



European Train the Trainer Program for Responders

## Leksjon 4

# Hydrogens kompatibilitet med forskjellige materialer

## NIVÅ I

### Brannkonstabel

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

Dette emnet er også tilgjengelig på nivå I–III.

Denne leksjonen er en del av et opplæringsmaterieell 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, resultatene fra HyResponse har blitt brukt som grunnlag





### 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 gir en oversikt over hydrogens påvirkning på forskjellige typer materialer og hydrogenpermeasjon, som er svært relevant for teknologier for lagring av hydrogen. Selv om hydrogen er en ikke-etsende gass, kan reaksjonen til hydrogen med noen metaller ved høy temperatur danne etsende hydrid, som deretter genererer gassbobler i metallgitteret, kjent som blæredannelse. Ved lave temperaturer kan noen metaller bli sprøere på grunn av endringen fra duktil til sprø oppførsel, som kalles kald sprøhet. Hydrogens påvirkning på polymer kan også føre til oppsvulming, blæredannelse og forringelse av polymeren, noe som øker permeasjonshastigheten for hydrogen gjennom polymermatrisen. Permeasjonshastigheten for hydrogen gjennom metallbeholdere (dvs. type I og type II) eller beholdere med metalliske forbindelser (dvs. type III) er ubetydelig. Hydrogenets permeasjonshastighet gjennom type IV-beholdere må imidlertid kontrolleres korrekt til en svært lav verdi for å unngå at hydrogenkonsentrasjonen når LFL for hydrogen i luft (4,0 volumprosent).

## Nøkkelord

Hydrogensprøhet, metall, polymer, blæredannelse, hydrogenpermeasjon, demping



## 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.....	6
3. Hydrogens påvirkning på metaller .....	6
4. Hydrogens påvirkning på polymere materialer.....	7
5. Begrensning av hydrogenpermeasjon .....	8
6. En ny standard for polymer-hydrogen-kompatibilitet.....	8
Takk.....	9
Referanser.....	9



## 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) 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

Temaet hydrogens påvirkning på og kompatibilitet med forskjellige materialer er stort. I denne delen av leksjonen vil to forskjellige aspekter bli vurdert: samspillet mellom hydrogen og metalliske og polymere materialer, som hovedsakelig brukes til lagringstankene. Siden molekylene og atomene er så små, kan hydrogen lett absorberes av forskjellige materialer, inkludert de som brukes til lagring av hydrogen. Dette fører igjen til forringelse av materialets mekaniske egenskaper, noe som kan resultere i uønskede hydrogenlekkasjer og konstruksjonssvikt.

Målet her er å gi nødetatene tilstrekkelig kunnskap til å ta relevante beslutninger. Hydrogenets påvirkning på materialene er relevant for alle bruksområder av hydrogenbrenselceller. I tillegg til å være kompatibelt med hydrogen, utsettes materialet som brukes til lagring, ofte for høyt trykk, lave temperaturer og syklisk eller statisk belastning. Derfor må de velges deretter. Valget av materialer som er compatible med hydrogen, er omtalt i ISO-standarder som gjelder for FCH-teknologier (mer detaljert informasjon om relevant RCS i leksjonen «Regler, retningslinjer og standarder for nødetatene» i HyResponse-prosjektet, [http://www.hyresponse.eu/files/Lectures/RegulationCodesStandards\\_slides.pdf](http://www.hyresponse.eu/files/Lectures/RegulationCodesStandards_slides.pdf)).

«Hydrogen har lav viskositet og små atomer som kan absorberes i materialer, så lekkasjer og sprøhet av visse materialer er mulig, noe som kan resultere i konstruksjonssvikt» [ 1 ]. Mekanisk nedbrytning av konstruksjonsmaterialer under påvirkning av hydrogen er et alvorlig problem har og forårsaket mange hendelser/ulykker under produksjon, lagring, transport og bruk [2]. Riktig valg av egnede materialer for komponentene er avgjørende for sikkerheten til hydrogenlagringssystemer. Dette gjelder rør, vegger i tanker, påfyllingsstuss, ventiler, beslag osv. Stumfilmen produsert på 1950-tallet av Delft University illustrerer hvordan hydrogenbobler oppstår fra stål i defekter og andre steder (<https://www.youtube.com/watch?v=bv9ApdzalHM>).

