



European Train the Trainer Program for Responders

Leksjon 12

Hydrogenstasjoner og infrastruktur

NIVÅ I

Brannkonstabel

Informasjonen i denne leksjonen er tilegnet **brannkonstabler (og tilsvarende)** og høyere nivåer.

Dette emnet er også egnet for nivå II (utrykningsleder) – IV (spesialist).

Denne leksjonen er en del av et opplæringsmaterieill med nivåer I–IV: Brannkonstabel, utrykningsleder, innsatsleder og spesialist. Les introduksjonen til leksjonen for forventet forkunnskap og læringsutbytte

Merk: Dette materialet tilhører HyResponder Consortium og skal krediteres deretter



Ansvarsfraskrivelse

Til tross for at dette dokumentet er nøye utarbeidet, gjelder følgende ansvarsfraskrivelse: Informasjonen i dette dokumentet er gitt som den er, og det gis ingen garanti om at informasjonen er egnet for et bestemt formål. Brukeren av den tar i bruk informasjonen på egen risiko og ansvar.

Dokumentet gjenspeiler bare forfatterens syn. FCH JU og EU er ikke ansvarlig for bruk av informasjonen i det.

Takk

Prosjektet har fått finansiering fra Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) (now Clean Hydrogen Partnership) under bevilgningsavtale nr. 875089. JU mottar støtte fra EUs forsknings- og innovasjonsprogram Horizon 2020 samt fra Storbritannia, Frankrike, Østerrike, Belgia, Spania, Tyskland, Italia, Tsjekkia, Sveits og Norge.



Sammendrag

Denne leksjonen handler om detaljer om hydrogenstasjoner basert på lagring av gassformig og flytende hydrogen (LHRS) og tilhørende infrastruktur for hydrogenmobilitet. Hovedelementene i forsyningskjeden for flytende hydrogen, fra hydrogenproduksjon til sluttbruker, er tatt med for god forståelse av LHRS-drift. utfordringer med flytende hydrogen og potensielle risikoer blir beskrevet.

Nøkkelord

Flytende og gassformig hydrogen, tankstasjon, kryogene forhold, prosess, sikkerhetsfunksjoner.

Innhold

Sammendrag.....	3
Nøkkelord	3
1. Målgruppe.....	5
1.1 Rollebeskrivelse: Brannkonstabel.....	5
1.2 Kompetansenivå: Brannkonstabel	5
1.3 Tidligere opplæring: Brannkonstabel	5
2. Innledning og mål.....	5
3. Introduksjon til hydrogenstasjoner.....	7
3.1 Hydrogenstasjon for gassformig hydrogen (GHRS).....	7
3.2 Tankstasjon for flytende hydrogen (LHRS)	8
3.3 Sammenligning mellom tankstasjoner basert på lagring av flytende og gassformig hydrogen	9
3.4 Tankstasjon basert på lagring av gassformig hydrogen – utstyr.....	10
3.4.1 Buffertanker for gassformig hydrogen.....	10
3.4.2 Hydrogenkompressor.....	11
3.4.3 Forkjølingsenhet	13
3.4.4 Hydrogendispenser	16
3.5 Tankstasjon basert på lagring av flytende hydrogen – utstyr	18
3.5.1 Lagring av flytende hydrogen.....	20
3.5.2 Kryogen pumpe.....	22
3.5.3 LH ₂ -fordamper	23
3.5.4 Ventilpanel.....	24
3.5.5 Gassbuffere	25
3.5.6 Tilkobling til dispenser	26
3.5.7 Dispenser.....	27
4. Produksjon.....	28
4.1 Dampreforming.....	28
4.2 Elektrolysator.....	30
4.3 Kondensator	31
5. Rørledninger	33
6. Sikkerhetsfunksjoner i HRS og annen infrastruktur.....	34
Takk.....	37
Referanser.....	37

1. Målgruppe

Informasjonen i denne leksjonen er rettet mot NIVÅ 1: brannkonstabel. Leksjoner er også tilgjengelige på nivå II, III og IV: utrykningsleder, innsatsleder og spesialist.

Rollebeskrivelser, kompetansenivå og læringsutbytter for brannkonstabel er beskrevet nedenfor.

1.1 Rollebeskrivelse: Brannkonstabel

En brannkonstabel er ansvarlig for og kompetent til å utføre oppgaver sikkert, iført korrekt bekledning inkludert pusteluft. Konstabelen kan anvende tilgjengelig utstyr som kjøretøy, stiger, slanger, slukkere, kommunikasjon og redningsverktøy under alle klimatiske forhold i områder og nødssituasjoner som krever respons.

1.2 Kompetansenivå: Brannkonstabel

Nødetatene må ha støtte i riktig kunnskap og praksis og er opplært i sikker og korrekt bruk av personlig verneutstyr, pusteluftutstyr og annet utstyr som det forventes at de skal bruke. Atferd som holder dem og andre kolleger trygge, skal beskrives i en standardprosedyre (SOP). Øvet evne til dynamisk å vurdere risiko for seg selv og andre er påkrevd.

1.3 Tidligere opplæring: Brannkonstabel

I henhold til det europeiske rammeverket for kvalifikasjon (EQF 2) er denne leksjonen tilegnet nivå 2 Faktabasert grunnkunnskap på et arbeids- eller studiefelt. Grunnleggende kognitive og praktiske ferdigheter som er nødvendig for å bruke relevant informasjon til å utføre oppgaver og løse rutinemessige problemer ved hjelp av enkle regler og verktøy. Arbeide eller studere under veiledning med noe autonomi.

2. Innledning og mål

Målet med dokumentet er å presentere hydrogenstasjoner med gassformig hydrogen (GHRS) og hydrogenstasjoner basert på lagring av flytende hydrogen (LHRS) og tilhørende infrastruktur for hydrogenmobilitet. I denne leksjonen sammenlignes GHRS og LHRS, og komponenter i LHRS beskrives for en god forståelse av LHRS-drift, utfordringer og potensielle risikoer.

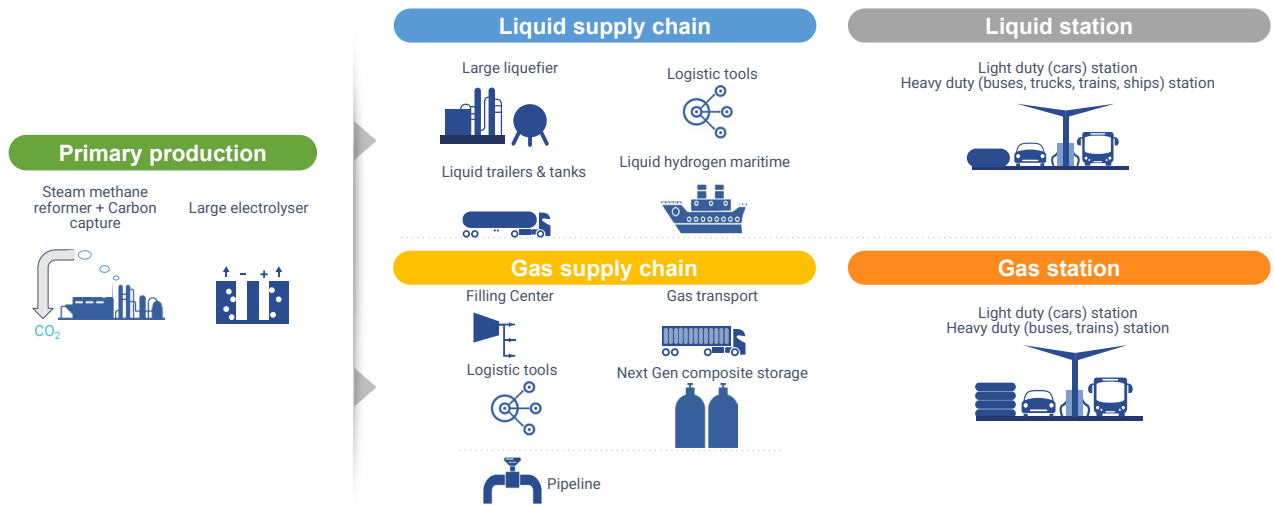
Det første spørsmålet før LHRS introduseres, kan være «hvorfor bruke flytende hydrogen?» Tilbakemeldinger fra HRS viste følgende hovedproblemer:

- dyr forsyningskjede med tanke på gassformig hydrogen i stor skala,
- begrenset daglig kapasitet

Gitt at LH₂ er mye tettere enn GH₂ er det av interesse å utvikle nye produkter for å øke stasjonskapasiteten og redusere totale eierkostnader (TCO) ved å bruke flytende hydrogen som

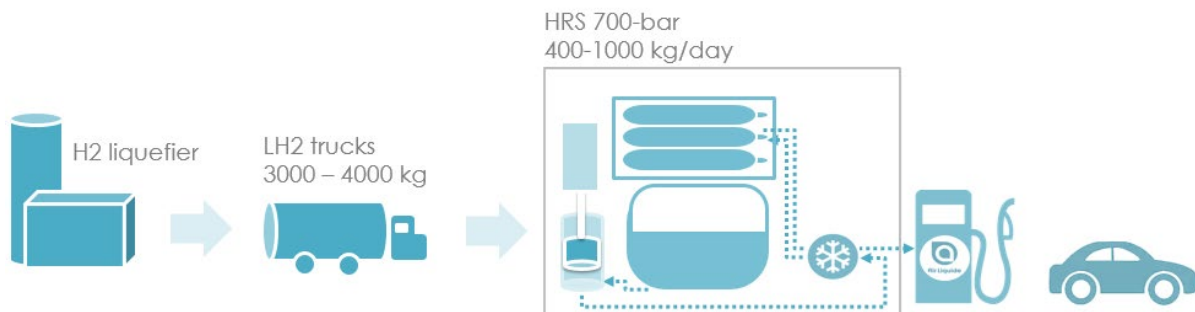
Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

råmateriale. Figur 1 viser de forskjellige elementene i hydrogenforsyningskjeden, væske og gass, fra produksjon til bruk i hydrogenmobilitet.



Figur 1. Forsyningskjede for hydrogen, fra produksjon til bruk i H₂-mobilitet.

Figur 2 er en forenklet skjematisk fremstilling av forsyningskjeden for flytende hydrogen som viser at det etter hydrogenproduksjon er nødvendig med en kondensator for å kondensere hydrogen ved kryogen temperatur. Deretter brukes LH₂-hengere (med en kapasitet på opptil 4-t H₂) til hydrogentransport til LHRS, der overføringen fra henger til LHRS-lagring utføres ved hjelp av en liten fordemper. Detaljer om disse forskjellige trinnene og nødvendig utstyr er nettopp temaet for denne leksjonen.



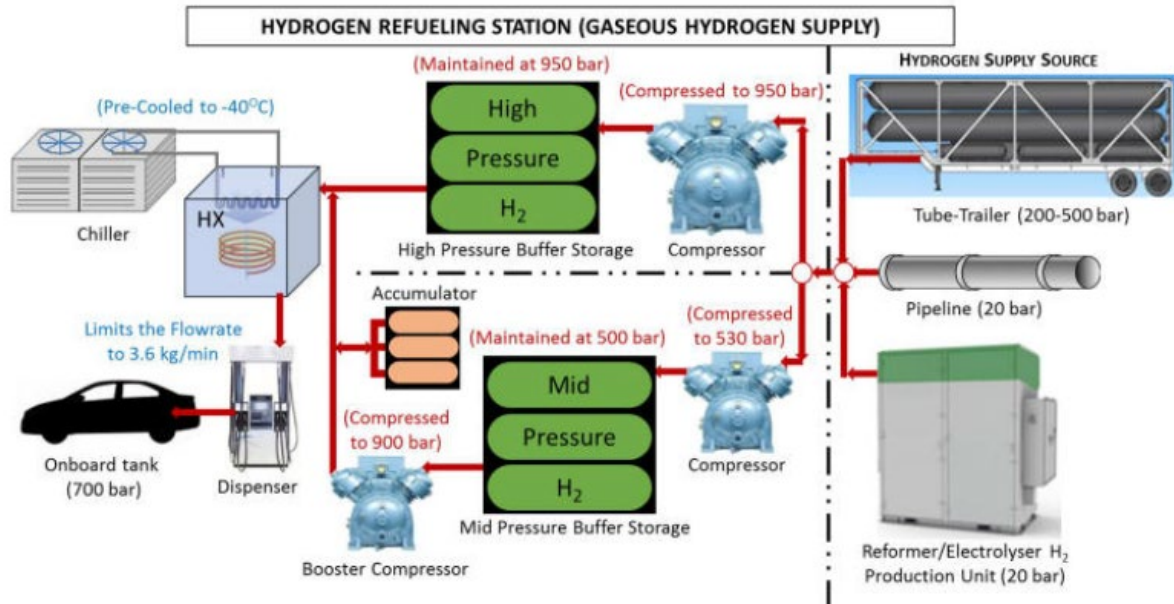
Figur 2. Fokus på tilførsel av flytende hydrogen til hydrogenstasjoner.

