



SAFETY & TRANSPORT
RISE FIRE RESEARCH



Fra bensinstasjon til energistasjon: Endring
av brann- og eksplosjonssikkerhet

Ragni Fjellgaard Mikalsen, Andreas Sæter Bøe,
Christoph Meraner, Reidar Stølen

RISE-rapport 2020:11

Fra bensinstasjon til energistasjon: Endring av brann- og eksplosjonssikkerhet

Ragni Fjellgaard Mikalsen, Andreas Sæter Bøe,
Christoph Meraner, Reidar Stølen

Abstract

From petrol station to multifuel energy station: Changes in fire and explosion safety

A multifuel energy station is a publicly available station which offers refueling of traditional fossil fuels in combination with one or more alternative energy carriers, such as hydrogen or electric power to electric vehicles. The goal of this study is to survey how the transition from traditional petrol stations to multifuel energy stations affects the fire and explosion risk.

Relevant research publications, regulations and guidelines have been studied. Four interviews with relevant stakeholders have been conducted, in addition to correspondence with other stakeholders. The collected information has been used to evaluate and provide a general overview of fire and explosion risk at multifuel energy stations. The scope of the project is limited, and some types of fueling facilities (in conjunction with supermarkets, bus- and industrial facilities), some types of safety challenges (intended acts of sabotage and/or terror), as well as transport of fuel to and from the station, are not included.

Availability of different types of fuel in Norway was investigated and three types were selected to be in focus: power for electric vehicles, gaseous hydrogen, as well as hydrogen and methane in liquid form. The selection was based on expected future use, as well as compatibility with the goal of the National Transport Plan that all new vehicles sold from 2025 should be zero emission vehicles. Currently, the category zero emission vehicle includes only electric- and hydrogen vehicles.

In facilities that handle flammable, self-reactive, pressurized and explosive substances there is a risk of unwanted incidents. When facilities with hazardous substances comply with current regulations, the risk associated with handling hazardous substances is considered not to be significant compared to other risks in society. When new energy carriers are added, it is central to understand how the transition from a traditional petrol station to a multifuel energy station will change the fire and explosion risk. Factors that will have an impact include: number and type of ignition sources, number of passenger vehicles and heavy transport vehicles at the station, amount of flammable substances, duration of stay for visitors, complexity of the facility, size of the safety distances, fire service's extinguishing efforts, environmental impact, maintenance need etc. In addition, each energy carrier entails unique scenarios.

By introducing charging stations at multifuel energy stations, additional ignition sources are introduced compared to a traditional petrol station, since the charger itself can be considered as a potential ignition source. The charger and connected car must be placed outside the Ex-zone in accordance with NEK400 (processed Norwegian edition of IEC 60364 series, the CENELEC HD 60364 series and some complementary national standards), in such a way that ignition of potential leaks from fossil fuels or other fuels under normal operation conditions is considered unlikely to occur. A potential danger in the use of rapid charging is electric arcing, which can arise due to poor connections and high electric effect. Electric arcs produce local hot spots, which in turn can contribute to fire ignition. The danger of electric arcs is reduced by, among others, communication between the vehicle and charger, which assures that no charging is taking place before establishing good contact between the two. The communication also assures that it is not possible to drive off with the charger still connected. There are requirements for weekly inspections of the charger and the charging cable, which will contribute to quick discovery and subsequent repair of

faults and mechanical wear. Other safety measures to reduce risk include collision protection of the charger, and emergency stop switches that cut the power delivery to all chargers. There is a potential danger of personal injury by electric shock, but this is considered most relevant during installation of the charger and can be reduced to an acceptable level by utilizing certified personnel and limited access for unauthorized personnel. For risk assessments and risk evaluations of each individual facility with *charging stations*, it is important to take into account the added ignition sources, as well as the other mentioned factors, in addition to facility specific factors.

Gaseous hydrogen has different characteristics than conventional fuels at a petrol station, which affect the risk (frequency and consequence). Gaseous hydrogen is flammable, burns quickly and may explode given the right conditions. Furthermore, the gas is stored in high pressure tanks, producing high mechanical rupture energy, and the transport capacity of gaseous hydrogen leads to an increased number of trucks delivering hydrogen, compared with fossil fuels. On the other hand, gaseous hydrogen is light weight and easily rises upwards and dilute. In the case of a fire the flame has low radiant heat and heating outside the flame itself is limited. Important safety measures are open facilities, safe connections for high pressure fueling, and facilitate for pressure relief in a safe direction by the use of valves and sectioning, so that the gas is led upwards in a safe direction in case of a leakage. For risk assessments and risk evaluations of each individual facility with *gaseous hydrogen*, it is important to take into account the explosion hazard, as well as the other mentioned factors, in addition to facility specific factors.

Liquid hydrogen (LH2) and liquid methane (LNG, LBG) are stored at very low temperatures and at a relatively low pressure. Leakages may result in cryogenic (very cold) leakages which may lead to personal injuries and embrittlement of materials such as steels. Critical installations which may be exposed to cryogenic leakages must be able to withstand these temperatures. In addition, physical boundaries to limit uncontrolled spreading of leakages should be established. Evaporation from tanks must be ventilated through safety valves. During a fire, the safety valves must not be drenched in extinguishing water, as they may freeze and seal. Leakages of liquid methane and liquid hydrogen will evaporate and form flammable and explosive gas clouds. Liquid hydrogen is kept at such a low temperature that uninsulated surfaces may cause air to condense and form liquid oxygen, which may give an intense fire or explosion when reacting with organic material. For risk assessments and risk evaluations of each individual facility with *liquid hydrogen and liquid methane*, it is important to take into account the cryogenic temperatures during storage and that it must be possible to ventilate off any gas formed by evaporation from a liquid leakage, as well as the other mentioned factors, in addition to facility specific factors.

For the combination of more than one alternative energy carrier combined with fuels of a conventional petrol station, two areas of challenges have been identified: area challenges and cascade effects. *Area challenges* are due to the fact that risks to the surroundings must be evaluated based on all activity in the facility. When increasing the number of fueling systems within an area, the frequency of unwanted incidents at a given point in the facility is summarized (simply put). If two energy carriers are placed in too close proximity to each other, the risk can be disproportionately high. During construction, the fueling systems must be placed with sufficient space between them. In densely populated areas, shortage of space may limit the development. *Cascade effects* is a chain of events which starts small and grows larger, here due to an incident involving one energy carrier spreading to another. This may occur due to ignited liquid leakages which may flow to below a gas tank, or by explosion- or fire related damages to nearby installations due to shock waves, flying debris or flames. Good technical and

organizational measures are important, such as sufficient training of personnel, follow-up and facility inspections, especially during start-up after installing a new energy carrier. The transition from a traditional petrol station to a multifuel energy station could not only give negative cascade effects, since sectionalizing of energy carriers, with lower storage volume per energy carrier, as well as physical separation between these, may give a reduction in the potential extent of damage of each facility. Apart from *area challenges* and *cascade effects* no other combination challenges, such a *chemical interaction challenges*, have been identified to potentially affect the fire and explosion risk.

For future work it will be important to keep an eye on the development, nationally and internationally, since it is still too early to predict which energy carriers that will be most utilized in the future. If electric heavy transport (larger batteries and the need for fast charging with higher effect) become more common, it will be necessary to develop a plan and evaluate the risks of charging these at multifuel energy stations. For hydrogen there is a need for more knowledge on how the heat of a jet fire (ignited, pressurized leakage) affects impinged objects. There is also a general need for experimental and numerical research on liquid hydrogen and methane due to many knowledge gaps on the topic. During operation of the facilities and through potential unwanted incidents, new knowledge will be gained, and this knowledge must be utilized in order to update recommendations linked to the risk of fire and explosion in multifuel energy stations.

Key words:

Multifuel energy station, energy station, safety, fuel, DC fast charging, quick charging, rapid charging, hydrogen, new energy carriers.

Energistasjon, sikkerhet, drivstoff, hurtiglading, hydrogen, nye energibærere

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-rapport 2020:11

ISBN: 978-91-89049-91-8

Prosjektnummer: 20415

Kvalitetssikring: Karolina Storesund

Finansiert av: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB)

Forsidebilde: Eksempel på energistasjon. Foto: Eight Inc (contacted for permission to use)

Trondheim 2020

Innhold

Abstract	1
Innhold	4
Forord	6
Sammendrag	7
1 Innledning	10
1.1 Bakgrunn.....	10
1.2 Målsetting og forskningsspørsmål.....	10
1.3 Avgrensninger.....	10
1.4 Metodebeskrivelse.....	11
1.5 Etiske vurderinger.....	12
1.6 Finansiering.....	12
1.7 Ordliste.....	12
2 Systembeskrivelse	15
2.1 Definisjon energistasjon.....	15
2.2 Aktører på markedet i dag.....	16
2.3 Utvikling og fremtidens energistasjoner.....	16
2.4 Akseptkriterier for risiko ved anlegg for håndtering av farlig stoff.....	19
3 Regelverk og veiledninger	21
3.1 Regelverk.....	21
3.2 Temaveiledninger.....	22
3.2.1 Temaveiledning om omtapping av farlig stoff.....	22
3.2.2 Forslag til temaveiledning om sikkerhetsavstander.....	23
3.2.3 Temaveiledning om bruk av farlig stoff del 1 – Forbruksanlegg for flytende og gassformig brensel.....	23
4 Energibærere hver for seg	24
4.1 Diesel og bensin.....	24
4.1.1 Bakgrunnsinformasjon og eksisterende anlegg.....	24
4.1.2 Egenskaper og risikoer forbundet med energibæreren.....	24
4.1.3 Aktuelle hendelser.....	25
4.1.4 Eksisterende anbefalinger.....	25
4.1.5 Tiltak og barrierer.....	26
4.2 Strøm til elektriske kjøretøy.....	27
4.2.1 Bakgrunnsinformasjon og eksisterende anlegg.....	27
4.2.2 Egenskaper og risikoer forbundet med energibæreren.....	27
4.2.3 Aktuelle hendelser.....	29
4.2.4 Eksisterende anbefalinger.....	30

4.2.5	Faktorer som endres ved endring fra bensinstasjon til energistasjon med strøm til elektriske kjøretøy	30
4.2.6	Tiltak og barrierer.....	32
4.3	Hydrogen i gassform	33
4.3.1	Bakgrunnsinformasjon og eksisterende anlegg	33
4.3.2	Egenskaper og risikoer forbundet med energibæreren	34
4.3.3	Aktuelle hendelser.....	36
4.3.4	Eksisterende anbefalinger.....	38
4.3.5	Faktorer som endres ved endring fra bensinstasjon til energistasjon med hydrogen i gassform	38
4.3.6	Tiltak og barrierer.....	40
4.4	Flytende hydrogen, flytende metan (LNG, LBG)	41
4.4.1	Bakgrunnsinformasjon og eksisterende anlegg	41
4.4.2	Egenskaper og risikoer forbundet med energibæreren:	41
4.4.3	Aktuelle hendelser.....	42
4.4.4	Eksisterende anbefalinger.....	42
4.4.5	Faktorer som endres ved endring fra bensinstasjon til energistasjon med flytende hydrogen eller flytende naturgass.....	42
4.4.6	Tiltak og barrierer.....	44
4.5	Andre energibærere: etanol, CNG, CBG, LPG	45
5	Risiko ved endring fra tradisjonell bensinstasjon til energistasjon	46
6	Energibærere i kombinasjon.....	53
6.1	Eksisterende forskningslitteratur på energibærere i kombinasjon på energistasjoner. 53	
6.2	Vekselvirkninger mellom flere energibærere: samlet vurdering av risiko	54
7	Oppsummering og anbefalt videre arbeid	57
8	Referanser	59
	Vedlegg A: Informasjon utsendt i forkant av intervjuer	A-1

Forord

RISE Fire Research har siden 2015 studert utfordringer ved brann sikkerhet knyttet til alternative energibærere i kjøretøy. Dette prosjektet er finansiert av Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap (DSB) som en del av prosjektporteføljen under forskningsavtalen mellom DSB og RISE Fire Research.

Vi ønsker å takke representanter fra bransjen, brannvesen, forskningsinstitutt og myndigheter som har deltatt på intervjuer og kommet med innspill til prosjektet.

Cristina Sanfeliu Meliá har jobbet med sin masteroppgave *Study and Analysis of Fire Safety in Energy Stations in comparison with Traditional Petrol Stations* (<http://hdl.handle.net/11250/2621262>) parallelt med prosjektet. Vi ønsker å takke Cristina for viktige innspill og bakgrunnsinformasjon.

Den presenterte litteraturstudien er oppdatert per tidlig 2020, ettersom majoriteten av rapporten er utarbeidet i 2019 og tidlig 2020, og kun små endringer er gjort på senere tidspunkt i 2020.

Trondheim, oktober 2020

Dr. Ragni Fjellgaard Mikalsen
Forsker og prosjektleder

Sammendrag

En energistasjon er en offentlig tilgjengelig stasjon hvor det tilbys fylling av tradisjonelt fossilt drivstoff i kombinasjon med en eller flere alternative energibærere, som hydrogen eller strøm til elbiler. Målet med denne studien er å studere hvordan endring fra tradisjonelle bensinstasjoner til energistasjoner påvirker risiko for brann- og eksplosjon.

Forskningspublikasjoner, regelverk, veiledninger og standarder relevant for temaet er gjennomgått. Fire intervjuer med sentrale aktører er gjennomført, i tillegg til korrespondanse med andre sentrale aktører. Innhentet informasjon er brukt til å vurdere og gi en overordnet oversikt over brann- og eksplosjonsrisiko på energistasjoner. Prosjektets omfang er avgrenset, slik at noen typer fyllleanlegg (tilknyttet supermarked, buss- eller industrianlegg), noen typer sikkerhetsutfordringer (viljeskapt handling av enkeltpersoner eller terror) samt transport til og fra stasjonen ikke er inkludert.

Fordeling av ulike typer drivstoff i Norge i dag ble studert, og det ble valgt ut tre hovedfokus: strøm til elektriske kjøretøy, hydrogen i gassform, samt hydrogen og metan i flytende form. Utvalget er gjort basert på forventet fremtidig bruk, samt at disse samsvarer med Nasjonal Transportplan sitt mål om at alle nye kjøretøy fra 2025 skal være nullutslippskjøretøy. Under nullutslippskjøretøy er det per i dag bare elbil og hydrogenkjøretøy.

Det er knyttet risiko for uønskede hendelser til anlegg som håndterer brannfarlig, reaksjonsfarlig, trykksatt og eksplosjonsfarlig stoff. Ved at virksomheter med farlig stoff etterlever gjeldende regelverk, anses risikoen som er knyttet til håndtering av farlig stoff å ikke være vesentlig sett opp mot øvrig risiko i samfunnet. Når nye energibærere tilkommer, vil det være viktig å forstå hvordan endringen fra en tradisjonell bensinstasjon vil påvirke risiko for brann- og eksplosjon. Faktorer som vil kunne påvirkes ved en slik endring er: antall og type tennkilder; antall personkjøretøy og tungtransport på stasjonen; mengde brannfarlig stoff; oppholdstid for besøkende; anleggets kompleksitet; størrelse på sikkerhetsavstander; brannvesenets sløkkeinnsats; miljøpåvirkning; behov for vedlikehold m.m. I tillegg har hver energibærer noen scenarier som er unikt for denne.

Ved innføring av ladestasjoner på energistasjoner tilføres det ekstra tennkilder sammenlignet med en tradisjonell bensinstasjon, ved at laderen i seg selv kan regnes som en potensiell tennkilde. Laderen med tilhørende bil skal være plassert utenfor Ex-soner i henhold til NEK 400, slik at antenning av eventuelle lekkasjer av bensin, diesel eller annet under normal drift anses som lite sannsynlig. En potensiell fare ved bruk av hurtigladdere er lysbuer, som kan oppstå ved dårlig kontakt og høy effekt. Lysbuer vil skape et veldig lokalt varmt punkt, og kan slik bidra til å starte en brann. Faren for lysbuer reduseres blant annet ved at det er en kommunikasjon mellom elbil og lader som sikrer at lading ikke igangsettes før det er etablert ordentlig kontakt mellom lader og elbil. Kommunikasjonen bidrar også til at det ikke er mulig å kjøre avgårde med ladekabelen tilkoblet. Det er krav om ukentlig inspeksjon av laderen og ladekabel, som vil bidra til at feil og slitasje på lader og kabel oppdages raskt og kan utbedres. Andre tiltak for å redusere risiko er kollisjonsbeskyttelse rundt laderne og nødstoppbryter som stenger av strømmen på samtlige ladere. Det er en viss fare for personskaade ved elektrisk sjokk, men denne anses som mest aktuell ved installasjon av laderen, og kan reduseres til et akseptabelt nivå ved bruk av sertifisert personell og adgangsbegrensning for uvedkommende. I risikovurderinger av hvert enkelt anlegg med *ladestasjoner* er det viktig å ta hensyn til tilførte tennkilder, samt de andre nevnte faktorene, i tillegg til anleggsspesifikke faktorer.

Hydrogen i gassform har andre stoffegenskaper enn de konvensjonelle drivstoffene på en bensin/dieselstasjon, som gjør at risikoen (frekvens og konsekvens) endres. Hydrogen i gassform er lettantennelig, brenner raskt og kan eksplodere ved uheldige omstendigheter. Videre lagres gassen på tanker under høyt trykk, som gir stor mekanisk energi ved brudd, og kapasiteten på transport av hydrogen i gassform fører også til at antallet lastebiler med leveranse av hydrogen vil øke sammenlignet med bensin/diesel. På den andre siden, vil hydrogen i gassform stige lett til værs hvor den raskt tynnes ut. Ved brann gir flammen liten varmestråling og oppvarming utenfor selve flammen. Sentrale sikkerhetstiltak er åpne anlegg, ha sikre koblinger for tanking ved høyt trykk og legge til rette for trykkavlastning i sikker retning ved hjelp av ventiler og seksjonerings, slik at gassen blir ledet oppover i sikker retning ved lekkasjer. I risikovurderinger av hvert enkelt anlegg med *hydrogen i gassform* er det viktig å ta hensyn til eksplosjonsfaren, samt de andre nevnte faktorene, i tillegg til anleggsspesifikke faktorer.

Flytende hydrogen (LH2) og flytende metan (LNG, LBG) er lagret ved svært lave temperaturer og relativt lavt trykk. Lekkasjer kan resultere i kryogeniske (svært kalde) utslipp som kan føre til personskader og gjøre materialer sprø, som for eksempel stål. Kritiske installasjoner som kan utsettes for en kryogenisk lekkasje må kunne tåle disse temperaturene. Det bør også etableres avsperringer for å hindre ukontrollert spredning. Avdamping fra tanken må ventileres ut gjennom sikkerhetsventiler. Sikkerhetsventilene må ikke spyles med vann ved en brann da disse kan fryse og tettes. Utslipp av metan og hydrogen i væskeform vil fordampe og danne brannfarlige og eksplosjonsfarlige gasskyer. Flytende hydrogen holder så lav temperatur at uisolerte overflater kan føre til at luft kondenserer og danner flytende oksygen, som kan gi svært kraftig brann eller eksplosjon ved reaksjon med organisk materiale. I risikovurderinger av hvert enkelt anlegg med *flytende hydrogen og flytende metan* er det viktig å ta hensyn til svært lave temperaturer under lagring, at gassen som damper av fra det flytende utslippet må kunne ventileres vekk, samt de andre nevnte faktorene, i tillegg til anleggsspesifikke faktorer.

For kombinasjonen av flere enn én alternativ energibærer sammen med drivstoff på en tradisjonell bensinstasjon er det identifisert utfordringer på to områder: arealutfordringer og kaskadeeffekter. *Arealutfordringer* kommer av at risiko for omgivelsene skal vurderes ut fra den samlede aktiviteten på anlegget. Ved økning av antall fyllesystemer innenfor et område vil frekvensen av uønskede hendelser på et gitt sted i området summeres (enkelt sagt). Hvis to energibærere plasseres for nærmere hverandre, kan risikoen bli uforholdsmessig høy. Ved en utbygging må fyllesystemene derfor plasseres med tilstrekkelig avstand fra hverandre. I tettbygde strøk vil dette kunne medføre at en utbygging hindres av arealmangel. *Kaskadeeffekter* er en kjede av hendelser som starter i det små og vokser seg til en større hendelse, her ved at en uønsket hendelse med én energibærer sprer seg til en annen. Dette kan skje ved lekkasjer av væske som antennes og renner under en gasstank eller ved at eksplosjoner eller brann skader nærliggende installasjoner ved trykkbølger, flygende deler eller flammer. Gode tekniske og organisatoriske tiltak er viktig, som tilstrekkelig opplæring av personell, oppfølging og anleggskontroll, særlig i en introduksjonsperiode av en ny energibærer. Endring fra bensinstasjon til energistasjon vil derimot ikke bare kunne gi negative kaskadeeffekter, ettersom inndeling i flere energibærere med mindre lagringsvolum per energibærer, samt fysisk separasjon mellom disse vil i seg selv kunne være positivt, ved at hvert anlegg får mindre potensielt skadeomfang. Utover arealutfordringer og kaskadeeffekter er det ikke identifisert vekselvirkninger, eksempelvis *kjemiske vekselvirkninger*, som påvirker brann- og eksplosjonsrisikoen.

I veien videre vil det være viktig å følge med på utviklingen i markedet nasjonalt og internasjonalt, siden det fremdeles er for tidlig å vite hvilke energibærere som vil bli mest brukt fremover.

Dersom det i framtiden blir mange el-lastebiler (store batterier og behov for hurtigladere med høyere effekt) må det utarbeides en plan og en egen risikovurdering på hvordan lading av disse kan skje på en energistasjon. For hydrogen er det behov for mer kunnskap om varmpåvirkning fra hydrogenjetbranner (antent, trykksatt lekkasje) når disse treffer et objekt, og det er generelt behov for mer eksperimentell og numerisk forskning på flytende hydrogen og metan siden området har mange kunnskapshull. Fremover vil det komme ny kunnskap gjennom drift av anlegg, og gjennom potensielle uønskede hendelser, denne må nyttiggjøres for å oppdatere anbefalinger knyttet til risiko for brann og eksplosjon på energistasjoner.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I forbindelse med at en stadig økende andel av bilparken drives av andre energibærere enn fossile drivstoff ventes det en omlegging av de tradisjonelle bensinstasjonene til å bli energistasjoner, hvor også andre energibærere blir tilbudt, som elektrisitet, hydrogen i gassform og flytende hydrogen (LH₂), flytende og komprimert naturgass (LNG og CNG). EUs direktiv 2014/94/EU [1] om etablering av infrastruktur for alternative energibærere er med på å drive denne utviklingen. På sikt forventes det at fossile drivstoff fases ut.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) har bedt RISE Fire Research studere hvordan bensinstasjonene må endres for å imøtekomme fremtidens drivstoffeterspørsel, samt hvilke risikoer dette representerer med hensyn til brann og eksplosjon.

1.2 Målsetting og forskningsspørsmål

Målsettingen med dette prosjektet er å belyse hvilke risikoer en endring fra bensinstasjoner til energistasjoner representerer med hensyn til brann og eksplosjonsfare, og hvilke risikoer som må tas hensyn til ved etablering av energistasjoner.

1.3 Avgrensninger

Prosjektet omfatter ikke frittstående enkeltstasjoner (ikke tilknyttet bensinstasjon), stasjoner som ikke er offentlig tilgjengelig (eksempelvis stasjoner for fylling av buss eller inne på industrianlegg), stasjoner tilknyttet andre fasiliteter enn bensinstasjoner (eksempelvis supermarked, restauranter eller lignende), eller offshore/maritime anlegg. Noen læringspunkter fra slike anlegg er likevel inkludert, i tilfeller hvor det er funnet risikomomenter som er relevante også for energistasjoner.

Storulykkevirksomheter¹ er ikke i fokus i denne studien.

Viljeskapt handling (av enkeltpersoner eller terror) er utenfor prosjektets omfang.

Transport av energibærere til og fra energistasjon er utenfor prosjektets omfang.

