (type 3), som også ble gjennomført innendørs, undersøkte man hvilken effekt en rombrann, som etter hvert endte med overtenning av rommet, hadde på gassbeholderne.

Hovedfunnene var at en full gassbeholder motsto strålingsvarmen fra en 300 kW brann i 20 minutter uten å antenne eller å lekke (type 1). Videre fremheves det at i hver type 2-test begynte den antente gassbeholderen å lekke gass, noe som resulterte i overtenningsforhold i testrommet. I type 3-testene, hvor beholderen var plassert i et rom med overtenning, begynte beholderne å lekke 3-5 minutter etter at overtenning i rommet var oppnådd. Beholderne revnet imidlertid ikke.

De to beholdertypene som ble testet var henholdsvis en type som var konstruert og satt sammen av to deler³, mens den andre typen besto kun av en del, se Figur 4-1. Den første typen har med dette en ekstra svakhet, noe som også viste seg i testene. Det var kun denne typen beholder som revnet, mens den andre typen forble intakt.

² National Fire Protection Association, USA

³ Vi har fått opplyst at denne typen beholdere ikke lenger er i omløp i Norge [24].



a)



b)

Figur 4-1

De to typene gassbeholdere som ble benyttet i forsøkene med komposittbeholdere: a) beholder satt sammen av to deler før test og b) beholder konstruert som en del etter test [22]. Pilen peker på skjøten hvor de to delene er sveiset sammen.

5 Risikoanalyse

5.1 Fareidentifisering

En risikoanalyse innledes med å gjennomføre en fareidentifisering. Denne blir lagt til grunn for de påfølgende prosessene hvor sannsynligheten for at de kartlagte, potensielle hendelsene vil inntreffe blir estimert. I denne studien brukte vi metoden HazId (Hazard Identification), hvor det var fokus på å kartlegge hvilke feilmodi som kan føre til gasslekkasje, og hvilke faktorer som kan påvirke konsekvensene av et utslipp.

HazId-metoden er en systematisk metode for å identifisere risiko ved et system eller en aktivitet. Metoden går ut på at man i et arbeidsgruppemøte forsøker å avdekke så mange farer som mulig. Som hjelpemiddel benyttes en ledeordliste, som er tilpasset temaet, og som skal hjelpe deltakerne å assosiere slik at man på den måten kan avdekke flere potensielle farer [25]. I arbeidsgruppemøtet i dette prosjektet tok vi utgangspunkt i de komponentene som normalt brukes i forbindelse med mobile gassbeholdere for bruk i de aktuelle bruksområdene i Norge.

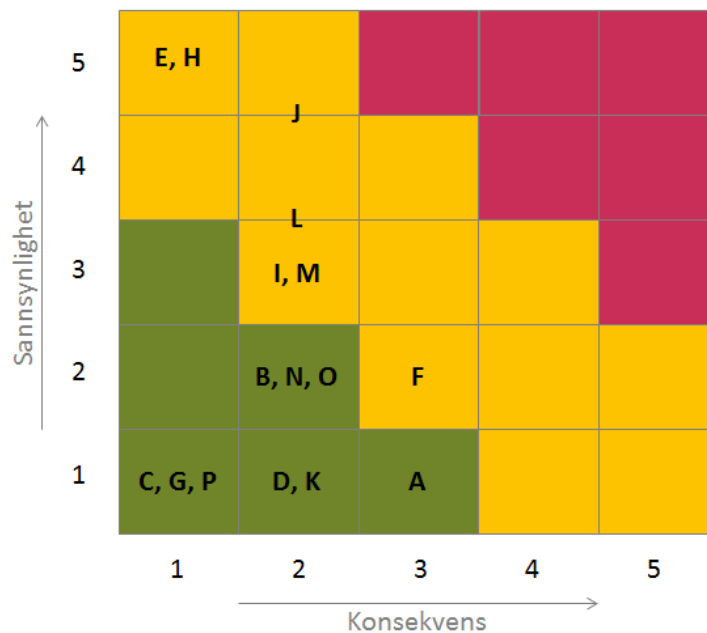
Videre ble det gjennomført en *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metoden overlapper delvis med HazId, da også denne metoden går ut på å systematisk identifisere mulige feil i hver komponent, men i tillegg vurderer man også sannsynligheten for lekkasje. Basert på faglige vurderinger tildeles hver feiltilstand en sannsynlighetsindeks og konsekvensindeks på en 5-punkts logaritmisk skala (1-5). Konsekvensindeksen reflekterer ikke konsekvensene av en antenne eller eksplosjon, men størrelsen på utslippet man risikerer å få med en lekkasje. Resultatet av FMEAen finnes i vedlegg A.

De ulike feilmodiene som ble identifisert under fareidentifiseringen, er presentert i Tabell 5-1. En grafisk fremstilling av feilmodiene med tilhørende sannsynlighets- og konsekvensindekser er vist i Figur 5-1.

Fra risikoindeksen vist i Figur 5-1 ser man at ventiler (E, H), slangene (M) og koblingene mellom slangene og annet utstyr (I, J, L) utgjør den største faren for lekkasje (de ligger i gult område). Sannsynligheten for lekkasje fra en ikke-tilkoblet flaske (A-G) er isolert sett liten. Den største risikoen for ikke-tilkoblede beholdere vil være åpen ventil (menneskelig feil) på beholdere med industritilkobling (skrukobling) (F). Denne typen tilkoblinger er lite brukt i lokalene som er omfattet av denne studien.

Tabell 5-1 Identifiserte mulige feilmodi for mobile gassbeholdere og tilhørende koblinger.

FLASKE		
A	Sylinder	Hull i sylinder
B	Ventilkobling	Lekkasje
C	Sikkerhetsventil	Sitter fast
D	Sikkerhetsventil	Lekkasje
E	Industriventil, tilkoblet konsument	Åpen
F	Industriventil, ikke tilkoblet konsument	Åpen
G	Industriventil	Lekkasje
REGULATOR		
H	Husholdningsventil	Åpen / lekkasje
I	Husholdningstilkobling	Lekkasje
J	Industritilkobling	Lekkasje
K	Regulator	Lekkasje
SLANGER / KOBLINGER		
L	Slangekobling (med slangeklemme eller fabrikklemt)	Lekkasje
M	Slange	Lekkasje
N	Skrukobling mot konsument	Lekkasje
ANNET		
O	Rør (og evt. koblinger)	Lekkasje
P	Ventil	Lekkasje



Figur 5-1 Risikomatrix som viser sannsynlighetsindeks og konsekvensindeks for de feilmodiene som ble identifisert i HazId-arbeidsgruppemøtet (se Tabell 5-1). Indeksene er satt med bakgrunn i faglige vurderinger. I dette tilfellet representerer konsekvensen størrelsen på et mulig gassutslipp. Skalaene på aksene er logaritmisk, noe som er grunnen til at vi ikke finner konsekvenser større enn 3.

