

Kontaktperson RISE

Paul Adams, Elektrifiering &
Pålitlighet - Energiomvandling
Säkerhet och Transport
010 516 5414
paul.adams@ri.se

Datum

2023-03-29

Beteckning

P116670

Sida

1 (24)

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Studie - Vätgas säkerhetsutrustning, väteförsprödning, standarder mm

RISE Research Institutes of Sweden AB
Säkerhet & Transport

Utfört av

Paul Adams, Elektrifiering & Pålitlighet - Energiomvandling
Andreas Anderson, Elektrifiering & Pålitlighet - Miljöåtalighet
Jonatan Gehandler, Brand och Säkerhet - Samhällssäkerhet

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress

Box 857
501 15 BORÅS

Besöksadress

Brinellgatan 4
501 15 BORÅS

Tfn / Fax / E-post

010 516 5414
-
paul.adams@ri.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte RISE
i förväg skriftligen godkänt annat.

1. INTRODUKTION & BAKGRUND

Uppdraget är att genomföra en studie av komposit-behållare för vätgaslagring med inriktning vätgas säkerhetsutrustning, väteförsprödning, standarder mm. Detta är en kompletterande undersökning till uppdraget "Studie - Vätgas kompositbehållare, aggregat och CE-märkning" som genomförs parallellt på begäran av MSB.

Uppdraget har beställts av MSB för att besvara ett antal frågor från MSB mot följande bakgrund:

Komposit-behållare används i olika tillämpningar för att lagra vätgas oftast producerad från fossilfri el som sol- och vindkraft i mindre skala eller för reservkraft. Behållarna, ofta i form av liggande gascisterner men förekommer även som stående cylindrar, trycksätts med ett tryck på 250-350 bar (obs detta ex. avser inte begränsa studiens omfattning) och är vanligen samman kopplade med en kompressor uppströms och en tankstation alternativt en bränslecells anläggning nedströms. Liknande behållare kan även utföras i form av s.k. MEG-containerar som kan transporteras och sedan ställas upp för stationär användning under en tid. Fordonstankar ska dock inte omfattas av studien.

MSB vill ta reda på hur väl hanteringen skyddas av reglerna i bland annat Arbetsmiljölagens föreskrifter AFS2016:1 och AFS 2017:3 och lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor med föreskrifter MSBFS 2020:1, MSBFS 2013:3 och SRVFS 2004:7 i teorin och i praktiken samt genom att relevanta standarder efterlevs.

Olika ord används för tryckkärl, till exempel tank, behållare, gasflaska, cylinder, container, pressure vessel, osv, men ord har använts i svaren på MSB-frågorna enligt definitionerna i AFS 2016:1:

Behållare: Konstruerats och tillverkats för att innehålla fluider under tryck.

Tryckkärl: Behållare som konstruerats och tillverkats för att innehålla fluider under tryck, inkluderande till behållaren direkt sammanfogade delar fram till anslutningspunkten till annan anordning. Ett tryckkärl kan innehålla ett eller flera rum. Exempel på direkt sammanfogade delar är ventiler, adaptrar, pluggar eller motsvarande.

Aggregat: Flera tryckbärande anordningar som satts samman av en tillverkare för att bilda en integrerad och funktionell enhet.

2. OMFATTNING

Studien begränsas till vätgas i gasfas. Fordonstankar omfattas inte av studien. Mycket av utvecklingsarbetet för komposit vätgasbehållare genomfördes dock för vägfordonstillämpningar. Som ett resultat härleds standarderna för stationära kompositapplikationer till en viss del från vägfordonsföreskrifter och standarder. Därför hänvisas ofta till dem i denna rapport för att förstå bakgrunden och till och med användbarheten av dem.

3. REGELVERK OCH STANDARDER BAKGRUND

3.1 Regelstruktur

3.1.1 Direktiv (EU)

Ett direktiv sätter upp mål som medlemsländerna ska nå, men de får själva bestämma hur det ska gå till (1).