Vurderingen av eksplosjonsfare er begrenset til evaluering av muligheten for oppbygging og sent antenning av en gassky. Eksplosjonstrykket og konsekvensene av en eksplosjon er ikke vurdert i detalj.

¹ Storulykkevirksomheter, som definert i Storulykkeforskriften [2]

På grunn av antall energibærere som er studert og det følgende store omfanget av relevante standarder og veiledninger, er ikke innhold i hver standard presentert i detalj, men en oversikt over relevante standarder er gitt..

1.4 Metodebeskrivelse

Litteraturgjennomgang:

Forskning gjort på feltet er studert gjennom søk etter publikasjoner i vitenskapelige databaser. Det er også søkt etter rapporter og andre publikasjoner i andre databaser og søkemotorer på internett som kan inneholde relevant informasjon.

Relevant, norsk regelverk er studert for å gi et sammendrag av hvilke føringer disse legger for energistasjoner. Veiledninger og standarder som kan legges til grunn for design av energistasjoner er også studert.

Forespørsler ble sendt ut til aktører i bransjen om å gi tilgang til utførte risikovurderinger, enten for frittstående anlegg eller for integrerte multifuel energistasjoner. Totalt fire utførte risikovurderinger ble mottatt og gjennomgått, hvorav én var en frittstående hydrogenfyllestasjon, og tre var eksisterende bensinstasjoner som ble utvidet til å også omfatte hurtiglading, eller fylling av hydrogen eller propan.

Kontakt med aktører

Følgende intervjuer ble gjennomført (se vedlegg A for detaljer om informasjon som ble utsendt i forkant av intervjuer):

- Lloyds Register Norge: Sjefsingeniør, risikoanalyser hydrogenstasjoner, intervju 07.11.2019.
- Asker og Bærum brann og redning: Beredskapssjef og innsatsleder ved Kjørbo hendelsen, intervju 15.11.2019.
- Drivkraft Norge: Fagsjef, intervju 28.11.2019.
- Circle K, senior leder hurtiglading, senior spesialist HMS og senior ingeniør, intervju 13.01.2020

I tillegg har følgende aktører kommet med innspill:

- Oslo kommune: Mobilitetsrådgiver
- Trondheim kommune: Rådgiver avdeling klima og samfunn
- Bergen kommune: Rådgiver mobilitet
- ASKO Midt-Norge AS: Teknisk ansvarlig, kjøretøy
- RISE Research Institutes of Sweden: forskere i Scandria@2Act prosjektet
- DSB: kontaktpersoner i prosjektet
- Trøndelag brann- og redningstjeneste (TBRT)
- Norsk Elektroteknisk komite: fagsjef.
- NELFO: Direktør teknisk seksjon.

Risikobilde:

Basert på informasjon innhentet ovenfor, gjennomførte prosjektgruppa en brainstorming omkring hvilke aspekter som endres når man går fra base case med bensinstasjon og legger til én og én energibærer. Dette la grunnlaget for en what-if analyse av risiko, hvor det ble sett på hva som kan gå galt i ulike scenarier, mulige årsaker, mulige konsekvenser ble identifisert, og det ble gjort en kvalitativ vurdering av risikobildet, hvor mulige risikoreduserende tiltak også ble identifisert. I arbeidet internt i prosjektgruppa ble det fortløpende identifisert kunnskapshull, hvor det var behov for ytterlige ekspertise, som la grunnlaget for detaljspørsmål i intervjuene. Disse gav igjen innspill til den overordnede vurderingen av risikobildet.

1.5 Ethiske vurderinger

Det er gjennomført intervjuer hvor forskjellige profesjonelle aktører har deltatt. Informantene er anonymisert i rapporten, men stillingstittel eller posisjon i aktuell organisasjon er oppgitt.

1.6 Finansiering

Prosjektet er finansiert av DSB.

1.7 Ordliste

En oversikt over begrep og definisjoner benyttet i denne rapporten er gitt i Tabell 1-1.

Tabell 1-1 Begrep og definisjoner brukt i rapporten

Begrep	Definisjon
Alternative energibærere	Alternative energibærere: Energikilder som har til hensikt å delvis erstatte fossile drivstoffer og bidra til forbedret miljøeffekt i transportsektoren. Eksempler på alternative energibærere: Elektrisitet, hydrogen, naturgass (inkludert CNG og LNG) og LPG.
BLEVE	Forkortelse for: Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. Et plutselig utslipp av en stor mengde trykksatt, overopphetet væske til omgivelsene (fritt oversatt fra engelsk) [3]
Brannfarlig stoff	Fast, flytende eller gassformig stoff, stoffblanding, samt stoff som forekommer i kombinasjoner av slike tilstander, som i kraft av sitt flammepunkt, kontakt med andre stoffer, trykk, temperatur eller andre kjemiske egenskaper representerer en fare for brann. [4]
Brennbar	I stand til å brenne ved bestemte prøvebetingelser. [5]
Deflagrasjon	Eksplasjon der forbrenningsbølgen sprer seg med underlydshastighet i forhold til ubrent gass forut for flammen. [5]

Begrep	Definisjon
Detonasjon	Eksplasjon der trykkbølgen sprer seg med overlydshastighet i det aktuelle materialet. [5]
Ex-område/ Ex-sone	Område der det ved normal drift kan dannes eksplosiv atmosfære, som definert i ATEX brukerforskrift §3.
Eksplasjon	Her brukt om deflagrasjon.
Energistasjon	Offentlig tilgjengelig stasjon hvor det tilbys fylling av tradisjonelt fossilt drivstoff i kombinasjon med en eller flere alternative energibærere
Hurtiglading:	Lading av ladbar bil ved bruk av en type hurtigladekontakt (effekt over 22 kW). Hurtigladekontakt er en samlebetegnelse for ulike kontakter spesielt utviklet for hurtiglading (Lademodus 4/engelsk: Mode 4), f.eks. Tesla Supercharger, CHAdeMO og Combo. [6]
Ladestasjon	Ett eller flere ladepunkt med installasjon for lading av ladbare biler. Et ladepunkt er en parkeringsplass eller sted med tilkoblingsmulighet til en ladeinstallasjon (ladestolpe eller ladeboks). [6]
Hensynssone	Det fins mange ulike typer hensynssoner (jf §11-8 i [7]), den som er relevant her er sikrings-, støy- og faresoner med angivelse av fareårsak (jf §11-8a i [7]). Begrepet brukes om arealmessige begrensninger rundt storulykkevirksomheter.
Risikokontur	En beregnet linje omkring et anlegg der en definert risiko er konstant. Dette begrepet er i denne rapporten brukt om de punktene rundt et anlegg der frekvensen er konstant for at en person som står på samme sted, døgnet rundt i ett år, omkommer som følge av en uønsket hendelse på anlegget. [8,9]
Sikkerhetsavstand	Avstand fra et anlegg som gir en gitt risiko ut fra et definert akseptkriterium. Generelle sikkerhetsavstander tar ikke hensyn til faktorer i omgivelsene som kan påvirke konsekvensene av en hendelse [8]. Begrepet brukes om avstander på og rundt små og mellomstore anlegg.
Sone	Begrepet brukes om eksplosjonsfarlig atmosfære på anlegg i normal drift.
Tredjeperson	Person som ikke besøker energistasjonen, men som oppholder seg i nærheten og kan bli indirekte berørt av aktiviteten. Skiller seg fra førsteperson (direkte involvert i aktivitet ved at de arbeider på stasjonen) og andreperson (benytter seg av stasjonen). [10]

Tabell 1-2 Forkortelser for ulike typer drivstoff som er nevnt i rapporten, basert på [6].

Forkortelse	Betydning
ATEX	«ATmosphere EXplosible». EU direktiver som regulerer farene knyttet til eksplosjonsfarlig atmosfære.
CBG	«Compressed BioGas». Komprimert biogass. Metan produsert fra nedbryting av organisk avfall.
CNG	«Compressed Natural Gas». Komprimert naturgass. Metan produsert fra fossil gass.
LBG	«Liquified BioGas». Flytende biogass. Metan produsert fra nedbryting av organisk avfall.
LH2	«Liquid Hydrogen». Flytende hydrogen (H ₂).
LNG	«Liquified Natural Gas». Flytende naturgass.
LPG	«Liquid Petroleum Gas». Enten ren propan eller ren butan eller en blanding av disse. I Norge er LPG i praksis ensbetydende med propan, siden det har kuldeegenskaper som er godt eget for klimaet.

2 Systembeskrivelse

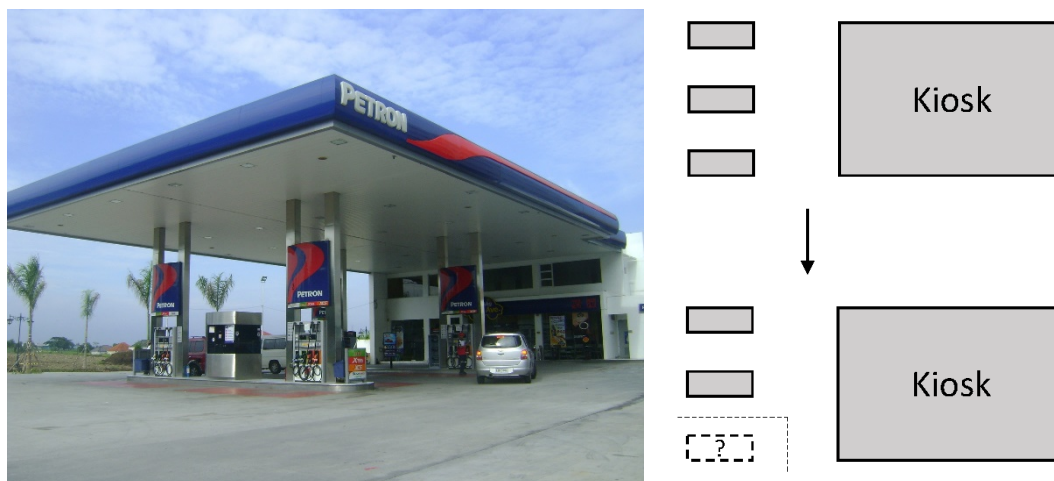
2.1 Definisjon energistasjon

I dette prosjektet er energistasjon definert som følger:

Energistasjon: Offentlig tilgjengelig stasjon hvor det tilbys fylling av tradisjonelt fossilt drivstoff i kombinasjon med én eller flere alternative energibærere.

Slike stasjoner kalles ofte «multifuel energy stations» på engelsk, selv om det ikke er konsensus om en entydig definisjon av dette begrepet i Nord-Europa, ifølge Wiberg og Bremer [11]. Dette skyldes at denne typen stasjoner er relativt nytt. Også i Norge er det i dag få eller ingen eksempler på stasjoner med flere enn én alternativ energibærer i tillegg til fossilt drivstoff. Med alternative energibærere menes energikilder som har til hensikt å delvis erstatte fossile drivstoffer og bidra til forbedret miljøeffekt i transportsektoren, som elektrisitet, hydrogen, naturgass (CNG og LNG) og LPG.

Dette prosjektet ser på endringen fra en tradisjonell bensinstasjon (i Figur 2-1 illustrert med stasjon som har en kiosk og tre fyllepumper) til en energistasjon (i Figur 2-1 er en av fyllepumpene erstattet med en alternativ energibærer). Det fins også andre områder hvor det tilbys alternative energibærere, slik som utenfor restauranter og kjøpesenter, men det er ikke fokus i dette prosjektet.

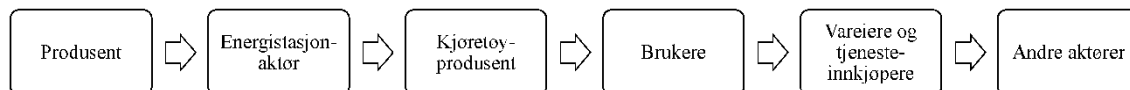


Figur 2-1 Eksempel på en bensinstasjon, med kiosk og noen pumper for bensin eller diesel. Når en bensinstasjon endres til å være en energistasjon, tilbys det i tillegg en eller flere alternative energibærere, som hurtigladdere, hydrogen i gass eller flytende form, flytende naturgass, flytende propan eller andre. Foto: Nora Tamba via Pixabay, gjengitt med tillatelse.

Med offentlig tilgjengelig menes stasjoner som hvem som helst kan benytte. Dette er typisk stasjoner langs offentlig vei eller i en bykjerne. Det er ikke fokus på stasjoner inne på industriområder eller andre avgrensede områder, slik som busstasjoner eller enkeltstående fyllingspunkt for tungtransport.

2.2 Aktører på markedet i dag

Aktører som er involvert i ulike ledd i verdikjeden til en energibærer er illustrert i Figur 2-2.



Figur 2-2 Aktører i varekjeden til en gitt energibærer. Basert på Oslo kommune sine intensjonserklæringer for biogass og hydrogen, gjort tilgjengelig for prosjektet.

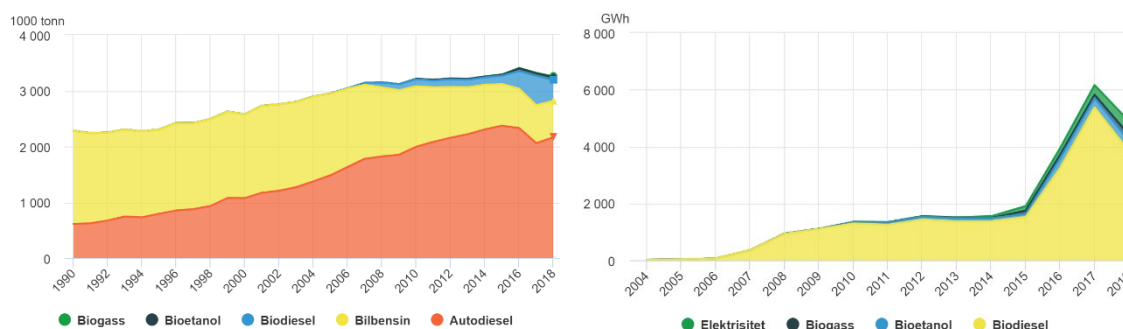
Eksempler på aktører innenfor de ulike delene av markedet for en gitt energibærer:

- Produsenter: Statkraft, Uno X, VEAS, kommuner
- Energistasjonaktører: Circle K, Uno X, HyNiOn, AirLiquide, AGA
- Kjøretøyprodusenter: Toyota, Hyundai, Tesla,
- Brukere: Befolkningen, varetransport, drosjer, kommuner, fylkeskommuner, leiebilselskap
- Vareiere og tjenesteinnkjøpere: Kommuner, VEAS, kjøpesentre
- Andre aktører: Myndigheter, fylkeskommuner, bransjeorganisasjoner som Nelfo, Energigass Norge og Drivkraft Norge, Elbilforeningen, Norges Bilbransjeforbund.

2.3 Utvikling og fremtidens energistasjoner

I dette avsnittet presenteres fordelingen av ulike typer drivstoff i dag og hvordan dette kan komme til å utvikle seg i framtida, samt nasjonale og regionale føringer som ligger til grunn. Basert på dette er enkelte energibærere valgt ut som fokus i kapittel 4 og 5.

I dag utgjør bensin og diesel fremdeles det aller meste av drivstoff som blir brukt til veitransport, ifølge Statistisk Sentralbyrå [12]. Figur 2-3 viser utviklingen i forbruk av konvensjonelt drivstoff og alternativt drivstoff til veitransport fram til 2018. Økningen i bruk av biodiesel utgjør den største endringen i bruk av alternativt drivstoff. Biogass utgjorde omtrent 2 % av energien som ble brukt til landtransport i 2018 og naturgass utgjorde under 1 %. Elektrisitet stod for i overkant av 1% av energiforbruket til veitransport, men det må sees i sammenheng med at en elektrisk bil er over tre ganger mer energieffektiv enn en dieselbil. Hydrogen som drivstoff er fortsatt så lite utbredt at det ikke er med i denne statistikken. [12]



Figur 2-3 Forbruk av drivstoff til veitransport fra 1990 til 2018, angitt i 1000 tonn (venstre). Forbruk av alternativt drivstoff til veitransport fra 2004 til 2018, angitt i GWh (høyre). Merk ulik y-akse på de to figurene. Figurene er hentet fra Statistisk sentralbyrå [12].

Ifølge Nasjonal Transportplan er det et mål at alle nye kjøretøy fra 2025 skal være nullutslippskjøretøy [13]. Dette vil bidra til å endre transportflåten til at en større andel i framtiden vil være nullutslippskjøretøy. Dette vil igjen påvirke drift av energistasjoner, for eksempel ved at det brukes mindre mengder bensin/diesel slik at fylling av drivstofftanker da vil kunne skje sjeldnere. Samtidig vil fylling av nullutslippskjøretøy øke. Under nullutslippskjøretøy kommer per i dag bare elbil og hydrogenkjøretøy, mens det vil ifølge Drivkraft Norges [14] også kunne være andre relevante energibærere i fremtiden, som LPG utvunnet fra biomasse.

I regjeringens «Handlingsplan for infrastruktur for alternative drivstoff i transport» fra juli 2019 [6] presenteres dagens status for alternative energibærere i Norge, og regjeringens planlagte videre satsing på området. Det er fokusert på elektrisitet, hydrogen, biogass og flytende biodrivstoff. Det pekes på at utviklingen skal være markedsdrevet, at det offentlige ikke skal bidra til løsninger som undergraver markedet, men at Enova² kan gi støtte til etablering av prosjekter som ellers ikke ville blitt realisert. Dette er i overensstemmelse med ønsket fra Drivkraft Norge, om at politiske føringer bør være teknologinøytrale³.

Kommunalt jobbes det også for å forstå hvordan utviklingen av alternative energibærere i hver region vil komme til å være, slik at kommunen kan legge til rette for økt bruk av fornybar energi. Oslo kommune jobber med intensjonserklæringer for biogass og for hydrogen, med mål om å legge til rette for å «skape samtidighet i verdikjeden»⁴. Slik vil kommunen kunne legge til rette for at de ulike aktørene i verdikjeden er klare for å gå over til en gitt energibærer samtidig, og dette vil lette overgangen og innføringen av ny teknologi. I Trondheim har Rambøll på oppdrag fra Trondheim kommune kartlagt hvilke typer drivstoff, fylleteknologi og forretningsmodeller som vil være aktuelle i kommunen i framtiden, ut fra status per 2018 [15]. De har sett på elektrisitet/hurtiglader, komprimert og flytende biogass, hydrogen, biodiesel, bioetanol og en fossil referanse. Prognosen deres viser at det kan forventes en sterk vekst i elbilandel og at ladekapasiteten derfor bør utbygges. Biogass og hydrogen er per 2018 mest brukt av private aktører, som busselskaper og ASKO. Ut fra forbrukers perspektiv (utslipp, støy,

² Enova skal bidra til omlegging av energibruk og energiproduksjon og eies av Klima- og miljødepartementet (www.enova.no).

³ Ifølge intervju med fagsjef i Drivkraft Norge, 28. november 2019.

⁴ Epostkorrespondanse med mobilitetsrådgiver i Klimaetaten til Oslo Kommune

drivstoffpris og energibruk) kommer elektrisitet og hydrogen best ut. Ut fra eier av energistasjon sitt perspektiv (investerings- og driftskostnader, markedsrisiko og forventede kjøretøy) kommer biodiesel og hurtigladere for lette kjøretøy godt ut, mens hydrogen kommer dårligere ut på grunn av markedsrisiko sammenlignet med elektriske kjøretøy, samt høye investerings- og driftskostnader og markedsrisiko. Bergen kommune har fått en tilsvarende kartlegging utført av Flowchange, med fokus på fossilfri godstransport og fossilfri anleggsdrift [16].

Bransjeforeningen Drivkraft Norge organiserer selskaper som selger flytende drivstoff og energi, og de påpeker at det er vanskelig å spå fremtiden, men mener det vil kunne bli aktuelt med en rekke ulike drivstoff til ulike deler av markedet⁵. Det er en tydelig trend i retning av det fornybare, noe som eksempelvis reflekteres i at Drivkraft Norge skiftet navn fra Norsk Petroleumsinstitutt i 2017 og at det nå vurderes å gå permanent bort fra begrepet *bensinstasjon*, og i stedet bruke *energistasjon*. I dag leverer bransjen i Norge biodrivstoff, hydrogen, gass, lading av elbiler i tillegg til bensin og diesel. Innblanding av biodrivstoff i bensin og diesel utgjorde 12 % av det totale volumet som ble solgt i 2018 [17]. Hydrogenteknologien er under utvikling og bransjen mener at det er nødvendig med tilsvarende fordeler som elbiler har hatt i en introduksjonsfase og støtteordninger for å få etablert fyllestasjoner. Ladestasjoner for elbiler er et av områdene som bransjen ser et stort og økende behov for, og det er ønskelig at energistasjoner kan tilby lading også i fremtiden. LPG består av propan og butan og kan brukes som drivstoff til kjøretøy. Dette er relativt lite utbredt i Norge, men er det tredje mest brukte drivstoffet i verden. Bransjen mener at dette er et drivstoff som er viktig i overgangen til lavutslippssamfunnet og som på sikt kan innblandes biokomponenter. [18]

I våre naboland er prognosene lignende, ifølge en rapport fra prosjektet Scandria@2Act, hvor ulike aspekter ved energistasjoner med flere ulike drivstofftyper er gjennomgått [19]. Hovedfokus er på situasjonen i Sverige, men informasjon er også innhentet fra Norge, Danmark, Finland og Tyskland. Rapporten omhandler hydrogen, metan, etanol, diesel, bensin og lading av elektriske kjøretøy. Ifølge rapporten vil ulike typer kjøretøy bruke ulike typer drivstoff, og energistasjoner deles inn i tre ulike kategorier med ulike typer drivstoff:

- Biler og små lastebiler vil bruke komprimert hydrogen, komprimert metan eller hurtiglading.
- Busser vil bruke komprimert hydrogen, komprimert metan, hurtiglading eller lading over natta.
- Tyngre lastebiler vil bruke flytende hydrogen eller metan.

Siden disse tre typene av kjøretøy ikke normalt vil fylle drivstoff på samme energistasjon vil det ikke være nødvendig å kombinere alle disse energibærerne på samme sted. Busser har tilgjengelig plass på taket for lagring av det volumet som kreves for drivstoff som komprimert gass, og det er derfor forventet at busser vil kunne bruke drivstoff i gassform. Lastebiler trenger en stor mengde energi plassert i et lite volum for å unngå at det reduserer lastekapasiteten. Etersom hydrogen i flytende form har større energitetthet per volum enn hydrogen i gassform er det forventet at tungtransport vil komme til å bruke mer flytende hydrogen enn hydrogen i gassform, ifølge

⁵ Ifølge intervju med fagsjef i Drivkraft Norge, 28. november 2019, og <https://www.drivkraftnorge.no/>

studien. Dermed er drivstoff i form av flytende hydrogen eller metan aktuelt til tross for at dette trolig har en høyere kostnad enn komprimert gass. [19]

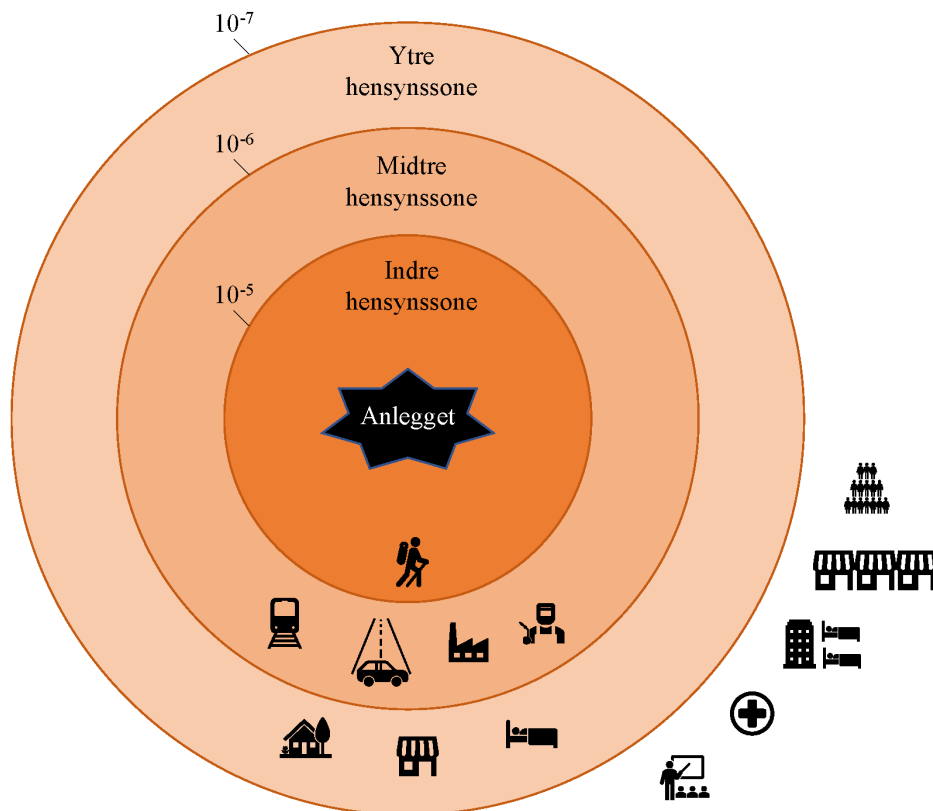
Det pågår nå mye forskning på sikkerhet ved bruk av hydrogen i flytende- og gassform, for eksempel i prosjektene SH2IFT [20] og PRESLHY [21], hvor målet er å studere og finne frem til dokumentasjon som vil kunne legges til grunn for sikkerhetsvurderinger av hydrogen i flytende- og gassform. Basert på erfaringer gjennom disse og andre prosjekter er vår vurdering at det fremdeles er en del som gjenstår før flytende hydrogen blir distribuert som drivstoff på energistasjoner, men at dette er nødvendig for å kunne bruke hydrogen som en energibærer med tilstrekkelig energitetthet for bruk i tyngre kjøretøy.