5.2 Feiltreanalyse

I den ovenstående fareidentifiseringen ble sannsynligheten for lekkasje og størrelsen på en eventuell lekkasje gitt et første estimat. Sannsynligheten for at en gasslekkasje resulterer i en brann avhenger ikke bare av lekkasjens størrelse, men også av andre faktorer. Disse faktorene ble identifisert ved hjelp av feiltreanalyse, hvor topphendelsen defineres som når lekkasjen når en tennkilde.

En feiltreanalyse er en metode hvor man kan estimere sannsynligheten for at en rekke ulike innledende kaskadehendelser, eller kombinasjoner av disse, fører til en uønsket hendelse (gjerne kalt topphendelse). Sammenhengen mellom de ulike hendelsene tegnes opp grafisk med streker og logiske porter (OG/ELLER). Videre bestemmes sannsynligheten for at hver enkelt hendelse kan inntreffe. Ved å multiplisere og/eller addere sannsynlighetene (avhengig av logisk sammenheng mellom hendelsene) fra de innledende hendelsene til topphendelsen, kan man få et estimat på sannsynligheten for hvert hendelsesforløp i feiltreet. Utarbeidelsen av risikomodeller og kvantifisering av risiko er beskrevet i følgende kapitler.

Sannsynligheten for brann hvor gassbeholdere er involvert kan beskrives og fremstilles ved hjelp av en feiltremodell, hvor topphendelsen defineres som: *Brann hvor gassbeholdere er involvert*. Denne modellen omfatter antenning av gasslekkasje fra henholdsvis ikke-tilkoblet og tilkoblet gassflaske, se Figur 5-2. Branneksporing av gassbeholdere er også vist i modellen, selv om dette scenariet ikke er omhandlet i denne studien. Ut ifra dette kan man i

teorien kvantifisere den totale sannsynligheten for brann forårsaket av lekkasje fra gassbeholdere og tilhørende utstyr.

For denne risikoanalysen har vi imidlertid valgt å begrense kvantifiseringen til antenning av lekkasje fra ikke-tilkoblede og tilkoblede gassbeholdere. For å kunne estimere den totale risikoen for brann på grunn av lekkasje fra gassbeholdere, må man ha et estimat av sannsynligheten for at en flaske enten er tilkoblet gassforbrukende utstyr eller ikke på et gitt tidspunkt. Denne sannsynligheten er ikke kjent, så vi har vært nødt til å beregne sannsynligheten for hver av nivå 2-grenene i stedet.

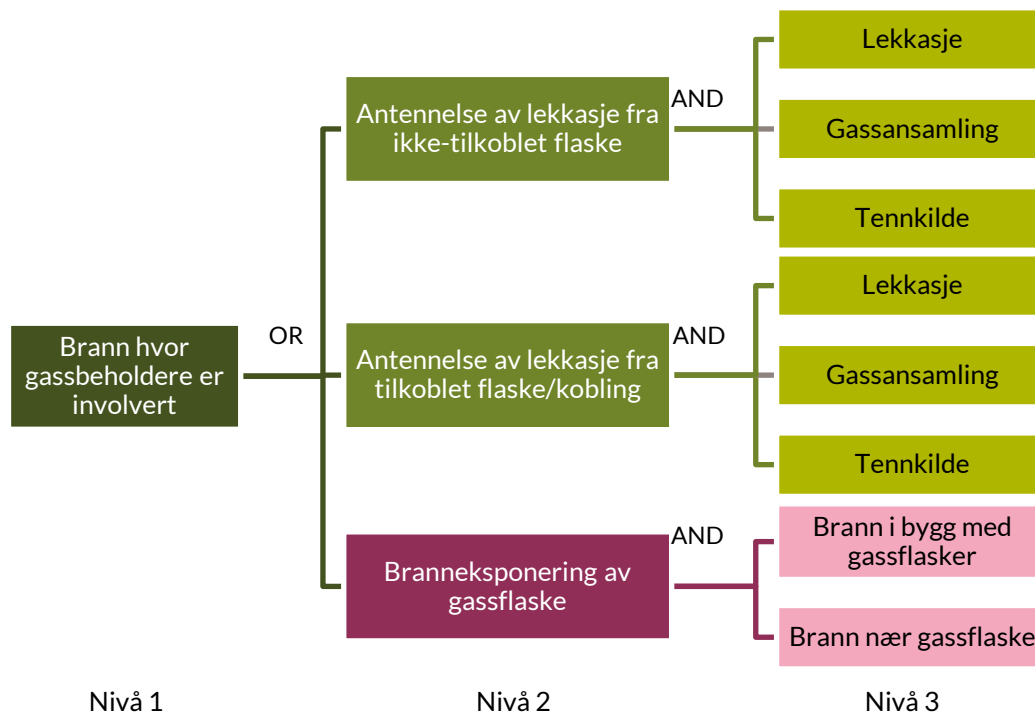
For at man skal kunne få en antenning av en gasslekkasje, er det tre faktorer som må være til stede: man må ha en gasslekkasje, en gassansamling (gasskonsentrasjon innenfor eksplosjonsgrensene) og en tennekilde.

Gasslekkasjer kan eksempelvis oppstå som følge av tekniske komponentfeil, komponentskader eller brukerfeil.

Muligheten for ansamling av gass avhenger i stor grad av hvor mye gass som blir sluppet ut, i hvilken hastighet gassen slippes ut, ventilasjonsforholdene (er man inne eller ute, finnes det ventilasjonsåpninger, er det mekanisk eller naturlig ventilasjon), i tillegg til omliggende konstruksjoner og terreng (kjellertrapp, brønner eller andre fordypninger).