En EU-förordning (regulation) är däremot en bindande rättsakt som alla EU-länder ska tillämpa i dess helhet.

3.1.2 Harmoniserade standarder

En harmoniserad standard är en europeisk standard som utvecklats av en erkänd europeisk standardiseringsorganisation: CEN, CENELEC eller ETSI (2). Den tas fram av en av dessa organisationer på begäran av Europeiska kommissionen. Tillverkare, andra ekonomiska aktörer eller organ för bedömning av överensstämmelse kan använda harmoniserade standarder för att visa att produkter, tjänster eller processer överensstämmer med relevant EU-lagstiftning. Referenser till harmoniserade standarder ska offentliggöras i Official Journal of the European Union (OJEU).

Det är frivilligt att använda dessa standarder. Tillverkare, andra ekonomiska aktörer eller organ för bedömning av överensstämmelse kan välja en annan teknisk lösning för att visa överensstämmelse med de obligatoriska legala kraven. Inom ramen för vissa direktiv eller förordningar kallas frivilliga europeiska standarder som stöder genomförandet av rättsliga krav inte ”harmoniserade standarder”.

3.2 Aktuella Regelverk

3.2.1 Regelverk för stationära anordningar

Direktiv 2014/68/EU - Pressure Equipment (PED)

PED (3) tillsammans med relaterade direktiv såsom direktiv 2010/35/EU transportabla tryckbärande anordningar (TPED) (4) ge en europeisk rättslig ram för utrustning som är utsatt för tryck. PED behandlar utrustning och aggregat vars högsta tillåtna tryck överstiger 0,5 bar, och inkluderar tryckkärl, rörledningar, säkerhetstillbehör och trycktillbehör. Enligt direktivet ska tryckbärande anordningar vara säkra, uppfylla väsentliga säkerhetskrav som omfattar konstruktion, tillverkning och provning, uppfylla lämpliga förfaranden för bedömning av överensstämmelse och bära CE-märkning och annan nödvändig information. Kraven måste vara uppfyllda vid tillverkningsstillfället och innan de släpps ut på marknaden. Viktiga bilagor inkluderar:

Bilaga I: Väsentliga säkerhetskrav / Särskilda krav på tryckbärande anordningar

Bilaga II: Tabeller för bedömning av överensstämmelse

Bilaga III: Förfaranden för bedömning av överensstämmelse

Direktivet förklaras i officiella riktlinjer (5).

Som ett direktiv måste nationella införlivandeåtgärder vidtas, och för Sverige finns dessa också (6), den viktigaste av dem är AFS 2016:1 (se nedan).

Tryckbärande anordningar (AFS 2016:1), föreskrifter

Den svenska implementeringen av PED publiceras av Arbetsmiljöverket som AFS 2016:1 (Tryckbärande anordningar) (7). Föreskrifterna gäller konstruktion, tillverkning och bedömning av överensstämmelse för tryckbärande anordningar och aggregat vars högsta tillåtna tryck, är högre än 0,5 bar.

Harmoniserande standarder till PED

PED hänvisar liksom andra europeiska direktiv, till "harmoniserade standarder". Att uppfylla harmoniserade standarder ger en presumtion om överensstämmelse med motsvarande tekniska krav som anges i direktivet, och en lista över relevanta standarder finns tillgänglig (8).

Det finns en sammanfattning av hänvisningar till harmoniserade standarder som offentliggjorts i Europeiska unionens officiella tidning för Direktiv 2014/68/EU (PED) (9).

En svenskförklaring för sammanfattningslistan över harmoniserade standarder finns (10).

Svensk standardserie SS-EN 13445 (till exempel (11)) är en harmoniserad standard för PED men är inte specifik för vätgas eller kompositbehållare.