Hvilke energibærere som vil bli brukt i framtida vil kunne avhenge av tekniske og sikkerhetsmessige aspekter, som energitetthet, lokale utslipp ved bruk, mulighet for lagring under trykk osv. Det vil også i stor grad avhenge av politiske føringer, som igjen kan være styrt av preferanser på eksempelvis CO₂ utslipp fra fossilt petroleum. Et eksempel på politiske føringer er reduksjon av avgifter og bompenger, som gav en kraftig markedsvekst for elektriske kjøretøy i Norge. Tilsvarende vil politiske føringer og økonomiske insentiv kunne påvirke innføring av utbredelse av andre energibærere.

2.4 Akseptkriterier for risiko ved anlegg for håndtering av farlig stoff

Det er knyttet risiko for uønskede hendelser til anlegg som håndterer brannfarlig, reaksjonsfarlig, trykksatt og eksplosjonsfarlig stoff. DSB har utarbeidet en temaveileder for akseptabel risiko rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer [8]. Denne forklarer hvordan man kan definere hva som er en akseptabel risiko for en energistasjon. Personer skal som en hovedregel ikke utsettes for en vesentlig risiko fra energistasjoner sammenlignet med den generelle risikoen i en persons hverdag for å omkomme i en ulykke. For alle ulykker totalt er antall omkommet per år $3,72 \times 10^{-4}$ og for brann er denne $1,23 \times 10^{-5}$, i perioden 1992 – 2008 sett i forhold til innbyggertallet i Norge. Dette gir et bilde av hva som er bakgrunnsrisikoen for å omkomme i en ulykke i løpet av et år og betyr at én person statistisk sett vil omkomme i en ulykke i løpet av 2688 år eller i en brann i løpet av 81301 år.

Ved håndtering av farlige stoffer vil det alltid være en viss risiko for at personer i området kan omkomme. For denne typen anlegg defineres det tre ulike hensynssoner som definerer hva som kan plasseres innenfor disse hensynssonene. Disse sonene beregnes ut fra en risikokontur i ytterkant av hver hensynssone der frekvensen for at noen omkommer som følge av en ulykke på energistasjonen er konstant. Figur 2-4 illustrerer de ulike hensynssonene og hva som kan være plassert innenfor hver hensynssone. Indre hensynssone er virksomhetens eget område, her kan også kortvarig forbipassering skje. I midtre hensynssone kan offentlig vei og faste arbeidsplasser befinne seg. Det skal ikke være overnatting eller boliger i denne hensynssonen. I ytre hensynssone kan boliger, butikker og mindre overnattingssteder befinne seg. Skoler, barnehager, sykehjem, sykehus, kjøpesenter, hoteller og store publikumsarenaer skal være plassert utenfor ytre hensynssone. Figuren angir også risikokonturer omkring hver hensynssone. [8]



Figur 2-4 Illustrasjon av hensynssoner omkring en energistasjon, og hva som kan være plassert innenfor hensynssonene. Risikokonturer omgir hver hensynssone. Figuren er basert på Fig 1 i [8].

Med andre ord betyr disse hensynssonene at for personer som oppholder seg døgnet rundt, hele året, på grensen mellom indre og midtre hensynssone i ytterkant av energistasjonen (risikokonturen er i Figur 2-4 markert som 10^{-5}) vil det statistisk sett omkomme én person som følge av en ulykke på stasjonen i løpet av 100 000 år.

Som utgangspunkt for en kvantitativ risikoanalyse må det gjennomføres en identifikasjon av farer, ofte kalt HAZID. Denne skal identifisere de hendelsene som kan oppstå ved anlegget. De ulike hendelsene vil være bestemt av hvilke typer farlige stoffer som er på anlegget, hvilke mengder det er, hvor store utslippsrater som kan oppstå og hvordan disse utslippspunktene er plassert i anlegget. Disse hendelsene analyseres videre med tanke på sannsynlighet og konsekvens for å komme fram til den totale risikoen for anlegget. [9]

Beregning av risikokonturer krever detaljert kunnskap om anlegget og feilfrekvenser samt programvare for modellering av konsekvenser av uhellshendelser. Risikokonturene sees opp mot ovennevnte akseptkriterier. Beregning av risikokonturer for energistasjonene er ikke del av arbeidet i denne rapporten. Videre vil fokus være på *kvalitative* vurderinger av de risikoer som en endring fra bensinstasjoner til energistasjoner representerer.

3 Regelverk og veiledninger

3.1 Regelverk

Ulike deler av regelverket regulerer ulike prosesser og systemer knyttet til energistasjoner, og kun det som er funnet å være mest relevant for denne rapporten er presentert her.

Farlig stoff:

På området farlig stoff er disse forskriftene relevante for energistasjoner:

- Forskrift om håndtering av farlig stoff [4]
 - Utstyr, anlegg og kompetanse skal være i samsvar med anerkjente normer, se detaljer for hver enkelt energibærer i denne rapportens kapittel 4
 - Temaveiledning om omtapping av farlig stoff, kapittel 1
- Internkontrollforskriften [22]
 - Ansvarsfordeling risikoreducerende tiltak
- Forskrift om helse og sikkerhet i eksplosjonsfarlige atmosfærer [23]
- Forskrift om trykkpåkjent utstyr [24]

Storulykeforskriften [2] er ikke relevant for disse anleggene, ettersom mengdene normalt er mindre enn innslagspunktet for denne forskriften.

For transportørene som leverer drivstoff kommer også forskrift om landtransport av farlig gods [25] inn, herunder direktiv for veitransport (ADR - Accord Dangereux Routier) og transport med tog (RID - International Carriage of Dangerous Goods by Rail), men dette er utenfor omfanget til denne rapporten.

Tilsyn:

Brannvesenet har ansvar for tilsyn etter forskrift om håndtering av farlig stoff [4], og tilsyn i de tilfeller hvor energistasjonen er definert som et særskilt brannobjekt⁶ etter §13 i brann- og eksplosjonsvernloven [26]. Ifølge DSB⁷ er det nok stor variasjon i hvorvidt denne typen anlegg blir registrert som særskilte brannobjekt eller ikke. Hvorvidt de blir registrert kan blant annet avhenge av om stasjonen er tilknyttet andre objekter, eksempelvis hvis de ligger i tilknytning til andre virksomheter. I tillegg kan DSB gjennomføre tilsyn på energistasjoner, med hjemmel i brann og eksplosjonsvernloven, men for denne typen anlegg forekommer dette ikke like ofte som brannvesenets tilsyn.

⁶ Særskilt brannobjekt: Byggverk, opplag, områder, tunneler, virksomheter m.m. hvor brann kan medføre tap av mange liv eller store skader på helse, miljø eller materielle verdier.

⁷ E-postkorrespondanse med kontaktperson i DSB, 05.12.2019.

Elektriske installasjoner

Forskrift om elektroforetak [27] stiller krav om at personer som skal installere og vedlikeholde elektrisk utstyr har rett kompetanse. I forskrift om elektriske lavspenningsanlegg [28] er det beskrevet hvordan elektriske installasjoner skal utføres. Her henvises det også til normene:

- NEK 400 Elektriske lavspenningsinstallasjoner [29] – som beskriver hvordan det elektriske anlegget skal utføres.
- NEK 420 Elektriske installasjoner i eksplosjonsfarlige områder [30] – som har detaljerte krav til valg av utstyr og montasje i Ex-områder.

Eksplorative atmosfærer

EU har to direktiver som regulerer farene knyttet til eksplosjonsfarlig atmosfære («ATmosphere EXplosible», ATEX): ATEX brukerdirektiv (arbeidsplassdirektiv) og ATEX utstyrsdirektiv [31]. Disse omhandler krav til utstyr og beskyttelsessystemer som skal brukes i potensielt eksplosjonsfarlige områder. Direktivene er implementert i norsk rett, ved forskrift om helse og sikkerhet i eksplosjonsfarlige atmosfærer [23] (som blant annet omhandler områdeklassifisering), og forskrift om utstyr og sikkerhetssystem til bruk i eksplosjonsfarlig område [32] (som blant annet er relevant for krav til utstyr i Ex-områder).

3.2 Temaveiledninger

3.2.1 Temaveiledning om omtapping av farlig stoff

Temaveiledning om omtapping av farlig stoff [33] utdyper og forklarer forskrift om håndtering av farlig stoff, og omhandler blant annet forebyggende sikkerhetstiltak og krav til installasjoner.

Hensikten med temaveiledningen er: *«først og fremst å gi anvisninger på hvordan forskrift om håndtering av farlig stoff kan tilfredsstilles når det gjelder krav til prosjektering, konstruksjon, produksjon, omsetning, installasjon, drift, endring, reparasjon, vedlikehold og kontroll av drivstoffanlegg, fylleanlegg for propanflasker og bunkring av LNG.»* [33]

Temaveiledningen påpeker at det skal utføres kontroll for å påse at anlegget er formålstjenlig og sikkert. Kontroll skal utføres både under og etter installasjon. Risikoen ved anlegget skal være redusert til et nivå som med rimelighet kan oppnås, og en risikovurdering skal inkludere interne og eksterne forhold samt uønskede tilsiktede handlinger. På bakgrunn av vurderingen skal det utarbeides planer og det skal gjennomføres tiltak for å redusere risikoen til et akseptabelt nivå. I tillegg til å utarbeide en risikovurdering har eier ansvar for at det blir utført en områdeklassifisering, der eksplosjonsfarlige områder deles inn i soner avhengig av sannsynligheten for tilstedeværelse av eksplosiv atmosfære og varighet. Elektriske lavspenningsinstallasjoner skal utføres i henhold til forskrift om elektriske lavspenningsanlegg. Ved å følge NEK 400, er dette oppfylt. For elektrisk anlegg i eksplosjonsfarlige områder må NEK 420 benyttes. Bygning eller rom der farlig stoff håndteres skal ha tilstrekkelig naturlig eller mekanisk ventilasjon, og rom klassifisert som eksplosjonsfarlig område skal ha trykkavlastningsflater. For mer utfyllende informasjon henvises det til temaveiledningen.

3.2.2 Forslag til temaveiledning om sikkerhetsavstander

Det foreligger nå en høring om forslag til temaveiledning om sikkerhetsavstander for små og mellomstore anlegg som håndterer farlig stoff [34]. Den er basert på en rapport fra DNV GL som har beregnet risikokonturer for noen utvalgte typer små og mellomstore anlegg [35]. Bakgrunnen for temaveiledningen er at det kan være ressurskrevende for små og mellomstore anlegg å utføre kvantitative risikoanalyser (*quantitative risk assessments*, «QRA») for hvert anlegg. Hensikten med temaveiledningen er å etablere preaksepterte avstander til indre, midtre og ytre hensynssone som kan benyttes. Bruken av preaksepterte avstander vil typisk være aktuelt der det er relativt god avstand til omkringliggende bygninger og andre relevante objekter. Dersom et anlegg ikke får plass til de preaksepterte avstandene vil man måtte gjennomføre detaljerte analyser for det aktuelle anlegget og eventuelt sette inn tiltak som reduserer risikoen og avstandene tilstrekkelig.

3.2.3 Temaveiledning om bruk av farlig stoff del 1 – Forbruksanlegg for flytende og gassformig brensel

Del 1 av Temaveiledning om bruk av farlig stoff [36] har som formål å «*utdype forskriftens krav samt foreslå tekniske løsninger ved utforming av forbruksanlegg for flytende og gassformig brensel (...)*».

Dette vil være relevant både for nyinstallasjon, drift, endringer og vedlikehold, slik at man «*oppretholder en sikker utførelse for å verne liv, helse, miljø og materielle verdier mot uhell og ulykker*».

De deler av temaveiledningen som er relevant for dette prosjektet overlapper noe med de allerede nevnte temaveilederne.

4 Energibærere hver for seg

I dette kapittelet vil ulike energibærere bli presentert, det vil bli gitt en kort gjennomgang av deres egenskaper som er relevante for brann- og eksplosjonssikkerhet, risikoer forbundet med energibæreren, og relevante, eksisterende anbefalinger for tiltak og barrierer. Det er fokusert på endring av risiko ved endring fra tradisjonell bensinstasjon til energistasjon med én ekstra energibærer.

4.1 Diesel og bensin

4.1.1 Bakgrunnsinformasjon og eksisterende anlegg

Bensinstasjoner har helt siden bilene kom til Norge vært den plassen hvor biler får påfyll av drivstoff, og bensinstasjoner er dermed bygd ut jevnt over hele landet slik at man ikke skal risikere å gå tom for bensin eller diesel når man er ute og kjører. Ifølge statistikk fra Drivkraft Norge finnes det omtrent 1800 bensinstasjoner i Norge [37].

Forbruket av drivstoff til veitransport i Norge er i all hovedsak bensin og diesel. Biodiesel og bioetanol blandes inn i diesel og bensin og utgjorde 12% av totalt volum i 2018, det meste av innblandingen er biodiesel (89%) [12]. Flytende biodrivstoff regnes som klimanøytralt [6].

4.1.2 Egenskaper og risikoer forbundet med energibæreren

Ifølge Circle K har man gjennom en årrekke opparbeidet seg erfaring ved håndtering av bensin og diesel, og nå har man gode rutiner og prosedyrer for drift av en bensinstasjon. Dette inkluderer alle prosesser som foregår på en bensinstasjon, deriblant fylling av drivstoff for vanlige kjøretøy og påfylling av drivstoff på tanker under bakken. De gode prosedyrene har bidratt til at det kun har vært mindre alvorlige hendelser på bensinstasjoner i Norge (se kapittel 4.1.3).

Risikoer forbundet med bensin og diesel er knyttet til deres egenskaper som brannfarlige væsker. Bensin har et lavere flammepunkt enn diesel, og er dermed både lettere å antenne og har en høyere avdamping. Under normale utendørstemperaturer kan bensin avgi damp og danne en brannfarlig sky, mens dette ikke vil være tilfelle for diesel. Bensindampen er tyngre enn luft og vil kunne spre seg langs bakken og samles opp i forsenkninger i terrenget [19].

En annen fare ved bensin og diesel er knyttet til søl, som gjør at en brann kan oppstå et stykke unna lekkasjepunktet. I 2012 lakk det 3000 liter bensin ut fra en tankbil i forbindelse med fylling [38], uten at bensinen ble antent. Et slikt scenario har naturligvis et stort skadepotensiale. Her er det verdt å merke at hvorvidt en stasjon eller et område er Ex-sikkert sier ingenting om mulighet for at drivstoff kan renne bort og ende opp utenfor soneklassifisert område.

Ifølge Circle K, er den største risikoen knyttet til forurensning til grunn på grunn av stadige smådrypp som oppstår i forbindelse med fylling.

4.1.3 Aktuelle hendelser

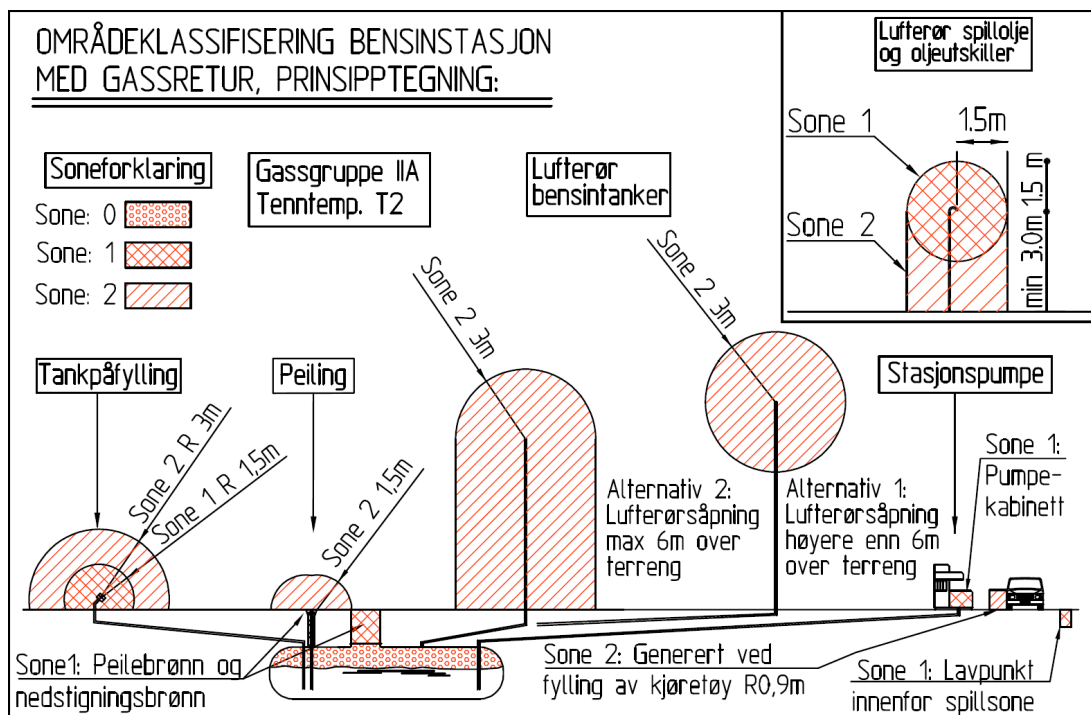
Ved nyhetsøk i Norge etter hendelser samt samtale med ansatt i brannvesenet, har vi ikke kommet over eksempler på alvorlige brannhendelser ved bensinstasjoner. De fleste nyhets sakene som dreier seg om brann på bensinstasjon er mindre alvorlige hendelser som har blitt håndtert raskt av brannvesenet. Det finnes eksempler på små [39] og store [38] utslipp av bensin og diesel, uten at det har begynt å brenne, og eksempler der brann er påsatt [40], brann i bilvaskemaskin [41], brann i bolig over bensinstasjon [42].

Det har også forekommet at biler har kjørt av gårde med fylleslangen tilkoblet, men uten at dette har ført til alvorlige hendelser⁸.

4.1.4 Eksisterende anbefalinger

Regelverk og veiledninger som er presentert i kapittel 3, herunder Forskrift om helse og sikkerhet i eksplosjonsfarlige atmosfærer [23] gjelder.

Et eksempel på områdeklassifisering for en bensinstasjon med gassretur, og størrelser på ulike soner Figur 4-1. En nærmere beskrivelse av de ulike sonene er gitt i Tabell 4-1. En lignende figur er vist i vedlegg til temaveiledning om omtapping av farlig stoff [33]. Mer informasjon om eksisterende anbefalinger for bensinstasjoner med bakgrunn i relevante lover og forskrifter er utdypet i temaveiledninger fra DSB, som beskrevet i kapittel 3.



Figur 4-1 Prinsipptegning av områdeklassifisering for en bensinstasjon med gassretur. Tilgjengelig fra DSB [43].

⁸ Intervju med innsatsleder ved hendelsen fra Asker og Bærum brann- og redning, 15.11.2019

Tabell 4-1 Sonebeskrivelse for soner angitt i Figur 4-1. Tilgjengeliggjort fra DSB [43].

	Beskrivelse
Sone 0	Område hvor det forekommer eksplosiv atmosfære uavbrutt eller i lange perioder.
Sone 1	Områder hvor det leilighetsvis må regnes med eksplosiv atmosfære under normale driftsforhold.
Sone 2	Områder hvor det kan forekomme eksplosiv atmosfære under normale driftsforhold, men da bare unntaksvis og kortvarig.
Sikkerhetssone ⁹ : Min. avstand til nabogrense, offentlig ferdselslinje, tennkilde, brennbar bygning/opplag, åpning i vegg som vindu/dør o.l..	

4.1.5 Tiltak og barrierer

Et av de viktigste tiltakene for å redusere brann- og eksplosjonsrisikoen ved lagring av bensin og diesel er at lagringen foregår under bakken, og fare for skade på tanken og store lekkasjer er dermed vesentlig redusert.

Når det gjelder de elektriske lavspenningsinstallasjonene på anlegget, skal disse utføres i henhold til forskrift om elektriske lavspenningsanlegg [28]. For å oppfylle sikkerhetskravene viser forskriften til anerkjente normer. Generelt er dette NEK 400 - Elektriske lavspenningsanlegg [29], og for anlegg i soneklassifiserte områder: NEK 420 - Elektriske anlegg i eksplosjonsfarlige områder [30]. Elektrisk utstyr må tilfredsstille kravene i forskrift om elektrisk utstyr [44].

Forskrift om håndtering av farlig stoff [4] er utdypet i temaveiledning om omtapping av farlig stoff [33] og setter en rekke premisser for å sikre verdier og personsikkerhet på eksisterende bensinstasjoner. Blant annet skal arealmessige begrensninger og sikkerhet til tredjepersoner fastsettes gjennom en risikovurdering. Eksempel på arealmessige begrensninger er at det vil kunne legges ned forbud mot bygging av boliger, forsamlingslokaler, sykehus, skoler m.m. i nærheten av anlegget. Alle tanker og rørsystem på anlegget skal testes og kontrolleres gjennom trykk- og tetthetsprøving etter at de er installert, og før de er tildekket/gravd ned. En slik funksjonsprøving skal skje ved normale driftsforhold, og verifisere at anlegget er tilfredsstillende over hele dets reguleringsområde. Funksjonsprøving vil også avdekke at anlegget ikke har lekkasjer, og at alle tilhørende komponenter som ventiler, regulatorer m.m. fungerer.

Et annet sikkerhetstiltak er nødstoppbryter¹⁰ som stenger strømtilførselen til alle drivstoffpumper. Dette tiltaket er effektivt for å stoppe et utslipp fra en drivstoffpumpe.

⁹ Sikkerhetssone er et begrep som DSB har gått bort fra i dag. Begrepet «hensynssone» brukes om arealmessige begrensninger rundt storulykkevirksomheter; «sikkerhetsavstander» brukes om avstander på og rundt små og mellomstore anlegg; «soner» brukes om eksplosjonsfarlig atmosfære på anlegg i normal drift. Dette ifølge e-postkorrespondanse med kontaktperson i DSB.

¹⁰ Intervju med senior leder hurtiglading, senior spesialist HMS og senior ingeniør fra Circle K, 13.01.2020

Tiltak som deteksjon, alarmer, automatisk nedstenging som følge av alarm eller feilmelding, lukkeventiler med kort lukketid og grundig testing av sikkerhetsmekanismer er alle relevante for bensinstasjoner med diesel og bensin, og også for energistasjoner med én eller flere ekstra energibærere. Disse tiltakene er beskrevet i de følgende avsnittene.