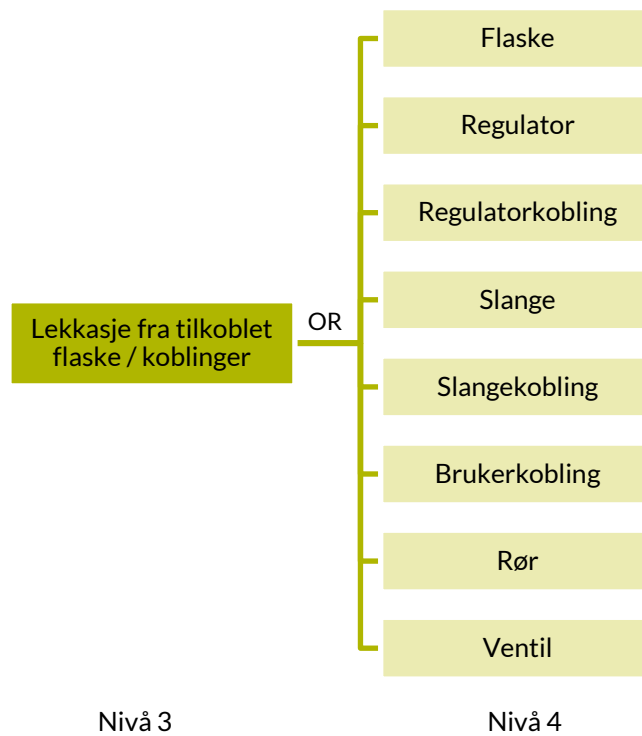
Når det gjelder nærvær av tennekilder, så kan det være vanskelig å fjerne alle tennekildene innendørs, men det kan gjennom organisatoriske tiltak reduseres i de aktuelle lokalene. For eksempel bruk av levende lys, nærhet til kjøkken hvor det blir brukt åpne flammer i forbindelse med matlaging og bruk av elektriske apparater.

Konsekvensen av en gasslekkasje påvirkes av andre faktorer, blant annet størrelse på gassbeholderen(e), om lekkasjen er innendørs eller utendørs, nærheten til mennesker og bygninger m.m.

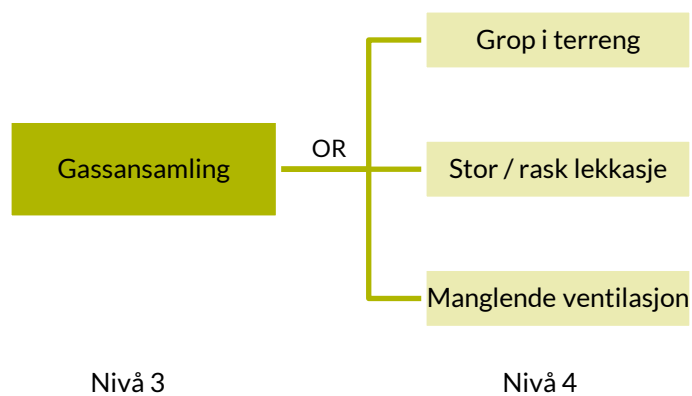


Figur 5-2 Feiltre-modell som beskriver innledende hendelser (til høyre) som leder til brann med gassbeholder involvert (venstre). I denne studien har vi ikke sett på ekstern branneksponering av gassflaske (nederste nivå 2-gren).

Det ble laget submodeller for nivå 3-hendelsene lekkasje og gassansamling. For den siste faktoren, *tennkilde*, er det store usikkerheter knyttet til sannsynligheten for tilstedeværelse av tennkilder, og det ble derfor ikke utarbeidet en submodell for denne faktoren. For lekkasje fra ikke-tilkoblede beholdere ble kun feil på selve beholderen identifisert, mens det for tilkoblede gassbeholdere ble identifisert flere feilmodi som kan lede til lekkasje, se Figur 5-3. Når det gjelder gassansamling, ble det identifisert tre faktorer som kan føre til at gassen akkumuleres, se Figur 5-4.



Figur 5-3 Submodell (feiltre) som beskriver faktorer som påvirker sannsynligheten for lekkasje fra en tilkoblet gassflaske.



Figur 5-4 Submodell (feiltre) som beskriver faktorer som påvirker sannsynligheten for gassansamling.

5.3 Frekvens- og sannsynlighetsberegninger

Frekvenser for lekkasje og sannsynlighet for gassansamling og tilstedeværelse av tennkilder (se Figur 5-2) ble estimert. Dette ble gjennomført i tilfeller for både utendørs og innendørs bruk.

5.3.1 Lekkasje

For å estimere lekkasjefrekvensen for en gassbeholder ble følgende enkeltkomponenter, som kan kobles opp mot beholderen, identifisert:

- Beholder (sylinder, ventiltilkobling, husholdningsventil, sikkerhetsventil)
- Regulatorkobling (husholdningstilkobling)
- Regulator (husholdningstilkobling med ventil)
- Slangekobling (fabrikklemt eller med slangeklemme)
- Slange
- Oppkobling mot konsumenter
- Rør (og eventuelt rørkoblinger)
- Ventil

Husholdningstilkobling ble valgt som utgangspunkt for denne risikoanalysen, da vi anser disse som tryggere enn beholdere med industriventil, og at disse derfor bør benyttes på de aktuelle stedene. En regulator med husholdningstilkobling trykkes på gassbeholderen, i motsetning til en industritilkobling som blir skrudd på gassbeholderen.

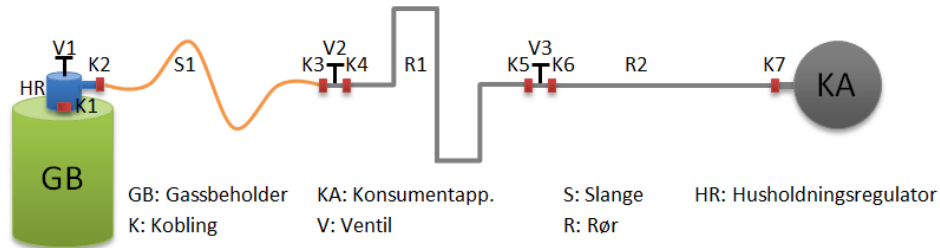
Det ble gjort et forsøk på finne statistiske data for lekkasjefrekvenser for de ulike komponentene som presenteres i Tabell 5-2, men det har ikke vært mulig å fremskaffe direkte overførbare data. Det ble også etterlyst statistikk fra ulike inspeksjonsfirmaer som inspiserer gassbeholdere i campingvogner, for å kunne vurdere de relative forskjellene i komponentenes feilrater. Det var imidlertid ikke registrert noe data på dette som kunne benyttes til å trekke ut noen eksakt informasjon. Til sist er det gjennomført søk i OREDA-håndboken⁴, som er en pålitelighetsdatabase for utstyr og komponenter som blir benyttet offshore. Dette ga ingen direkte overførbare informasjon. Eksempelvis viser statistikken for en trykkavlastningsventil, at en gitt type sikkerhetsventil i snitt gir en kritisk feilfunksjon (åpner ikke) 2,07 ganger per 1 million arbeidstimer (2E-06). Dette er ikke ventiler som blir brukt i de aktuelle oppsettene som blir vurdert i denne studien, så vi har valgt å ikke benytte feilfrekvenser i denne analysen, men heller estimere relative frekvenser basert på vår fagkunnskap, se Tabell 5-2.