Icke-harmoniserande standarder

Svensk Standard SS-EN 17533:2020 "Vätgas - Gasflaskor och storflaskor för stationär lagring" (12) är inte harmoniserad mot PED eller något annat EU-direktiv (13) (14). SS-EN 17533: 2020 kan ha sitt ursprung i en vägfordonsstandard, till exempel ISO 19881. Ett liknande ISO-utkast ISO/FDIS 19884 Ed.1.0 daterat 2019 (15) avvisades och har ersatts av ett nyligen släppt Committee Draft ISO/CD 19884-1, Gaseous hydrogen — Cylinders and tubes for stationary storage — Part 1: General Requirements (16).

3.2.2 Regelverk för transportabla anordningar

Direktiv 2010/35/EU - Transportable Pressure Equipment (TPED)

Direktivet om transportabla tryckbärande anordningar 2010/35/EU (TPED) (4) gäller konstruktion, tillverkning, bedömning av överensstämmelse, periodisk inspektion, mellanliggande inspektion, exceptionella kontroller och förnyad bedömning av överensstämmelse för tryckkärl som används för transport av klass 2-gaser, täcks av respektive:

- Avsnitt 6.2 i ADR (till exempel transportabla flaskor, driftsutrusning, tryckfat och gasflaskpaket, kemikalier under tryck, slutna kryogena behållare, aerosolbehållare, engångsbehållare för gas), och
- Avsnitt 6.8 i ADR (till exempel tankar (tankfordon), avmonterbara tankar, batterifordon, tankcontainrar, växeltankar och MEG-container (gasflaskor som är förbundna med varandra med ett samlingsrör i en ram)).

TPED inkluderar tillhörande ventiler och andra tillbehör med direkt säkerhetsfunktion, när så är lämpligt, och inkluderar både påfyllningsbara och icke-återfyllbara tryckkärl.

Transportabel tryckbärande utrustning som överensstämmer med TPED måste bära π (pi)-märkningen för att indikera överensstämmelse med direktivet. Anordningarna ska även vara försedda med den märkning som föreskrivs i reglerna om internationell transport av farligt gods på väg (ADR), på järnväg (RID) och på inre vattenvägar (ADN).

Transportabla tryckbärande anordningar (MSBFS 2011:3), föreskrifter

Den svenska implementeringen av TPED publiceras av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap som MSBFS 2011:3 Föreskrifter om transportabla tryckbärande anordningar (17).

3.2.3 Andra relevanta krav

AFS 2017:3 Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om användning och kontroll av trycksatta anordningar och säkerhetsutrustning (18).

MSBFS 2013:3 Föreskrifter om tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor (19).

MSBFS 2020:1 Föreskrifter om hantering av brandfarlig gas och brandfarliga aerosoler (20)

Seveso Lag och förordning inom lagstiftningsområdet ”Allvarliga kemikalieolyckor/Seveso”, samt MSB:s föreskrifter inom området (21).

4. ISOLERING

4.1 Beskrivning av tänkbara tankisoleringsanordningar (auto-shut off/non-return or excess flow valves) för att begränsa utflödet från en skadad sammankopplingsledning mellan behållarna (som kunde ha förhindrat olyckan i Stockholm 1983).

Stockhomolyckan 1983 (22) resulterade i att cirka 14 kg vätgas släpptes ut på Östermalm, centrala Stockholm från ett transportabelt flaskpaket för industrigas. Det bör noteras att detta var en olycka som involverade ett transportabelt flaskpaket för industrigas och inte en stationär installation, även om lärdomar kan dras av det. Flaskpaketet innehöll 18 sammankopplade cylindrar sammankopplade med flexibla slangar med två manuella ventiler, varav den ena var förseglad och den andra användes för fyllning. Utsläppet skedde under leverans av olika industrigas till olika platser runt Stockholm. Rapporten anger att en av sammankopplingsledningarna i vätgascylinderpallen bröts eller separerades vid ett tryckkärls T-koppling, vilket resulterade i att hela innehållet i aggregatet släpptes genom två utlösningspunkter (tryckkärls T-koppling och separerat rör). Rapporten innehöll dock ett fotografi som visade två brutna anslutningar och fyra utlösningspunkter, vilket är vad som antogs i en senare forskningsartikel (23). Försenad antändning av den frigjorda vätgasen inträffade, vilket resulterade i en explosion och betydande skador inom en radie på 90 meter. Det berörda cylinderhuvudet i aggregatet skyddades av en 4 mm tjock metallplåtstruktur. Den officiella rapporten föreslog att en mutter som ansluter ett av sammankopplingsrören till en cylindrs T-koppling kanske inte har dragits åt korrekt och kan ha lossnat under transporten på grund av vibrationer. Röret separerades så småningom under lossningsoperationen på Brahegatan. Det kan