4.2 Strøm til elektriske kjøretøy

4.2.1 Bakgrunnsinformasjon og eksisterende anlegg

Ved utgangen av juni 2019 var det registrert 231 000 elektriske personbiler og 6 500 elektriske varebiler i Norge [45], og antallet er forventet å øke også i årene som kommer. Dette skyldes en rekke gunstige insentiver og bred politisk enighet om å legge til rette for økt andel av elbiler. I nasjonal transportplan 2018-2029 [13] er det nedfelt et mål om at:

- Nye personbiler og lette varebiler skal være nullutslippskjøretøy i 2025.
- Nye bybusser skal være nullutslippskjøretøy eller bruke biogass i 2025.
- Innen 2030 skal nye tyngre varebiler, 75 % av nye langdistansebusser og 50 % av nye lastebiler være nullutslippskjøretøy.

Ved økt andel elbiler er det også et økt behov for hurtigladdere langs veinettet.

Elbilforeningen estimerer et behov for 1200 nye hurtigladdere hvert år fram til 2025. Hittil har en ladeeffekt på 50 kW inntil nylig vært standarden for hurtiglading («DC fast charging» på engelsk), men stadig flere hurtigladeoperatører etablerer lynladere (ladeeffekt på 150 kW eller mer). Gjennomsnittlig effekt ved hurtiglading i 2017 var 30,5 kW. Av de hurtigladestasjonene som er registrert i ladestasjonsdatabasen NOBIL, er omtrent 35 % lokalisert ved butikker/kjøpesenter, 30 % lokalisert langs gate, 20 % på bensinstasjon og 15 % annet [45]. Hurtiglading skiller seg fra normallading¹¹ (brukes typisk til hjemmelading) som har en maksimal effekt på 22 kW [6].

4.2.2 Egenskaper og risikoer forbundet med energibæreren:

Den største risikoen ved lading med høy effekt er faren for lysbuer. En lysbue oppstår når den elektriske spenningen mellom to punkter er høyere enn det mellomliggende materialets (normalt luft) gjennomslagsspenning [46]. En lysbue vil skape et lokalt veldig varmt punkt og kan føre til brann. Generelt kan man si at risiko øker med ladestrøm og effekt¹². Ved å introdusere hurtiglading introduserer man samtidig en ny kilde for lysbue. Sannsynligheten for at det oppstår en lysbue er derfor vurdert å bli høyere i forhold til om hurtigladeren ikke var der. Samtidig kan man argumentere for at sannsynligheten for utslipp av bensin og diesel reduseres ved at færre personer fyller dette på bilene sine, og det blir færre leveringer av bensin/diesel til stasjonen.

¹¹ Normallading: Lading av ladbar bil med bruk av elbilkontakt (effekt opp til 22 kW). Elbilkontakt (type 2-kontakt) er en standardkontakt for lading av ladbar bil (lademodus 3/engelsk: Mode-3). [6]

¹² E-postkorrespondanse med kontaktperson i DSB, 25.10.2019

Feil installasjon, dårlig vedlikehold eller feil bruk kan bidra til at det kan oppstå brann i tilknytning til en ladestasjon. Ettersom det er kommunikasjon mellom lader og elbil, vil ikke lading igangsettes før ladepluggen er riktig satt inn i støpslet, eller dersom det registrerer feil på enten bil eller lader. I tillegg skal det ikke være mulig å kjøre av gårde med ladekabelen tilkoblet. Disse tiltakene bidrar til å redusere faren for lysbue, slitasje på kabel, og hindre feil lading.

I et annet prosjekt for DSB [47] har risikoen ved lading av elbiler blitt undersøkt, og konklusjonen er at så lenge det elektriske anlegget som er knyttet til laderen er dimensjonert og installert riktig, er det ikke grunnlag for å si at brannfaren øker under lading.

Et viktig moment som skiller risiko ved hurtiglading fra de andre energibærerne er deres rolle i branntrekanten. Ved energibærere som er flytende eller gassholdig vil en hendelse opptre som følge av at det er brannfarlig væske eller gass på avveie, og det kreves en tennkilde for at det skal oppstå brann/eksplosjon. For en hurtiglader er det ikke brannfarlig materiale som er på avveie, men derimot en tennkilde (lysbue). Det som avgjør om det oppstår en brann, og hvor omfattende brannen blir, vil da avhenge om det finnes brennbart materiale eller brannfarlig stoff i nærheten av der lysbuen oppstår, og mengden av den. Utviklingen av en brann som oppstår som følge av en lysbue vil variere ut fra hva som finnes av brennbare materialer eller brannfarlige stoff i nærheten. Det er likevel tenkelig at en slik brann ikke vil utvikle seg like raskt som om det begynner å brenne i brannfarlig væske, som bensin og diesel.

Dersom det oppstår en lysbue som fører til brann i elbilen som står på lading, trenger ikke dette bety at batteriet i bilen har begynt å brenne. Hvis batteriet ikke er involvert i brannen kan brannen slukkes på samme måte som en bensin- eller dieselbil. Om batteriet begynner å brenne må det påregnes å bruke noe lenger tid og mer vann før brannen er helt slukket, og det kan være behov for å ha oppsyn med bilen en stund etter brannen er ansett som slukket.

Den mest alvorlige hendelsen vurderes å være brann i et stort bufferbatteri (dersom det er et slikt tilknyttet hurtigladeren), ettersom det kan være utfordrende å slukke en brann i litium-ion batterier [48], og det vil sannsynligvis kreve store mengder slukkevann, og brannmannskaper vil potensielt bli eksponert for flussyre-gass. Det er usikkert i hvilken grad et sprinkleranlegg vil klare å slukke en slik brann. Ved tester hos FM Global [49] dempet sprinkleranlegget brannen, men på grunn av at vannet ikke traff der det behøvdtes mest, ble ikke brannen slukket.

Tabell 4-2 viser et utvalg av hendelser som kan inntreffe i forbindelse med etablering av en hurtigladestasjon på eksisterende bensinstasjon samt sannsynlighet for og konsekvens av disse hendelsene. Informasjonen er basert på innspill fra Circle K¹³.

¹³ Intervju med senior leder hurtiglading, senior spesialist HMS og senior ingeniør fra Circle K, 13.01.2020.

Tabell 4-2 Et utvalg av potensielle hendelser i forbindelse med etablering av hurtiglader ved eksisterende bensinstasjon. Sannsynligheten er: 1 (tenkelig), 2 (har skjedd), 3 (har skjedd flere ganger). Konsekvensen er: 1 (forbigående skade), 2 (varig skade), 3 (død)

Hendelse	Sannsynlighet (S) og konsekvens (K)	Risikoreduserende tiltak ¹⁴
Personskade på bruker eller håndverker i forbindelse med installasjon	S:1 K:3	Installatør skal være sertifisert, og området skal være avgrenset
Personskade eller skade på bil på grunn av påkjørsel fra annen trafikk	S:2 K:2	Sikker plassering av lader i forhold til innkjøring av biler
Brann i elbil under lading, eller når den står parkert	S:2 K:1	Brannvesenet skal håndtere en slik hendelse
Skade på lader som følge av at bil kjører av gårde	S:1 K:1	Skal i utgangspunktet ikke kunne skje på grunn av kommunikasjon mellom bil og lader
Skade på lader pga. påkjørsel	S:2 K:2	Kollisjonsbeskyttelse foran ladere. Ladere er utstyrt med sikringer som kutter strømmen ved kortslutning.
Brann eller eksplosjon i lader på grunn av teknisk feil eller uautoriserte komponenter og reservedeler.	S: 1 K:3	God avtale på service av ladere samt reservedeler.

Circle K¹⁵ mener i tillegg at det er mindre risiko på deres stasjoner fordi de er vant til å vurdere og håndtere risiko, i motsetning til situasjonen ved for eksempel ladestasjoner i tilknytning til kjøpesenter o.l.

4.2.3 Aktuelle hendelser

Til tross for at en stor andel av alle kjøretøy i Norge er elbiler, har det ikke vært mange branner i elbiler, og kun en brann er registrert der en elbil ble hurtigladet [47]. Blant en gjennomgang av branner i elbiler internasjonalt, er det kun funnet 2 stykker som har blitt innrapportert at de var tilkoblet en hurtiglader [50].

Et tilfelle hvor en brann startet under lading var i 2016 når en Tesla begynte å brenne mens den var tilkoblet en 120 kW hurtiglader. Under lading brøt en komponent i ladekretsen i bilen

¹⁴ RISE har gjort teksten mer generell. For mer utfyllende informasjon henvises til Circle K.

¹⁵ Intervju med senior leder hurtiglading, senior spesialist HMS og senior ingeniør fra Circle K, 13. januar 2020.

sammen, slik at en lysbue (~3000 °C) skar inn i batteriet, og initierte ukontrollert varmeutvikling, såkalt thermal runaway, i batteriet. I etterkant av denne brannen har Tesla gjort forbedringer for å unngå lignende feil i framtiden¹⁶.

Ifølge Tesla [51] selv har det brent i en Tesla for hver 274 millioner kjørte km, mens vanlige kjøretøy brenner for hver 31 millioner kjørte km. Denne sammenligningen tar ikke hensyn til at gjennomsnittsalderen til en Tesla er vesentlig mindre enn gjennomsnittsalderen til vanlige kjøretøy. Likevel gir det en pekepinn på at det ikke er å forvente at en brann vil oppstå hyppigere enn hos et annet kjøretøy.

4.2.4 Eksisterende anbefalinger

DSB har utgitt en veileder om lading av elbil [52], og under denne er det gitt en teknisk veiledning «Lading av elektriske biler – planlegging og prosjektering av ladeinstallasjoner» [53] utarbeidet av DSB, elbilforeningen, NELFO og Norsk elektroteknisk komite i fellesskap.

I siste utgave (4. utgave 2015) står følgende: «En ladestasjon skal være minimum 10 meter fra alle Ex-soner». Ifølge redaktøren¹⁷ ble denne avstanden valgt for at bil + ladekabel ikke skal kunne befinne seg innenfor en Ex-soner. Veilederen er ikke oppdatert etter ny utgave av NEK 400 (2018) [29], men vil i ny revidering legge seg på samme linje som NEK 400, som setter følgende premisser for avstand mellom ladestasjon og Ex-soner:

NEK 400 (2018)

722.55.305.2 «Ladestasjoner skal være plassert i en avstand fra enhver Ex-soner slik at kjøretøy som lader ikke befinner seg i en Ex-soner.»

4.2.5 Faktorer som endres ved endring fra bensinstasjon til energistasjon med strøm til elektriske kjøretøy

Tennkilder: Laderen med tilhørende elektrisk utstyr vil i seg selv utgjøre en potensiell tennkilde. Ladestasjonen skal være plassert utenfor Ex-soner, i henhold til NEK 400 [29]. Ex-sonene ivaretar eventuelle lekkasjer som inngår i normal drift. Dersom det oppstår et utslipp som resulterer i en stor sky av eller brannfarlig gass vil denne strekke seg utenfor den definerte Ex-sonen, og på den måten vil ladestasjonen være en potensiell tennkilde.

Antall personkjøretøy: Antallet biler som vil besøke stasjonen avhenger i hovedsak av to ting; hva er rekkevidden til bilen, og finnes det andre muligheter for fylling. For en elbil er rekkevidden per fullading jevnt over mindre enn for en fulltanket bensin/dieselbil. Samtidig er det mange elbilister som lader hjemme, og det finnes mange egne hurtigladdestasjoner. Gitt at en bensin/dieselbil erstattes av elbil, er det derfor forventet at antall personkjøretøy som besøker en

¹⁶ E-postkorrespondanse med kontaktperson i DSB, 25.10.2019

¹⁷ E-postkorrespondanse med redaktør for NEK 400 – 16.09.2019.

stasjon mest sannsynlig vil reduseres. Dersom pågangen for fylling er større enn kapasiteten på stasjonen kan det oppstå ladekø, som vil kunne føre til at antall kjøretøy og mennesker tilstede ved stasjonen øker.

Antall tungtransporter for leveranse av energibærere: En hurtigladestasjon er ikke avhengig av påfyll fra en tankbil, i motsetning til en bensin/dieselpumpe. Det estimeres derfor at det vil være færre tankbiler som stopper ved stasjonen.

Antall tungtransporter for kjøp av energibærere: Dersom det blir vanlig med elektriske lastebiler vil disse trolig ha veldig store batterier. Det er antatt at disse vil måtte ha egne hurtigladere med større effekt enn dagens hurtigladere for personbiler. I tillegg er dagens ladestasjoner tilpasset en personbils fysiske størrelse, mens en lastebil vil kreve større fysisk plass, noe som kan føre til at deler av kjøretøyet kommer innenfor den definerte Ex-sonen (se tennkilder ovenfor). Dette gjør at dagens ladestasjoner for hurtigladere ikke nødvendigvis er tilpasset fremtidens elektriske lastebiler.

Mengde brannfarlig stoff: Mengden brannfarlig stoff vil i stor grad være uforandret, ved at selve hurtigladestasjonen ikke tilfører noe spesiell ekstra brannenergi. Lagerbeholdningen av bensin/diesel vil trolig være den samme til enhver tid, men fylling av tankene vil ha noe sjeldnere intervall. Batteriet i selve elbilen kan brenne, men energimengden isolert sett er ikke noe større enn energimengden som finnes i en bensin/dieseltank.

Dersom det i tilknytning til hurtigladestasjonen finnes et stort bufferbatteri, vil dette imidlertid kunne øke mengden brannfarlig stoff.

Oppholdstid besøkende: Å lade opp en elbil tar lenger tid enn å fylle en bensin/dieselbil, og det er lettere at det kan oppstå kø ved ladestasjonene. Disse to effektene bidrar til at besøkende trolig vil oppholde seg lenger på stasjonen.

Unike scenarier for energibæreren: Ved hurtigladere med høy effekt kan det potensielt oppstå en lysbue. Dette er et scenario som ikke er forventet ved de andre energibærerne. Ved diesel/bensin m.m. er det en risiko at brannen flytter seg fra opprinnelig posisjon og mange meter unna f.eks. ved lekkasje. Dette vil ikke kunne skje ved strøm som energibærere. Eksplosjon er heller ikke forventet ettersom hurtigladeren befinner seg utendørs og eventuelle ikke-antente eller brannfarlige gasser vil ha liten mulighet for å akkumulere.

Anleggets kompleksitet (sammenføyinger, koblinger etc.): Strømanlegget må være dimensjonert etter hvor mye effekt hurtigladerne skal levere. Utover dette er det ingen endringer.

Antall tredjepersoner/ størrelse sikkerhetsavstander: Det er ikke forventet at antall tredjepersoner eller størrelse på sikkerhetsavstander vil endres.

Andre tilleggsinstallasjoner som kan påvirke sikkerheten: Ved å legge til et bufferbatteri, vil dette kunne endre risikobildet noe ved at en brann i batteriet vil kunne ta tid å slokke, og produsere store mengder røyk. Det kan også være aktuelt å installere et solcelleanlegg som lader bufferbatteriet. I så tilfelle må brannrisiko ved solcelleanlegg, og eventuelle vekselvirkninger med slokkeinnsats, vurderes i tillegg.

Brannvesenets slukkeinnsats: En batteribrann kan være utfordrende å slokke, og det har i det siste blitt stilt spørsmålsteget¹⁸ ved om konvensjonell brannbekledning er tilstrekkelig for å beskytte seg mot alle typer gasser som kan oppstå ved en batteribrann.

Ytre brann – mulig eskalering: Det er ikke forventet at en ytre brann vil kunne bli kraftig eskalert på grunn av en hurtigladestasjon. Dette henger blant annet sammen at det ikke er noe flytende væske eller gass som har mulighet til å flytte på seg. Dersom det er etablert et bufferbatteri i tilknytning til anlegget bør dette ha tilstrekkelig avstand fra brannfarlig stoff, eksempelvis kjøretøyer, til at en ytre brann ikke kan spre seg til bufferbatteriet.

Miljøpåvirkning: En batteribrann kan kreve store mengder vann. Å ha en plan for hvor dette vannet vil havne er fornuftig. Dette er imidlertid noe som er anbefalt for alle typer branner, og er derfor ansett som ingen endring.

Økt vedlikehold (fare for innstalleringsfeil): Det vil være behov for ukentlig inspeksjon av tilkoblingsledning m.m. I motsetning til ved en diesel/bensinslange skal det ikke være mulig å kjøre av gårde med en ladekabel tilkoblet elbilen. Dette kan bidra til å redusere slitasje og behov for vedlikehold på ladestasjonen.

Annet (ikke brannrelatert, økonomi, helse etc.) som påvirkes: Behov for økt strømkapasitet, dette kan kreve en infrastrukturoppgradering. Strøm gir ingen avdamping under fylling i motsetning til bensin/diesel, og færre biler vil stå på tomgang på området. Dette kan gi marginalt bedre forhold med hensyn til helse/arbeidsmiljø.

4.2.6 Tiltak og barrierer

Standardene som anleggene bygges etter gir detaljer om tiltak og barrierer som fins på anleggene, se avsnitt 4.2.4.

Ved hurtigladerer er det krav om ukentlig visuell inspeksjon av ladestasjon med plugg, og sakkyndig kontroll årlig¹⁹. Dette skal avdekke slitasje, svakheter og behov for utskiftninger. I tillegg er det sikkerhetsfunksjoner innebygget i ladestasjonen som skal sjekke at alt er i orden. DSB²⁰ har kjennskap til enkelte hendelser der bilister har forsøkt å trekke ladekabelen over taket for å komme til ladekontakten på bilen. Slik oppførsel skaper naturligvis slitasje på ledning og bør unngås.

Hurtigladerer følger en kommunikasjonsprotokoll med bilen, og dersom feil i enten bilens system for å motta lading, eller hurtigladerens system for å gi fra seg strøm, vil lading ikke igangsettes, eller stanses. Dette er en barriere som bidrar til å beskytte batteriet mot feil lading, reduserer faren for lysbue, og bidrar til å redusere brannrisikoen. I tillegg er det ikke mulig å kjøre av gårde med bilen så lenge ladekabelen er tilkoblet. Dette eliminerer faren for å kjøre av gårde med ledningen.

Ved normal drift skal det ikke være fare for at en hurtiglader kan fungere som en tennkilde til brannfarlig væske eller gass, ettersom det er krav om at «Ladestasjoner skal være plassert i en

¹⁸ Dialog med ansatt i Trøndelag brann- og redningstjeneste (TBRT) – 28.11.2019

¹⁹ E-postkorrespondanse med kontaktperson i DSB, 25.10.2019

²⁰ E-postkorrespondanse med kontaktperson i DSB, 25.10.2019

avstand fra enhver Ex-sone slik at kjøretøy som lader ikke befinner seg i en Ex-sone.» [29]. Ved en uhellshendelse (lekkasje) vil det derimot kunne være fare for dette.

Nedenfor følger tiltak og barrierer som Circle K²¹ har etablert i forbindelse med sine ladestasjoner:

- Circle K har på eget initiativ etablert en manuell nødstoppbryter som stenger ned strømmen på alle laderene. En slik bryter vil skape forutsigbarhet for innsatspersonell ved f.eks brann i elbil som står på lading. En slik bryter er foreløpig ikke tilgjengelig på alle stasjoner, men vil bli det i framtiden.
- Det er videre installert en fysisk kollisjonsbeskyttelse rundt ladestasjonene deres slik at de er mindre eksponert for direkte påkjørsel. Det er også etablert en brøyteinstruks som gir føringer på hvordan brøyting i nærheten av ladestasjoner skal foregå, for å redusere faren for at laderen blir truffet av brøytebilen, og for å unngå sprut av vann, grus og snø på laderne.
- Ansatte har kurs i bruk av brannslukningsapparater, men ved brann i lader eller elbil er instruksjonen å ringe brannvesenet uten å forsøke å slukke selv.
- Circle K har rutiner for visuell sjekk, vask av ladere, loggføring og rapportering av feilmeldinger.

Dersom det etableres et stort stasjonært bufferbatteri i tilknytning til hurtigladeren er vår vurdering at denne bør være i tilstrekkelig avstand fra brannfarlig stoff slik at en ytre brann (brann i kjøretøy) ikke kan spre seg til bufferbatteriet. Batteriet bør ha gjennomgått en rekke sikkerhetstester, og ha et fornuftig design som hindrer eskalering av en brann dersom brann oppstår i en battericelle. Automatiske slokkeanlegg som både reduserer fare for spredning fra indre og ytre brannkilde bør vurderes.

4.3 Hydrogen i gassform

4.3.1 Bakgrunnsinformasjon og eksisterende anlegg

En stasjon med hydrogen i gassform kan enten ha leveranser av hydrogen som fraktes til stedet, eller produsere hydrogen på stedet. Bilene bruker hydrogengassen til å produsere strøm i en brenselcelle. Strømmen mellomlagres i et batteri og driver en elektrisk motor på samme måte som en elektrisk batteribil. Batteriet i en hydrogenbil brukes bare til mellomlagring av strøm fra brenselcellen og fra regenerativ bremsing.

Offentlig tilgjengelige fyllestasjoner skal være bygget og kontrollert iht. kravene i forskrift om håndtering av farlig stoff [4] og forskrift om trykkpåkjent utstyr [24]. I tilfeller hvor dette ikke er dokumentert, kan DSB gi stengevedtak.

²¹ Intervju med senior leder hurtiglading, senior spesialist HMS og senior ingeniør fra Circle K, 13.01.2020.

Det eksisterer noen få offentlig tilgjengelige fyllestasjoner for hydrogen nå, se oversikt i Tabell 4-3. Ikke alle er åpne, offentlig tilgjengelige fyllestasjoner. I tillegg er det en fyllestasjon i drift for Ruter sine hydrogenbusser i Oslo.

Tabell 4-3 Oversikt over hydrogenfyllestasjoner i Norge per februar 2020 [54–57].

Sted	Firma	Tilgjengelig for*
Høvik, Oslo	Hynion	Alle
Herøya, Porsgrunn	Hynion	Alle
Hvam, Skjetten	Uno-X	Alle
Gardermoen	Hynion	Alle
Kjørbo, Bærum	Uno-X	Alle
Rosenholm, Oslo	Air Liquide	Ruter sine 5 hydrogenbusser
Rosten, Trondheim	ASKO	ASKO sine gaffeltrucker og lastebiler, samt personbil. Ikke allment tilgjengelig.
Åråsen, Lillestrøm	IFE	Teststasjon
Åsane, Bergen	Uno-X	Alle

* Ikke alle er åpne per 2020

4.3.2 Egenskaper og risikoer forbundet med energibæreren

Hydrogen har noen unike egenskaper sammenlignet med andre brannfarlige gasser. En av de viktigste egenskaper med tanke på brann- og eksplosjonsfare er den lave antennesenergien på 0,017 mJ og det brede eksplosjonsområdet²², med nedre eksplosjonsgrense²³ på 4 volumprosent og øvre eksplosjonsgrense på 75 volumprosent²⁴ som fører til at hydrogen lett kan antennes. Eksplosjonsgrenser vil også påvirke hvor stor andel av en gassky som kan brenne og dermed også påvirke overtrykket ved en eksplosjon. Eksplosjonstrykket og intensitet av en

²² Eksplosjonsområde: Området mellom nedre og øvre eksplosjonsgrense, også kalt brennbarhetsområde.