Lekkasjefrekvensen for de ulike komponentene er estimert med bakgrunn i fareidentifiseringen som ble gjennomført (se avsnitt 5.1), men med mer nøyaktige relative estimater, se Tabell 5-2. For samtlige komponenter vurderes lekkasje på grunn av enten teknisk feil (komponentsvikt/slitasje) eller, i noen situasjoner, brukerfeil (ventiler som blir stående åpne).

⁴ Offshore & Onshore Reliability Data handbook.

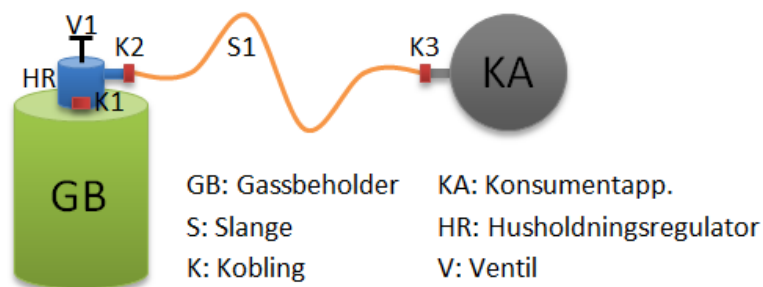
Tabell 5-2 Relative lekkasjefrekvenser for ulike komponenter. Disse verdiene er dimensjonsløse og indikerer ingen absolutte frekvenser, men heller hvor ofte de ulike komponentene lekker i forhold til hverandre. Eksempelvis vil en komponent med lekkasjefrekvens på 20 ha fire ganger så hyppig lekkasjefrekvens som en komponent med lekkasjefrekvens på fem.

ID	Komponent	Komponent-forkortelse	Relativ lekkasjefrekvens f [-]	Sannsynlighet for at utslippet blir stort og skjer raskt
1	Flaske (sum av 1.1 – 1.4)		4	50 %
1.1	Sylinder	GF	1	90 %
1.2	Ventiltilkobling		1	5 %
1.3	Sikkerhetsventil		1	80 %
1.4	Husholdningsventil		1	20 %
2	Husholdningstilkobling	K1	5	10 %
3	Regulatorventil åpen (åpen konsument) i scenario C og D	V1/KA	20	90 %
4	Regulatorventil åpen (åpen konsument) i scenario E og F	V1/KA	20	90 %
5	Regulatorventil, teknisk feil	V1	1	10 %
6	Husholdningsregulator (åpen regulatorventil)	HR	1	5 %
7	Slangekobling (fabrikklemt/slangeklemme, åpen regulatorventil)	K	15	20 %
8	Slange (åpen regulatorventil)	S	30	30 %
9	Gjengekobling (åpen regulatorventil)	K	15	5 %
10	Rør og evt. koblinger (åpen regulatorventil)	R	2	70 %
11	Ventil, teknisk feil	V2, V3	1	10 %
12	Ventil 2 åpen	V2	20	90 %
13	Ventil 3 åpen (og åpen konsument)	V3	15	90 %



Figur 5-5 Typisk oppsett for anvendelse av gass innendørs med gassbeholderne oppbevart utendørs, scenario E og F i Figur 5-7. Lekkasje-frekvens for hver komponent er estimert i Tabell 5-2.

Med bakgrunn i det norske regelverket skal gassbeholdere lagres utendørs i ventilerte skap eller rom. Der gassen skal benyttes innendørs, så er det antatt at rør (R1) blir strukket frem til konsumenten, så er det antatt at rør (R1) blir strukket frem til konsumenten, med en tilkobling mot gassbeholderen (K2) og en tilkobling mot konsumenten (K6) som vist i Figur 5-5. For bruk av gass utendørs ble et enklere oppsett benyttet i beregningene, der gassbeholderen kobles individuelt til konsumenten, se Figur 5-6.

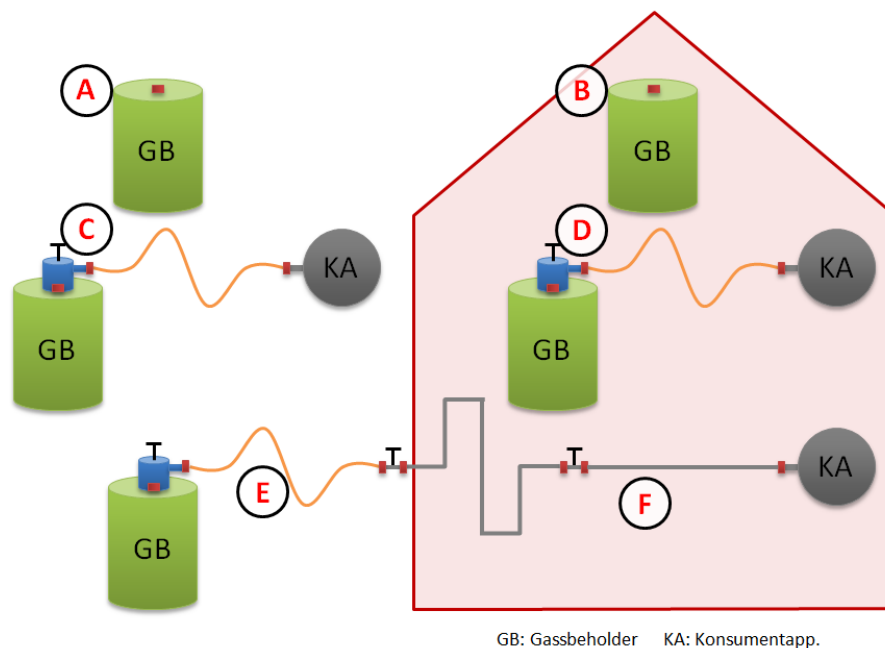


Figur 5-6 Typisk oppsett for anvendelse av gass utendørs.

Tabell 5-3 beskriver aktuelle oppsett og lekkasjepunkt for gasssystemer som brukes ved stedene som er fokuset for denne studien. Scenariene er i tillegg illustrert i Figur 5-7.

Tabell 5-3 Beskrivelse av aktuelle scenarier for risikoanalysen.