Ved slutten av denne leksjonen skal du kunne:

- Forklare mekanismene for hydrogens påvirkning på metalliske og polymere materialer
- Fastslå hvilken innvirkning hydrogensprøhet har på sikkerheten til hydrogenlagringssystemer
- Definere fenomenet hydrogenpermeasjon
- Peke på den sikre permeasjonshastigheten for hydrogenlagre innebygd i personbiler og busser.

## 3. Hydrogens påvirkning på metaller

Kompatibiliteten mellom hydrogen og metaller påvirkes av kjemiske påvirkninger og fysiske effekter, som inkluderer:



- Korrosjon: tørr korrosjon (ved høye temperaturer, *hydrogenangrep*), våt korrosjon (mest vanlig, forårsaket av fuktighet), korrosjon forårsaket av urenheter i en gass.
- Hydrogensprøhet (HE).
- Sprøhet ved lave temperaturer ('kald sprøhet').
- Kraftige reaksjoner (f.eks. antennelse).

En hel rekke faktorer påvirker nivået av HE-prosessen [5] :

- Materiale:
  - Mikrostruktur
  - Kjemisk oppbygning
  - Varmebehandling og mekaniske egenskaper
  - Sveising
  - Kalddeformasjon (arbeidsharding)
  - Ikke-metalliske inneslutninger
- Miljø:
  - Hydrogenrenhet
  - Hydrogenpartialtrykk
  - Temperatur
  - Belastning og deformasjon
  - Eksponeringstid
- Design og overflateforhold:
  - Stressnivå
  - Stresskonsentrasjon
  - Overflatefeil

## 4. Hydrogens påvirkning på polymere materialer

Som det ble nevnt tidligere, brukes de polymere materialene i økende grad til fôringer og mantling av hydrogentanker. Til mantling av komposittanker (type III og IV) kan glass, aramid eller karbonfibre brukes [3]. Disse fibrene kjennetegnes av strekkmodul, strekkfasthet og forlengelse [3]. Polymerer finnes også i noen brenselceller som et materiale for membraner. Les om en hendelse som skjedde på en PEM FC [7] . To fenomener som ofte er forbundet med



polymere materialer som brukes i FCH-applikasjoner: en *permeasjon* av hydrogen gjennom materialene og *nedbrytning av de mekaniske egenskapene* til polymerene. Med tanke på materialer utgjør hydrogenlagring litt av en utfordring. Materialene som brukes til lagring av hydrogen, må være lette, men skal også kunne tåle ekstremt høyt trykk samtidig som de opprettholder sin integritet. Det er flere uønskede effekter av hydrogen på polymere materialer:

## 5. Begrensning av hydrogenpermeasjon

Permeasjon er et inherent fenomen for alle gasser som er i kontakt med polymerer, og er et resultat av oppløsning og diffusjon av hydrogengassen i polymermatrisen. Siden molekylene er så små, forsterkes hydrogendiffusjonen og dermed permeasjonen [3].

Ifølge SAE J2578 (2009) kan permeasjon for CGH<sub>2</sub>-systemer defineres som en diffusjon av gass gjennom vegger eller sprekker i en lagringstank, et rør eller kontaktflatemateriale [9]. Det er verdt å merke seg at hydrogen i atomform trenger gjennom metaller, mens permeasjon av polymerer skjer i molekylær form [10]. Beholdere av type IV bruker en polymerfôring, for eksempel laget av polyetylen med høy tetthet, vanligvis mantlet med karbonfibre i en harpiksmatrise. Andre fibre som glass eller aramid kan også brukes, men de fleste bilsystemer bruker karbonfiber. Mantlingen rundt beholderen varierer i tykkelse avhengig av belastningsfordelingen. Type III- eller Type IV-beholder brukes til de fleste bilapplikasjoner.