²³ Nedre/ øvre eksplosjonsgrense: laveste/høyeste konsentrasjon av brennbar gass/damp i luft som er tilstrekkelig for antenne med etterfølgende flammeutbredelse gjennom blandingen uten tilførsel av energi utenfra. Kalles også brennbarhetsgrense. Engelsk: «Lower/ upper flammability limit» [5]

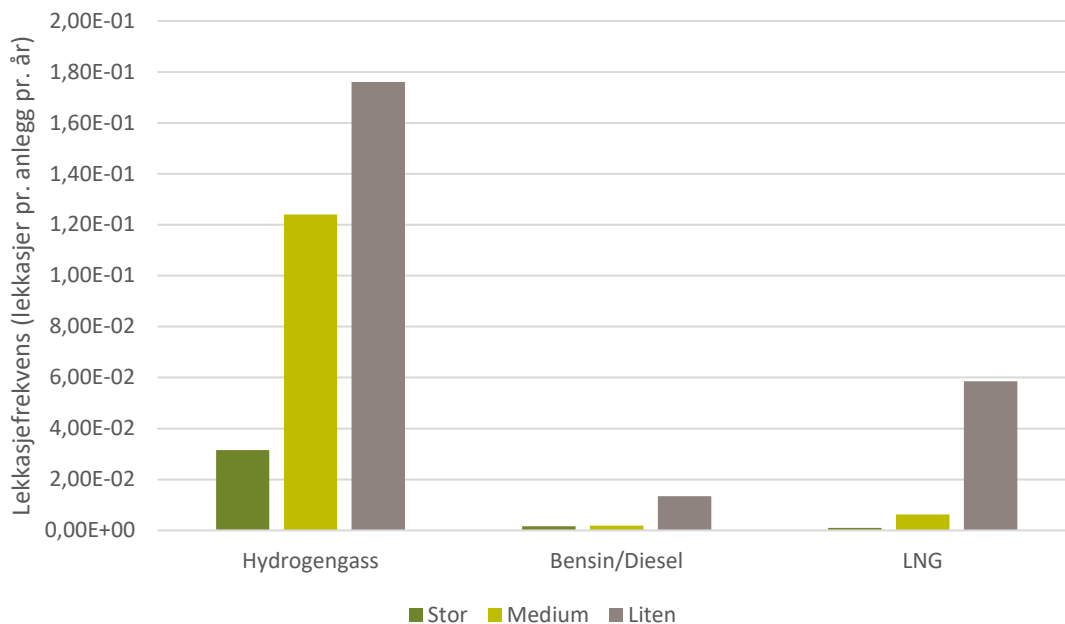
²⁴ Etter ISO/TR 15916 ved 20°C og under atmosfærisk trykk.

hydrogeneksplosjon eller brann vil også påvirkes av hydrogens høye energitetthet (nedre brennverdi 119.9 MJ/kg) og flammehastighet (laminær flammehastighet 2,91 m/s [58]) som fører til en mer intens forbrenningsprosess og dermed også større fare for en såkalt *deflagration detonation transition* (DDT).

Både termisk og masse diffusivitet av hydrogen er mye høyere enn for andre gasser. Hydrogen er i tillegg den letteste av alle gasser, med en tetthet på 0,08 kg/m³, som fører til at hydrogen stiger raskt oppover. Innendørs vil gassen derfor samles opp under taket. Utendørs lekkasjer vil raskt tynnes ut, på grunn av høy diffusivitet, og for små lekkasjer vil dette kunne redusere risikoen for antenning.

En ren hydrogen-luft flamme brenner uten å danne sot, som fører til lav termisk stråling og dermed redusert risiko for strålingsskader, sammenlignet med andre flammer. Siden, blant annet, energien ikke «tappes» via stråling er flammetemperaturen høyere enn for andre gassflammer. En ren hydrogen-luft flamme kan i tillegg være vanskelig å oppdage visuelt. Det kan imidlertid tenkes at i et realistisk scenario vil også andre materialer bidra til flammen og sannsynligvis øke strålingen og gjøre flammen synlig.

I en rapport som DNV GL har utarbeidet for DSB er det estimert lekkasjefrekvenser for ulike typer drivstoffanlegg [35]. Total lekkasjefrekvens avhenger blant annet av anleggsdesign, som antall koblinger og komponenter. Figur 4-2 viser lekkasjefrekvenser for et anlegg med hydrogen i gassform sammenlignet med lekkasjefrekvenser for et overgrunns drivstoffanlegg for bensin og diesel, samt anlegg med flytende naturgass (LNG), for å gi en grov oversikt over forskjell på størrelsesorden i lekkasjefrekvenser. Merk at dette er basert på et utvalg representative anlegg, og at undergrunnsanlegg for bensin og diesel ikke er presentert. Vi forventer at et overgrunnsanlegg har minst like høye lekkasjefrekvenser som et typisk undergrunnsanlegg. Det er med andre ord vesentlig høyere lekkasjefrekvens for hydrogen i gassform, sammenlignet med bensin og diesel.



Figur 4-2 Lekkasjefrekvenser for fyllestasjon med hydrogen i gassform, flytende naturgass (LNG) sammenlignet med et overgrunns tankanlegg for bensin og diesel. Lekkasjestørrelsen er angitt som Stor, Medium og Liten. Data er hentet fra DNV GL sin rapport; data for hydrogen tabell 3-1 i vedlegg 6, data for bensin og diesel er hentet fra tabell 3-1 i vedlegg 7 og data for LNG er hentet fra tabell 3-1 i vedlegg 4 [35].

En risikoanalyse som er gjort for en av Circle K sine fyllestasjoner med både bensin/diesel, hydrogen og hurtiglading er gjort tilgjengelig for prosjektet [59]. Det gjøres oppmerksom på at denne er fra 2012, så konkrete avstander og vurderinger er til informasjon og ikke til bruk i nye risikovurderinger. Det gjøres også oppmerksom på at bruken av hydrogen på stasjonen er i dag avvirket av markedsøkonomiske hensyn. Noen punkter fra risikovurderingen vil likevel bli presentert her, siden dette er én av få stasjoner hvor det er gjort en risikovurdering ut fra bensin/diesel i kombinasjon med flere enn én alternativ energibærer. Risikovurderingen konkluderer med at risikoen for anlegget er akseptabelt med en avstand på 6 meter mellom hurtigladeren og hydrogenanlegget. Hurtigladeren må regnes som en potensiell tennkilde for hydrogengass i tilfelle en lekkasje, men det er vurdert at lekkasjescenariene for dette hydrogenanlegget ikke kan nå bort til hurtigladeren. Andre tennkilder, som forbigående biler og veibelysning, er vurdert til å være mer sannsynlige enn hurtigladeren. En antent stor lekkasje på 1 kg/s fra hydrogenanlegget er stipulert til å gi over 13 kW/m² varmestråling ved hurtigladeren og en fareavstand for utendørs personell på 23 meter. Risikoen for denne hendelsen er likevel vurdert til å være lav. Dersom det skulle ta fyr i en elbil under lading eller en annen bil utenfor hydrogenanlegget er det ikke ansett som realistisk at dette skal føre til at trykkflaskene med hydrogen varmes opp tilstrekkelig til å kunne revne. Alt i alt konkluderer risikoanalysen med at det er lite vekselvirkninger mellom hurtigladeren og hydrogenanlegget når det er 6 meter avstand mellom disse. Ingen av de uønskede hendelsene fra hurtigladeren er vurdert til å kunne eskalere til hydrogenanlegget. De potensielle uønskede hendelsene fra hydrogenanlegget kan gi farlige trykkbølger og høy varmestråling i området der hurtigladeren står. Hurtigladeren vil øke forekomsten av personer i dette området, men den totale risikoen er ikke vurdert til å bli vesentlig påvirket av dette.

4.3.3 Aktuelle hendelser

Hydrogeneksplosjon ved Uno-X stasjon i Sandvika

Den 10. Juni 2019 oppstod det en hydrogenlekkasje fra en høytrykks hydrogentank ved en hydrogenstasjon tilhørende Uno-X i Sandvika (Kjørboveien 1), som førte til en eksplosjon og en påfølgende brann. En undersøkelse i etterkant av hendelsen konkluderte med at to bolter var blitt skrudd til for svakt, noe som førte til hydrogenlekkasje²⁵. Tennkilden er imidlertid ikke offentlig kjent ennå. Eksplosjonen førte blant annet til at deler av veggen rundt anlegget ble kastet over en gang- og sykkelvei og ut i en rundkjøring ifølge dronebilder fra NRK [60].

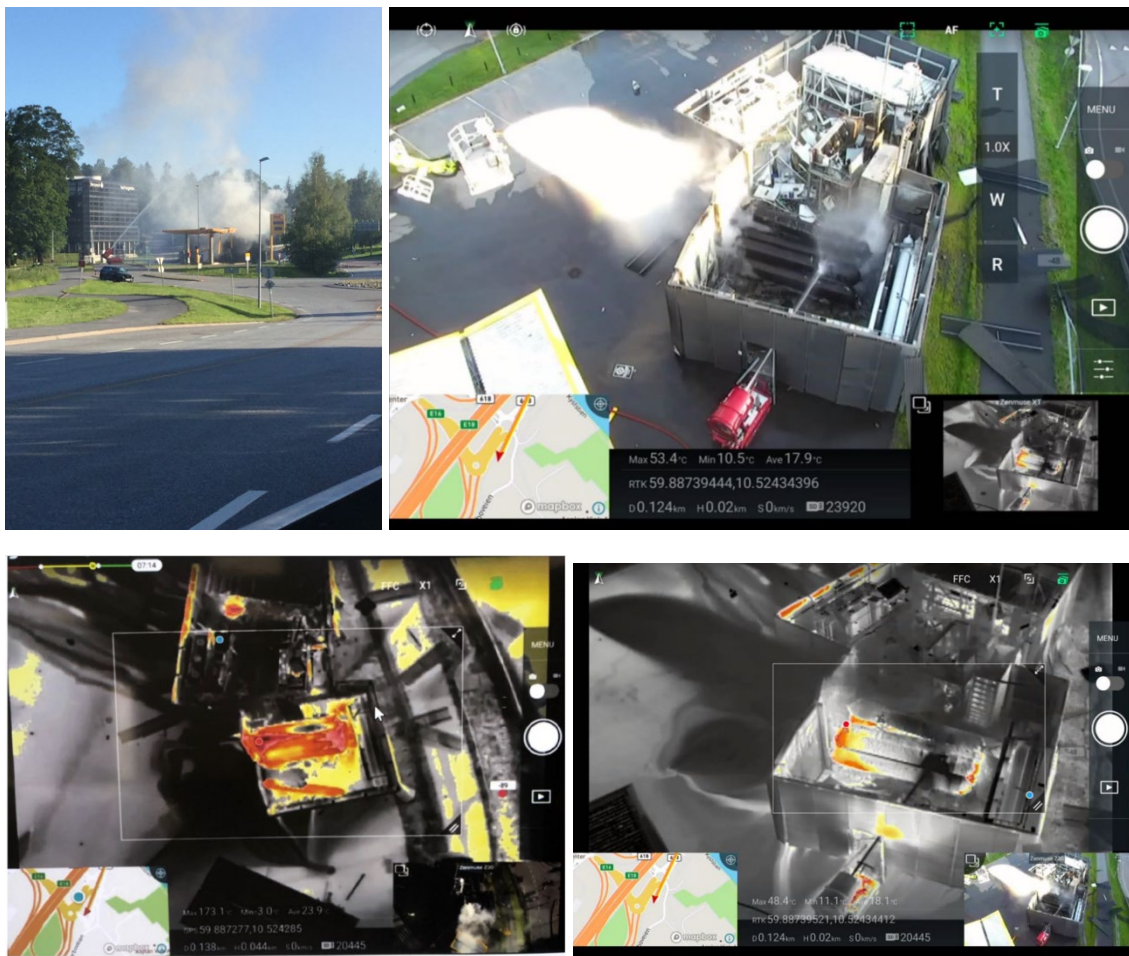
Det har blitt gjennomført et intervju²⁶ med innsatsleder fra Asker og Bærum brann- og redning om hvordan brannvesenet opplevde hendelsen. Da brannvesenet kom til stedet ble det etter en stund avklart at det ikke var en viljeskapt handling og at det ikke var skadde personer på området. Etter denne klareringen ble det etablert sperresone på 200 meter for innsatspersonell og sikkerhetsavstand på 500 meter for andre. Det var oppført 100 meter anbefalt sikkerhetsavstand i databasen for farlige stoff, men på grunn av flere uavklarte forhold ble denne økt til 500 meter. Denne avstanden gjorde at E18 måtte stenges. Hydrogengassen fikk brenne ut, og det ble benyttet sløkkerobot og vannkanon fra stigebil for å kjøle ned omkringliggende objekter. Brannvesenet

²⁵ Basert på pressekonferanse fra Nel, 28.06.2019, Oslo og <https://nelhydrogen.com/status-and-qa-regarding-the-kjorbo-incident/> (04.10.2019).

²⁶ Intervju med innsatsleder ved hendelsen fra Asker og Bærum brann- og redning, 15.11.2019

fikk god støtte fra både eierne og leverandøren av stasjonen under innsatsen som varte i omkring 3 timer. Etter at det ble verifisert at tankene var tømt for hydrogen ble sikkerhetsavstanden opphevet og trafikken sluppet forbi. To personer ble sendt til sjekk på legevakten, men hendelsen førte ikke til noen personskade.

I en rapport om sikkerhetsavstander ved anlegg for farlig stoff [35] er det forutsatt at hydrogenfyllleanlegg er omkranset av et 4 m høyt gjerde som skal begrense utstrekningen av en horisontal jetbrann (antent lekkasje av trykksatt, brannfarlig væske eller gass [5]) fra anlegget. Det er også forutsatt at veggen forblir intakt og ikke danner prosjektiler ved en eksplosjon. Hendelsen på Kjørbo viser at det er viktig at en slik vegg rundt anlegget bygges på en måte at den tåler de påkjenningene den kan utsettes for ved en eksplosjon og at ikke løse deler av veggen kan flyke avgårde og treffe personer utenfor anlegget.



Figur 4-3 Uno-X hydrogenfyllanlegg etter eksplosjon 10. Juni 2019. Brannvesenets dronebilder viser varmeprofiler inne i anlegget under slokkeinnsats. Bilder: Asker og Bærum brann og redning, gjengitt med tillatelse.

4.3.4 Eksisterende anbefalinger

Regelverk og veiledninger som er presentert i kapittel 3 gjelder, og det er en del spesielle faktorer som må tas hensyn til når hydrogen skal tas i bruk på en energistasjon.

Noen standarder som gjelder for hydrogenstasjoner spesifikt er:

- ISO/TS 19880 Gaseous hydrogen – Fueling stations [61] (en serie standarder)
- SAE J2601_201612 Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles [62]
- ISO/TR 15916:2015, Basic considerations for the safety of hydrogen systems [63]

Ifølge forskrift om håndtering av farlig stoff [4] skal anlegg bygges etter anerkjent norm. For anleggene bygget i Norge er anerkjent norm i praksis ISO/TS 19880, ifølge DSB²⁷.

Som et eksempel på at det er mange ulike regelverk som kan komme inn i bildet for hydrogen (og andre typer gassanlegg for salg av drivstoff), er hydrogenstasjoner fra eksempelvis Nel²⁸ tredjepartssertifisert og oppfyller krav fra følgende internasjonale standarder og EU direktiv²⁹ (hvorav de fleste er implementert i norsk rett via norske forskrifter):

- Mechanical and Safety Instrumented System IEC61511
- DIRECTIVE 2014/68/EU Safety of pressure vessel equipment and material
- DIRECTIVE 2014/34/EU Equipment used in potentially explosive atmospheres (ATEX)
- DIRECTIVE 2014/30/EU Electromagnetic compatibility
- DIRECTIVE 2014/35/EU Low-voltage electrical equipment
- DIRECTIVE 2006/42/EC Machinery Directive

Flere av direktivene kan også være relevante for et anlegg med konvensjonelt drivstoff.

4.3.5 Faktorer som endres ved endring fra bensinstasjon til energistasjon med hydrogen i gassform

Tenkilder: På grunn av at hydrogen antenner mye lettere enn bensin/diesel vil mange flere svake energikilder kunne opptre som tenkilder dersom de eksponeres for en brannfarlig sky av hydrogen.

Antall personkjøretøy: Ingen vesentlig endring.

Antall tungtransporter for leveranse av energibærere: Det vil kreves flere tungtransporter til stasjonen for å levere hydrogen i gassform sammenlignet med bensin og diesel for å kunne levere drivstoff til en gitt total kjørelengde for stasjonens kunder. Kapasiteten på en lastebil med hydrogen i gassform er mellom 5 og 17 ganger³⁰ lavere enn for en lastebil med flytende hydrogen

²⁷ E-postkorrespondanse med kontaktperson i DSB, 10.02.2020

²⁸ Basert på pressekonferanse fra Nel, 28.06.2019, Oslo, i forbindelse med Kjørbo-hendelsen.

²⁹ Detaljert informasjon om hver av disse er å finne i «Official Journal of the European Communities» tilgjengelig på <https://eur-lex.europa.eu/>

³⁰ Hydrogen gassform: 250 kg (ståltanker, 190 bar) eller 800 kg (komposittanker, 350 bar). Flytende hydrogen: 4300 kg pr lastebil. [64]

[64]. I avsnitt 4.4.5 er det vist at kapasiteten for bensin og diesel omtrent tilsvarer kapasitet for flytende hydrogen. Det vil si at hver lastebil bensin og diesel tilsvarer omtrent 5 til 17 lastebiler ved leveranse av hydrogen i gassform.

Antall tungtransporter for kjøp av energibærere: Hydrogen i gassform er ikke antatt å være veldig aktuelt som drivstoff for tyngre lastebiler på grunn av det store volumet som kreves for å lagre en tilstrekkelig mengde energi. I dag er det enkelte eksempler på tungtransport som bruker hydrogen i gassform til tungtransport, eksempelvis ASKO i Trondheim. Likevel er vår vurdering at det på grunn av volumbegrensninger ikke er ventet en vesentlig økning i antall lastebiler som kommer for å fylle hydrogen i gassform.

Mengde brannfarlig stoff: Ingen vesentlig endring. Her er det valgt å sammenligne den mengden energi som kreves for å kjøre et gitt antall kilometer med ulike typer drivstoff. Dette kan beregnes som MJ/100km med utgangspunkt i estimert forbruk for sammenlignbare kjøretøy og brennverdien for drivstoffet. Selv om en brann i hydrogengass arter seg annerledes enn en brann i bensin eller diesel gir dette en sammenlignbar størrelse for den brannenergien som må lagres og distribueres for å levere en gitt kjørelengde til energistasjonens kunder. Hvor mye som må lagres på energistasjonen vil være avhengig av hvordan drivstofflagrene fylles og hvor mange kjøretøy som er innom for å fylle i løpet av en viss tid.

Brennverdien i den mengden hydrogen som trengs for å kjøre en personbil en gitt avstand er omtrent lik som brennverdien til bensin/diesel som trengs for å kjøre den samme avstanden. Med et forbruk på 1,1 kg/100 km [65–67] og en brennverdi på hydrogen på 158,9 MJ/kg [68] gir dette en total mengde brannfarlig drivstoff på 184 MJ/100 km. Til sammenligning tilsvarer dette et forbruk på ca. 5 l/100 km for bensin og diesel som vurderes å være omtrent realistisk for sammenlignbare moderne biler.

Oppholdstid besøkende: For personbiler er det antatt at det vil ta omtrent samme tid å fylle hydrogen, som det i dag tar å fylle bensin/diesel. Samtidig vil en hydrogenbil måtte fylle litt oftere enn en bensin-/dieselbil fordi det er antatt at den har noe kortere rekkevidde enn en bensin- eller dieselbil.

Unike scenarier for energibæreren: Lav antennelsesenergi, bredt eksplosjonsområde, rask forbrenning og lagring under høyt trykk gjør at sannsynligheten for eksplosjon og detonasjon er betydelig større enn for andre relevante energibærere.

Anleggets kompleksitet (sammenføringer, koblinger etc.): For anlegg med produksjon av hydrogen med elektrolyse vil kompleksiteten av anlegget være betydelig større enn et anlegg for bensin/diesel. Dersom hydrogengassen blir tilkjørt vil kompleksiteten være mindre enn ved produksjon av hydrogen på anlegget. Uansett vil anlegget operere under svært høye trykk for å levere til kjøretøy som kan fylles med inntil 700 bar.

Antall tredjepersoner/ størrelse sikkerhetsavstander: Størrelse på sikkerhetsavstander, og antall tredjepersoner som dermed vil komme til å oppholde seg i ulike soner vil være nødvendig å vurdere for hvert anlegg. I noen tilfeller kan det være nødvendig med større sikkerhetsavstander for anlegg med hydrogen i gassform enn for anlegg med bensin og diesel.

Andre tilleggsinstallasjoner som kan påvirke sikkerheten: Dersom det er aktuelt å installere for eksempel solceller for å produsere strøm til elektrolyse av hydrogen må dette plasseres slik at det ikke øker risikoen for oppsamling eller innelukkning av en eventuell hydrogengasslekkasje.

Brannvesenets slukkeinnsats: En av våre kontakter i brannvesenet³¹ mener at arbeidsoppgavene ved framtidens energistasjoner ikke vil være så forskjellig ifra den risikoen og de utfordringene de allerede i dag må forholde seg til, som for eksempel transport av farlig stoff (hydrogen, oksygen, propan m.m.) på veg og jernbane. Brannvesenet i tilknytning til de store byene har god slagkraft og er forberedt på de utfordringene framtidens energistasjoner kan medføre. I distriktene kan det være noe verre ettersom en stor del av brantjenesten er basert på deltidsansatte.

Ytre brann – mulig eskalering: Hydrogenanlegget plasseres over bakken. Dermed vil det være mer utsatt for varmpåkjenning fra en ytre brann enn en nedgravd tank med bensin eller diesel.

Miljøpåvirkning: Et utslipp av hydrogengass er ikke vurdert til å ha noen vesentlig negativ miljøpåvirkning dersom den spres og tynnes ut uten å antenne.

Økt vedlikehold (fare for innstalleringsfeil): Anlegget vil være relativt komplekst og må vedlikeholdes og kontrolleres av kvalifiserte fagfolk. Dette gjelder spesielt for anlegg med egenproduksjon av hydrogen ved elektrolyse.

Annet (ikke brannrelatert, økonomi, helse etc.) som påvirkes: Ingen endring identifisert.

4.3.6 Tiltak og barrierer

Standardene som anleggene bygges etter gir detaljer om tiltak og barrierer som fins på anleggene, se avsnitt 4.4.4 og 4.3.4.

Tettheten og diffusiviteten til hydrogen gjør at det er effektivt å ventilere hydrogengass oppover for å tynne den ut. Dette kan utnyttes i utformingen av energistasjoner med hydrogen slik at en eventuell lekkasje raskt blir ledet oppover og vekk fra resten av anlegget. For at dette skal fungere best mulig bør det ikke være tak over de delene av hydrogenanlegget der det kan oppstå store lekkasjer.

Ettersom utslippsretning fra lekkasjepunkter ikke så lett kan forutses, vil vertikale plater rundt ansamlinger av lekkasjepunkter kunne sende gass fra en horisontal lekkasje effektivt til værs og hindre at gassen brer seg sideveis og slik eksponeres for tennkilder. Vertikal utslippsretning uten for mange hindringer, halvtak og lignende vil også gi raskere fortynning av gassen. Til sammen vil dette begrense risikoen for eksplosjon. Det er også viktig med tette, robuste gjerder rundt installasjonene for å redusere konsekvensen av en hendelse for folk som oppholder seg like utenfor.

Mindre lekkasjerater vil stige opp og raskt bli tynnet ut i motsetning til lekkasjer av tyngre stoffer som kan samle seg i forsenkninger i terrenget. Det er dermed viktig å redusere potensialet for store lekkasjerater som kan skape større skyer av brannfarlig gass før de tynnes ut. Dette er viktig i de segmentene av anlegget som inneholder store mengder hydrogen. Der lekkasjen skjer med tilførsel gjennom tynne rør vil potensiell lekkasjerate være begrenset av dette.³²

³¹ Intervju med innsatsleder ved hendelsen fra Asker og Bærum brann- og redning, 15.11.2019

³² Intervju og epostkorrespondanse med sjefsingeniør i Lloyds Register Consulting – Energy AS

4.4 Flytende hydrogen, flytende metan (LNG, LBG)

4.4.1 Bakgrunnsinformasjon og eksisterende anlegg

Flytende metan produseres av fossil gass eller av nedbrytning av organisk materiale. Stammer gassen fra fossile kilder kalles den naturgass (Liquified Natural Gas, LNG), og stammer den fra organisk materiale kalles den biogass (Liquified BioGas, LBG). Flytende metan vil i ulik grad renses og gjøres flytende ved å kjøle den ned til $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ som er kokepunktet for metan. Hydrogen kan også gjøres flytende ved å kjøle det ned kokepunktet på ca. $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hovedfordelen med å gjøre gassen flytende er å øke energitettheten uten å måtte komprimere gassen til svært høye trykk. [69–71].