Scenario	Beskrivelse
A	Ikke-tilkoblet beholder plassert utendørs.
B	Ikke-tilkoblet beholder plassert innendørs.
C	Utendørs beholder tilkoblet utendørs konsumentapparat.
D	Innendørs beholder tilkoblet innendørs konsumentapparat.
E	Utendørs beholder tilkoblet innendørs konsumentapparat, hvor lekkasjen oppstår utendørs.
F	Utendørs beholder tilkoblet innendørs konsumentapparat, hvor lekkasjen oppstår innendørs. Innføring av innendørs stengeventil introduserer to ekstra potensielle lekkasjepunkt, sammenlignet med tilfellet hvor det ikke er noen stengeventil innendørs. Våre estimater vil derfor kunne anses som konservative.



Figur 5-7 Prinsippskisse som viser tenkte lekkasjescenarier fra innendørs- og utendørs gassystemer. Skissen reflekterer ikke hvor i bygget systemene er plassert. For forklaring av de ulike komponentene som inngår i oppsettene henvises det til Figur 5-5.

Frekvensnivået i de gitte scenariene beregnes ved å addere de relative lekkasjefrekvensene for hver enkelt komponent som inngår i scenarioet. Samtidig må man ta høyde for ulike forutsetninger i hvert scenario, eksempelvis sannsynligheten for at en gitt ventil står i åpen posisjon. For scenario C, vist i Figur 5-6, kan man beregne den totale lekkasjefrekvensen ved bruk av ligning (1).

$$f_{\text{lekkasje}} = f_1 + f_2 + f_3 + f_5 + f_6 + 2f_9 + 2f_7 + f_8 \quad (1)$$

hvor

f_{lekkasje} er frekvensnivået

$f_{1...9}$ er den relative lekkasjefrekvensen for komponentene listet i Tabell 5-2.

Tallet i subskriptet refererer til komponent-IDen.

Tabell 5-4 Frekvensnivå for ulike gasslekkasjescenarier. Bokstavene i venstre kolonne viser til lekkasjepunktene vist i Figur 5-7. Fargene fremhever de ulike gruppene: blå = utendørs, grå = innendørs og rød = ikke tilkoblet.

	Scenario			Frekvensnivå lekkasje, f_{lekkasje} [-]
	Lekkasje	Gassbeholder	Konsument	
A	Utendørs	Utendørs	Ikke tilkoblet	4
B	Innendørs	Innendørs	Ikke tilkoblet	4
C	Utendørs	Utendørs	Utendørs	121
D	Innendørs	Innendørs	Innendørs	121
E	Utendørs	Utendørs	Innendørs	224
F	Innendørs	Utendørs	Innendørs	102
E+F	Innendørs	Utendørs	Innendørs	326
	Utendørs			

Tabell 5-4 viser frekvensnivået for hvert av scenarioene. Bokstavene i venstre kolonne viser til lekkasjepunktene vist i Figur 5-7. De scenarioene hvor det er lavest frekvensnivå for lekkasje er tilfellene hvor gassbeholderen ikke er koblet til slanger, rør eller konsumentapparat (scenario A og B).

Frekvensnivået for lekkasje i oppsettet som oppfyller kravene i regelverket (scenario E og F), avhenger av hvor man antar lekkasjen oppstår. Dersom man kun ser på lekkasje innendørs er

den frekvensnivået 102, mens den er 224 for utendørs lekkasje. Frekvensnivået for tilfellet hvor det kan oppstå lekkasje enten utendørs eller innendørs blir summen av frekvensnivåene for lekkasje utendørs og innendørs: 326. Dette er cirka tre ganger høyere enn frekvensnivået for lekkasje i de tilfellene hvor konsumentapparatet er koblet direkte til gassbeholderen.

5.3.2 Gassansamling

For å estimere sannsynligheten for gassansamling, benyttes modellen som ble presentert i Figur 5-4. Sannsynligheten for at terrenget omkring lekkasjen har groper eller hull som muliggjør ansamling av gass, er anslått til 20 % utendørs og 5 % innendørs. Denne estimeringen gjøres på bakgrunn av at det utendørs kan være kummer, kjellertrapper og andre groper i terrenget, mens det innendørs antas å være relativt plant.

Når det gjelder lekkasjerater og muligheten for store eller raske utslipp, så ble dette vurdert for hver komponent. Sannsynlighet og frekvens for dette er gitt i Tabell 5-2.

, sammen med sannsynligheten for at utslippet blir stort. Et stort utslipp defineres som et utslipp der det til tross for at det er tatt hensyn til terrenget samt fungerende ventilasjon, skapes en antennelig gasskonsentrasjon rundt lekkasjestedet som er stor nok til å nå en antennelseskilde. Disse tallene er estimert på bakgrunn av vår fagkunnskap (expert judgement).

5.3.3 Tennkilde

For å kvantifisere sannsynligheten for antennelse av en lekkasje fra en frakoblet eller tilkoblet gassflaske, må tilgjengeligheten av tennkilder identifiseres. Det er knyttet stor usikkerhet til kvantifiseringen av tennkilder, men det ble vurdert til at det innendørs er 75 % sjanse for at det finnes tilgjengelige tennkilder innen gassens rekkevidde. For utendørs oppbevaring av gassbeholderne, ble det antatt at tennkilder er tilstrekkelig nær gasslekkasjen i 10 % av tilfellene, i og med at gassbeholderne enten er frakoblet, eller at konsumenten er plassert innendørs. I tilfellet hvor konsumenten er plassert utendørs, ble det antatt at tennkilder er tilstrekkelig nær lekkasjen i 25 % av tilfellene (konsumenten kan være en tennkilde i seg selv).

5.3.4 Antennelse

Frekvensnivå for antennelse av en lekkasje, $f_{\text{antennelse}}$, ble beregnet som vist i ligning (2).

$$f_{\text{antennelse}} = f_{\text{lekkasje}} \cdot \alpha_{\text{ansamling}} \cdot \alpha_{\text{tennkilde}} \quad (2)$$

hvor

f_{lekkasje} er frekvensnivå for lekkasje

$\alpha_{\text{ansamling}}$ er sannsynligheten for gassansamling

$\alpha_{\text{tennkilde}}$ er sannsynligheten for at tennkilde er tilstrekkelig nær lekkasjepunktet

Det totale frekvensnivået for antennelse i scenarioene listet i Tabell 5-3 er gitt i Tabell 5-5.

Tabell 5-5 Frekvensnivå for antennelse i ulike gasslekkasjescenarier. Bokstavene i venstre kolonne viser til lekkasjepunktene vist i Figur 5-7. Fargene fremhever de ulike gruppene: blå = utendørs, grå = innendørs og rød = ikke tilkoblet.