Ved slutten av denne leksjonen skal du kjenne til følgende:

- forsyningskjeden for hydrogen – fra hydrogenproduksjon til bruk
- oppsett og drift av GHRS og LHRS
- nødvendig utstyr for GHRS og LHR
- metodene for hydrogenproduksjon
- sikkerhetsfunksjoner i GHRS og LHRS og annen infrastruktur

3. Introduksjon til hydrogenstasjoner

3.1 Hydrogenstasjon for gassformig hydrogen (GHRS)

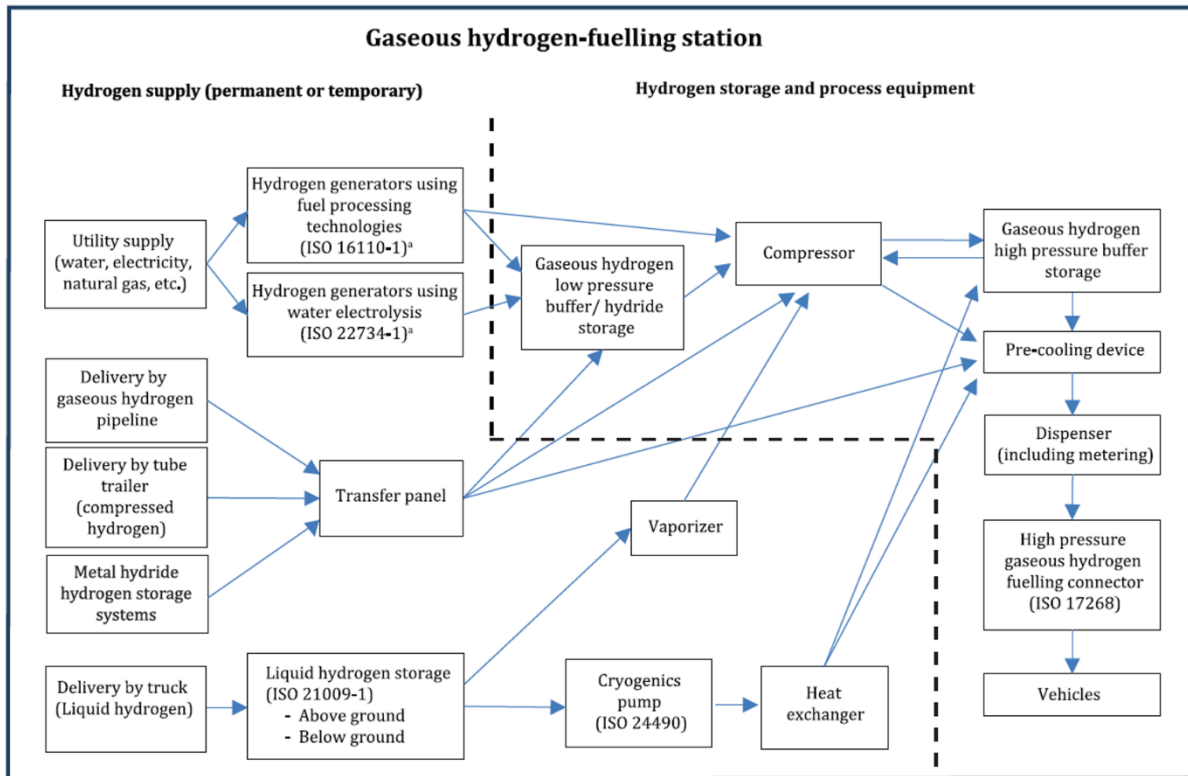


Figur 3. Bilde av et eksempel på hydrogenstasjon for gassformig hydrogen (GHRS) [1]

Gassformig hydrogen går fra tilførsel til innbygd tank vanligvis gjennom en kompresjonsprosess for enten å nå 950 bar i et høytrykksbufferlager eller 500 bar i et mellomtrykksbufferlager, strømmer deretter gjennom en varmeveksler og når dispenserens for tanking av brenselcellekjøretøyet (FCV). Som vist i figur 3 inkluderer en typisk GHRS buffertanker for gassformig hydrogen, hydrogenkompressorer, forkjølingsenheter og en hydrogen dispenser. Minimumskravene til konstruksjon, installasjon, idriftsettelse, drift, inspeksjon og vedlikehold for sikkerhet og, der det er hensiktsmessig, for ytelsen til offentlige og ikke-offentlige hydrogenstasjoner for gassformig hydrogen (GHRS) som leverer gassformig hydrogen til lette kjøretøyer (f.eks. FCV), har blitt drøftet i ISO 19880-1: 200 (E) [2], der minimumskravet for GHRS gis. Mange av de generiske kravene gjelder for tankstasjoner for andre hydrogenapplikasjoner, deriblant det følgende:

- tankstasjoner for motorsykler, gaffeltrucker, trikker, tog, elvebaserte og marine applikasjoner
- tankstasjoner med innendørs fylling
- Faste applikasjoner for drivstoff til landkjøretøy
- mobile tankstasjoner
- ikke-offentlige demonstrasjonsstasjoner.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur



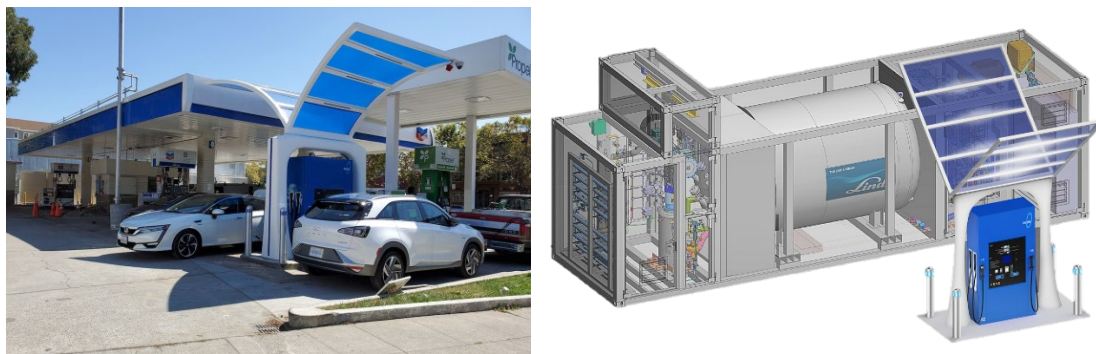
a – Kan inneholde en buffertank (eller akkumulator) for demping eller justering av strømmen til kompressorinnsugingsåpningen.

Figur 4. Eksempel på typiske elementer i en tankstasjon inkludert hydrogentilførsel [2]

Denne leksjonen fokuserer på hydrogenlagring og prosessutstyr (på høyre side av den stiplede linjen i figur 4), inkludert lav- og høytrykksbuffer-/hydridlager for gassformig hydrogen, kompressor, forkjølingsenhet, dispenser (inkludert dosering), kobling for tanking av høyttrykks gassformig hydrogen og kjøretøy. Veiledning for kobling for tanking av gassformig hydrogen under høyt trykk finnes i ISO 17268.

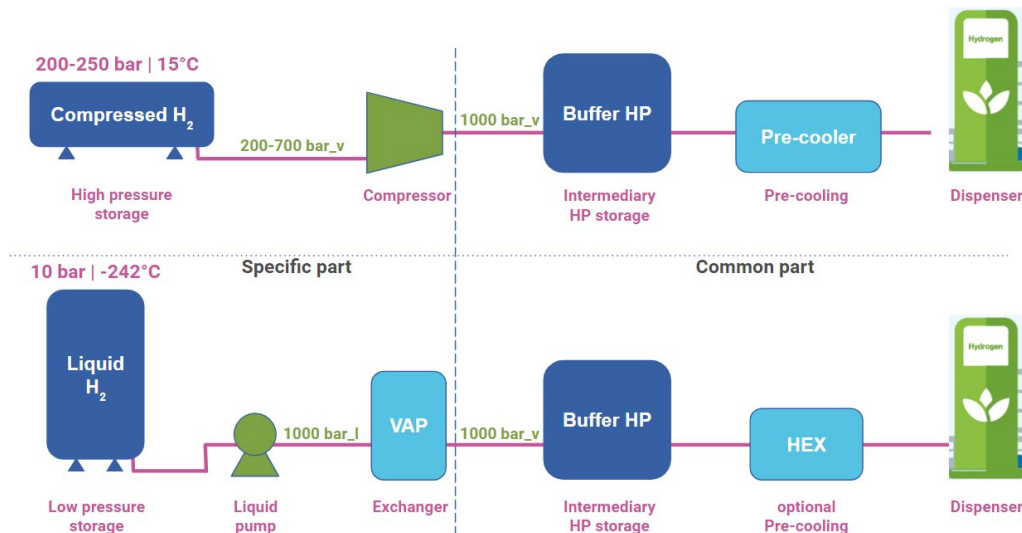
3.2 Tankstasjon for flytende hydrogen (LHRS)

Før vi går nærmere inn på hva som er hovedkomponentene i en tankstasjon basert på lagring av flytende hydrogen, er det interessant å vise en eksisterende stasjon i drift. Figur 5 viser Linde Liquid hydrogenstasjon i Oakland (USA).



Figur 5. Linde LHRS i Oakland.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur



Figur 8. Forenklet sammenligning mellom tankstasjoner for gassformig og flytende hydrogen.
 Topp: gassformig HRS, bunn: flytende HRS.

Tabellen nedenfor oppsummerer de viktigste forskjellene mellom LHRS og HRS.

Tabell 1. Sammenligning mellom LHRS og HRS

Emne	LHRS	HRS
Lagring	Flytende hydrogen, kryogen temperatur (-240 °C), lavt trykk (opptil 10 bar)	Gassformig hydrogen, omgivelsestemperatur, høyt trykk (fra 200 til 500 bar)
Påfylling av stasjonen	Overføring av flytende hydrogen fra henger til tank	Hovedsakelig bytte (= full for tom)
Trykksetting av hydrogen	Væskepumpe og fordampner som er nødvendig for å levere gassformig H ₂	Kompressor

3.4 Tankstasjon basert på lagring av gassformig hydrogen – utstyr

3.4.1 Buffertanker for gassformig hydrogen

Buffertankene, enten høytrykk eller lavtrykk, er konstruert for lagring av komprimert hydrogen, som kan plasseres mellom en hydrogengenerator og en kompressor for en jevn strøm av gass til kompressoren eller mellom kompressoren og fyllingssystemet for akkumulering av trykksatt gassforsyning for tanking av kjøretøy.

Lagertanker for lagring av hydrogengass skal produseres i samsvar med en vanlig nasjonal/regional standard og konstrueres for den forventede livssyklusen. Bufferlagring kan omfatte hydrogen som absorberes i et metallhydridlagringssystem.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

Hvis buffertanker med forskjellige konstruksjonstrykk er sammenkoblet, skal de beskyttes på en slik måte at tanker som er dimensjonert for et lavt trykk, ikke kan overtrykkes på grunn av funksjonsfeil.

Utformingen av bufferlagringsanlegget skal inneholde egnede måter å hindre svikt på i tilfelle brann når det anses nødvendig ved risikovurdering. Egnede forebyggingsmetoder kan omfatte ett eller flere av følgende:

- produktventilasjonssystemer, for eksempel TPRD
- termisk beskyttelse eller brannbarriere
- manglende mulighet for en brennbar væske til å danne dammer under tanken
- fast slokkevannsbeskyttelse

Det er verdt å merke seg at kompositttanker kan kreve økt beskyttelse sammenlignet med metalltanker. Tankene skal festes til fundamentet, og fundamentet og støtter skal tåle kreftene som kan forventes for stedet. Utformingen av buffertanker og rør for gassformig hydrogen skal ta hensyn til risikoen fra direkte støt fra jetflammer fra potensielle lekkasjepunkter eller ventiler på en tilstøtende tank. Stasjonsrisikovurderingen skal inkludere avdempingsvurderinger rundt deflagrasjon til detonasjon (DDT) i området med komprimert hydrogen. Hver gruppe buffertanker som kan isoleres med manuelle eller automatiske ventiler, bør utstyres med sitt eget sett av sikkerhetsinnretninger.

Vær oppmerksom på at når hydrogen leveres i transportable sylindere, rørhengere eller multielement gasscontainere (MEGC)¹, er ikke alltid sikkerhetsavlastningsinnretninger i cylinderen / gruppen av tanker inkludert. Men når transportable sylindere, rørhengere eller MEGC-er integreres i en hydrogenstasjon, etter en adekvat risikovurdering som tar for seg de potensielt forskjellige konstruksjonshensynene, spesielt trykksykluser, skal ethvert komprimeringsystem på stedet som kan komprimere hydrogen til et slikt system, inkludere et sett med sikkerhetsinnretninger for å beskytte lagringsrørene mot overtrykk.