Det er ingen anlegg for fylling eller produksjon av flytende hydrogen i Norge i dag.

Det er 2 fyllestasjoner for LNG/LBG i Norge per desember 2019, ifølge Natural & Bio Gas Vehicle Association (NGVA Europe) [72]. Den ene ligger i Stokke utenfor Tønsberg og den andre ligger på Furuset i Oslo. De opereres av Air Liquide og AGA.

4.4.2 Egenskaper og risikoer forbundet med energibæreren:

Siden flytende hydrogen og metan lagres under svært lave temperaturer vil det oppstå kraftig nedkjøling dersom det oppstår en lekkasje. Dette kan utgjøre en fare for personer som blir eksponert, eller andre materialer som endrer sine egenskaper ved lave temperaturer. For eksempel vil stål bli sprøtt og miste noe av sine duktile egenskaper ved kraftig nedkjøling. [73]

Flytende metan holder en temperatur på $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, og flytende hydrogen holder en temperatur på $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Oksygen har kokepunkt $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ [74]. Dette fører til at dersom luft kommer i kontakt med temperaturer lavere enn $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan oksygenet i lufta kondensere. Dette kan dermed oppstå når luft kommer i kontakt med overflater som holder temperaturer ned mot kokepunktet for hydrogen. Flytende oksygen kan reagere kraftig med organisk materiale og føre til svært kraftig brann eller eksplosjon.

Lekkasjefrekvensen for et fylleanlegg for LNG er beregnet til å være mellom 1 til 4 ganger større enn lekkasjefrekvensene for et fylleanlegg for bensin og diesel for små, mellomstore og store lekkasjer som vist i Figur 4-2 på side 35 [35]. Denne analysen er basert på frekvensanalyser av et representativt fylleanlegg for LNG til tunge kjøretøy og et representativt overgrunns drivstoffanlegg for bensin og diesel. Dette gir et bilde av størrelsesorden på lekkasjefrekvenser, mens total lekkasjefrekvens avhenger blant annet av anleggsdesign, som antall koblinger og komponenter etc.

Siden flytende hydrogen lagres på lignende anlegg antas det også at lekkasjefrekvensene for flytende hydrogen ligger i samme størrelsesorden. Det er likevel viktig å merke at egenskapene til flytende hydrogen i dag ikke er fullt ut forstått, og det pågår flere prosjekter med formål å forstå stoffet bedre, for eksempel prosjektene SH2IFT [20] og PRESLHY [21].

Selv om hydrogen er en svært lett gass som raskt stiger til værs ved en lekkasje vil både flytende hydrogen og den kalde hydrogengassen som damper av være tyngre enn luft. Dette gjør at den brannfarlige gassen vil holde seg nært bakken og kan danne større brannfarlige skyer enn den ville gjort dersom lekkasjen skjedde fra gassfase ved omgivelsestemperatur. Både flytende og kald metan er også tyngre enn luft slik at denne risikoen er også relevant her.

RPT, eller Rapid Phase Transition, er et fenomen som kan oppstå når flytende naturgass plutselig går over til gassfase som en eksplosjon. Dette kan typisk skje dersom LNG slipper ut på en vannoverflate. [75] Teorien sier at RPT er lite sannsynlig for hydrogen, men det er ikke noen kjente eksperimenter som viser dette fenomenet for flytende hydrogen. [76]

4.4.3 Aktuelle hendelser

Et eksempel på at materialer påvirkes av den lave temperaturen som er forbundet med LNG er en hendelse ved Esso Langford LNG-terminal Australia 1998. En varmekrets som skulle holde viktige komponenter varme feilet og førte til at en varmeveksler for LNG ble nedkjølt til omkring $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$, som gjorde metallet sprøtt. Da varmekretsen ble startet opp igjen oppstod det et brudd som førte til et stort utslipp som antente og førte til en eksplosjon. To personer omkom og flere ble skadd i hendelsen. [77]

4.4.4 Eksisterende anbefalinger

Utover regelverk og veiledninger som er presentert i kapittel 3, er blant annet de følgende standardene relevante for fyllestasjoner med flytende hydrogen eller flytende metan:

- NS-EN ISO 16924:2016 Fyllestasjoner for naturgass - LNG-stasjoner for fylling av kjøretøyer [78]
- NS-EN 13645:2001 Anlegg og utstyr for flytende naturgass - Konstruksjon av landanlegg med lagringskapasitet mellom 5 t og 200 t [79]
- NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code. [80]

For flytende hydrogen er blant annet følgende standarder relevante:

- ISO 13984:1999 Liquid hydrogen - Land vehicle fuelling system interface [81]
- ISO 13985:2006, Liquid hydrogen - Land vehicle fuel tanks [82]

4.4.5 Faktorer som endres ved endring fra bensinstasjon til energistasjon med flytende hydrogen eller flytende naturgass

Tennkilder: Det er ikke forventet at antallet tennkilder vil øke betydelig. Når det gjelder antennelse gjelder det som er beskrevet for hydrogen i gassform i avsnitt 4.3.5 også for flytende hydrogen - det vil kunne antennes av svært mange flere små tennkilder enn andre typer drivstoff, siden hydrogen antenner mye lettere. Metan har omtrent lik tennenergi som bensin. Flytende hydrogen og metan er tyngre enn luft slik at gasskyen fra en lekkasje vil kunne spre seg i større grad utover langs bakken enn en lekkasje fra komprimert gass. Dette fører til at det er større sannsynlighet for at gasskyen vil finne en tennkilde enn for komprimert gass.

Antall personkjøretøy: Flytende metan og hydrogen er trolig mest aktuelt for tyngre kjøretøy. Det er dermed ikke ventet en større mengde personbiler.

Antall tungtransporter for leveranse av energibærere: En tankbil med LNG kan laste nesten 18 tonn i en tank på 48 m³ [83]. Diesel har omtrent dobbelt så stor tetthet som LNG slik at en like stor tankbil vil kunne få med omtrent dobbelt så mange kg med diesel. I en sammenligningstest av lastebiler med diesel og LNG var forbruket målt i kg/100 km omtrent likt [84]. Det vil si at det trengs omtrent dobbelt så mange tankbiler for leveranse av LNG som det trengs for leveranse av diesel for å dekke den samme kjørelengden for kundene på energistasjonen.

Tankbiler for transport av flytende hydrogen har en kapasitet på inntil 4300 kg ifølge Air Liquide [64]. For en personbil er det estimert et forbruk på omtrent 1,1 kg hydrogen per 100 km [65–67]. Dette er riktignok forbruk for biler som går på komprimert hydrogengass, men det antas at forbruket for en tilsvarende bil med flytende hydrogen på tanken vil være tilsvarende. Dette gir en total kjørelengde på 390 000 km for en personbil per tankbil med flytende hydrogen. For å kunne kjøre like langt med en bensin eller dieselbil trengs 27 000 liter drivstoff dersom man antar et forbruk på 7 l diesel per 100 km. Denne mengden diesel er antatt å få plass på en relativt stor tankbil. Med andre ord vil det ikke være noen vesentlig endring i hvor mange tankbiler som trengs for å levere drivstoff i form av flytende hydrogen sammenlignet med diesel eller bensin.

Antall tungtransporter for kjøp av energibærere: Det er forventet at det i stor grad er større lastebiler som vil fylle flytende metan eller hydrogen. Der denne typen drivstoff er tilgjengelig vil det dermed trolig være en overvekt av tyngre kjøretøy.

Mengde brannfarlig stoff: Som vist i avsnitt 4.3.5 er brennverdien av den mengden hydrogen i gassform som trengs for å kjøre en bil en gitt distanse målt i MJ/100km omtrent lik som for en bensin eller dieselbil. Det antas at forbruket for en bil som går på flytende hydrogen er tilsvarende forbruket for en bil som går på hydrogen i gassform. Dermed vil heller ikke flytende hydrogen kreve en vesentlig større mengde brannfarlig stoff for å kunne kjøre en gitt avstand enn bensin eller diesel.

En test av en LNG-lastebil og en diesel-lastebil som ble kjørt en rute gjennom Europa tre ganger viste at gjennomsnittlig forbruk var 23,6 kg/100 km for LNG og 27,1 liter/100 km for diesel [84]. Omregnet blir dette omtrent 1147 MJ/100 km for LNG og 984 MJ/100 km for diesel. Altså er den totale energimengden brannfarlig materiale som trengs for å kjøre disse lastebilene en gitt distanse omtrent 17 % høyere for LNG enn for diesel³³.

Oppholdstid besøkende: Fylletiden for flytende hydrogen og metan vil ikke være vesentlig forskjellig for fylling av flytende drivstoff som bensin og diesel. Oppholdstiden for besøkende vil dermed ikke øke.

Unike scenarier for energibæreren: Flytende hydrogen og flytende metan oppbevares under svært lave temperaturer. Kraftig nedkjøling ved utslipp vil være unikt for denne typen drivstoff. Dette kan føre til frostskafer på personer som blir eksponert for lekkasjen eller at konstruksjonsmaterialer, som for eksempel stål, blir sprøtt og sprekker.

³³ Egenvekt diesel er estimert til ca 0,83 kg/L. Nedre brennverdi for LNG er satt til 48,6 MJ/kg og 42,8 MJ/kg for diesel (<https://h2tools.org/hyarc/calculator-tools/lower-and-higher-heating-values-fuels>).

Anleggets kompleksitet (sammenføringer, koblinger etc.): Flytende hydrogen og metan lagres ved relativt lave trykk på isolerte tanker. Anleggets design er relativt enkelt, men det krever en del av sikkerhetsutstyr og personale. Avdamping fra lagertanker må regelmessig ventileres ut for å unngå trykkoppbygging. Behovet for ventilering avhenger av forbruket og hvilken temperatur gassen leveres med. Anlegg for flytende hydrogen og metan må også utformes slik at det ikke kan oppstå segmenter som er innelukket uten mulighet for å ventilere ut gass som damper av.

Antall tredjepersoner/ størrelse sikkerhetsavstander: Størrelse på sikkerhetsavstander, og antall tredjepersoner som dermed vil komme til å oppholde seg i ulike soner vil være nødvendig å vurdere for hvert anlegg. I noen tilfeller kan det være nødvendig med større sikkerhetsavstander for anlegg med flytende hydrogen og flytende metan enn anlegg med bensin og diesel.

Brannvesenets slukkeinnsats: Dersom det oppstår en brann vil det være viktig for brannvesenet å sikre at lagertanker ikke blir eksponert for kraftig oppvarming fra brannen uten at sikkerhetsventilene får redusert trykket. Det kan også være en risiko med å spyle vann på tanken for å nedkjøle den ved at man risikerer at sikkerhetsventiler tettes av is.

For flytende hydrogen, kommer i tillegg faren for svært kraftig brann eller eksplosjon som følge av reaksjoner mellom flytende oksygen og organisk materiale. Denne faren oppstår på grunn av at flytende hydrogen har kokepunkt som er lavere enn luft. Dersom luft kommer i kontakt med overflater og utstyr som ikke er isolert, og som holder temperaturer ned mot kokepunktet for hydrogen, så kan oksygenet i lufta kondensere til flytende oksygen.

Ytre brann – mulig eskalering: Varmepåkjønning av isolerte tanker med flytende hydrogen eller metan kan i verste fall føre til BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion). Likevel, det faktum at disse tankene er isolert, beskytter mot BLEVE. Dette i motsetning til f.eks. LPG, som oppbevares på uisolerte tanker.

Miljøpåvirkning: Tanker med flytende hydrogen eller LNG vil slippe ut gassen etter hvert som den damper av dersom det er for lite forbruk fra tanken. Denne avdampingsraten er avhengig av hvor godt tanken er isolert og hvor stort overflateareal den har. Metan fra LNG er en kraftig drivhusgass. Det er derfor viktig å minimere mengden metangass som blir sluppet ut gjennom hele kjeden av LNG distribusjon og bruk. [85]

4.4.6 Tiltak og barrierer

Standardene som anleggene bygges etter gir detaljer om tiltak og barrierer som fins på anleggene, se avsnitt 4.4.4.

For lagring av flytende hydrogen og metan er det viktig at tankene er godt isolert for å redusere avdampingen i tanken ved lavt forbruk. Dette vil også beskytte tanken ved ytre varmpåkjønning i en brann. Til tross for god isolasjon vil det alltid dampe av gass fra disse kryogeniske væskene (kryogene gasser), denne må ventileres ut på en trygg måte for å unngå at trykket øker. Det er også viktig å bruke materialer og stålqualiteter som tåler de lave temperaturene som de blir eksponert for under normal drift og eventuelt under en utilsiktet lekkasje.

Viktige barrierer for å unngå at ytre varmpåvirkning gir eskalering til BLEVE er at tanken er godt isolert mot ytre varmpåvirkning og at sikkerhetsventilene fungerer og slipper ut gass for å unngå at trykket blir for høyt inne i tanken. Det er likevel verdt å nevne at sikkerhetsventilens funksjon for å forhindre BLEVE er omdiskutert, ettersom det er mange faktorer som spiller inn.

Det trenger ikke være ensidig positivt med sikkerhetsventil i denne sammenhengen. Det er lite kjent kunnskap om BLEVE i tanker med flytende hydrogen. Dette er noe som blant annet SH2IFT-prosjektet jobber med å undersøke [20]

Oppsamlingsbasseng under lagertanker for flytende metan eller hydrogen vil hindre væskefasen fra å spre seg utover ved en eventuell lekkasje. Størrelsen på dette oppsamlingsbassenget vil avgjøre hvor store lekkasjer som kan hindres å flyte utover. Som vist i Figur 4-2 er det de små lekkasjene som er antatt å ha betydelig større frekvens for fylleanlegg for LNG sammenlignet med bensin/diesel [35]. Det kan i tillegg installeres detektorer som reagerer på gasskonsentrasjoner og lave temperaturer. Disse detektorene kan aktivere stengeventiler som isolerer de ulike delene av anlegget og reduserer den potensielle mengden som lekker ut mest mulig. [35]

4.5 Andre energibærere: etanol, CNG, CBG, LPG

I tillegg til hurtigladere, hydrogen i gass- og flytende form og flytende metan, er det flere andre energibærere som vil kunne bli aktuelle for en større utbredelse enn det de har i dag. Dette inkluderer etanol, komprimert naturgass (Compressed Natural Gas, CNG), komprimert biogass (Compressed BioGas, CBG) og flytende propan eller butan (Liquid Petroleum Gas, LPG).

Flytende propan og flytende metan har gunstige egenskaper som drivstoff, med høy energitetthet, lave lokale utslipp og mulighet til lagring under lave trykk. Til sammenligning har komprimert metan og hydrogen lavere energitetthet og må lagres under vesentlig høyere trykk. Slike aspekter vil kunne påvirke risikobildet for disse energibærerne, men dette er ikke gjennomgått i detalj, ettersom en del av disse per i dag har en svært lav markedsandel i Norge, og det er vurdert at de heller ikke i nær fremtid vil bli utbredt i stor grad på privatmarkedet i Norge.

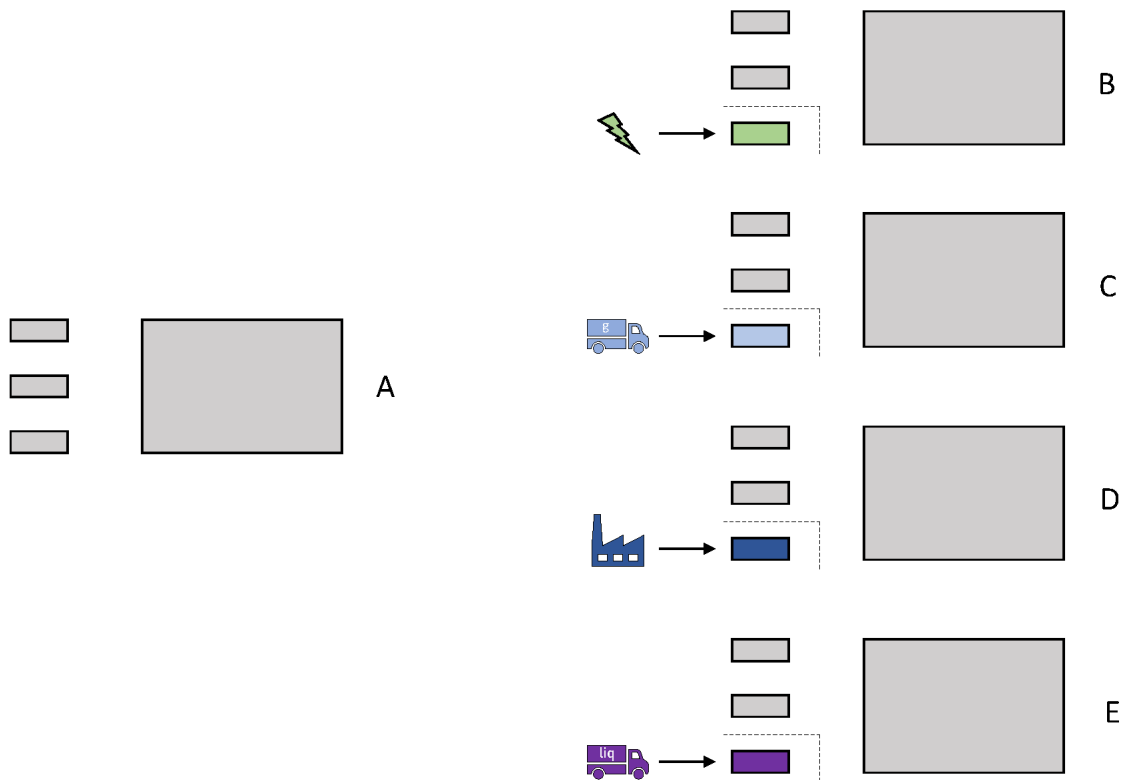
I Norge var det én energistasjon med kombinasjon av tradisjonelt fossilt drivstoff og LPG, men av markedsmessige årsaker ble LPG-delen av denne avviklet for noen år siden³⁴. I tillegg kommer stasjoner som tilbyr kun LPG. Etanol som drivstoff er mer utbredt i Sverige enn i Norge, og det vil være mulig å ta lærdom fra erfaringer derfra dersom det satses på etanol. Tilsvarende vil man kunne se til andre land i Europa og internasjonalt ved innføring av andre energibærere.

³⁴ Intervju med senior leder hurtiglading, senior spesialist HMS og senior ingeniør fra Circle K, 13.01.2020.

5 Risiko ved endring fra tradisjonell bensinstasjon til energistasjon

I dette kapittelet vil det bli gitt en sammenstilling av risiko ved endring fra tradisjonell bensinstasjon til energistasjon med én ekstra energibærer. Dette baseres på presentasjonen av hver enkelt energibærer gitt i kapittel 4.

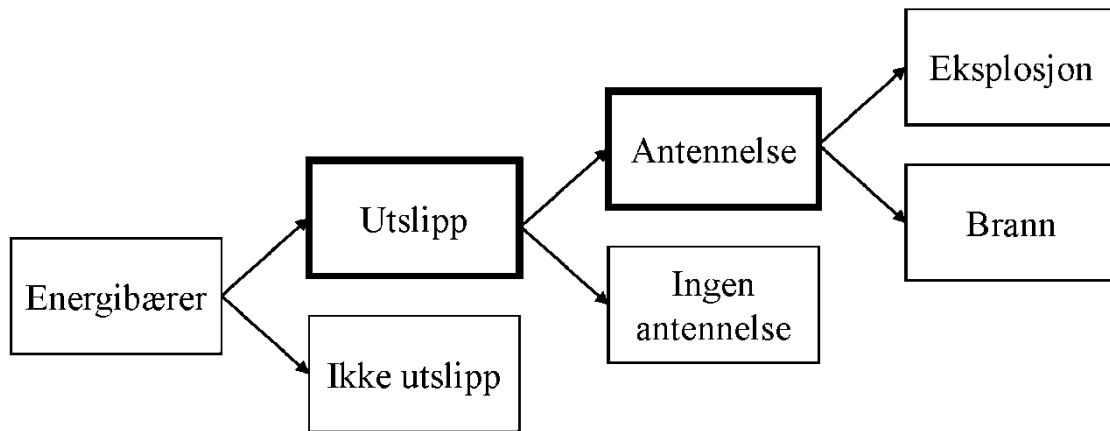
Scenarier som er brukt for å studere endring i risiko fra tradisjonell bensinstasjon til energistasjon er illustrert i Figur 5-1. Generelt vil en økning i samlet energiinnhold på ett sted medføre økt risiko, uavhengig av om det er snakk om bensin, hydrogen eller andre energibærere. For å studere bidraget fra nye typer energibærere, er det derfor tatt utgangspunkt i at energiinnholdet til den samlede mengden energibærere er uendret.



Figur 5-1 Fem ulike scenarier: Tradisjonell bensinstasjon med kiosk og fyllerpumper (scenario A), energistasjon med hurtiglader (scenario B), energistasjon med hydrogen i gassform som fraktes til stedet (scenario C), energistasjon med hydrogen som produseres på stedet (scenario D), energistasjon med flytende hydrogen eller flytende naturgass som fraktes til stedet (scenario E). Avstander og størrelser er kun illustrative.

En forenklet oversikt over mulige hendelseskjeder og utfall som kan føre til skade eller uønskede hendelser ved en energistasjon er vist i Figur 5-2. Med utslipp menes energi på avveie («loss of containment»). For energibærere i gass eller flytende form vil dette si et utslipp av disse til omgivelsene. For strøm som energibærer vil dette si at den elektriske energien går en plass den ikke skal (eksempelvis lysbue eller kryptstrøm).

Det er mange ulike faktorer som kan påvirke brann- og eksplosjonssikkerheten når en tradisjonell bensinstasjon endres til en energistasjon. En vurdering av disse er oppsummert i Tabell 5-1, detaljert informasjon er å finne i avsnitt 4.2.5, 4.3.5 og 4.4.5.



Figur 5-2 Hendelsestre over hva som kan skje og hvilke følger det kan få. De uthevede feltene gjennomgås i detalj i Tabell 5-2 og Tabell 5-3.

I Tabell 5-2 og Tabell 5-3 presenteres *what-if*-analyser av to hendelser: utslipp av energibærer («loss of containment»), og antennelse av utslippet. Merk at innhold i tabellen er en kvalitativ forenkling, ment for å gi leseren en generell oversikt over temaet som presentert i avsnitt 4.2, 4.3 og 4.4. Tiltakene som trekkes frem er de som er fremhevet gjennom intervjuer og innspill fra aktører, samt av gjennomgått litteratur, som spesielt relevante for akkurat det scenariet (utover tiltak som allerede er på plass på bensinstasjon). For en mer detaljert tilnærming, er det nødvendig med en mer omfattende kvantitativ risikovurdering for hver anleggstype og energibærer.

Ansvarlig for de ulike tiltakene er som regel virksomheten selv, som regel vil det si eier av energistasjonen. Brannvesenet har ansvar for tilsyn for noen anlegg med farlig stoff og for særskilte brannobjekt (se avsnitt 3.1). Det er generelt behov for å øke kunnskapen og kompetansen hos brannvesenene med hensyn på nye energibærere. Ifølge Drivkraft Norge³⁵ etterspør brannvesenet kunnskap og opplæring, særlig på hydrogen og andre gasser. Kompetanseheving er fremhevet i Tabell 5-3 som et risikoreducerende tiltak som vil kunne redusere konsekvensen av en brann. Her vil både etterutdanning og kurs på Norges brannskole være relevant, både for beredskap og for forebyggende avdelinger. Tema som vil være særlig relevante å ta opp er kunnskap om brann og eksplosjonsegenskaper for brannfarlig gass generelt og særlig for hydrogen, forskjell på oppførsel til LPG og naturgass, sikkerhetsavstander mht. evakuering/vindretninger, hvordan branner i litiumbatterier oppfører seg m.m. Frykt og usikkerhet omkring ukjente faktorer vil kunne være hindre, mens god kunnskap vil tilrettelegge for god håndtering, tidlig og effektiv slokkeinnsats.