	Scenario			Frekvensnivå antennelse, $f_{\text{antennelse}}$ [-]
	Lekkasje	Flaske	Konsument	
A	Utendørs	Utendørs	Ikke tilkoblet	0,24
B	Innendørs	Innendørs	Ikke tilkoblet	2,93
C	Utendørs	Utendørs	Utendørs	13,48
D	Innendørs	Innendørs	Innendørs	87,76
E	Utendørs	Utendørs	Innendørs	6,02
F	Innendørs	Utendørs	Innendørs	74,19
E+F	Innendørs	Utendørs	Innendørs	80,21
	Utendørs Ventilert rom	Ventilert rom		

Tabellen over viser at scenariene rangeres annerledes med hensyn til frekvensnivå for antennelse sammenlignet med frekvensnivå for lekkasje. Dette kommer av at sannsynlighetene for tilstedeværelse av tennkilder og mulighet for ansamling av gass er ulike. Scenariet med høyest frekvensnivå for antennelse er scenario D, etterfulgt av henholdsvis E + F og F.

6 Diskusjon

I denne studien har vi kartlagt bestemmelsene som regulerer bruk av brennbar gass (propan) i restauranter, overnattingssteder og forsamlingslokaler i Norge, Sverige, Danmark, USA og New Zealand. Disse landene ble valgt med bakgrunn i at dette er land som på mange måter er sammenlignbare med Norge, samt av bekvemmelighetshensyn: regelverkene forelå på enten skandinavisk språk eller engelsk.

Kartleggingen viser at det norske regelverket på mange måter er likt det amerikanske, i alle fall når det gjelder bestemmelsene som går på oppbevaring av gassbeholdere innendørs. I begge lovverkene er dette i utgangspunktet ikke tillatt, men det er likevel åpnet for å kunne avvike fra bestemmelsene så lenge man iverksetter ekstra sikkerhetstiltak.

Dersom gassbeholdere skal oppbevares i restauranter, overnattingssteder og forsamlingslokaler i Norge, stilles det krav til at oppbevaringsrommet skal være en nisje i bygningen som er en egen branncelle med brannmotstand REIM 120. Til sammenligning stilles det i det svenske regelverket krav til brannmotstand EI 30 dersom man skal oppbevare mer enn 5 L brennbar gass innendørs i offentlige bygg. Det er altså ingen krav til brannmotstand for mengder under 5 L.

Både det svenske og danske regelverket stiller krav til ventilasjon i oppbevaringsrommet. Det svenske tillater naturlig ventilasjon for gassmengder over 5 L, men mekanisk ventilasjon dersom gassen oppbevares under bakkenivå. Det danske regelverket krever frisklufttilførsel i mindre rom. Mengden friskluft skal skaleres ut fra maksimaleffekten på konsumenten.

De svenske og danske regelverkene stiller også krav til ulike sikkerhetstiltak, eksempelvis at rørstrekke skal være uten skjøter, og at de skal ligge åpent tilgjengelige for inspeksjon.

I forbindelse med risikoanalysen som er blitt gjennomført i denne studien, er det avdekket at det finnes lite statistisk underlag for feilrater for ulike komponenter som benyttes i slike gassystem. Det nærmeste vi har kommet er OREDA-håndboken. Denne håndboken, eller databasen, omfatter komponenter som benyttes i offshoresammenheng. Man må anta at dette er komponenter som både er langt dyrere og har bedre kvalitet enn de komponentene som benyttes i gassystemene som er fokus for denne studien. I tillegg har man omfattende vedlikeholdregimer offshore, som sannsynligvis bidrar til å redusere feilratene. Derfor har vi valgt å ikke benytte disse verdiene i denne risikoanalysen, da de ville gitt et for lavt estimat på risikoen. Vi har heller valgt å benytte de relative feilfrekvensene mellom de ulike komponentene, for deretter å sammenligne om risikoen ved å oppbevare og benytte gass innendørs fører til økt risiko i forhold til å oppbevare gassen utendørs. Vår analyse viser at komponentene som bidrar til høyest frekvensnivå for lekkasje, er ventiler (teknisk feil eller satt i åpen stilling), slanger og slangekoblinger.

Våre beregninger viser at frekvensnivået for gasslekkasje i scenarioet hvor gassbeholderen oppbevares innendørs (scenario D), ikke er høyere enn i de scenariene hvor beholderen er oppbevart utendørs (scenario C, E og F), men har likt frekvensnivå for lekkasje som scenario C. Dette kommer av at det er færre mulige lekkasjepunkter i det tenkte oppsettet innendørs. Konsekvensen kan imidlertid bli større ved innendørs oppbevaring av gassbeholdere.

Begrepet risiko kan defineres på mange måter, og en mye brukt definisjon er at risiko er produktet av frekvens (eller sannsynlighet) og konsekvens. I de publiserte artiklene vi har hatt tilgang til, fremgår det at det er flere faktorer som virker inn på konsekvensene av lekkasje fra en gassbeholder som begynner å brenne, eller konsekvensene av en gassbeholder som blir utsatt for brann. Den viktigste faktoren ser ut til å være hvordan beholderen er konstruert og hvilket materiale den er laget av. Det ser ut til at beholdere av stål tåler brann bedre enn eksempelvis aluminiumsbeholdere, men samtidig kan konsekvensene bli en kraftig eksplosjon dersom en stålbeholder skulle revne. Det ser ut til at komposittbeholdere har lavere sannsynlighet for å revne, men at de i stedet slipper ut gass i mindre mengder per tidsenhet, og at man kanskje dermed kan oppnå trykkavlastning og unngå faren for eksplosjon. Uansett må det være et krav om at gassbeholderne er utstyrt med en trykkavlastningsmekanisme.

Ved å tillate oppbevaring av gassbeholdere innendørs, øker man brannenergien i rommet betydelig, og man står i fare for å eskalere en eventuell brann både med tanke på brannens vekstrate, intensitet og varighet. I tillegg introduserer man en fare og en usikkerhet for brannvesen, som må ta forholdsregler før de kan bekjempe brannen. Det rapporteres flere eksempler på brannmannskaper som har omkommet eller blitt skadet som følge av eksploderende gassflasker i bygninger [20]. I mange tilfeller vil det kunne vurderes som utrygt for brannmannskaper å gå inn i bygget, noe som gjør at innvendig innsats ikke blir mulig og bygget går tapt i brannen. Dersom man skal tillate oppbevaring av gass innendørs, bør man derfor også sette krav til at beholderen skal oppbevares i rom med tilstrekkelig brannmotstand til å motstå store deler av et brannforløp.