3.4.2 Hydrogenkompressor

Hver kompressor skal være utstyrt med trykkavlastningsinnretninger eller tilsvarende sikkerhetssystemer for å forhindre overtrykk. Kompressoren og tilleggssystemene, der det er aktuelt, skal være i samsvar med bruk i rørsystemet. Det må gis tilstrekkelig kompensasjon for potensiell vibrasjon eller bevegelse i kompressoren slik at rørsystemer ikke blir skadet og det ikke oppstår lekkasjer. Kompressorer skal utformes med spesiell henvisning til hydrogenbruk og for å minimere innføring av forurensende stoffer. Inntrengning av luft ved inntaket til kompressoren skal til enhver tid unngås for å forhindre at det dannes brannfarlige blandinger.

¹ multimodal samling av sylindere, rør eller bunter av sylindere som er sammenkoblet av en manifold og montert innenfor et rammeverk, inkludert serviceutstyr og strukturelt utstyr som er nødvendig for transport av gasser.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

Risikoen forbundet med installasjon, vedlikehold og drift av kompressorer skal vurderes, og mottiltak skal defineres og iverksettes for å beskytte utstyr og forhindre potensielt farlige hendelser. Hver kompressor skal være utstyrt med måter å gjøre alle deler av systemet helt trykkløse for vedlikehold på. Når risikoreduserende gjennomgang av et kompressorsystem anbefaler bruk av inert rensing, skal det finnes måter å rense kompressoren med inert gass på før vedlikeholdsoperasjoner, inkludert en skriftlig prosedyre, for å muliggjøre effektiv inaktivering.

Det må gis tilstrekkelig kompensasjon for vibrasjoner og bevegelser mellom sammenkoblede systemer på en hydrogenstasjon og mellom hydrogengassforsyningsrørene og kompressorinnsugingsrørene for å unngå lekkasjer forårsaket av vibrasjoner og bevegelser. Eventuelle vibrasjoner som kan påvirke fastheten til rørene, beslag og komponenter skal ikke overføres til rørene.

Sikkerhetskontroller skal monteres for å sikre at temperatur og trykknivåer ikke overstiger eller faller under angitte driftsnivåer, for eksempel for innløpstrykk, utløpstemperatur og trykk, der kontrollsystemet utløser en alarm og/eller avstengning etter behov, eller passende alternative tiltak. I tillegg til instrumentene og kontrollene som normalt følger gasskomprimeringsystemer, skal følgende spesifikke sikkerhetstiltak for hydrogen vurderes.

Inntrengning av luft ved inntaket til kompressoren skal til enhver tid unngås for å forhindre at det dannes en brannfarlig blanding. Hvis denne tilstanden ikke lenger er garantert, skal kompressoren slås av. For eksempel bør innløpstrykket overvåkes av en trykkindikator/-bryter, der kontrollsystemet utløser en alarm og/eller avstengning etter behov, for å unngå vakuum i innløpsrøret og påfølgende luftinntrengning. Denne trykkindikatoren/-bryteren skal få kompressoren til å slå seg av før innløpstrykket når atmosfæretrykk.

Hvis det er mulighet for oksygenforurensning under normale driftsforhold på grunn av lavt innløpstrykk, kan måling av oksygeninnholdet i hydrogen betraktes som et avhjelpende tiltak under risikovurdering. Hvis for eksempel oksygeninnholdet når en volumfraksjon på 1 %, kan kompressoren slås av automatisk. Alternative tiltak kan iverksettes for å forhindre kritiske situasjoner.

Temperaturen etter siste komprimeringsfase, eller temperaturen etter kjøleren, hvis montert, skal overvåkes av en temperaturindikator/-bryter der kontrollsystemet utløser en alarm og/eller avstengning etter behov ved en forhåndsbestemt maksimal temperatur.

Trykket etter den siste fasen av komprimering skal overvåkes av en indikator/bryter der kontrollsystemet utløser en alarm og/eller avstengning etter behov, eller iverksetter alternative handlinger, for eksempel resirkulering, ved et forhåndsbestemt maksimumstrykk som er under trykket i overtrykksvernet.

Kjølevannsystemet bør overvåkes av en indikator/bryter der kontrollsystemet utløser en alarm og/eller avstengning ved behov ved lavt trykk, strømning eller høy temperatur.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

Når motoren og tilleggsutstyret tømmes av en inert gass eller beskyttes av trykksetting med trykkluft eller en inert gass, skal lavt trykk/strøm indikeres med en alarm, som skal sørge for å slå av motoren og tilleggsutstyret slik det kreves av IEC 60079-2.

Når kompressorens veivhus tømmes av en inert gass eller beskyttes av trykksetting med trykkluft eller en inert gass, skal lavt trykk/strøm indikeres med en alarm, som skal sørge for å slå av kompressoren.

3.4.3 Forkjølingsenhet

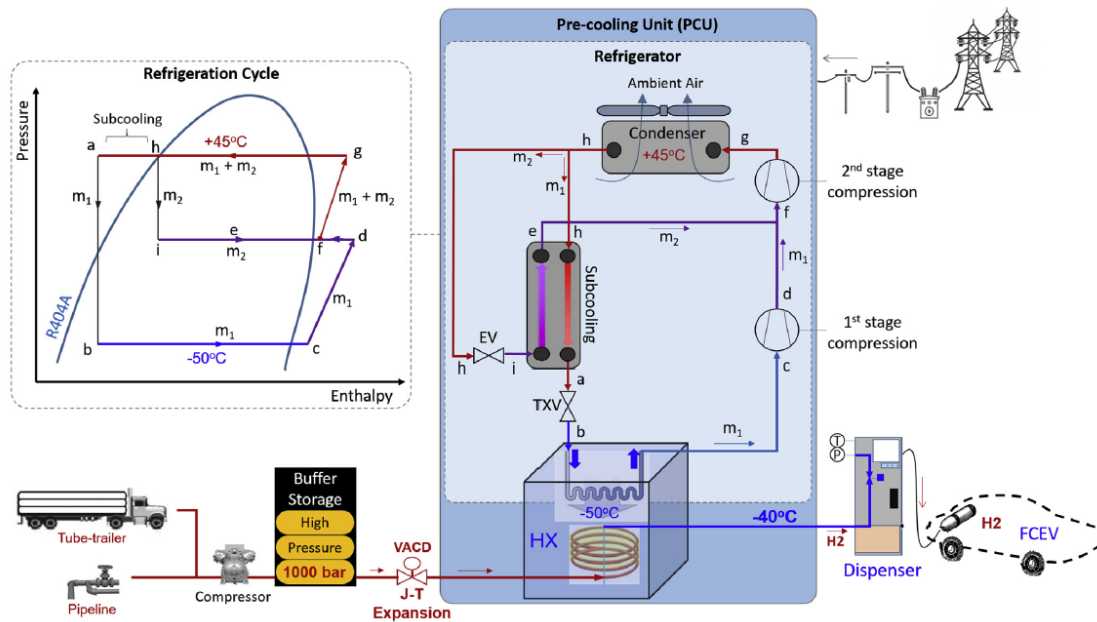
Forkjøling er en prosess der hydrogendrivstofftemperaturen kjøles ned før fylling. Kostnaden for forkjølingsenheten utgjør omtrent 10 % av den totale utstyrs-kostnaden for GHRS [3], og en dypere forståelse av kostnads-komponenten er nødvendig for å oppnå maksimal mulig GHRS-kostnadsreduksjon. I motsetning til studiene av kompressor og lagringssystemer er relativt begrenset informasjon tilgjengelig om forkjølingsenheten. Forkjøling av hydrogendrivstoffet før det fylles på kjøretøyets tank er avgjørende for å hindre at tanken overopphetes. Fyllingsprotokollen SAE J2601 fastsetter en påfyllingsprosess som er begrenset for å sikre sikker og rask påfylling på brenselcellekjøretøy [4].

Fyllingsprotokollen SAE J2601 fastsetter et temperaturområde for forkjøling av hydrogen for hver type hydrogenstasjon. For eksempel må en T40-stasjon forkjøre hydrogenet til mellom -33 og -40°C før det fylles på brenselcellekjøretøyet. Forkjølingsenheten er plassert mellom høytrykksbuffertanken og dispenseren og forkjøler det gassformige hydrogenet til en temperatur på minst -33 °C innen 30 sekunder etter at fyllingen startes. Den opprettholder deretter en temperatur i det foreskrevne området for hele varigheten av påfyllingen.

Hastigheten for påfyllingen av kjøretøyet er direkte relatert til blant annet hydrogenets forkjølingstemperatur, omgivelsestemperaturen og det innledende tanktrykket [5]. Jo høyere omgivelsestemperaturen er, desto lengre tid vil det ta å fylle tanken, og omvendt. Blant disse tre nøkkelfaktorene har imidlertid forkjøling den største innvirkningen på fyllingstiden. Fordi fyllingstiden er en av de kritiske parameterne som påvirker påfyllingsopplevelsen, bør forkjølingssystemet være utformet for å levere den nødvendige påfyllingshastigheten og -kapasiteten under ekstreme forhold og til lavest mulig kostnad.

En typisk forkjølingsenhet i en GHRS bruker en termodynamisk kjølesyklus: Den sirkulerer et kjølemiddel gjennom en tottrinns kompressor, kondensator, termostatisk ekspansjonsventil og fordampers varmeveksler (figur 9). Denne kjølesyklusen innebærer en kjølemiddelunderkjøling for å maksimere kjøleeffekten ved fordampers varmeveksler ved å sirkulere en del av kjølemiddelet som går ut av kondensatoren, gjennom ekspansjonsventilen, underkjølervarmeveksleren og kompressorens andre trinn. Hydrogenet som skal fylles, forkjøles ved å frigjøre energi til det kalde kjølemiddelet gjennom fordampers varmeveksler. Fordampers varmeveksler kan utformes med en stor termisk masse (hovedsakelig for å fungere som en buffer og dermed redusere den nødvendige kjølekapasiteten), eller den kan ha en kompakt design av plasseringshensyn.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur



Figur 9. Skjematiske diagram over driften av forkjølingsenheten ved en GHRS som består av kompressor, høytrykksbufferlager, forkjølingsenhet og dispenser.

To hovedfaktorer påvirker kjøleytelsen til og dimensjoneringen av forkjølingsenheten: Joule-Thomson-effekten (J-T-effekten) (leksjon 2) ved kontrollenheten for variabelt område (VACD) oppstrøms for forkjølende varmeveksler, og stasjonens krav om å kunne fylle et gitt antall kjøretøy rett etter hverandre (B2B). J-T-effekten er relatert til innløpstemperaturen til hydrogenbrensel som strømmer inn i forkjølingsenheten, mens B2B-fyllingskravet er forbundet med påfyllingsbehovet ved dispenserens i rushtiden [6].

J-T-effekten refererer til temperaturendringen i en gass når den presses gjennom en ventil ved konstant entalpi (adiabatisk ekspansjon). Alle gasser har en «inversjonstemperatur», og under denne opplever de et temperaturfall under J-T-effekten. Inversjonstemperaturen korrelerer direkte med gassens kritiske temperatur. Stoffer med ekstremt lav kritisk temperatur (f.eks. hydrogen, helium og neon) har inversjonstemperaturer som er godt under omgivelsestemperaturen, og derfor øker temperaturen deres under isentalpisk ekspansjon over inversjonstemperaturene (<224 K for hydrogen). Når høytrykkshydrogenet fra bufferlageret strømmer gjennom en VACD, opplever det et trykkfall mens det ekspanderer. Hydrogenets ekspansjon og trykkfall i VACD får hydrogengassens temperatur til å øke, fordi hydrogen har negative J-T-koeffisienter ved ekspansjonstrykk og -temperatur (omtrent $-0,05 \text{ K/bar}$ ved 900 bar og $-0,03 \text{ K/bar}$ ved 1 bar og 25 °C) [7]. Når det er sagt, kan det maksimale trykkfallet i VACD teoretisk føre til at temperaturen på hydrogenbrenselet øker med 40 °C før det går inn i den forhåndskjølede varmeveksleren. Denne betydelige temperaturøkningen kan føre til en ekstra belastning for forkjølingsenheten, slik at det vil være nødvendig med mer kjøleeffekt for å kompensere for det større nødvendige temperaturfallet i varmeveksleren. På samme måte kan en økning i antall B2B-fyllinger som stasjonen må tilfredsstille øke kapasiteten som kreves av

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

forkjølingsenheten, fordi varmeveksleren vil være dimensjonert for topp B2B-etterspørsel, selv om etterspørselen i løpet av det meste av dagen er mye lavere.

Ønsket antall B2B-fyllinger påvirker kapasiteten og kostnadene for påfyllingskomponenter sterkt. Ved B2B-fylling kjører det ene kjøretøyet etter det andre opp til dispenseren for å fylle, med en kort pause på omtrent 2 minutter mellom fyllingene [6]. Mangelen på ledig tid under en rekke B2B-fyllinger gir liten tid for GHRS-komponentene til å gjenvinne og lade opp. Et stort antall B2B-fyllinger (f.eks. 5) vil øke belastningen på varmeveksleren slik at evnen til den termiske massen til å holde hydrogentemperaturen under -33 °C står i fare for å feile. I slike tilfeller kan kjølesystemet ha utilstrekkelig tid til å kjøle varmeveksleren mellom fyllingene. Hvis man ikke tar høyde for den høyeste etterspørselen knyttet til B2B-fylling i utformingen av fyllingskomponenter, kan forkjølingsenheten bli underdimensjonert, noe som setter fyllingsytelsen og kundetilfredsheten i fare.