spekuleras i att en plötslig skakning eller mindre slag på aggregatet inträffade under lossningen av det andra gasflaskpaketet, vilket gjorde att muttern på sammankopplingsledningen slutligen separerade vid tidpunkten för lossningen. En liknande incident inträffade med en stationär installation i Mariestad 2022, då en sammankopplingsledning separerades från tryckkärls T-koppling, och liksom vid den tidigare Stockholmsolyckan kunde de enskilda tryckkärlen inte isoleras (24). I Mariestadsfallet hade anläggningen inte tryckprovats till anläggningens arbetstryck.

Vanligtvis isoleras industriella gasflaskor med en manuell avstängningsventil(er) för varje flaskpaket. De individuella cylindrarna är förbundna med sammankopplingsrör, skyddade av en metallstruktur som varierar i design och kapslingsgrad från leverantör till leverantör, se Figur 1.



Figur 1: Typiskt transportabelt flaskpaket för industrigaser

Stockholmsolyckan 1983 tros inte ha orsakats av skador på sammankopplingsrören, snarare en felaktigt åtdragen mutter på sammankopplingsrören (detta var även orsaken till vätgastankstationsolyckan i Sandvika, Norge 2019). Olyckan kunde ha förhindrats genom adekvata och robusta konstruktions-, underhålls- och inspektionsprocedurer. En standardskyddskonstruktion skulle inte kunna ha förhindrat detta utan skulle faktiskt ha gjort regelbunden inspektion svårare. Konsekvenserna kunde ha mildrats eller eliminerats genom användning av isoleringsanordningar på varje cylinder, men detta är inte erkänd branschpraxis för ett sådant transportabelt flaskpaket och skulle resultera i betydande ökade kostnader.

Regler för vätgasfordon på väg, till exempel UN ECE GTR13 eller UN ECE R134 kräver att varje behållare i fordonssystemet kan isoleras för att förhindra okontrollerade utsläpp från skadade sammankopplingsrör och är en central del av säkerhetskonceptet som ligger till grund för föreskrifterna.

I stationära applikationer finns det dock delvis andra risker jämfört med fordons- och transportabla applikationer.

Fokus i PED och AFS 2016:1 med avseende på säkerhetstillbehör är att skydda tryckbärande anordningar mot överskridande av tillåtna gränser, till exempel tryck, temperatur på vätskenivåer. De verkar inte ha krav på isoleringsanordningar för aggregat, och kraven på aggregat är öppna, till exempel från AFS 2016:1

Bilaga 1, §2.8 Aggregat

Aggregat ska konstrueras på ett sådant sätt att

- delarna som ska sammanfogas är lämpliga och tillförlitliga för sin användning,
- samtliga delar passar ihop korrekt och kan sammanfogas på ett lämpligt sätt.