Ulempen ved å sette krav til eget oppbevaringsrom, er at man ikke reduserer antall koblinger, og dermed antall potensielle lekkasjepunkt. I tillegg flytter man lekkasjepunktene innendørs. Et slikt scenario kan sies å være likt scenariene E og F (se Figur 5-7). Oppbevaringsrommet må utformes på en slik måte at en eventuell lekkasje raskt vil bli ventilert ut av rommet. Konsekvensene av en lekkasje i oppbevaringsrommet vil dermed bli lik konsekvensene av en utendørs lekkasje (scenario E). Dette gjør at den totale sannsynligheten for antennelse, enten i oppbevaringsrommet eller i rommet hvor konsumentapparatet står, blir lavere enn i scenario D. Vi mener derfor at det er viktig å innføre konsekvensreducerende tiltak i form av oppbevaringsrom med et gitt brannmotstandsnivå, slik at risikonivået totalt sett blir lavere.

Med bakgrunn i det vi har kartlagt i denne studien, foreslår vi en lempelse av regelverket under visse forutsetninger:

- Gassbeholderne oppbevares i egnet lagringsrom/-skap, også under bruk (EI60).
- Gassbeholderne tilkobles konsument via åpent rørsystem, med så få skjøter som mulig.
- Tillatelse til å oppbevare maks 2 gassbeholdere med totalvolum opp til 55 L innendørs i eget rom/skap med minimum brannklasse EI60.
- Gassbeholdere lagres i velventilerte rom. Mekanisk ventilasjon bør vurderes.
- Det er installert system for gassdeteksjon nært gulv i rom hvor det blir lagret gassbeholdere.
- Det er installert system for gassdeteksjon nært gulv i rom hvor konsumentene benyttes.

- Det er installert flammevakt eller lekkasjevern på gassinstallasjoner innendørs.
- Kontroll av lekkasje med lekkasjeindikator (lekkasjespray) gjennomføres ved flaskebytte.
- Gassbeholderne må være utstyrt med trykkavlastningsmekanisme.
- Gassbeholdere som brukes innendørs og på verandaer tilknyttet serveringsstedet, overnattingsstedet eller forsamlingslokalet er laget av komposittmateriale.
- Gassbeholdere som brukes innendørs og på verandaer tilknyttet serveringsstedet, overnattingsstedet eller forsamlingslokalet må være utstyrt med husholdningstilkobling.
- Rom/skap hvor gass oppbevares må være godt merket med varselskilt for gass under trykk, samt skilt med *røyking og bruk av åpen ild forbudt*.
- Det må ikke lagres lettantennelige materialer og væsker i rommet/skapet hvor gassbeholdere oppbevares.
- Rom/skap hvor gass oppbevares må kunne sikres, slik at uvedkommende ikke har adgang.
- Det gjennomføres en risikovurdering med mål å fange opp forhold som ikke dekkes av nevnte sikkerhetstiltak.

DSB har fått signaler om at forbudet mot oppbevaring av gass i turisthytter er en ulempe. I disse hyttene benyttes gass gjerne til matlaging og til oppvarming av bygning og vann. Siden mange av disse hyttene ligger øde til, representerer sannsynligvis ikke gassbeholdere innendørs noen økt fare for brannmannskaper, da de i mange tilfeller vil ha så lang utrykningstid at skaden allerede har skjedd når de ankommer. Det er heller ingen fare for omkringliggende bygninger. Vi mener derfor at det i slike tilfeller, hvor det oppholder seg få mennesker, og hvor faren for brannmannskaper og omkringliggende bygg er tilnærmet fraværende, kan åpnes for at man følger regelverket for boenheter (gitt i temaveilederen kapittel 15.2.5 [1]).

7 Konklusjoner

Vi ser at det knytter seg ulike risikoer til utendørs oppbevaring av gassbeholdere, slik regelverket krever per i dag, og lagring og bruk av gassbeholdere innendørs. Ved utendørs lagring og innendørs bruk, vil systemet inneholde flere komponenter hvor det kan oppstå lekkasje. Samtidig er sannsynligheten for at systemet ikke blir stengt ved gassbeholderen betydelig større. Ved innendørs lagring og bruk vil det normalt være kortere vei mellom gassflaske og konsument, noe som medfører færre komponenter og dermed færre potensielle lekkasjer. Det er med andre ord ikke høyere sannsynlighet for gasslekkasje og antennelse om man oppbevarer gassen innendørs sammenlignet med utendørs.

Derimot vil konsekvensene kunne bli betydelig større ved å flytte gassbeholdere innendørs. Man må derfor iverksette sikkerhetstiltak for å redusere eksplosjonsfare forbundet med gassbeholdere. Med bakgrunn i det vi har kommet frem til i dette prosjektet, så mener vi derfor at det kan åpnes for at gassbeholdere kan oppbevares og benyttes innendørs i serveringssteder, overnattingssteder og forsamlingslokaler i et begrenset omfang, så fremt visse kriterier (gitt i kapittel 6) oppfylles.