I tillegg til J-T-effekten og B2B-fylling er det viktig å vurdere avveiningene mellom forskjellige designkonsepter for forkjøling. En forkjølingsenhet kan bruke en varmeveksler med en større termisk masse som er i stand til å opprettholde en liten temperaturendring mens den kjøler hydrogenstrømmen, og dermed krever mindre kjøleeffekt fra kjølesystemet. På den annen side må en kompakt varmeveksler matches med en kjølekapasitet som oppfyller den øyeblikkelige kjølebelastningen (dvs. gir kjøling på forespørsel). I tillegg vil kjølekapasiteten med en kompakt varmeveksler være mer følsom for faktorer som påvirker innløpstemperaturen, for eksempel omgivelsestemperatur og J-T-effekten oppstrøms for varmeveksleren, på grunn av mindre buffereffekt (på grunn av mindre termisk masse).

Ved høyere omgivelsestemperaturer vil hydrogentemperaturen ved innløpet til varmeveksleren øke, slik at det kan være nødvendig med en varmevekslerblokk med større termisk masse for å holde temperaturen innenfor angitt område. I et kompakt varmevekslersystem må imidlertid en høyere omgivelsestemperatur motvirkes med høyere kjøleeffekt etter behov. En av de termodynamiske ulempene ved å ha en varmeveksler med en stor termisk masse, er at den bruker mer energi til indirekte kjøling (for å holde varmeveksleren på -40 °C) enn den kompakte varmeveksleren. På den annen side trenger en kompakt varmeveksler-kjølekonfigurasjon ved behov et kraftigere kjølesystem, men bruker mindre energi til indirekte kjøling. Med andre ord er det en avveining mellom kjølekapasiteten og varmevekslerens termiske masse. Når det gjelder kostnad, har en kompakt varmeveksler en tendens til å ha en mer kompleks struktur for rask varmeoverføring ved behov, slik at produksjonskostnadene sannsynligvis er høyere enn for en varmeveksler med stor termisk masse. Likevel holder den lille systemstørrelsen material-, frakt- og installasjonskostnadene til kompakte varmevekslere lave i forhold til varmevekslere med stor termisk masse.

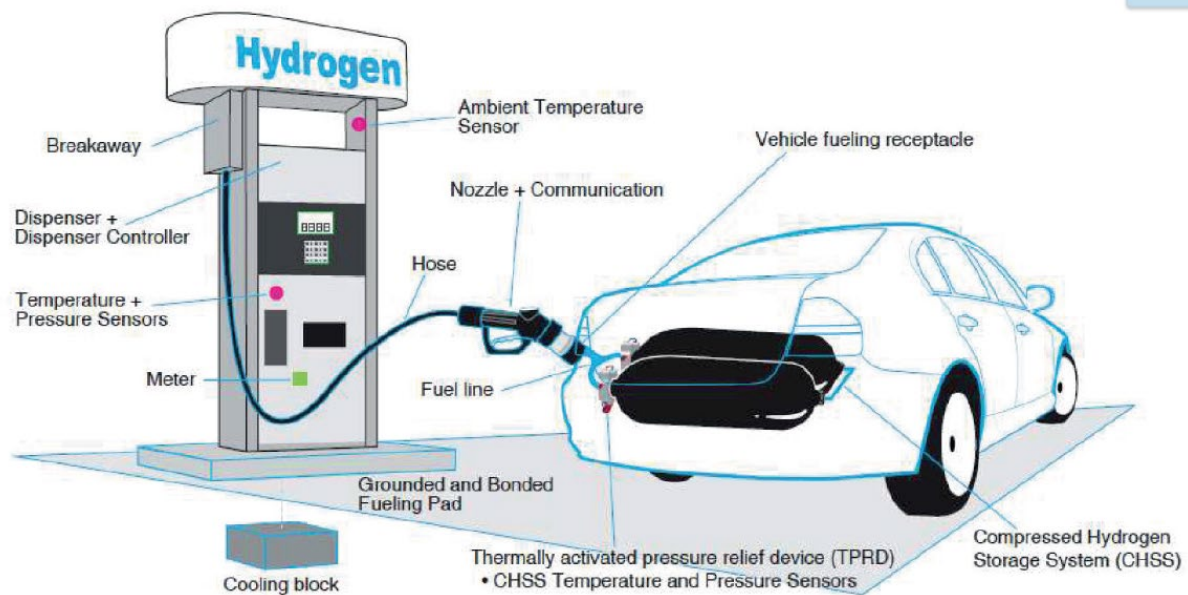
Hvis det brukes forkjøling av hydrogenet som fylles, skal fyllingssystemet være utstyrt med en måte å bekrefte at den forkjølte brenseltemperaturen i dispenseren er korrekt på, og at kontrollen møter både øvre og nedre temperaturgrenser for fyllingsprotokollen. Hvis

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

yllingsprotokollen bruker kommunikasjon av tanktemperaturen på kjøretøyet og opplever kommunikasjonssvikt, skal protokollen utføre en avstengning eller fortsette til en ikke-kommunikasjonsfylling hvis protokollen tillater det.

3.4.4 Hydrogendispenser

Dispensersystemet er nedstrøms for hydrogenforsyningssystemet, som omfatter alt utstyr som er nødvendig for å fylle hydrogen på kjøretøyet, og som hydrogen leveres til kjøretøyet via. Hydrogendispenseren er utstyr i påfyllingssystemet som inkluderer dispenser kabinetet og støttestrukturen som er fysisk plassert i påfyllingsområdet.



Figur 10 Eksempel på hovedkomponentene i hydrogenstasjonens påfyllingssystem [2]

Figur 10 illustrerer et eksempel på hovedkomponentene i tankstasjonens påfyllingssystem, inkludert FCV høytrykkshydrogensystem, som blant annet omfatter dyse og lagringssystem for komprimert hydrogen (CHSS) med sensorer samt trykkavlastningsinnretning. CHSS har en termisk aktivert trykkavlastningsinnretning for å beskytte mot overtrykk på grunn av brann. På stasjonsiden er det et automatisk kontrollsystem for påfyllingssystemer (f.eks. gjennom en programmerbar logisk kontroller (PLC)) for å fylle hydrogen samt prosedyrer for feilsøking og -håndtering. Stasjonen har også en overtrykksbeskyttelsesinnretning som for eksempel en trykkavlastningsinnretning eller tilsvarende for å beskytte mot overtrykk i påfyllingssystemet og kjøretøyet.

Dispenseren på en offentlig tankstasjon for lette kjøretøy er vanligvis designet med separate drivstoffpistoler for å fylle på kjøretøy til 35 MPa og/eller 70 MPa nominelt driftstrykk. Drivstoffpistolen kan inneholde en kommunikasjonsmottaker, og kjøretøyet kan inneholde en kommunikasjonssender (f.eks. SAE J2799). Kjøretøyet kommunikasjonssystem fra Infrared Data Association (IrDA) kan bruke SAE J2799-protokollen til å overføre målt temperatur og trykk for lagringssystemet for komprimert hydrogen i kjøretøyet til hydrogendispenseren.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

Kontrollsystemet i påfyllingssystemet kan bruke disse dataene slik at kontrollsystemet kan styre påfyllingsprosessen.

For å oppnå det maksimale driftstrykket (MOP) som er nødvendig for å fylle på lagringssystemet for komprimert hydrogen i hydrogenbilen under alle driftsforhold, vises anbefalte minimum komponenttrykkgrenser som er nødvendig for hydrogenpåfyllingssystemet relativt til dispenserens hydrogentrykknivå (HSL), trykklassen (som definert i ISO 17268) og påfyllingssystemet maksimalt tillatte driftstrykk (MAWP) i tabell 2.

Tabell 2 Trykknivåer for påfyllingssystem og anbefalte minimum komponenttrykkverdier

Hydrogentrykknivå (HSL)	Trykkklasse	Maksimalt driftstrykk (MOP)	Påfyllingssystemets maksimalt tillatte driftstrykk (MAWP)
Tilsvarende nominelt driftstrykk for kjøretøy som fylles på		$1.25 \times \text{HSL}$ Høyeste trykk under normal påfylling	$1,375 \times \text{HSL}$ Høyeste tillatte settpunkt for påfyllingssystemets trykkbeskyttelse
25 MPa	H25	31,25 MPa	34,375 MPa
35 MPa	H35	43,75 MPa	48,125 MPa
50 MPa	H50	62,5 MPa	68,75 MPa
70 MPa	H70	87,5 MPa	96,25 MPa

Hvis det brukes komponenter som er under trykkverdien i tabell 2, skal maksimalt tillatt driftstrykk for påfyllingssystemet senkes i henhold til komponenten med lavest trykk. Påfyllingssystemet skal også beskyttes mot overtrykk.

I tillegg til trykkvurderingen skal komponentene i hydrogenpåfyllingssystemet oppfylle følgende krav:

- et omgivelsestemperaturområde fra -40 °C til $+50\text{ °C}$, med mindre lokale forhold tillater eller krever andre temperaturgrenser
- kompatibilitet hos materialer som normalt er i kontakt med hydrogen
- en spesifisert livssyklus før vedlikehold eller utskifting.

Mållivssyklusen bør være 100 000 sykluser for påfyllingsenheten, men uansett om dette målet er nådd eller ikke, bør livssyklusen defineres og angis slik at planlagte vedlikeholdsaktiviteter kan forhindre feil.

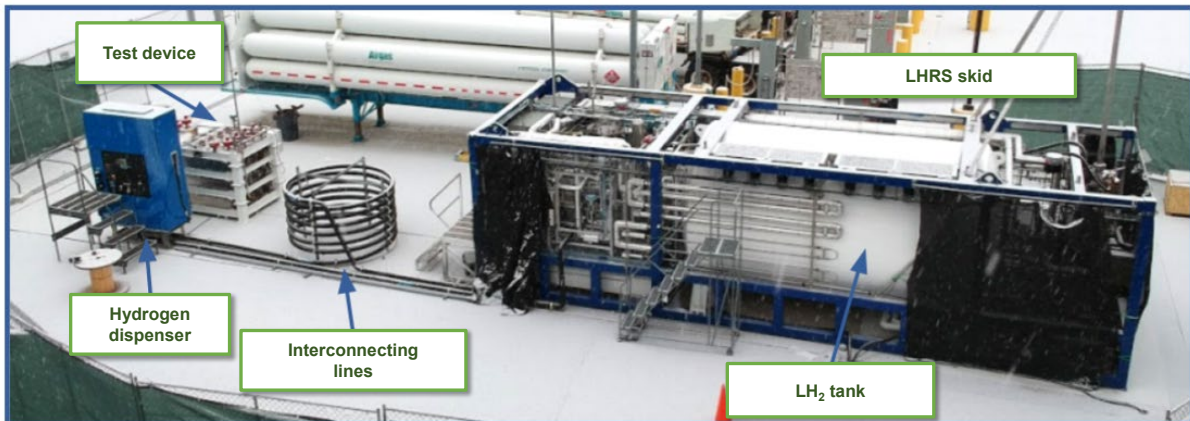
Komponenter i påfyllingssystemet for høytrykkshydrogen skal merkes med trykkklasse kun hvis komponenter er konstruert og verifisert for å oppfylle eller overgå kravene til trykk, temperatur, materialkompatibilitet og levetid som definert ovenfor. Høytrykkskomponenter skal monteres i nøye samsvar med leverandørens instruksjoner etter en veldefinert monteringsprosedyre. Produsenten skal sikre at trykkfallet mellom drivstofftrykksensoren på dispenseren, som

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

overvåker kjøretøytrykket, og drivstoffpistolen ikke overstiger verdien som er definert i fyllingsprotokollen under hydrogenstrømmen til kjøretøyet.