Ju längre sammankopplingsrör mellan tryckkärl utan individuell automatisk isolering, desto större är risken för skador och ett efterföljande okontrollerat utsläpp av vätgas utan andra skyddsåtgärder. För att minimera riskerna så långt som möjligt, skulle tryckkärlsisoleringsanordningar kunna vara ventilhuvuden på behållaren (tillgängliga för biltillämpningar) på varje gasflaska, inklusive felsäkra ventiler (automat-, magnet-, back- eller överflödesventiler). Möjliga andra skyddsåtgärder listas nedan, och behovet av dessa bör baseras på lämplig riskanalys av installationen i den speciella miljö som den kommer att placeras, med hänsyn till rimligen förutsebara oavsiktliga skador och missbruk:

- Begränsa anslutningsrörets dimensioner (diameter och längd) till de som behövs för korrekt drift av systemet.
- Design för lämpliga mekaniska och termiska påfrestningar från förväntade belastningar och vibrationer.
- Utveckla och implementera robusta konstruktions-, underhålls- och inspektionsprocedurer.
- Trycktest till ett testtryck i linje med avsedd drift av systemet.
- Läckagetest med lämplig gas eller gasblandning för att upptäcka vätgasläckage.
- Automatiska/magnetventiler. Dessa felsäkra ventiler är elektriskt drivna och är vanligtvis öppna när de drivs. Stängning aktiveras av utvalda larmsignaler som en del av ett integrerat styrsystem (se avsnitt 4.2 nedan). Det kan finnas en kort fördröjning mellan starten av frigöringen, upptäckten och initieringen av kontrollåtgärden, vilket skulle resultera i ett visst utsläpp av vätgas innan ventilen stängs, vilket kan vara betydande under vissa omständigheter. Ventilerna ska vara felsäkra.
- Rörbrottsventiler. Dessa är snabbverkande, mekaniska anordningar för att förhindra okontrollerat flöde av vätgas, baserat på en tryckskillnad över ventilen. Beroende på designen kan ett litet bypass-flöde införlivas för att ventilen ska kunna återställas, i det fall de ska användas tillsammans med automatiska/magnetventiler.
- Backventiler. Dessa mekaniska anordningar tillåter endast flöde i en riktning och skulle kunna användas, till exempel för att skydda mot tillbakaflöde ut längs ett påfyllningsrör.

4.2 Beskrivning av tänkbara sensorer/tryckindikatorer och styrfunktion som skulle kunna användas för att trigga igång en sådan automatisk tankisoleringsanordning

Kravet på tankisoleringsanordning bör vara formulerat som ett funktionskrav, till exempel "Större oönskade utsläpp av vätgas ska begränsas i storlek (exempelvis genom design, ledningsdimensioner och rörbrottsventiler)" och inte vara mer tekniskt avancerad än nödvändigt. Identifiering av tankisoleringsanordning och om det behövs säkerhets-styrfunktioner bör baseras på en lämplig riskanalys av installationen för den specifika miljön som den kommer att vara belägen i, med hänsyn till rimligen förutsebara oavsiktliga skador och missbruk av installationen. Ett antal sensorindikeringar och styrfunktioner skulle kunna användas för att utlösa stängning av automatiska/magnetventiler för tryckkärlsisolering, till exempel:

- Beakta maxflödet som krävs för applikationen. Flöden över detta indikerar brott och bör leda till att ventil(er) stängs.
- Ett plötsligt tryckfall nedströms indikerar brott och bör leda till att en ventil(er) stängs.

- Utlösning av vätgassensorer vid en viss koncentrationströskel kan indikera brott och bör leda till att ventil(er) stängs.
- Ljud (inställt vätgasläckage) och flamdetektorer bör leda till ventilstängning.
- Nödavstängningsbrytare, lokal och vid behov fjärrstyrd.
- Fel i styrsystemet bör leda till att ventilen stängs.
- Effektbortfall bör leda till ventilstängning.
- Ventiler ska vid fel anta ett säkert tillstånd (stängd eller öppen).