Referanser

- [1] «Temaveiledning om bruk av farlig stoff, Del 1: Forbruksanlegg for flytende og gassformig brensel, versjon 2». Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), feb. 2011.
- [2] Richard, «Forskrift om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen», Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2009.
- [3] «Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver», Justis- og beredskapsdepartementet, LOV-2002-06-14-20, 2002.
- [4] «Veiledning til forskrift om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen». Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2010.
- [5] «Sprängämnesinspektionens föreskrifter (SÄIFS 1998:7) om brandfarlig gas i lös behållare med ändringar i SÄIFS 2000:3», Sprängämnesinspektionen, Sverige, 2000.
- [6] «Brandfarliga varor - Gasol i restauranger», Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Sverige, okt. 2013.
- [7] «Bekendtgørelse om tekniske forskrifter for gasser», Beredskabsstyrelsen, Danmark, BEK nr 1444 as 15/12/2010, des. 2010.
- [8] «Vejledning til tekniske forskrifter for gasser. Brandforebyggelse Vejledning nr. 15», Beredskabsstyrelsen, Danmark.
- [9] «Gasreglementets afsnit B-5», Sikkerhedsstyrelsen, Danmark, jun. 2009.
- [10] «Hazardous Substances and New Organisms Act», Ministry for the Environment, New Zealand, 1996 No 30, jun. 1996.
- [11] «HSNO Control Regulations - User guide». Environmental Protection Authority, feb. 2012.
- [12] «Hazardous Substances (Classes 1 to 5 Controls) Regulations», Ministry for the Environment, New Zealand, SR 2001/116, mai. 2001.
- [13] «Hazardous Substances (Identification) Regulations», Ministry for the Environment, New Zealand, SR 2001/124, mai. 2001.
- [14] «Hazardous Substances (Emergency Management) Regulations», Ministry for the Environment, New Zealand, SR 2001/123, mai. 2001.
- [15] «Hazardous Substances (Dangerous Goods and Scheduled Toxic Substances) Transfer Notice», Ministry for the Environment, New Zealand, mar. 2004.
- [16] «Occupational Safety and Health Standards - Storage and handling of liquefied petroleum gases», United States Department of Labor, USA, 1910.110, mar. 1993.
- [17] «NFPA 54 ANSI Z223.1 National Fuel Gas Code», National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, 2018.
- [18] S. Svensson og D. Madsen, «Brandprovning av gasolflaskor, med respektiva utan tryckavlastning», Lunds universitet, Lund, Sverige, MS1054, des. 2016.
- [19] A. M. Birk og D. J. VanderSteen, «The Survivability of Steel and Aluminum 33.5 Pound Propane Cylinders in Fire», *Process Saf. Prog.*, bd. 22, nr. 2, s. 129–135, jun. 2003.
- [20] R. Tschirschwitz *mfl.*, «Mobile gas cylinders in fire: Consequences in case of failure», *Fire Saf. J.*, bd. 91, nr. Supplement C, s. 989–996, 2017.
- [21] «NS-EN 1442:2017 LPG-utstyr og tilbehør - Transportable påfyllbare sveiste stålflasker for flytende petroleumsgass (LPG) - Konstruksjon og utførelse». Standard Norge, 2017.
- [22] Rodney L. Osborne, Pravinray D. Gandhi, og Ronald R. Czischke, «Fire testing of Composite Propane Cylinders», i *NFPA 58: LP-Gas Code Handbook*, 9. utg., Theodore C. Lemoff, Red. National Fire Protection Association, 2011, s. 565–570.
- [23] S. Flamberg, R. Osborne, og S. Rose, «Code Approval of Composite Propane Cylinders for Indoor Use Phase II», Battelle, Columbus, Ohio, USA, Docket 11643, feb. 2007.

[24] B. Svensen, «Kommentarer rapportutkast», 03 jan. 2018.

[25] T. Pedersen og K. Hofstad, «HAZID», *Store norske leksikon*. 10 jul. 2017.

A Failure Mode and Effect Analysis

ID	Component	Failure	Cause	Effect	Comment/measures taken	Risk estimation (1 - 5)	Suggested safety measure
FLASKA							
A	Cylinder	Hål i cylinder	Mekanisk skada Korrosion	Stort läckage	Vätska om hål vid vätskefas Flaskor inspekteras vid fyllning	1 3	Regelmässig inspektion av flaskan Gasdetektion
B	Ventilanslutning	Läckage	Mekanisk skada	Litet/medel läckage	Skydd kring ventil	2 2	Regelmässig inspektion av flaskan Gasdetektion
C	Säkerhetsventil	Fastnad	Korrosion Materialinträngning	Potential för övertryck/kärlsprängning och snabb förbränning		1 1	
D	Säkerhetsventil	Läckage	Materialbrott	Litet/medel läckage		1 2	Gasdetektion
E	Industriventil, kopplad flaska	Öppen	Mänskligt fel/glömd	Troligtvis inget läckage		5 1	Kontroll av att ventil är stängd
F	Industriventil, lös flaska	Öppen	Mänskligt fel/glömd	Medel läckage		2 2	Kontroll av att ventil är stängd
G	Industriventil	Läckage	Dålig gänga/ventil som inte är tät Materialinträngning	Litet/medel läckage		1 1	
REGULATOR							
H	Hushållsventil	Öppen/läckage	Mänskligt fel/glömd	Troligtvis inget läckage		5 1	Kontroll av att ventil är stängd
I	Hushållsregulatoranslutning	Läckage	Mekanisk skada Korrosion/material i koppling Inte ordentligt ditsatt	Litet/medel läckage	Inspektion vid fyllning Frekvent av- och påkoppling	3 2	Visuell inspektion vid inkoppling

J	Industriregulatoranslutning	Läckage	Mänskligt fel/inte tillräckligt åtskruvad Dålig packning Dålig gänga	Litet/medel läckage	Frekvent av- och påkoppling	4.5	2	Rutiner för inspektion av gängor Läckspray för inspektion av anslutning
K	Regulator	Läckage	Mekaniskt fel, skada	Litet/medel läckage Ökat tryck/flöde till konsument	Ökat tryck hos konsumenten kan orsaka oönskat hög effekt/brand	1	2	Åldersbegränsning och byte av regulatorer
SLANGAR/KOPPLINGAR								
L	Slangkoppling (med slangklämma eller fabriksklämd)	Läckage	Mänskligt fel (ej tillräcklig åtdragning) Fabrikationsfel (och kontrollfel) Mekaniska påverkan	Litet läckage		3.5	2	Efterdragning Kontroll av installation med läckagespray
M	Slang	Läckage	Påverkan av väder (sol, värme, kyla, regn, frost...) Ålder Mekanisk påverkan Mekanisk skada (klämning, kutt) Skadedjur	Litet läckage	I Norge används i allmänhet alltid för ändamålet avsedd slang (väder- och åldersbeständig)	3	2	Viktigt med rutiner för inspektion av slang, i synnerhet vid säsonsstart och installation.
N	Skruvkoppling mot konsument	Läckage	Mänskligt fel (ej tillräcklig åtdragning) Skadad gänga eller packning/kon Materialinträngning	Litet läckage		2	2	Läckspray för inspektion av anslutning vid installation
ÖVRIGT								

O Rör (och ev. kopplingar)	Läckage	Mekanisk skada (påkörning, borrar)	Litet läckage	Kopplingar inspekteras vid installation Ju längre sträcka med rör desto högre sannolikhet för läckage	2 2	Gasdetektion Läckspray för inspektion av anslutning vid installation och vid mekanisk påverkan
P Ventil	Läckage	Dålig gänga/ventil som inte är tät Materialinträngning	Litet/medel läckage	Problematiskt om ventilen används som avstängningsventil Installation och användning av ventil inomhus kan minska sannolikheten för att systemet mellan ventil och konsument är trycksatt	1 1	Förslag att kräva ventil efter fasta rör, vid förvaring utomhus och användning inomhus.



RISE Fire Research AS

Postadresse: Postboks 4767 Sluppen, 7465 Trondheim
Telefon: 464 18 000
E-post: post@risefr.no
Internett: www.risefr.no

**RI
SE**