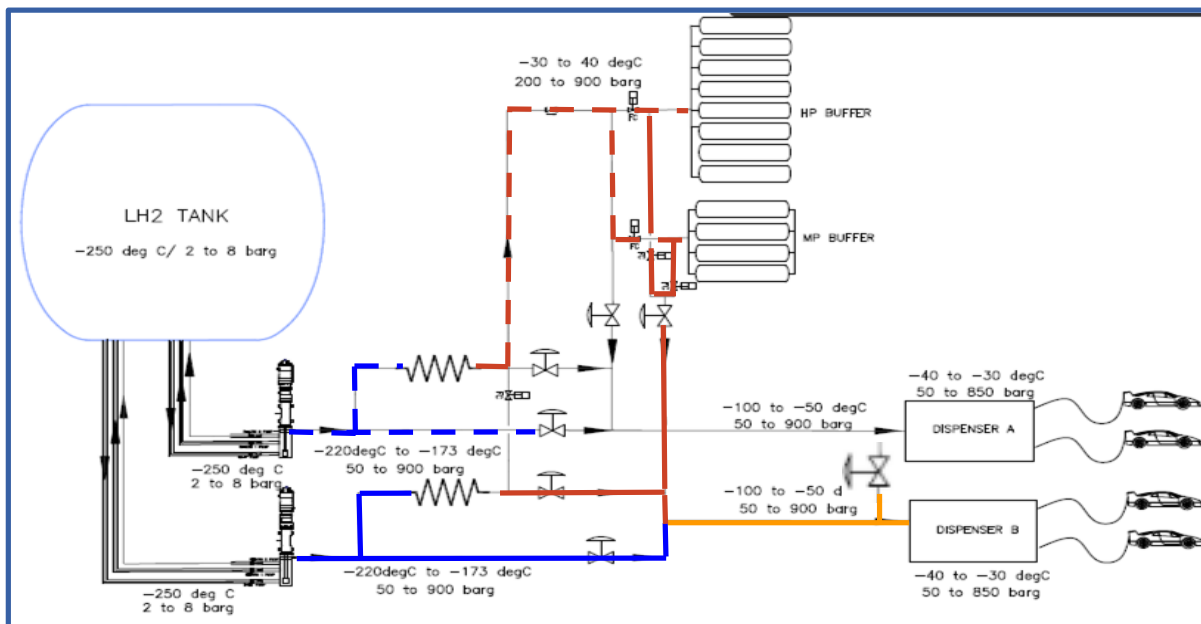
3.5 Tankstasjon basert på lagring av flytende hydrogen – utstyr

LHRS er vanligvis integrert med lagring av LH₂, og består av LHRS-transportramme, LH₂-tank, forbindelsesledninger, hydrogendispenser og testenhet som hoveddeler (se figur 11).



Figur 11. Oversikt over hoveddelene i en type LHRS med integrert LH₂-lagring.

Det generelle prosessflytskjemaet for tankstasjon for flytende hydrogen vises i Figur 12.



Figur 12. Prosessflyt for en LH₂-basert tankstasjon.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

Hovedutstyret i LHRS er:

- LH₂-tank
- kryogen pumpe
- fordamper
- ventilpanel
- buffere
- tilkobling til dispenser
- dispenser

En type LHRS-hovedtransportramme vises på bildet nedenfor med identifisering av det viktigste funksjonelle utstyret:

- i Figur 13 for den «kryogene» siden
- i Figur 14 for den «varme» siden

Utstyr blir beskrevet med flere detaljer og funksjoner i de påfølgende underavsnittene.



Figur 13. LHRS transportrammeoversikt – «kryogen» side.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

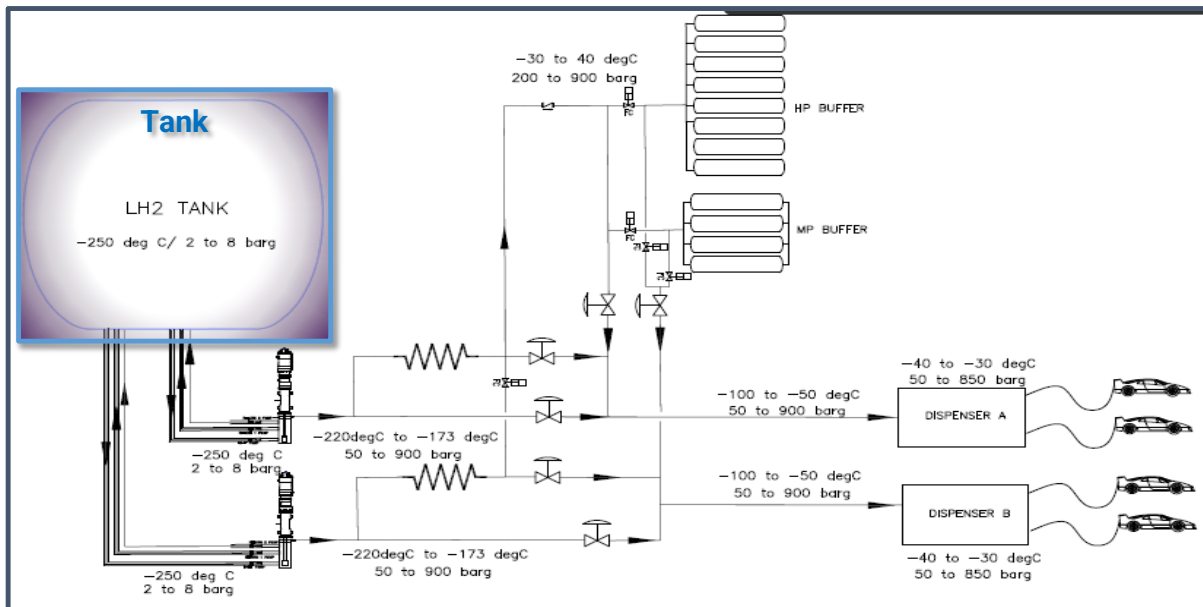


Figur 14. LHRs transportrammeoversikt – «varm» side.

3.5.1 Lagring av flytende hydrogen

Når det gjelder LHRs, kan tanken for flytende hydrogen integreres inne i en transportramme slik det vises i dette dokumentet og som vist på Linde LHRs i Oakland. Likevel kan LH₂-lagring være en frittstående beholder, satt opp vertikalt eller horisontalt.

For LHRs som vist i figur 15, er LH₂-lagringsvolumet rundt 20 m³ og gir en kapasitet på 1-t H₂. Lagringstemperaturen er rundt -250 °C, og lagringstrykket er fra 2 til 8 bar.



Figur 15. Prosessflyt av en LH₂-basert tankstasjon – LH₂-tank

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

Hovedparametrene for denne delen av LHRS er:

- Valgt isolasjon er en flerlagsisolasjon (MLI) med vakuum for å opprettholde kryogen temperatur (se figur 16),
- Tanken er horisontal for å bli integrert inne i en transporttramme og samsvarer med det tillatte kravet (andre konfigurasjoner er mulige, for eksempel med frittstående tank med høyere kapasitet),
- Alle grensesnitt er på den ene siden av tanken,
 - o Mate- og returledninger for hver pumpe (+ en tredje for å kontrollere nivået i LH₂-pumpesumpen)
 - o Enten konvensjonell modus eller termosifong modus
 - o Sikkerhet, ventilasjonsrør
 - o Påfyllingsrør (bunn og topp)
- Kollisjonsbeskyttelse er integrert på rammen (se figur 17).



Figur 16. MLI isolasjon.



Figur 17. Krasjbeskyttelse (i blått) nederst.

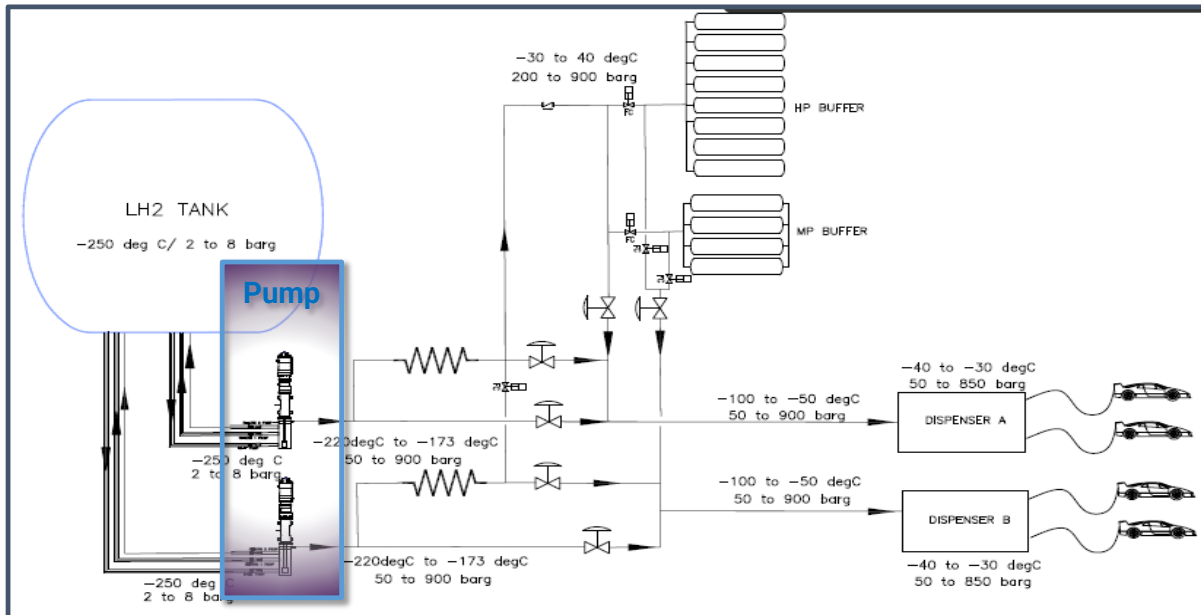
LH₂-tanken leveres av en LH₂-lastebil. LH₂-lastebilen består av en 40 m³ horisontal tank med drift mellom 1 og 12 bar (inventar: 4 t-H₂). Tilkoblingen mellom tanken og lastebilen utføres

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

av en fleksibel overføringsledning. Overføringen utføres uten pumpe. En liten fordamper er på tilhengeren for å produsere en trykkoppbygging i lastebiltanken og tillate overføring av flytende hydrogen til den stasjonære vertikale tanken.

3.5.2 Kryogen pumpe

De kryogene pumpene som er montert i LHRS, vises i figur 18.



Figur 18. Prosessflyt for en LH₂-basert tankstasjon – LH₂-pumpe.

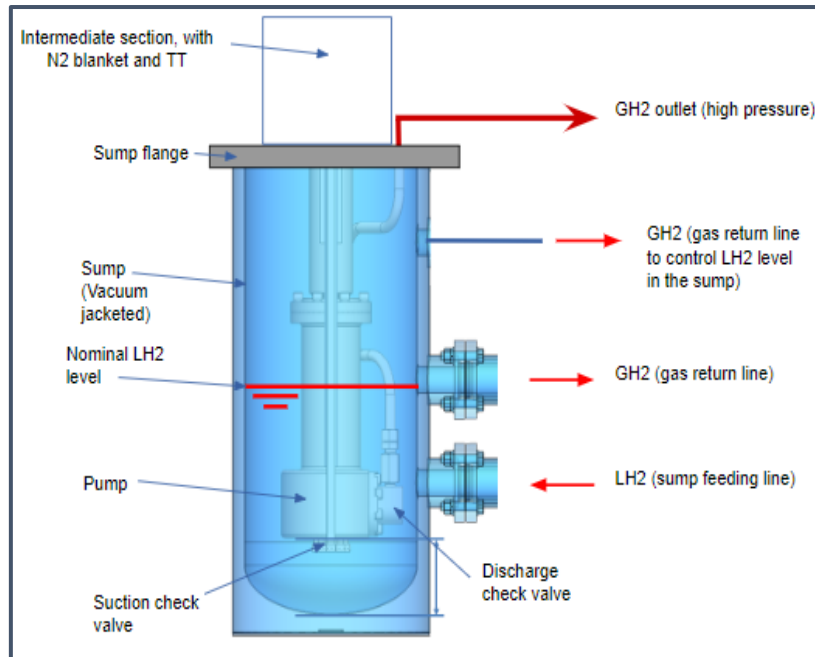
Den kryogene pumpen, som vist i figur 19, gjør det mulig å overføre væske fra lagertanken til varmeveksleren. Trykket av flytende hydrogen øker noe mellom lagring og varmeveksler.



Figur 19. Kryogen pumpe.

Pumpen er nedsenket i en vakuummantlet sump som vist i Figur 20 .

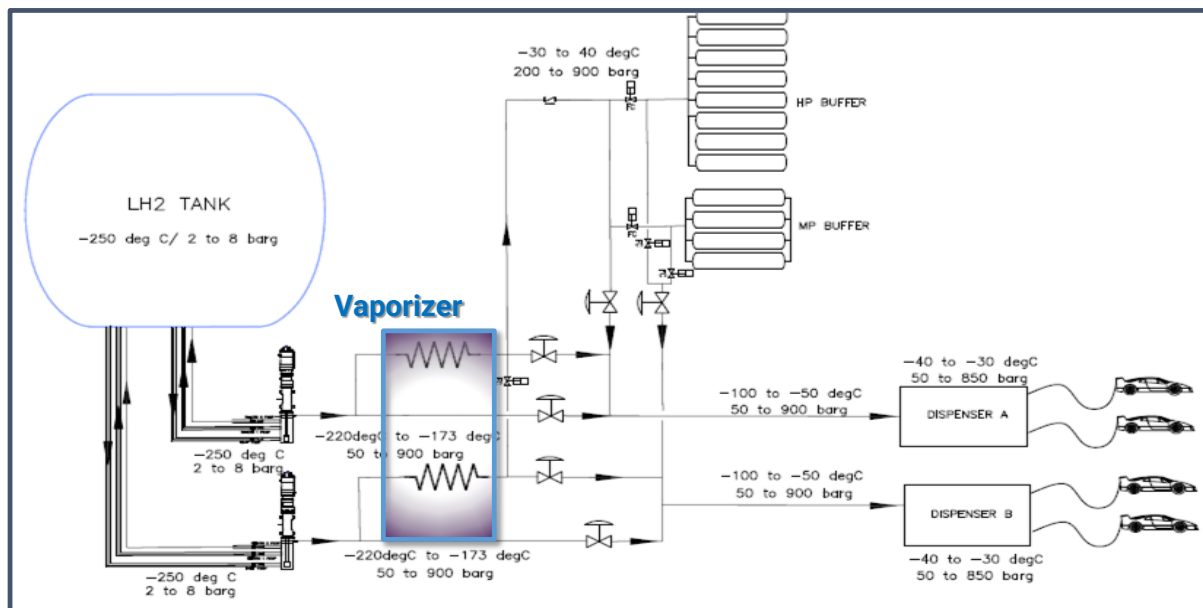
Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur



Figur 20. Pumpe i vakuummantlet sump.