Et annet generelt, risikoreducerende tiltak som gjelder alle energibærerne er korrekt installasjon i henhold til regelverk og montasjeanvisninger, samt jevnlig og godt vedlikehold og inspeksjon av anlegget. Dette bør være en selvfølge, ettersom dette er påkrevd etter forskrift om håndtering av farlig stoff [4], men det påpekes likevel, siden menneskelig svikt kan utgjøre forskjell mellom teori og praksis, dersom systemet ikke er enkelt, entydig og robust.

³⁵ Intervju med fagsjef i Drivkraft Norge, 28.11.2019.

Tabell 5-1 Vurdering av faktorer som kan påvirkes ved endring fra tradisjonell bensinstasjon (scenario A) til energistasjon med ulike energibærere (scenario B-E), se Figur 5-1. Mer detaljert informasjon om hver energibærer er gitt i avsnitt 4.2.5, 4.3.5 og 4.4.4.

Faktor	Scenario B: Hurtiglader	Scenario C: H ₂ (g) levert	Scenario D: H ₂ (g) produsert på stedet	Scenario E: H ₂ (L), LNG levert
Tennkilder	Lader og tilhørende elektrisk utstyr er tennkilde	Små tennkilder kan tenne hydrogen.	Små tennkilder kan tenne hydrogen.	Små tennkilder kan tenne hydrogen, LNG ingen endring.
Antall personkjøretøy	Øker ved ladekø. Minker ved hjemmelading.	Uendret	Uendret	Uendret
Antall tungtransport for leveranse av energibærere	Redusert	5 – 17 ganger økning	Redusert	LH2: Uendret. LNG: Dobles
Antall tungtransporter for kjøp av energibærere	Foreløpig lite aktuelt	Lite aktuelt	Lite aktuelt	Aktuelt
Mengde brannfarlig stoff	Hvis batteribank: øker	Uendret	Uendret	Uendret til noe høyere
Oppholdstid besøkende	Øker	Uendret	Uendret	Uendret
Unike faktorer for energibæreren	Elbilbrann, batteribrann, lysbue, trafo	Lav tennenergi, bredt ekspl.område	Lav tennenergi, bredt ekspl.område	Kryogeniske temperaturer
Anleggets kompleksitet (sammenføyinger/ koblinger etc)	Uendret	Øker	Øker	Øker
Antall tredjepersoner/ størrelse sikkerhetsavstand	Uendret	Kan øke	Kan øke	Kan øke
Andre tillegg som kan påvirke sikkerheten	Solceller og bufferbatteri		Solceller ifm strømtilførsel produksjon	
Brannvesenets slukkeinnsats	Hvis batteribrann: økt innsatstid, mulig giftigere brannrøyk	Flamme med lav stråling og lite synlig	Flamme med lav stråling og lite synlig	BLEVE, ising av sikkerhetsventiler. LH2: fare for flytende oksygen, kraftig brann
Ytre brann- mulig eskalering	Uendret	Flere trykksatte rør, tanker som er utsatt for varme	Flere trykksatte rør, tanker som er utsatt for varme	BLEVE
Miljøpåvirkning	Uendret	Uendret	Uendret	Avdamping av metan bør begrenses
Økt vedlikehold (fare for innstalleringsfeil)	Generelt vedlikehold av ladekabel m.m.	Vedl. av eksterne: Kompetanse sentralt. Noe lokal support ved feil i tilkobling etc.	Vedl. av eksterne: Kompetanse sentralt. Noe lokal support ved feil i tilkobling etc.	Vedl. av eksterne: Kompetanse sentralt. Noe lokal support ved feil i tilkobling etc.
Annet (ikke brannrelatert) som kan påvirkes	Økonomi: Etabl. strøm-forsyning. Kan utnytte reststrøm. Helse/ arbeidsmiljø: mindre os/lukt	Økonomi: etablering og vedlikehold	Økonomi: etablering og vedlikehold	Økonomi: etablering og vedlikehold

Tabell 5-2 What-if analyse av hendelsen *utslipp av en energibærer* («loss of containment»). Beskrivelse av årsak til at hendelsen inntreffer, med endring av sannsynlighet for hendelsen sammenlignet med en tradisjonell bensinstasjon. Beskrivelse av konsekvenser av hendelsen, med endring av alvorlighetsgrad til konsekvensen sammenlignet med en tradisjonell bensinstasjon. Scenarier er beskrevet i Figur 5-1. Tabellen er kvalitativ, og ment å gi en rask oversikt over den mer detaljerte informasjonen om egenskaper og risikoer forbundet med hver energibærer, samt om mulige risikoreducerende tiltak, som er gitt i avsnitt 4.2, 4.3 og 4.4.

Hendelse	Scenario	Beskrivelse av mulig årsak	Endring av sannsynlighet*	Beskrivelse av konsekvens (hese, miljø, økonomi)	Endring av konsekvens*	Mulige risikoreducerende tiltak (årsak og konsekvens)	Ansvarlig for tiltak
Utslipp («loss of containment»)	Alle	Brukerfeil, slurv, bil krasj inn i utstyr, komponentfeil, installasjonsfeil, feil/manglende vedlikehold				Unngå brukerfeil: info om utstyr, enkelt, entydig og robust system. Unngå utstyrsfeil: følge anerkjente standarder for anlegg, inspeksjon, vedlikehold, tredjepartskontroll	Virksomheten
	B: Hurtiglader	Loss of containment er her strøm på avveie: lysbue, kryptstrøm og jordfeil. En lysbue kan oppstå ved feil eller slitasje på anlegg, feil installasjon/vedlikehold	1	En lysbue kan gi lokalt veldig høy temperatur, og føre til brann. Strøm på avveie: elektrisk sjokk/personskade	gitt i Tabell 5-3	Riktig dimensjonert elektrisk utstyr, og jevnlig kontroll av utstyr. Kommunikasjon mellom bil og lader bidrar til å redusere feil lading, og hindre at bilen kjører med ladekabel tilkoblet.	Virksomheten

Hendelse	Scenario	Beskrivelse av mulig årsak	Endring av sannsynlighet*	Beskrivelse av konsekvens (hese, miljø, økonomi)	Endring av konsekvens*	Mulige risikoreduserende tiltak (årsak og konsekvens)	Ansvarlig for tiltak
	C: H₂ (g) levert	Sammenlignet med Bensin/diesel er disse trykksatte og fylles i et lukket system. Dette reduserer muligheten for å aktivere fylling uten at slangen er korrekt tilkoblet kjøretøyet.	2	Overtrykk- alt som ikke stenges vil lekke ut. Stiger og tynnes ut raskt.	1	Seksjonering for vertikal spredning og uttynning Begrense potensiell lekkasjerate.	Virksomheten
	D: H₂ (g) prod.		2		1	Seksjonering for vertikal utlufting. Begrense potensiell lekkasjerate.	Virksomheten
	E: H₂ (l), LNG levert		1	Overtrykk- alt som ikke stenges vil lekke ut. Kulde: personskaade, materialsvikt. Væske og kald gass vil spre seg langs bakken	2	Fysisk separasjon og termisk isolasjon: unngå at brann i nærheten gir BLEVE.	Virksomheten

* Sannsynlighet for hendelsen *utslipp av en energibærer («loss of containment»*), sammenlignet med scenario A (tradisjonell bensinstasjon):
 Mye mindre (-2), mindre (-1), likt (0), økt (1), mye økt (2).

Tabell 5-3 What-if analyse av hendelsen *antennelse*. Beskrivelse av årsak til at hendelsen inntreffer, med endring av sannsynlighet for hendelsen sammenlignet med en tradisjonell bensinstasjon. Beskrivelse av konsekvenser av hendelsen, med endring av alvorlighetsgrad til konsekvensen sammenlignet med en tradisjonell bensinstasjon. What-if analyse av hva som kan skje dersom det blir antennelse. Scenarier er beskrevet i Figur 5-1. Tabellen er kvalitativ, og ment å gi en rask oversikt over den mer detaljerte informasjonen om egenskaper og risikoer forbundet med hver energibærer, samt om mulige risikoreducerende tiltak, som er gitt i avsnitt 4.2, 4.3 og 4.4.

Hendelse	Scenario	Beskrivelse av mulig årsak/ sannsynlighet	Endring av sannsynlighet*	Beskrivelse av konsekvens (helse, miljø, økonomi)	Endring i konsekvens*	Mulige risikoreducerende tiltak (årsak og konsekvens)	Ansvarlig for tiltak
Antennelse	Alle			Hvis usikkerhet omkring håndtering/ slokking av energibærer: forlenget tid til slokking: økt konsekvenser.	1	Tilrettelegge for effektiv slokkeinnsats: kompetanse og opplæring brannvesen: tidlig og god håndtering	Brannvesen, myndighet
	Alle			Eskalering pga overgrunnssystemer, mer eksponert for ytre brann	1	Fysisk avstand, fysisk barriere mot potensielle ytre branneksposeringer	Virksomheten
	B: Hurtiglader	Lysbuen fører til lokalt veldig høy temperatur og kan starte en brann dersom det finnes brennbart materiale eller brannfarlig stoff i nærheten.	1 Økt sans for antennelse gitt lysbue	De fleste brannfarlige stoffer er mindre reaktive enn bensin og diesel og en brann er forventet å utvikle seg tregere Brann kan spres til elbil som står på lading, batter ikke inkludert.	-1 0	Årsak: Vedlikehold av utstyr og riktig installasjon Konsekvens: Godt design på stasjonært batteri for å hindre eskalering. God avstand fra annet brennerbart.	Virksomheten

Hendelse	Scenario	Beskrivelse av mulig årsak/ sannsynlighet	Endring av sannsynlighet*	Beskrivelse av konsekvens (helse, miljø, økonomi)	Endring i konsekvens*	Mulige risikoreducerende tiltak (årsak og konsekvens)	Ansvarlig for tiltak
				Brann kan spres til elbil som står på lading, batter inkludert Brann kan spre seg til stasjonært batteri.	1 2		
	C: H₂ (g) levert	Svært liten tennenergi. Dette gir veldig mange potensielle tennkilder.	2	Svært høy tennsannsynlighet. Sen tenning kan gi kraftig eksplosjon/detonasjon. Varmestråling fra flammen blir mindre enn fra bensin/diesel.	1	Solide vegger kan stoppe belastning fra jetbrann	Virksomheten
	D: H₂ (g) prod.						
	E: H₂ (L), LNG levert	Kald, tung metan og hydrogengass og væske kan spres langs bakken. Metan har omtrent lik tennenergi som bensindamp, hydrogengass har mye lavere.	LNG: 0 LH2: 2	Gasskyen som oppstår kan ta fyr. Dette kan gi en eksplosjon eller en flashbrann.	0	Begrense potensiell lekkasjerate.	Virksomheten

* Sannsynlighet for hendelsen *antennelse*, sammenlignet med scenario A (tradisjonell bensinstasjon):
 Mye mindre (-2), mindre (-1), likt (0), økt (1), mye økt (2)

6 Energibærere i kombinasjon

Det kan være aktuelt å ha mange energibærere samlet på samme fysiske område, i de tilfeller hvor selskapet ønsker å samle alt på ett sted for et helhetlig tilbud. Det er i dag vanskelig å spå hvilke energibærere dette vil gjelde, og i hvilken utstrekning dette vil være aktuelt.

Det har ikke lyktes å finne bransjeveiledere eller standarder som tar for seg energibærere i kombinasjon på energistasjoner, og som er tilgjengelig på skandinavisk eller engelsk språk.

Det følgende er derfor basert på forskningslitteratur som er funnet på området, samt innspill fra intervjuer.

6.1 Eksisterende forskningslitteratur på energibærere i kombinasjon på energistasjoner

Scandria@2Act er et Interreg Baltic Sea Region prosjekt som har studert mulighetene for transport basert på flere fornybare typer drivstoff i regionen rundt Østersjøen. Rapporten konkluderer med at det ikke er noen vesentlige hindringer knyttet til sikkerhet for å etablere energistasjoner med ulike typer fornybare og konvensjonelle drivstoff. Ladestasjoner til elektriske kjøretøy må regnes som en potensiell tennkilde og må holdes unna de områdene der det forventes å oppstå eksplosjonsfarlig atmosfære. I tillegg må alt utstyr som skal benyttes til de ulike typene av drivstoff dimensjoneres for den mest konservative typen drivstoff. Gasser og damp fra ulike stoff er klassifisert i tre ulike grupper, blant annet basert på hvor lav tennenergi som trengs for å antenne en blanding med luft. Utstyr som skal brukes der det kan være eksplosjonsfarlig atmosfære fra disse stoffene må ta hensyn til det stoffet som har den laveste tennenergien. Dersom et utstyr for eksempel skal brukes i et område med både metan og hydrogen må det tilfredsstillende utstyrsklasse IIC (hydrogen), mens metan, bensin, LPG kommer under utstyrsklasse IIA, og etanol under IIB. Temperaturklasse er på samme måte som utstyrsklasse en inndeling etter hvilken selvantenningsstemperatur (Auto Ignition Temperature, AIT) et stoff har. Hydrogen og metan tilhører den laveste temperaturklassen (T1), deretter kommer etanol og LPG (T3) og deretter bensin og diesel (T3).

I en studie fra 2017 har det nasjonale laboratoriet for fornybar energi i USA, NREL, sammenstilt en oversikt over regelverk og standarder som dekker fyllestasjoner for ulike typer drivstoff [86]. Ifølge oversikten har det amerikanske energidepartementet definert seks typer drivstoff som alternativer til bensin og diesel:

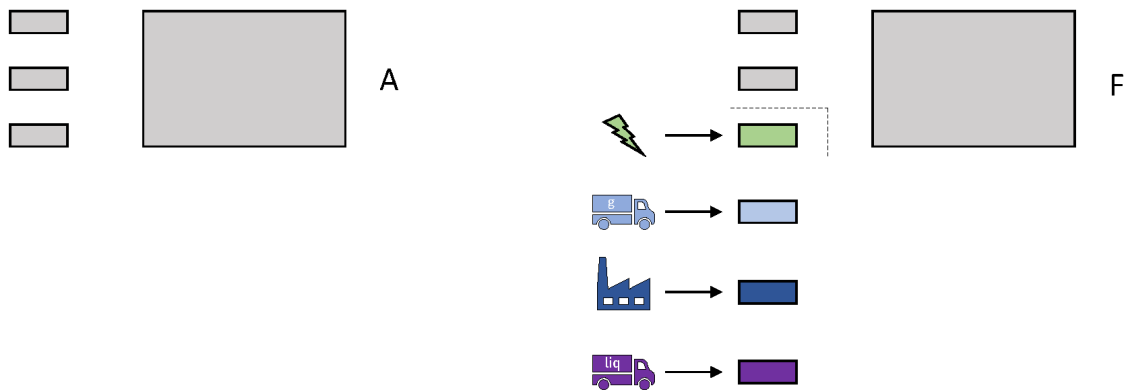
- Biodiesel
- Elektrisitet
- Etanol
- Hydrogen
- Naturgass
- Propan

Av disse er elektrisitet suverent mest utbredt, etterfulgt av etanol, LPG og CNG [87]. Studien fra NREL oppsummerer med at det er et sett med standarder og regelverk som gjør det mulig å bygge

og drive en energistasjon med alle disse typene drivstoff (merk at disse nok ikke er like relevante i Norge, ettersom vi hovedsakelig benytter ISO og EN standarder) Det er spesifikke krav for sikkerhetsavstander til ulike typer drivstoffinstallasjoner. For eksempel stiller NFPA 2 krav om at utluftingspunktet for hydrogenlager skal plasseres minst 32 fot (ca. 10 m) fra eiendomsgrensa. Lagertanker for naturgass må plasseres minst 10 fot (ca. 3 m) fra eiendomsgrensa og fra bygninger ifølge NFPA 52. De ulike regelverkene og standardene som dekker disse drivstofftypene er ikke samkjørt. Systemene for de ulike drivstofftypene trenger dermed ikke være fullstendig samkjørt slik at en bryter for nødstopp av for eksempel hydrogen ikke stopper fylling av diesel fra en annen pumpe. Gamle bensinstasjoner som ikke er bygget etter dagens krav må oppgraderes til dagens krav dersom det skal installeres en ny type drivstoff. Det påpekes også at vedlikehold som krever nedstenging på et av drivstoffsystemene også må ta hensyn til de andre drivstoffsystemene på anlegget. [86]

6.2 Vekselvirkninger mellom flere energibærere: samlet vurdering av risiko

Endring fra tradisjonell bensinstasjon til energistasjon med mange energibærere samlet er illustrert i Figur 6-1.



Figur 6-1 Tradisjonell bensinstasjon (scenario A), energistasjon med en kombinasjon av scenariene fra Figur 5-1: hurtiglader, hydrogen i gassform som fraktes til stedet, hydrogen som produseres på stedet, flytende hydrogen eller flytende naturgass som fraktes til stedet, og/eller andre energibærere (scenario F). Avstander og størrelser er kun illustrative.

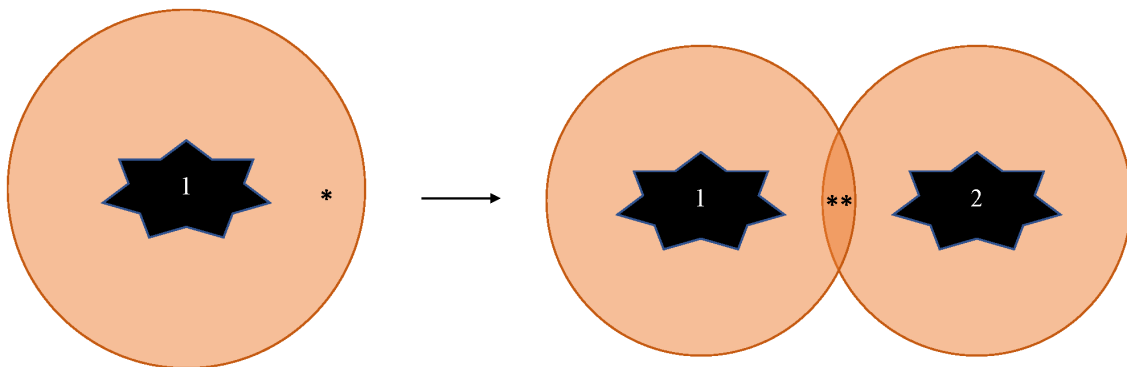
Det har blitt identifisert utfordringer med vekselvirkninger mellom ulike energibærere som kan påvirke brann- og eksplosjonsrisikoen innenfor to områder:

- Arealutfordringer
- Kaskadeeffekter

Det er ikke identifisert kjemiske vekselvirkninger mellom energibærerne som vil kunne gi utfordringer, utover det som gjelder for energibærerne hver for seg.

Arealutfordringer: Risiko for omgivelsene skal vurderes ut fra den samlede aktiviteten på anlegget [9]. Ved økning av antall fyllesystemer innenfor et område vil frekvensen av uønskede hendelser på et gitt sted enkelt sagt summeres, som illustrert i Figur 6-2. Som vist i figuren vil nær plassering av flere risikoobjekt påvirke risikokonturer, og følgelig vil størrelse på hensynsoner (eller sikkerhetsavstander når det er snakk om små og mellomstore anlegg) endres. Et eksempel på endret risiko er at ved en økning i antall fyllesystemer for ulike typer drivstoff innenfor et område vil frekvensen av lekkasjer fra hvert system summeres, og den totale lekkasjefrekvensen er forventet å øke. I noen tilfeller vil implementeringen av én energibærer påvirke gjennomstrømningen av andre energibærere på energistasjonen (som beskrevet i kapittel 4 og 5), og uhellsfrekvensene fra to uavhengige anlegg kan i slike tilfeller ikke summeres direkte.

Ved utbygging må det uansett være tilstrekkelig tilgjengelig areal for at ikke to energibærere blir fysisk nærmere hverandre enn det som risikovurderingen deres hver for seg tilsier, og det må lages en felles risikovurdering som behandler denne problemstillingen. Med mindre det blir gjort risikoreduserende tiltak vil den totale risikoen fra anlegget øke. I tettbygde strøk vil dette kunne medføre at en utbygging hindres av arealmangel.



Figur 6-2 Illustrasjon av vekselvirkning som påvirker risiko: Risiko for en person (*) som befinner seg på ett område på en energistasjon med én type energibærer (1) og hvordan denne øker ved summen når det legges til flere energibærere (1+2).

Kaskadeeffekter: Dette er definert som «En hendelseskjede som starter som en mindre hendelse og vokser seg til en større hendelse» [5], illustrert i Figur 6-3.

Noen eksempler på relevante hendelseskjeder som har blitt identifisert:

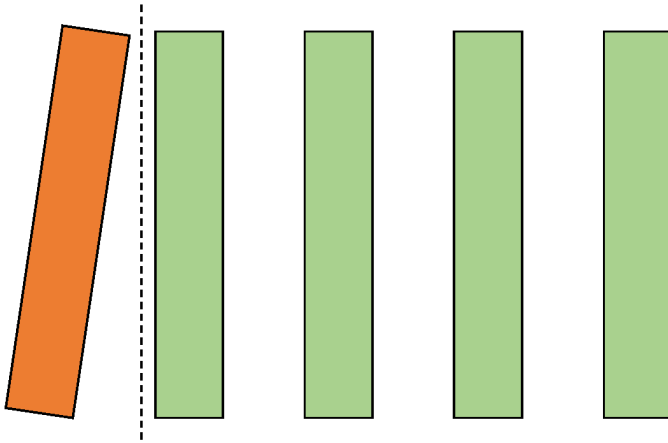
- Væskedamsbrann som brer seg utover, eller renner nedover og ender opp under en gasstank
- Eksplosjon eller brann som skader omkringliggende installasjoner (trykkbølge som brer seg, flygende fragmenter, flammer osv.).
- Brann i litt drivstoff som antenner mer drivstoff som igjen antenner mer drivstoff.

For sistnevnte vil ikke risikoen nødvendigvis være større for en energistasjon sammenlignet med en tradisjonell bensinstasjon. Konsekvensene i tilfelle en intern eskalering i én energibærer kan være vel så store som ved en spredning til andre energibærere, men de endrede egenskapene mellom energibærerne vil kunne gi en endring i forventet hendelsesforløp.

Til gjengjeld, vil inndeling i flere energibærere og fysisk separasjon mellom disse kunne gi en positiv vekselvirkning, ved at de separate anleggene hver for seg kan ha mindre skadeomfang ved en hendelse. For energibærere i flytende og gassform, vil anlegg med mange mindre tanker med energibærere gjøre at hvert enkelt lekkasjepunkt har mindre potensielt totalt utslipp enn på et anlegg med færre, større tanker.

I tillegg kommer kaskadeeffekter som følge av viljeskapt handling (enkelstående eller terror) som kan starte en hendelseskjede og/eller ødelegge barrierer, men dette er utenfor dette prosjektets omfang.

Risikoen (frekvens og konsekvens) av negative kaskadeeffekter kan reduseres ved gode tekniske og organisatoriske tiltak og barrierer. Når en energibærer er ny og relativt ukjent vil god opplæring og oppfølging være sentralt for å unngå økt frekvens av feil. Hendelser som normalt regnes som svært usannsynlige vil i en introduksjonsperiode kunne være mer sannsynlige dersom dette ikke er ivare tatt.



Figur 6-3 Illustrasjon av vekselvirkning som påvirker risiko: En hendelse på ett område av en energistasjon vil kunne påvirke andre områder, dersom det ikke er barrierer på plass (illustrert med stiplet linje) for å håndtere kaskadeeffekter.

7 Oppsummering og anbefalt videre arbeid

Det er knyttet risiko for uønskede hendelser til anlegg som håndterer brannfarlig, reaksjonsfarlig, trykksatt og eksplosjonsfarlig stoff. Ved at virksomheter med farlig stoff etterlever gjeldende regelverk, anses risikoen som er knyttet til håndtering av farlig stoff å ikke være vesentlig sett opp mot øvrig risiko i samfunnet.