5. SÄKERHETSUTRUSTNING MOT RUPTUR VID STATIONÄR LAGRING

5.1 Vilka krav finns det i regler och i vilka standarder för skydd mot ruptur?

Det som resulterar i en ruptur är typiskt något av följande två scenarier:

- Yttre våld eller motsvarande som påverkat den tryckbärande förmågan. I detta fall finns det begränsade möjligheter att genom regler skydda mot ruptur. Däremot så utgör de säkerhetsmarginaler som anges i regelverken ett indirekt sätt att hantera problematiken. Över tid och genom att kontinuerligt se över formuleringar och nivåer i regelverken kommer nödvändig marginal att etableras med hänsyn till de "normala" påkänningar som en anläggning kan utsättas för. Då stationär lagring av brännbar gas i andra sammanhang har förekommit över en relativt lång tidsperiod så får man anta att det i förekommande regelverk finns en balans mellan risk och ekonomiska avväganden då säkerhetsmarginaler fastställs. Det som behövs tas extra hänsyn till är att vätgas har andra egenskaper än, till exempel gasol eller naturgas.
- Ett inre fel, så som ett skenande inre övertryck eller degradering av en del i en tryckbärande anordning, exempelvis på grund av extern brand. I detta fall finns det flera krav som hanterar risken för detta.

Exempel:

AFS2016:1 (PED, 2014/68/EU) Detta regelverk hanterar tillverkning och utformning av den tryckbärande anordningen och därmed skyddar den i första hand mot inre fel. Här formulerar man sig på flera ställen liknande: *"Tryckbärande anordningar ska konstrueras korrekt genom att man beaktar alla relevanta faktorer som behövs för att garantera att anordningen är säker under hela den avsedda livslängden"*. Formuleringar som denna medför att direktivet måste bedömas vara heltäckande.

AFS 2017:3 Detta regelverk riktar sig till brukaren och användningen av en tryckbärande anordning. I 2 Kap 2§ ställs krav på placeringen av anordningen och i 2 Kap 6§ beskrivs de krav som ställs på fortlöpande tillsyn. I det första fallet hanteras förebyggande av yttre våld och i det senare fallet regleras typiskt de risker som kommer av en i sammanhanget långsam degradering eller uppkomna skador.

I sammanhanget bör man också väga in hur stora mängder som lagras och i vilken omgivning anläggningen finns. En närmare beskrivning kring hur regelverken ser ut i North Sea Economic Region, NSER, finns beskrivet i en publikation (25) se Tabell 1 och 2. Här jämförs kravställningen i olika länder och det framgår att det inte finns entydiga riktlinjer inom EU. Lagkraven blir typiskt hårdare vid lagring över 1000 kg. Det är energimängden som motsvarar den i ungefär 200 fulltankade bilar eller 10-30 lastbilar.

Tabell 1: Sammanställning över de strängaste kraven i NSR-länderna (från (25), tabell 3).

	Värde	Region	
Minsta volym/massa som kräver tillstånd för hantering eller rapportering till myndighet	2 liter*	Sverige	UK, 2 ton max utan särskilda åtgärder, 2% av denna gräns (40 kg) är gränsen för att rapportera hantering.
	40 kg	UK	
Övre gräns för massan av vätgas som lagras	200 kg	Sverige och Tyskland	Maximal massa för vätgas lagrad i en enskild behållare
Maximalt tryck för lagrad vätgas	200 bar	Norge och Nederländerna	Maximalt tryck för transport i ståltankar

* Krav från LBE för inomhushantering i publik verksamhet, i referensen anges 10 liter. För utomhusverksamhet som är icke publik verksamhet är gränsen 1000 liter.

Tabell 2: Lokala krav och gränser baserat på massan lagrad vätgas (från (25), tabell 6).