3.5.3 LH₂-fordamper

Fordamperen i LHRS vises i figur 21.



Figur 21. Prosessflyt av en LH₂-basert tankstasjon – fordamper.

Målet til fordamperen er å øke trykket til det gassformige hydrogenet som blir lagret i mellomliggende buffere ved et trykk på opptil 900 bar. Temperaturen på hydrogen økes også fra -220 til -30 °C.

Flere teknologier er tilgjengelige for varmeveksleren. De viktigste er:

- atmosfærisk fordamper

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

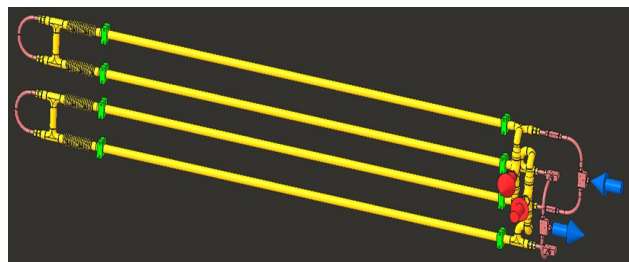
- rør-i-rør-fordamper.

Rør-i-rør-fordamper, som vist i figur 22, er å foretrekke for tankstasjoner av følgende årsaker:

- enkel å produsere
- kompakt løsning sammenlignet med atmosfærisk fordamper
- skaper ikke anrikt O_2 -sone,
- lavt strømforbruk sammenlignet med elektrisk varmeapparat (8 ganger mindre)



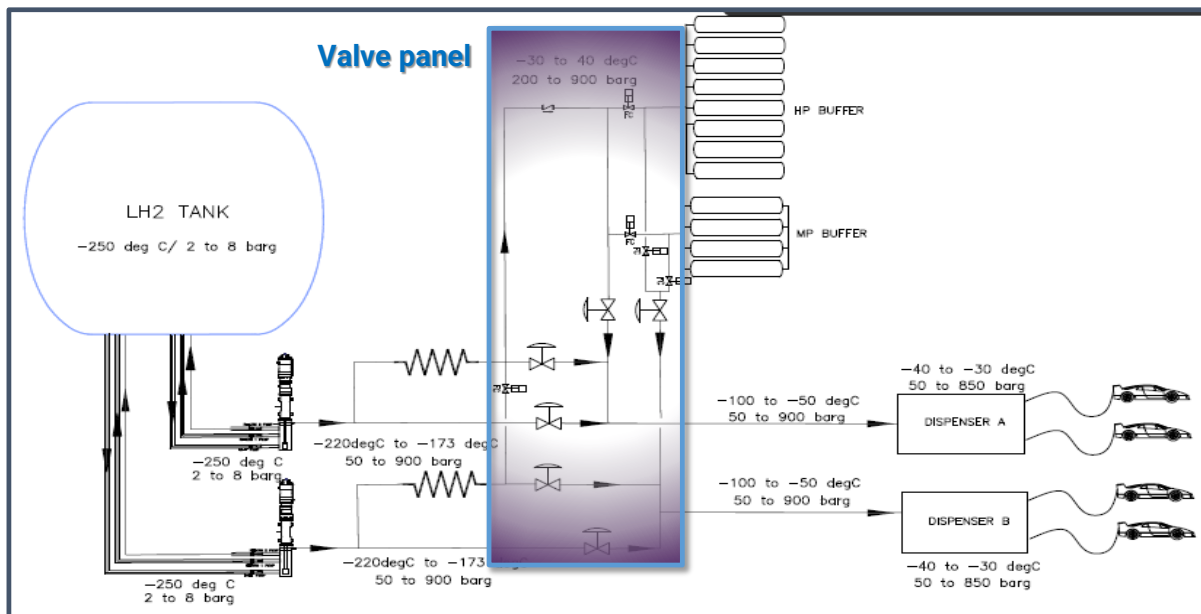
(A)



(B)

Figur 22. (A) Rør-i-rør-varmeveksler satt opp i LHR-transportramme, (B) Prinsipp for fordampning av LH_2 (blå piler).

3.5.4 Ventilpanel



Figur 23. Prosessflyt for en LH_2 -basert tankstasjon – ventilpanel.

Ventilpanelet i LHR vises i figur 23.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

Et bilde over ventilpanelet vises i Figur 24. Denne delen av prosessen er ganske enkel, men den er en potensiell kilde til lekkasje av gassformig hydrogen på grunn av det høye antallet tilkoblinger for ventiler, trykktransmittere og annet nødvendig utstyr for stasjonsdrift.

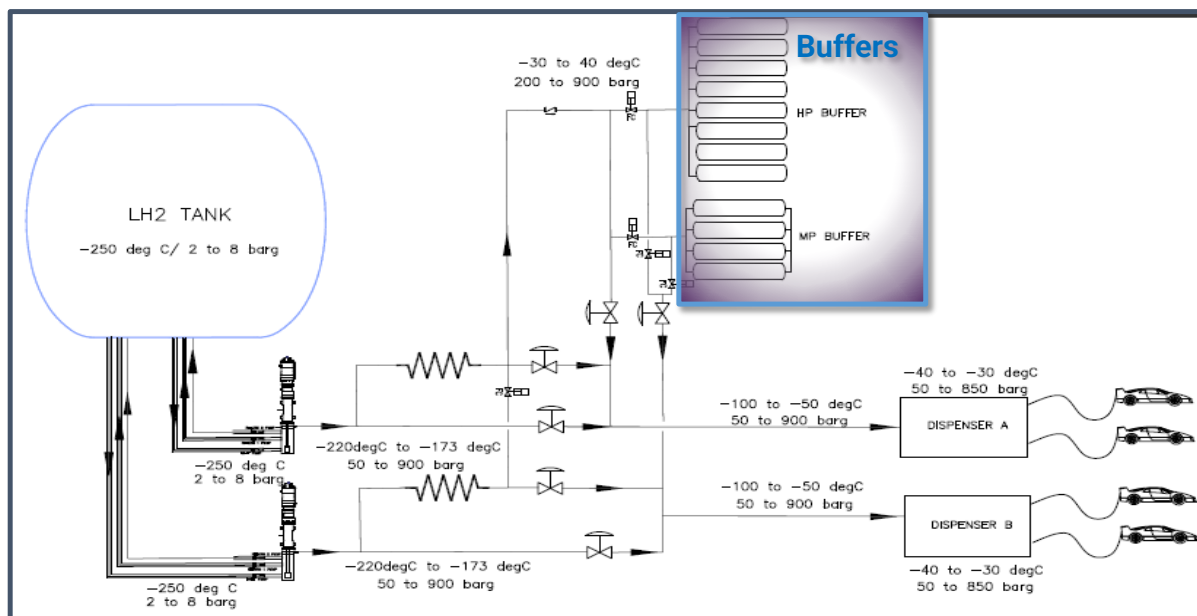


Figur 24. Ventilpanel.

På dette stadiet er hydrogen gassformet, og maksimumstrykket når 900 bar.

3.5.5 Gassbuffere

Gassbufferne i LHRS vises i figur 25.

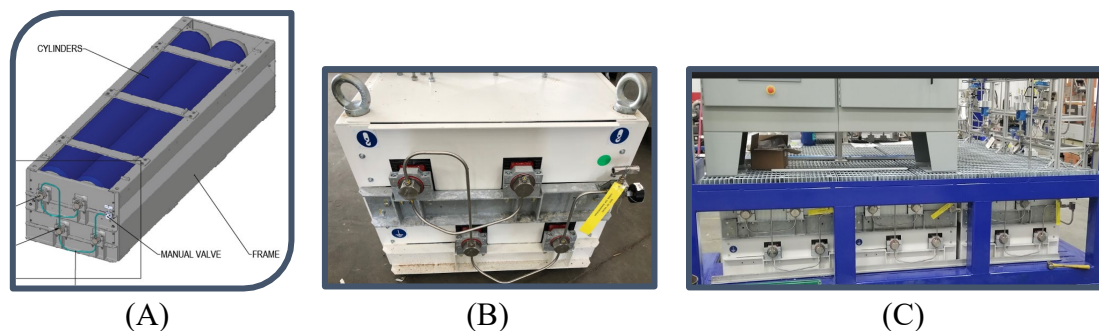


Figur 25. Prosessflyt for en LH2-basert tankstasjon – gassbuffere.

Maksimalt tillatt driftstrykk (MAWP) for bufferne er 1000 bar (100 MPa). Type-II-sylindere i stål og karbon omsluttet for å forsterke sylindrenes mekaniske styrke, brukes. I den viste

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

stasjonskonfigurasjonen har utvalgte sylindere et volum på 123 L. Disse sylindrene er pakket fire og fire i tre bunter som vist i Figur 26, og integrert i hoveddrammen.

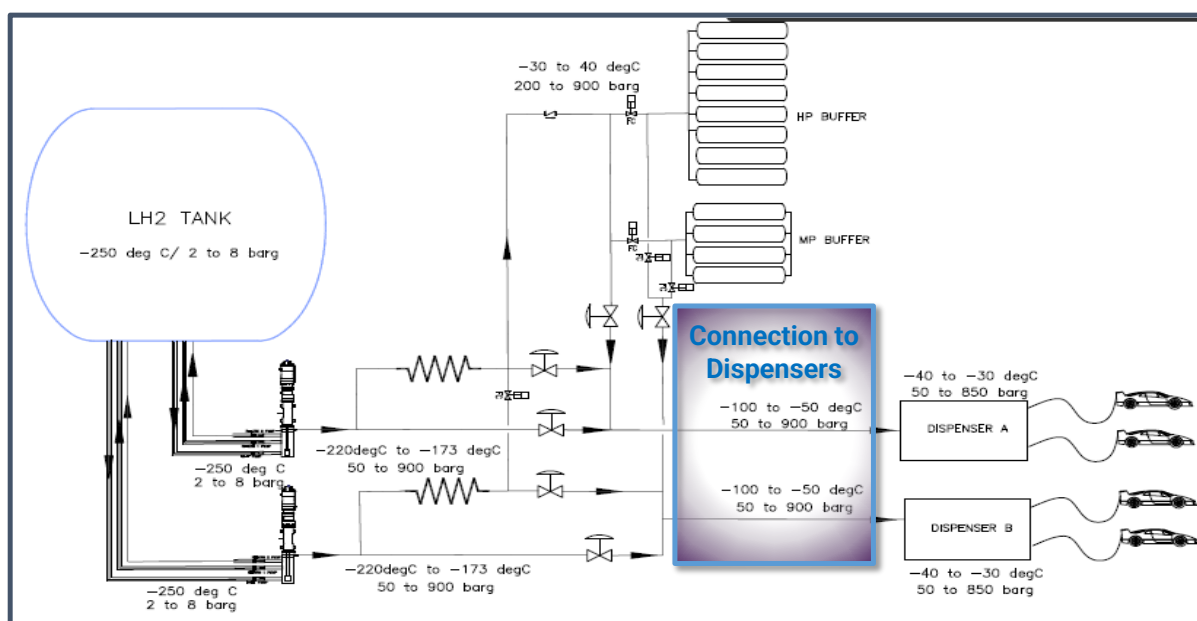


Figur 26. Høytrykksbufferer. (A) 4 type-II-bufferer i en bunt, (B) sammenkoblinger ved bufferhoder, (C) integrering av bunter i LHRs-transportrammen.

Hver bunt veier 3 t. Bufferer er brannbeskyttet takket være en bestemt isolering.

3.5.6 Tilkobling til dispenser

Tilkoblingen til dispenserene i LHRs vises i figur 27.