## 6. En ny standard for polymer-hydrogen-kompatibilitet

I dag mangler det testmetoder for å evaluere polymeregenskaper i hydrogenapplikasjoner for å bestemme konstruksjonsrobusthet. Polymerkompatibiliteten bør skje på materialnivå. En ny standard kalt «CHMC 2 – Test Methods for Evaluating Material Compatibility in Compressed Hydrogen Applications – Polymers» er laget og publisert (august 2019) av ANSI/CSA [15]. Resultatene av disse testene er ment å gi en grunnleggende sammenligning av polymermaterialers ytelse i applikasjoner som bruker komprimert hydrogen. En liste over prioriterte tester foreslås. Den første er hydrogenpermeasjon, som skal vise om polymeren er ute av stand til å inneholde hydrogen gjennom materialet. Den andre er den fysiske stabiliteten for å kontrollere om polymeren er ute av stand til å opprettholde målene (oppsvulming eller krymping) og/eller masse. Den tredje testen er en rask syklustekst som dreier seg om materialnedbrytning (ekstrudering, sprekker eller blærer) på grunn av hydrogeneksponering. Dedikerte tester er valgt for å følge endringer i polymeregenskaper for å sjekke om materialet er ute av stand til å opprettholde mekaniske egenskaper for konstruksjon og komprimering. En test er reologisk. En dynamisk friksjonsslitasje skal følge hvis polymeren ikke klarer å opprettholde kontaktflateforsegling og konstruksjon med berøringsflate. Til slutt er den siste kritiske testen materialkontaminasjonstest der spørsmålet er materialer som frigjør bestanddeler som forårsaker urenheter i hydrogenet.



## Takk

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

## Referanser

1. Introduction to Hydrogen for Code Officials, U.S. Department of Energy, Washington DC. Tilgjengelig fra: [http://www.hydrogen.energy.gov/training/code\\_official\\_training/](http://www.hydrogen.energy.gov/training/code_official_training/) [6.11.20].
2. H2 Incidents, H2 Incident Reporting and Lessons Learned (database). Tilgjengelig fra: <http://www.h2incidents.org/> [6.11.20].
3. Barthelemy, H (2011). Hydrogen storage technologies, compatibility of materials with hydrogen. Teaching materials of Joint European Summer School for fuel cell and hydrogen technology. August 2011, Viterbo, Italia.
4. Kirchheim R, Pundt A (2014). 25 - Hydrogen in Metals. Physical Metallurgy (femte utgave): 2597–2705
5. Barthelemy, H (2006). Compatibility of metallic materials with hydrogen. Teaching Materials of the 1<sup>st</sup> European Summer School on Hydrogen Safety, 15.–24. august 2006.
6. ISO/TR 15916 (2004). Basic considerations for the safety of hydrogen systems. International Organization for Standardization. ISO Technical Committee 197 Hydrogen Technologies. International Organization for Standardization, Geneve.
7. Husar, A, Serra, M, Kunusch, C. 2007 Description of gasket failure in a 7 cell PEMFC stack. Journal of Power Sources, Vol. 169, s. 85–91.
8. Mafeld, A. 2015 CPVs: Regional trends in the global market. JEC Asia: Composite Pressure Vessels Forum. Singapore, 22. oktober 2015.
9. SAE J2579 (2009). Technical information report for fuel systems in fuel cell and other hydrogen vehicles, SAE International, Detroit, Michigan, USA, januar, 2009.
10. Molkov, V (2012). Fundamentals of hydrogen safety engineering, Part I and Part II. Tilgjengelig fra: [www.bookboon.com](http://www.bookboon.com), gratis nedlasting av e-bok.
11. Mitlitsky, F, Weisberg, AH og Blake, M (2000). Vehicular hydrogen storage using lightweight tanks. Lawrence Livermore National Laboratory. Proceedings of the 2000 U.S. DOE Hydrogen program review, NREL/CP-570e28890, USA.
12. Kommisjonsforordning (EU) nr. 406/2010, av 26. april 2010 om gjennomføring av europaparlaments- og rådsforordning (EF) nr. 79/2009 om typegodkjenning av hydrogendrevne motorvogner Den europeiske unions tidende. Vol. 53, 18. mai 2010. Tilgjengelig fra: <http://eur->



[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:122:FULL:EN:PDF](http://lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:122:FULL:EN:PDF) [6.11.20]  
(norsk versjon: <https://lovdata.no/static/NLX3/32010r0406.pdf> [21.12.21]).

13. Saffers, JB, Makarov, DV og Molkov, VV (2011). Modelling and numerical simulation of permeated hydrogen dispersion in a garage with adiabatic walls and still air. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 36 (3), s. 2582–2588.
14. Adams, P, Bengaouer, A, Cariteau, B, Molkov, V og Venetsanos, AG (2011). Allowable hydrogen permeation rate from road vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 36, s. 2742–2749.
15. CSA/ANSI CHMC 2, 1. utgave, august 2019 - Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications – Polymers.