Ved overgangen fra en bensinstasjon til en energistasjon med én eller flere alternative energibærere, vil risiko for brann og eksplosjon kunne påvirkes, i positiv eller negativ retning. Eksempelvis vil det ved innføring av hurtigladere for elkjøretøy innføres en ekstra potensiell tennkilde, men det vil samtidig bli færre leveringer av drivstoff fra tankbil på stasjonen. Ved innføring av energibærere i gassform vil kompleksiteten på anlegget øke på grunn av høyere trykk, sammenlignet med enklere anlegg (uten eller med lave trykk). I risikovurderinger av hvert enkelt anlegg vil en rekke generelle faktorer for hver enkelt energibærer være viktig å hensynta, i tillegg til anleggsspesifikke faktorer. Gode, tekniske og organisatoriske tiltak som er tilpasset hvert anlegg og hver type energibærer er viktig.

Ved endring fra bensinstasjon til energistasjon med *flere enn én* alternativ energibærer, er det funnet to utfordringer som vil kunne påvirke risiko for brann og eksplosjon: arealutfordringer og kaskadeeffekter. Ved utbygging vil arealutfordringer måtte hensyntas og inngå i vurdering av stasjonsområdets totale egnethet for kombinasjoner av energibærere. Ved økning av antall fyllesystemer innenfor et område vil frekvensen av uønskede hendelser på et gitt sted ofte summeres, og fysisk avstand eller barrierer mellom systemene må prioriteres for å redusere risikoen. Kaskadeeffekter er hendelseskjeder som starter som en mindre hendelse og vokser seg til en større hendelse, eksempelvis væskedamsbrann eller trykkbølge fra eksplosjon som skader omkringliggende installasjoner. Det er ikke funnet kjemiske vekselvirkninger som vil kunne påvirke risiko for brann og eksplosjon.

En konkret anbefaling fra bransjen til myndighetene er at dersom det er behov for å utarbeide nye anbefalinger eller retningslinjer, er det fordelaktig at dette samkjøres med eller inkluderes i allerede eksisterende temaveiledninger, fremfor å utarbeide nye.

Anbefalt videre arbeid:

Dersom det i framtiden blir mange el-lastebiler må det utarbeides en plan og en egen risikovurdering på hvordan lading av disse kan skje på en energistasjon, ettersom disse er fysisk større, og de trolig vil ha større batterier og behov for egne hurtigladere med større effekt sammenlignet med dagens hurtigladere for personbiler. For trykksatt hydrogen i gassform er tankbrudd et viktig scenario å unngå, og dermed viktig fokusområde for videre studier. Det er manglende informasjon om varmpåvirkningen mot et objekt som blir eksponert dersom det oppstår en hydrogenjetbrann i retning av dette objektet. Når det gjelder flytende hydrogen er det er gjort lite forskning og eksperimenter. Et relevant spørsmål er hvorvidt BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) er et relevant scenario for flytende hydrogen, og hvordan en hydrogentank eventuelt oppfører seg sammenlignet med en metantank. Generelt, ettersom dette er et marked i stadig utvikling, og det ennå er for tidlig å avgjøre hvilken energibærer som kommer

til å bli mest brukt fremover, er det viktig at myndigheter og andre tilknyttede aktører holder seg oppdatert på hva som skjer internasjonalt, og at anbefalinger kontinuerlig oppdateres etter hvert som ny kunnskap erverves gjennom drift og potensielle uønskede hendelser.

8 Referanser

- [1] The European Parliament and the Council of the European Union, «Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure», *Official Journal of the European Union*, 2014.
- [2] Justis og beredskapsdepartementet, *Forskrift 17. juni 2005 nr. 672 om tiltak for å forebygge og begrense konsekvensene av storulykker i virksomheter der farlige kjemikalier forekommer (Storulykkeforskriften)*. 2005.
- [3] T. Abbasi og S. Abbasi, «The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management», *Journal of Hazardous Materials*, bd. 141, nr. 3, s. 489–519, 2007.
- [4] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 8. juni 2009 nr. 602 om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen (Forskrift om håndtering av farlig stoff)*. 2009.
- [5] «Kollegiet for brannfaglig terminologi», 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.kbt.no>.
- [6] «Handlingsplan for infrastruktur for alternative drivstoff i transport», *www.regjeringen.no*, 01 jul. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/contentassets/67c3cd4b5256447984c17073b3988dc3/handlingsplan-for-infrastruktur-for-alternative-drivstoff.pdf>.
- [7] Kommunal og moderniseringsdepartementet, *Lov 27. juni 2008 nr. 71 om planlegging og byggesaksbehandling (Plan og bygningsloven)*. 2008.
- [8] «Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer Kriterier for akseptabel risiko», Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, ISBN 978-82-7768-310-2, jun. 2013.
- [9] A. Kristiansen, J. A. Pappas, og H. Henriksen, «Retningslinjer for kvantitative risikovurderinger for anlegg som håndterer farlig stoff», Lloyds Register Consulting, 106535/R1, okt. 2017.
- [10] J. Vatn, «Risiko og beslutningsprosesser i forbindelse med LNG-anlegget i Risavika i Sola kommune», SINTEF A10107, Mai. 2009.
- [11] E. Wiberg og P. Bremer, «Interim report, Multifuel energy stations for cars, buses and trucks, Interreg Baltic Sea Region Project #R032 “Sustainable and Multimodal Transport Actions in the Scandinavian-Adriatic Corridor”», RISE and Skåne Association of Local Authorities, Interim Report Interim report A2.2, RC 9, mai. 2018.
- [12] A. C. Bøeng, «Stadig mer alternativt drivstoff i transport», *Statistics Norway*, 26 sep. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/stadig-mer-alternativt-drivstoff-i-transport>. [Åpnet: 22 okt. 2019].
- [13] «Nasjonal transportplan 2018 - 2029». Avinor, Jernbaneverket, Kystverket, Statens vegvesen, 29 feb. 2016.
- [14] «Drivstoff og energi- Gass». [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.drivkraftnorge.no/Drivstoff-og-energi/gass/>. [Åpnet: 29 nov. 2019].
- [15] M. Gurholt, L. Helland, og K. Trehjørningen, «Energistasjoner Trondheim kommune», Trondheim, Norway, 1350025968, revisjon 2, apr. 2018.
- [16] G. Berg og E. Sæther, «Tilrettelegging for fossilfri godstransport og fossilfri anleggsdrift i Bergensregionen», Flowchange AS, Bergen, Norway, apr. 2019.
- [17] A. S. Velken og T. Johnsen, «Salget av avansert biodrivstoff økte i fjor», *Miljødirektoratet*, 03 mai. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2019/mai-2019/salget-av-avansert-biodrivstoff-okte-i-fjor/>. [Åpnet: 22 okt. 2019].
- [18] «Drivkraft Norge». [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.drivkraftnorge.no/>. [Åpnet: 22 okt. 2019].
- [19] E. Wiberg og P. Bremer, «Multifuel energy stations for cars, buses and trucks. Technical Support Document», RISE and Skåne Association of Local Authorities, Technical Support Document A2.2, okt. 2018.

- [20] A. Ødegård, «SH2IFT - Safe Hydrogen Fuel Handling and Use for Efficient Implementation», 27 nov. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.sintef.no/projectweb/sh2ift/>. [Åpnet: 27 nov. 2019].
- [21] «PRESLHY - Prenormative research for safe use of liquid hydrogen», 2018. [Online]. Tilgjengelig på: <https://preslhy.eu/>. [Åpnet: 20 des. 2019].
- [22] Arbeids- og sosialdepartementet, *Forskrift 12. juni 1996 om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (Internkontrollforskriften)*. 1996.
- [23] Arbeids- og sosialdepartementet, *Forskrift 30. juni 2003 nr. 911 om helse og sikkerhet i eksplosjonsfarlige atmosfærer*. 2003.
- [24] Arbeids- og sosialdepartementet og Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 10. oktober 2017 nr.1631 om trykkløst utstyr*. 2017.
- [25] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift av 01. april 2009 nr. 384 om landtransport av farlig gods med veiledning*. 2009.
- [26] Justis- og beredskapsdepartementet, *Lov 14. juni 2002 nr. 20 om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver*. 2002.
- [27] *Forskrift 19 juni 2013 nr. 739 om elektroforetak og kvalifikasjonskrav for arbeid knyttet til elektriske anlegg og elektrisk utstyr (Forskrift om elektroforetak mv.)*. 2013.
- [28] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 6.november 1998 nr. 1060 om elektriske lavspenningsanlegg (FEL)*. 1999.
- [29] «NEK 400:2018 Elektriske lavspenningsinstallasjoner, Norsk elektroteknisk norm». Norsk Elektroteknisk Komité, 2018.
- [30] «NEK 420A - Elektriske installasjoner i eksplosjonsfarlige områder». Norsk Elektroteknisk Komité, 2016.
- [31] Official Journal of the European Union, *Directive 2014/34/EU on the harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres (recast) («ATEX Workplace Directive»)*. 2014.
- [32] Arbeids- og sosialdepartementet og Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 29 november 2017 om utstyr og sikkerhetssystem til bruk i eksplosjonsfarlig område (Forskrift om utstyr mv. i eksplosjonsfarlig område)*. .
- [33] «Temaveiledning om omtapping av farlig stoff.» Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), feb. 2011.
- [34] «Forslag til temaveiledning. Sikkerhetsavstander for små og mellomstore anlegg som håndterer farlig stoff.» DSB, direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 30 okt. 2019.
- [35] B. J. Paaske og M. Bucelli, «Sikkerhetsavstander ved anlegg for farlig stoff», DNV GL, Høvik, 2018–1200, Rev. A, aug. 2019.
- [36] «Temaveiledning om bruk av farlig stoff, Del 1: Forbruksanlegg for flytende og gassformig brensel, versjon 2». Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), feb. 2011.
- [37] «Bensinstasjoner», *Drivkraft Norge - Bensinstasjoner*. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.drivkraftnorge.no/Tall-og-fakta/bensinstasjoner/>. [Åpnet: 01 jun. 2019].
- [38] «Store mengder bensin har runne ut», *NRK*, 12 jul. 2012. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.nrk.no/rogaland/store-mengder-bensin-har-runne-ut-1.9837803>. [Åpnet: 01 nov. 2019].
- [39] «Bensinstasjon stengt etter bensinlekkasje», *iTromsø*, 25 mar. 2016. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.itromso.no/nyheter/2016/03/25/Bensinstasjon-stengt-etter-bensinlekkasje-12520463.ece>. [Åpnet: 14 jan. 2020].
- [40] «Stiftet brann på bensinstasjon – nå må han betale 750 000», *Adresseavisen*, 18 okt. 2016.
- [41] «Brann på bensinstasjon», *Bergens Tidende*, 13 aug. 2008. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.bt.no/nyheter/lokalt/i/aGdd2/brann-paa-bensinstasjon>. [Åpnet: 18 des. 2019].
- [42] «Brann i bensinstasjon», *Bergens Tidende*, 09 mai. 2011. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.bt.no/nyheter/lokalt/i/wRdPL/brann-i-bensinstasjon>. [Åpnet: 18 des. 2019].
- [43] COWI, «Sonekart, Tegningsnummer 55603-A-02, Rev. A, Prosj. Nr A046038». 14 mar. 2018.
- [44] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift 10 oktober 2017 om elektrisk utstyr*. 2017.
- [45] E. Lorentzen og S. Grøndahl, «Notat til Drivkraft Norge om elbilister og hurtigladedemarkedet». 12 jul. 2019.

- [46] «Electric arc». [Online]. Tilgjengelig på: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_arc. [Åpnet: 13 des. 2019].
- [47] A. W. Brandt og K. Glansberg, «Lading av elbil i parkeringsgarasje», RISE Fire Research, RISE rapport 2019:123, 2019.
- [48] C. C. Grant, «Responding to Electric Vehicle Battery Fires», presentert på 3rd International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2014, Berlin, Germany, 2014, s. 231–242.
- [49] T. R. Long og A. M. Miser, «Sprinkler Protection Guidance for Lithium-Ion Based Storage Systems», FM Global, 2019.
- [50] «Plug-in electric vehicle fire incidents». [Online]. Tilgjengelig på: https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicle_fire_incidents. [Åpnet: 13 des. 2019].
- [51] «Tesla Vehicle Safety Report». [Online]. Tilgjengelig på: https://www.tesla.com/no_NO/VehicleSafetyReport?redirect=no. [Åpnet: 17 des. 2019].
- [52] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Veiledning - Elbil - lading og sikkerhet». 2017.
- [53] «Lading av elektriske biler - planlegging og prosjektering av ladeinstallasjoner». DSB, NELFO, NEK, Norsk elbilforening, 2015.
- [54] «Hynion», 21 nov. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://hynion.com/>. [Åpnet: 18 des. 2019].
- [55] J. Haugland, «Uno-X». [Online]. Tilgjengelig på: <https://unox.no/hydrogen>. [Åpnet: 18 des. 2019].
- [56] A. A. Nilsen og S. Lorentzen, «Tar i bruk hydrogenlastebiler: – Vi blir en av de første i verden», 13 des. 2019.
- [57] «Pressemelding: Gjenopptar hydrogendriften på Rosenholm», 13 aug. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.mynewsdesk.com/no/ruter/pressreleases/gjenopptar-hydrogendriften-paa-rosenholm-2905729>. [Åpnet: 18 des. 2019].
- [58] M. J. Hurley *mfl.*, *SFPE handbook of fire protection engineering*, 5. utg. USA: Springer, 2016.
- [59] P. A. Langeland, «Risikoanalyse av hurtiglader for el-bil på Statoils servicestasjon på Økern i Oslo», Scandpower, 102059/R1, aug. 2012.
- [60] M. Kolberg, A. Intisaar, J. Vissgren, og M. R. Carlsen, «Eksplasjon ved hydrogenstasjon», *www.nrk.no*, 10 jun. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.nrk.no/norge/eksplasjon-ved-hydrogenstasjon-1.14582914>. [Åpnet: 10 aug. 2019].
- [61] «ISO/TS 19880 Gaseous hydrogen — Fuelling stations». International Organization for Standardization (ISO).
- [62] «SAE J2601_201612 Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles». SAE International, des. 2016.
- [63] «ISO/TR 15916:2015 Basic considerations for the safety of hydrogen systems». International Organization for Standardization (ISO), des. 2015.
- [64] L. Bernard og S. Jallais, «Production, transport and handling of LH2: Safety issues and knowledge gaps», presentert på Hydrogen safety - liquid hydrogen workshop. SH2IFT and PRESLHY, 06 mar. 2019.
- [65] S. Frydenlund, «Test av Toyota Mirai: 1.000 kilometer på ti dager», 30 mar. 2017. [Online]. Tilgjengelig på: <https://elbil.no/test-av-toyota-mirai-tusen-kilometer-pa-ti-dager/>. [Åpnet: 29 okt. 2019].
- [66] P. E. Dalløkken, «TOYOTA MIRAI Kjørte 100.000 kilometer på 107 dager med hydrogenbil», 05 apr. 2016. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.tu.no/artikler/kjorte-100-000-kilometer-pa-107-dager-med-hydrogenbil/346025>. [Åpnet: 29 okt. 2019].
- [67] M. Valle, «HYUNDAI NEXO Slik var det å leve med hydrogenbil.», 26 jan. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.tu.no/artikler/slik-var-det-a-leve-med-hydrogenbil/456076>. [Åpnet: 29 okt. 2019].
- [68] G. R. Astbury, «A review of the properties and hazards of some alternative fuels», *Process Safety and Environmental Protection*, bd. 86, nr. 6, s. 397–414, 2008.
- [69] K. Hofstad, «LNG», *Store norske leksikon, nettutgave*. 03 jun. 2019.
- [70] K. A. Rosvold, «Biogass», *Store norske leksikon, nettutgave*. 15 des. 2016.

- [71] K. Hofstad, «Hydrogendrivstoff», *Store norske leksikon, nettutgave*. 15 des. 2016.
- [72] «NGVA.eu stations map», 26 sep. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.ngva.eu/stations-map/>. [Åpnet: 20 des. 2019].
- [73] «ISO 20088-3:2018 Determination of the resistance to cryogenic spill of insulation materials - Part 3: Jet Release». ISO Copyright office, 2018.
- [74] B. Pedersen, «Oksygen», *Store norske leksikon, nettutgave*. 01 okt. 2019.
- [75] E. Aursand, M. Hammer, K. Y. Lervåg, og G. Reigstad, «Why LNG Rapid Phase Transitions occur (And 3 reasons why they deserve attention)», #*SINTEFblog*, 14 aug. 2018. [Online]. Tilgjengelig på: <https://blog.sintef.com/sintefenergy/lng-rapid-phase-transition/>. [Åpnet: 10 des. 2019].
- [76] S. Jallais og L. Bernard, «Pre-normative REsearch for Safe use of Liquid HYdrogen (PRESLHY) State of the art analysis», D2.2, mai. 2018.
- [77] D. M. Dawson og B. J. Brooks, «The Esso Longford Gas Plant Accident Report of the Longford Royal Commision».
- [78] «NS-EN ISO 16924:2016 Fyllestasjoner for naturgass - LNG-stasjoner for fylling av kjøretøyer». Standard Norge, 01 jul. 2018.
- [79] «NS-EN 13645:2001 Anlegg og utstyr for flytende naturgass - Konstruksjon av landanlegg med lagringskapasitet mellom 5 t og 200 t». Standard Norge.
- [80] «NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code». NFPA, 2020.
- [81] «ISO 13984 Liquid hydrogen — Land vehicle fuelling system interface». International Organization for Standardization, 15 mar. 1999.
- [82] «ISO 13985 Liquid hydrogen — Land vehicle fuel tanks». International Organization for Standardization, 01 nov. 2006.
- [83] «LNG Transport Trailers. Pressure transfer units». Chart Inc, 2013.
- [84] «Test report of IVECO LNG-powered HD-truck. Period 20/06/2017 - 15/07/2017», Unilever, Iveco, CryoGas M&T Poland, LINK international transport, nov. 2017.
- [85] N. Leclerq og P. Desrumaux, «Design Solutions to minimize Boil-off», LNG BC D3.10, feb. 2018.
- [86] C. Rivkin, R. Burgess, og W. Buttner, «Regulations, Codes, and Standards (RCS) for Multi-Fuel Motor Vehicle Dispensing Stations», NREL, 2017.
- [87] «Alternative Fueling Station Counts by State», *Alternative Fuels Data Center*, 11 des. 2019. [Online]. Tilgjengelig på: <https://afdc.energy.gov/stations/states>. [Åpnet: 11 des. 2019].

Vedlegg A: Informasjon utsendt i forkant av intervjuer

Følgende informasjon ble utsendt til alle intervjuobjekter i forkant av intervjuet.

Bakgrunn

Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap (DSB) har bedt RISE Fire Research (RISE) kartlegge hvordan bensinstasjonene må endres for å imøtekomme fremtidens drivstoffeterspørsel, samt hvilke risikoer dette representerer med hensyn til brann og eksplosjon.

Målsettingen med prosjektet er å belyse hvilke risikoer en endring fra bensinstasjoner til energistasjoner representerer med hensyn til brann og eksplosjonsfare, og hvilke risikoer som må tas hensyn til ved etablering av energistasjoner. Med energistasjoner mener vi stasjoner hvor det finnes ulike energibærere som tradisjonell bensin/diesel, hydrogen, hurtigladning m.m.

Informasjon om intervju:

En av metodene for sammenstilling av kunnskap i prosjektet er å utføre dybdeintervjuer med aktører som har tilknytning til denne problemstillingen på en eller annen måte, eksempelvis gjennom prosjektering, drift, vedlikehold, sikkerhet m.m.

Intervju gjennomføres via Skype/ telefon, og vi ønsker å ta notater fra det som blir diskutert, samt ta lydopptak av samtalen. Lydopptak blir kun lagret midlertidig, og vil bli slettet ved prosjektets avslutning. Dersom dere ikke ønsker lydopptak, gi beskjed om det. Notatene vil bli lagret, og dere vil få mulighet til å lese igjennom disse etter intervjuet. Dere vil ikke bli direkte sitert i rapporten uten samtykke.

Vi har satt opp noen tema og spørsmål/stikkord nedenfor som vi ønsker at dere tenker igjennom i forkant av intervjuet. Vi tar utgangspunkt i disse, og hvis det dukker opp andre ting i samtalen som er av interesse, eller hvis dere tenker at det er andre aspekt som er viktige å få med, så vil vi gjerne høre dine synspunkter.

Tema 1: Fremtidens energistasjoner:

Tanker omkring fremtidens energistasjoner: hvordan vil disse se ut, hvordan vil fremtidens energietterspørsel være, hvilke politiske føringer vil kunne påvirke dette, hvordan vil ulike samfunnsfunksjoner måtte tilpasse seg, tanker om brannsikkerhet og brannvesenets rolle for framtidens energistasjoner.

Tema 2: Hendelser som har skjedd (hvis relevant)

Oppsummer hendelsesforløpet, mulige årsaker til hendelsen, konsekvenser, alvorlighetsgrad av konsekvensene, hvor sannsynlig var det at akkurat denne hendelsen skulle skje, tiltak som ble satt inn, tiltak som burde vært satt inn/ hva burde vært gjort annerledes, hvem har ansvar for tiltak.

Brannvesenets innsats: Hvordan foregikk selve innsatsen, hvilke vurderinger ble gjort underveis, hva har dere av erfaring med denne typen hendelser?

Læringspunkter: Hva har dere lært av hendelsen? Ville dere gjort noe annerledes ved en lignende ulykke i fremtiden? Hvordan kunne stasjonen, og fremtidens stasjoner være utformet annerledes for bedre brann- og eksplosjonssikkerhet, også med tanke på tilrettelegging for brannvesenets innsats?

Forberedelse/ trening: Hvordan forberede seg på slike hendelser?

Tema 3: Hva kan skje hvis...

Hva kan gå galt i fremtiden? Mulige årsaker, konsekvenser, alvorlighetsgrad av konsekvensene, hvor sannsynlig er det at ulike hendelser skjer (gjørne et tall her, men tanker omkring er viktigst), tiltak som kan settes inn, tiltak som bør settes inn (anbefalte tiltak), hva kan/bør gjøres annerledes enn i dag, hvem har ansvar for tiltak?

- Hva kan skje hvis... det blir en lekkasje av en energibærer?

- Hva kan skje hvis... denne lekkasjen antenner?

- Hva kan skje hvis...

Energibærer kan eksempelvis være hydrogen, LNG, LPG, altså flytende eller gassform brensel, eller det kan være lysbue, kryptstrøm, kortslutning ifm hurtiglading.

Må rutiner/ trening/øvelser eller annet endres i forhold til dagens praksis ved etablering av energistasjoner?

Tema 4: Andre aspekt

Nye energistasjoner vil kunne ha både bensin/diesel, samt hydrogen og hurtiglading. Hva tenker dere om dette? Hvordan kan kombinasjonen av mange energibærere på ett sted påvirke risikoen (forbedret eller forverret), sammenlignet med hver for seg? Er det andre aspekt enn det vi har snakket om til nå som kan påvirke brann- og eksplosjonssikkerheten?

Hva bør myndighetene fokusere på i veiledning til fremtidens energistasjoner?

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

Gjennom internasjonalt samarbeid med akademi, næringsliv og offentlig sektor bidrar vi til et konkurransekraftig næringsliv og bærekraftig samfunn. RISEs 2 200 medarbeidere driver og støtter alle typer innovasjonsprosesser. Vi tilbyr et hundretalls test- og demonstrasjonsmiljø for framtidssikre produkter, teknikker og tjenester. RISE Research Institutes of Sweden eies av den svenske staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB Postboks 4767 Torgarden, 7465 TRONDHEIM Telefon: 464 18 000 E-post: post@risefr.no , Internett: www.risefr.no	RISE Fire Research RISE-rapport 2020:11 ISBN: 978-91-89049-91-8
---	--