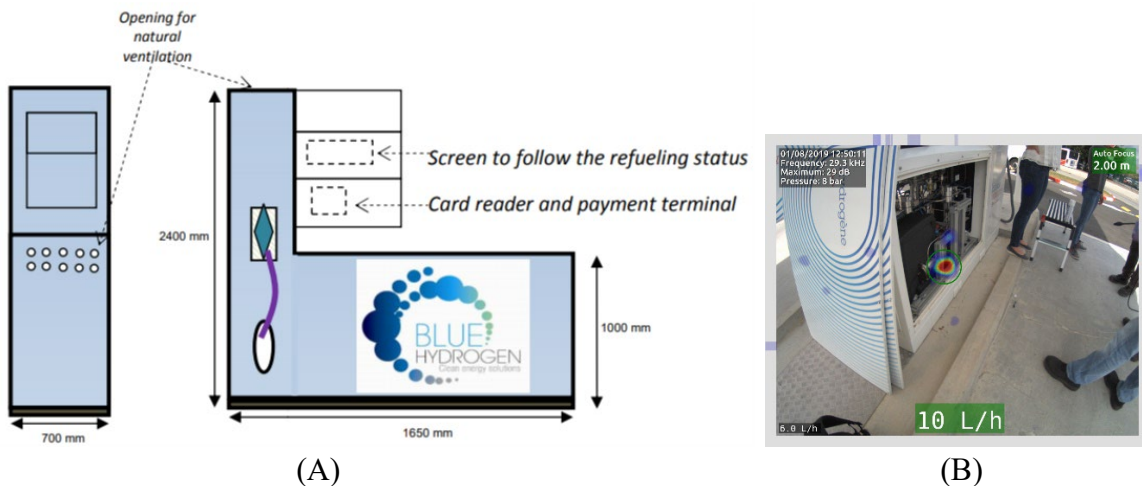


Figur 27. Prosessflyt for en LH₂-basert tankstasjon – tilkobling til dispenser(e).

Rør kan være mer enn 60 m lange. Det krever at de holdes kalde for å utføre vellykket påfylling. For å håndtere oppvarming ble det funnet en crossover-løsning og spesifikke smarte påfyllingsprosesser ble etablert i henhold til variasjonene i belastningen på stasjonen i løpet av dagen.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

3.5.7 Dispenser



Figur 28. (A) Hovedelementer i dispenser og veiledende mål, (B) ventiltransportramme.

Dispenseren muliggjør en rask, enkel og sikker forbindelse mellom stasjonen og kjøretøyet som skal fylle drivstoff. Konfigurasjonen til en typisk dispenser vises i figur 28.

Dispenseren består av undergrupper:

- Fordeling: Mast og ventilpanel med automatisk påfyllingsventil, drivstoffpistol og bruddkobling
- Kontroll: Operatørpanel – automatisk kontroll av påfylling – elektrisk panel – tilgangskontroll.

Som vist i figur 29 kan følgende funksjoner fremheves innenfor alle de tekniske egenskapene til dispenseren:

- Påfylling er automatisk og krever minimal handling fra kunden (pistol + startknapp).
- Kjøretøyets tilkobling eller pistolen vil være enkle å bruke og godkjent i henhold til SAE J2600-standarden.
- En bruddkobling sikrer et mekanisk avbrudd i påfyllingen hvis kjøretøyet kjører vekk fra dispenseren uten å fjerne drivstoffpistolen
- IR-drivstoffpistol (kompatibel med SAE J2799) for 700 bar rør.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur



(A)



(B)

Figur 29. (A) Bilde av dobbel dispenser, (B) drivstoffpistol.

Stasjonen kan fulle hydrogen fra to påfyllingsposisjoner samtidig til lette kjøretøy (2–10 kg) med den doble dispenseren.

Leveringstrykk i henhold til type dispenser er:

- 350 bar for bil med rekkeviddeforlenger
- 700 bar for brenselcellebil
- 350 bar for busser og lastebiler

Maksimal strømningshastighet er:

- 60 g.s-1 for bil
- 120 g.s-1 for buss og lastebil 350-bar påfylling.

Leveringstemperatur er fra -30 °C til +40 °C (fyllingsprotokoll: SAE J2601 H70 T40).

Når det gjelder sikkerhet, finnes følgende nær dispenseren eller på innsiden:

- H₂-føler inni dispenseren
- Naturlig ventilasjon av dispenseren
- Flammedetektor nær dispenseren
- Nødstopknapper

4. Produksjon

4.1 Dampreforming

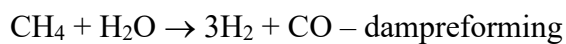
Dampreformingsprosessen bruker damp og en katalysator til å lage hydrogen fra et lett hydrokarbon som metan eller propan (se figur 30 og figur 31). Prosessen fjerner hydrogenet fra hydrokarbonet og fra vannet som er nødvendig for å omdanne alt resulterende karbon og oksygen til CO₂.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

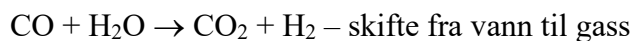


Figur 30. Air Liquide SMR-anlegg.

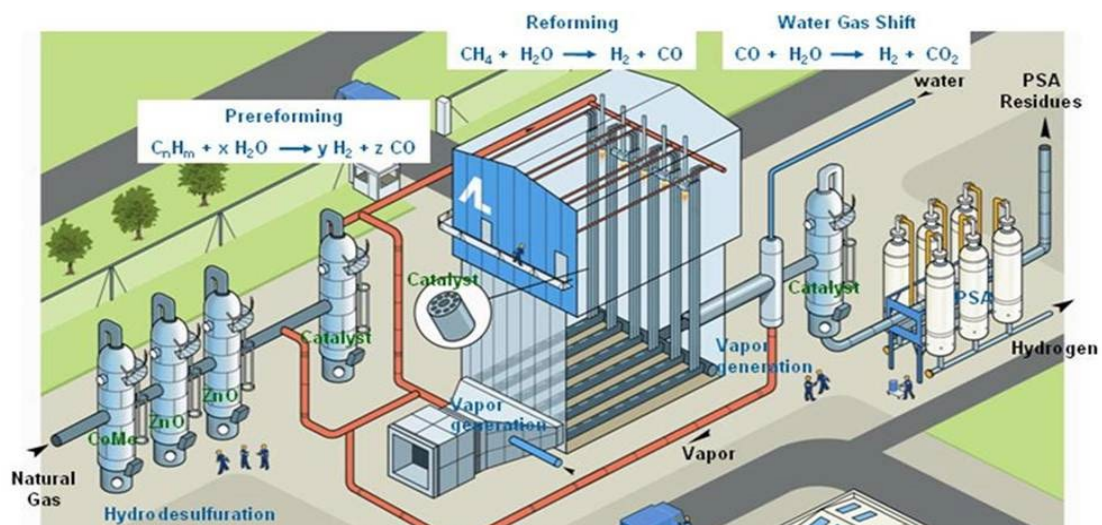
De to hovedtrinnene i konverteringen er som følger:



- Endoterm reaksjon: $\Delta H^\circ = + 206 \text{ kJ.mol}^{-1}$
- Katalytisk reaksjon: Ni/Al₂O₃
- 20–30 bar, 900–1000 °C, få minutter



- Svakt eksoterm reaksjon
- Katalytisk reaksjon: CuO ; Fe₂O₃; Cr₂O₃
- 20–30 bar, 400 °C (høy temperatur) / 200 °C (lav temperatur)



Figur 31. Skisse av et dampreformingsanlegg.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

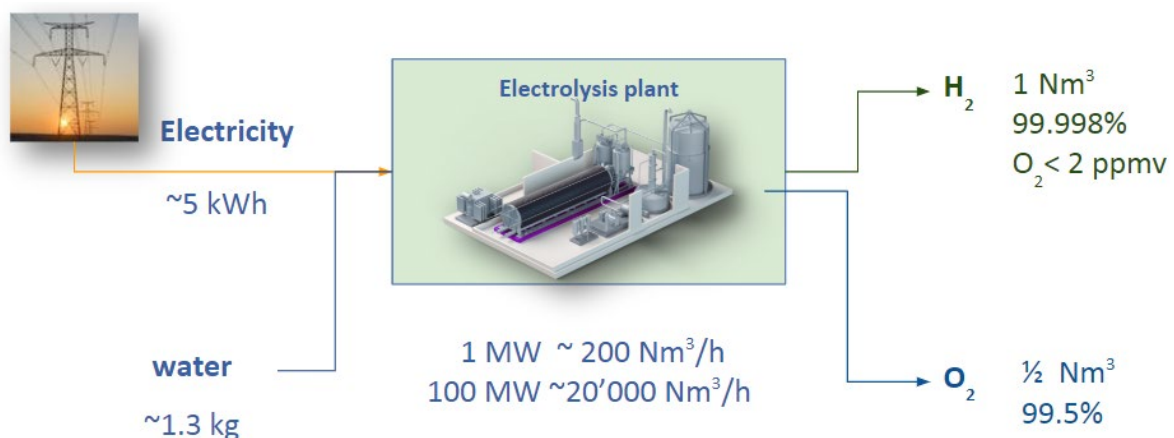
4.2 Elektrolysator

Vannelektrolyse omfatter splitting av vannmolekyler i deres bestanddeler (H_2 og O_2) ved at de passerer elektrisk strøm (se figur 32).



Figur 32. Prinsipp for elektrolyseprosessen.

Figur 33 viser følgende skisse av prosessen. Vann splittes av elektrisitet for å generere hydrogen og oksygen. Renheten til det genererte hydrogenet er ekstremt høy.



Figur 33. Elektrolysesystem.

Det er flere eksisterende elektrolyseteknologier med forskjellige modenhetsnivåer (også kalt teknologimodenhet (TRL)):

- Protonbyttmembran (PEM) elektrolysator – TRL 8
- Alkalisk elektrolysator – TRL 9
- Fast oksid-elektrolysator – TRL 6

Men de viktigste elektrolysator-teknologiene er alkaliske, som inneholder flytende elektrolytter (kalium eller natriumhydroksyd), og faste polymerelektrolytter, f.eks. PEM, elektrolysatorer. Hovedreaksjonene til forskjellige elektrolysatorer vises i figur 34.

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

	Proton Exchange Membrane	Alkaline Electrolysis	Solid Oxide Electrolysis
Cathode	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	$\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$
Anode	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$2\text{HO}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	$\text{O}^{2-} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^-$
	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2$	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2$	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2$

Figur 34. Hovedreaksjoner i henhold til elektrolyseteknologier.

De viktigste forskjellene mellom disse teknologiene er:

- Separatoren: diafragma eller membran.
- Elektrolytten: flytende, fast, syre eller basisk.



Figur 35. Skisse av Hydrogenics elektrolytator-transportramme.

I tillegg til elektrolytatorenheten krever en stasjon på stedet som genererer hydrogen ved elektrolyse, vannrensingssystemer og en hydrogenrensings- og tørkeenhet for å behandle hydrogenet som produseres. Mange elektrolytatorer genererer hydrogen ved relativt lavt trykk, f.eks. 10 til 25 bar, så ytterligere komprimering er nødvendig for å heve trykket til lagringstrykk.

4.3 Kondensator

Kondensering av H_2 er en svært energikrevende prosess. Minimumsarbeidet som kreves for kondensering av hydrogen (ved orto-para likevekt) er 3,92 kWh elektrisitet /kg H_2 eller 0,12 kWh /kWh H_2 . Typiske verdier for hele prosessen ligger imidlertid i området 8–14 kWh/kg for relativt store kondenseringsenheter. Å redusere energiforbruket til kondensatorer er et aktivt

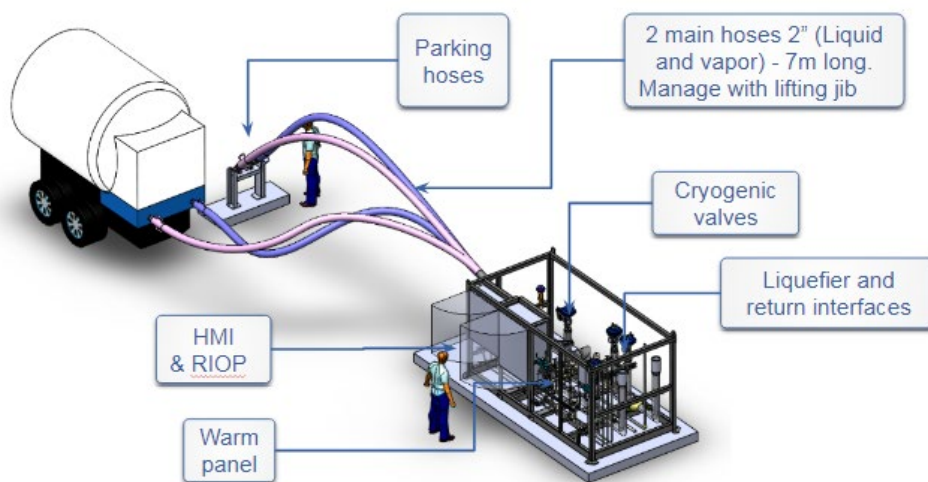
Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

tema for utvikling for LH₂-bransjen (se IDEALHy FCH JU-prosjektet for eksempel (<https://www.idealhy.eu/>)).

De fleste anlegg (11) er i Nord-Amerika. I Europa drives anlegg (3) i Frankrike (se figur 36), Nederland og Tyskland med en total kapasitet på 19 t.day⁻¹. Det største anlegget er for tiden 68 t/d (New Orleans, USA). Den nyeste (2017) kondensatoren (10 t.day⁻¹) eies av Airgas (nå Air Liquide) i Calvert City.



Figur 36. Air Liquide LH₂ tankstasjoner
(venstre: Little Town, USA; høyre: Becancour, Canada).



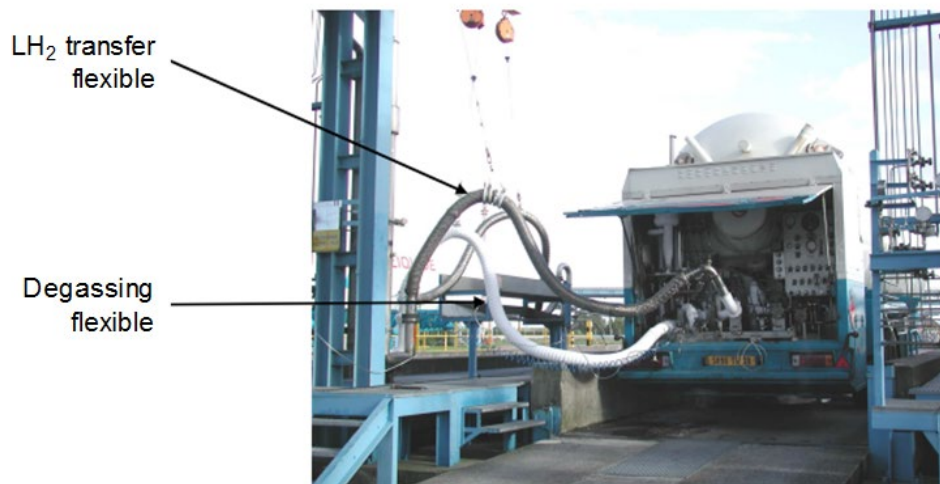
Figur 37. Generisk utførelse av lasteområde for LH₂ tilhengerfylling.

Figur 37 viser utførelsen til LH₂ tilhengerfylling. For å overføre LH₂ fra en beholder til en annen (for eksempel fra en stor beholder til en lastebil eller fra en tilhenger til et lager på bruksstedet) finnes to metoder:

- Trykkoppbygging (naturlig trykkoppbygging eller frivillig fordampning av LH₂ via en liten ekstern varmeveksler). Dermed blir trykket i «morlageret» større enn trykket i «datterlageret», og LH₂-overføring er enkelt. De viktigste ulempene med denne metoden er lang driftstid og en økning av trykket i «morlageret» som noen ganger fører til behov for en trykkutlufting.

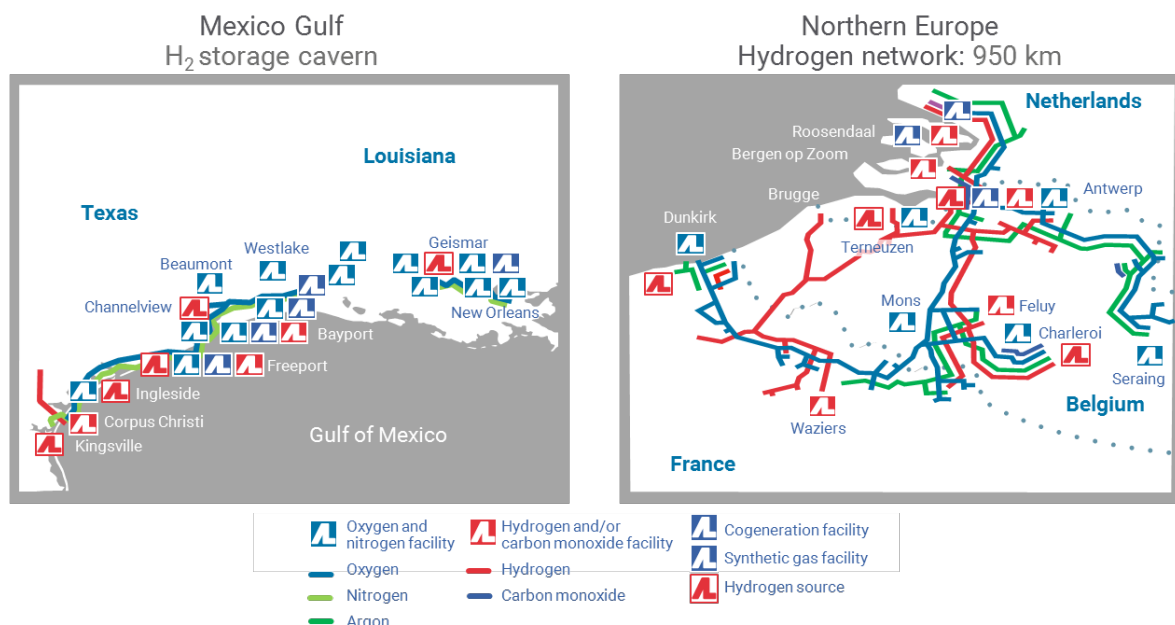
Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

- Pumping i «morlageret» ved bruk av en egnet kryogen sentrifugalpumpe. De viktigste ulempene med denne metoden er kostnaden for pumpen og behovet for hyppig vedlikehold av pumpen hovedsakelig på grunn av kavitasjon (lav tilgjengelig netto positiv sugehøyde (NPSH): forskjellen mellom væsketrykk og metningstrykk for damp i den vurderte forbindelsen – pga. lav LH₂-tetthet).



Figur 38. LH₂-tilhenger under overføring.

5. Rørledninger



Figur 39. Air Liquide hydrogenkilder og nettverk.

Rørledninger brukes til å transportere gassformige forbindelser i store mengder. Avhengig av egenskapene til den transporterte gassen og kravene til kundene kan trykket i rørledningene

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

varierte. For hydrogentransport kan trykket inne i rørledninger nå 100 bar. Figur 39 viser Air Liquides rørledningsnett og produksjonsanlegg for hydrogen, syngas og andre gasser i USA og Nord-Europa.

Som vist i figur 39 installeres disse rørledningene relativt nær produksjonsanleggene. Avhengig av avstanden mellom produksjonsanlegget og kunden på rørledningsnettet kan det kreves trykkstasjoner for å opprettholde måltrykk i rørledningen. Det er viktig å merke seg at bare store stasjoner er direkte forbundet med rørledninger. Tilhengere er den viktigste transportmetoden. I noen tilfeller kan produksjon på stedet være interessant.

6. Sikkerhetsfunksjoner i HRS og annen infrastruktur

(hva/hvor/for hva/normal og unormal (nød)operasjon / hva må gjøres/unngås under intervensjon)

Tabell 3. Sikkerhetsfunksjoner for elektrolytator.

Hva	Hvor	For hva
Prosessovervåking (trykk, temperatur)	Generelt	Oppdage lekkasje og dysfunksjon
ATEX-sertifisert utstyr	I transportrammen, som er et begrenset rom der det kan oppstå lekkasjer	Unngå antennelseskilder
H ₂ -deteksjon	Inne i transportrammen	Aktivere varsel og avstengingsventiler ved behov ved utilsiktet lekkasje
Flammedetektor (UV/IR)	Utenfor transportrammen	Aktivere varsel og avstengingsventiler ved behov ved utilsiktet antent utslipp

Tabell 4. Sikkerhetsfunksjoner for henger med gassformig hydrogen

Hva	Hvor	For hva
Skilleventiler	Sylindere	I henhold til ADR skal alle hydrogentanker isoleres med en ventil under transport.
TPRD	Spesielt på tilhengere med type IV-sylindere Plassert på taket av tilhengeren og rettet oppover	Unngå trykk og sylinderbrudd ved brann NB: ikke obligatorisk, men satt opp på noen tilhengere med høy kapasitet med type IV-sylindere

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

Tetthetsprøve	Beholdere på henger	Unngå store lekkasjer etter påfylling på henger
---------------	---------------------	---

Tabell 5. Sikkerhetsfunksjoner for rørledninger for høytrykkshydrogen.

Hva	Hvor	For hva
Trykkovervåking	Rørledning	Oppdage store lekkasjer i nettverket
Periodisk inspeksjon	Rørledning	Oppdage beleggdefekter og unngå store lekkasjer
Katodisk beskyttelse	Rørledning	Unngå rørledningskorrosjon

Tabell 6. Sikkerhetsfunksjoner for gassformig HRS.

Hva	Hvor	For hva
Kvalifisert og validert slange og beslag	Prosess og dispenser	Unngå utilsiktede lekkasjer
Periodisk bytte av slange	Dispenser	Unngå utilsiktede lekkasjer
H ₂ -deteksjon	Inni prosessbeholderen Inni dispenser	Aktivere varsel og avstengingsventiler ved behov ved utilsiktet lekkasje
Flammedetektor (UV/IR)	I prosessbeholderen Utenfor, i nærheten av dispenser	Aktivere varsel og avstengingsventiler ved behov ved utilsiktet antent utslipp
Automatisk avstengningsventil	Flere mellom H ₂ -tank og dispenser	Begrense H ₂ -beholdningen ved utilsiktet utslipp
Overvåking av prosessstrykk	Generelt	Oppdage unormalt trykkfall på grunn av lekkasje eller rørbrudd
Naturlig ventilerte lukkede rom	Prosessbeholder Dispenser	Unngå å nå brennbarhetsgrensene for H ₂ -luft-blanding ved utilsiktet utslipp
Tvunget ventilasjon	Prosessbeholder for noen modeller	Unngå å nå brennbarhetsgrensene for H ₂ -luft-blanding ved utilsiktet utslipp hvis naturlig ventilasjon ikke er mulig eller ikke er effektiv nok
ATEX-sertifisert utstyr	I lukkede rom hvor det kan oppstå lekkasjer (dvs. transportramme og dispenser)	Unngå antennelseskilder
Jording av slange	Dispenser	Forhindrer gnister forårsaket av statisk elektrisitet under tanking

Leksjon 12: Hydrogenstasjoner og infrastruktur

Automatisk lekkasjetest før fylling	Generelt	Unngå utilsiktede lekkasjer
Strømningsbegrensere	Generelt	Begrense strømningshastigheten ved utslipp eller rørbrudd
Automatisk stengetid	Generelt	Lukke H ₂ -mateventiler ved slangebrudd eller lekkasje
Bruddkobling for slange	Dispenser	Unngå større lekkasjer ved å lukke forsyningen hvis den rives opp fordi man glemte å koble den bilen
Støtbeskyttelse (pullert)	Dispenser	Beskytte dispenseren mot større mekanisk støt ved utilsiktede slag i kjøretøy og unngå katastrofal lekkasje
Nødstoppknapp	Noen meter fra dispenseren	Lukke H ₂ -mateventiler i nødtilfeller
Ledende (jordet) betongplate	Dispenser	Forhindre gnister forårsaket av statisk elektrisitet under tanking

Tabell 7. Sikkerhetsfunksjoner for henger med flytende hydrogen

Hva	Hvor	For hva
To sikkerhetsventiler med minst én pneumatisk	Tank	I henhold til ADR skal alle hydrogentanker isoleres med en ventil under transport.
Sikkerhetsventil for kjøring på vei	Tank	Evakuere overtrykk
Bruddplate	Tank	Unngå brudd i beholderen ved trykkøkning
Trykkavlastningsventil	Tank	Begrense risikoen for fordampningstap

Tabell 8. Sikkerhetsfunksjoner for beholdere med flytende hydrogen

Hva	Hvor	For hva
Trykk- og temperaturovervåking	Tank	Finne feil på isolasjon
Nivåovervåking	Tank	Unngå overfylling
Bruddplate	Tank	Unngå brudd i beholderen ved trykkøkning
Trykkavlastningsventil	Tank	Begrense risikoen for fordampningstap

Takk

HyResponse-prosjektet krediteres ettersom materialet som presenteres her, er utvidet basert på de originale HyResponse-leksjonene.

Referanser

1. Hydrogen refueling station analysis model (HRSAM). Argonne National Laboratory. <https://hdsam.es.anl.gov/index.php?content=hdsam> [26.05.2021]
2. Gaseous hydrogen – Fuelling stations. Part 1: General requirements. BSI Standards Publication. BS ISO 19880-1: 2020
3. Reddi K, Elgowainy A, Rustagi N, Gupta E. Impact of hydrogen refueling configurations and market parameters on the refueling cost of hydrogen. Int J Hydrogen Energy 2017;42:21855-21865.
4. Reddi K, Elgowainy A, Rustagi N, Gupta E. Impact of hydrogen SAE J2601 fueling methods on fueling time of light-duty fuel cell electric vehicles. Int J Hydrogen Energy 2017;42:16675-16685.
5. SAE (Society of Automotive Engineers). Fueling protocols for light duty gaseous hydrogen surface vehicles. Surface Vehicle Standard. J2601. Juli 2014.
6. Elgowainy A, Reddi K, Sutherland E, Joseck F. Tube-trailer consolidation strategy for reducing hydrogen refueling station costs. Int J Hydrogen Energy 2014;39:20197-20206.
7. NIST (National Institute of Standards and Technology). Thermophysical properties of fluid systems. 2016 Hentet fra: <http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>. [26. mai 2021].