Lagrad vätgas	Värde
40 kg	Gränsen för att rapportera lagring i UK.
100 kg	Övre gräns för produktionstakt per dygn utanför det som anses vara "industriella eller kemiska zoner" i enlighet med direktiv 1272/2008
200 kg	Maximal massa för vätgas lagrad i en enskild behållare i Sverige och Tyskland. Övre gräns för lagring utanför "industriella eller kemiska zoner".
450 kg	Gränsen för en enskild behållare enligt ADR och TPED
1 000 kg	Den i praktiken största mängd vätgas som kan transporteras med ett enskilt fordon baserat på tekniska begränsningar för ett stålkärl, transportstandarder för brännbar gas och regelverk för vägfordon.
2 000 kg	Gränsen i UK för när verksamheten kräver "Planning Hazardous Substances Regime".
3 500 kg	Den i praktiken största mängd vätgas som kan transporteras med ett enskilt fordon baserat på tekniska begränsningar för ett kompositkärl, transportstandarder för brännbar gas och regelverk för vägfordon.
5 000 kg	Gränsen i Danmark för när lagringen blir anmälningspliktig enligt lokala riktlinjer. Gränsen i UK för när lagkrav träder i kraft för att begränsa skada vid olycka enligt COMAH. Nedre gränsen i Sverige för när lagringen blir anmälningspliktig enligt riktlinjer i SEVESO.*
30 000 kg	Gränsen i Tyskland för när verksamheten blir tillståndspliktig.
200 000 kg	Övre gränsen i Sverige för när lagringen blir tillståndspliktig enligt riktlinjer för "tier 1" lagrad vätgas i SEVESO.

* Tillägg utöver det som tas upp i referensdokumentet.

Det kan inte uteslutas att olika anläggningar för stationär lagring kommer att behöva hantera vitt skilda förutsättningar och miljöfaktorer. Beroende på vad det är för typ av anläggning är det

också rimligt att överväga kategorisering i olika skyddsklasser beroende på vilken typ av resurs som anläggningen försörjer. Till exempel lager för backup av kritisk infrastruktur till ett sjukhus skulle kunna hanteras på ett annat sätt än en tankstation på landsbygden. En i omvärlden förändrad hotbild kan motivera att ett gemensamt tankesätt etableras för anläggningar som har betydelse för kritisk infrastruktur.

5.2 Vilken säkerhetsutrustning finns tillgänglig för att motverka en ruptur på ett komposit-kärl och hur kan dessa behållare utrustas med denna säkerhetsutrustning för att säkra mot ruptur?

Ruptur i en behållare kan orsakas av:

- Ett tryck som överstiger behållarens konstruktion eller certifierade styrka, till exempel övertryck vid påfyllning eller brandexponering
- Ett tryck som överstiger behållarens resthållfasthet efter att dess strukturella integritet har reducerats genom till exempel mekanisk nötning, stötar, gevärsskott, kemisk exponering eller brand.
- Även risker med undertryck borde beaktas.

Det finns olika typer av säkerhetsutrustningar tillgängliga för att förhindra ruptur:

- En tryckavlastningsanordning (PRD) är en anordning som, när den aktiveras under specificerade prestandaförhållanden, används för att frigöra gas från ett trycksatt system för att förhindra fel och släppa ut trycket. Dessa kan vara återstängande säkerhetsventiler eller icke-återstängande tryckavlastningsanordningar som sprängbleck. Det finns många typer av tryckavlastningsanordningar, inklusive fjäderaktiverade avlastningsventiler, pilotmanövrerade avlastningsventiler, sprängbleck, temperaturaktiverade avlastningsventiler, osv.
- Temperaturutlösta eller termiskt aktiverade tryckavlastningsanordningar (TPRD) är icke-återstängande tryckavlastningsanordningar som aktiveras av en förhöjd temperatur för att öppna och släppa ut den lagrade gasen och minska trycket. Dessa är vanligtvis baserade på en smältbar termisk säkring eller glaskula. TPRD är vanligtvis monterade på ena änden av behållaren, eller i fallet med långa behållare, i båda ändar. TPRD-säkringar finns också tillgängliga som kan monteras längs behållarens längd eller lindas runt behållaren för att förbättra brandskyddsprestandan.
- Värmeisolering eller svällande brandfärger kan förlänga tiden till skada uppstår genom att öka brandmotståndet eller begränsa temperaturökningen i gastemperaturen. Brandfärger skyddar en struktur mot brand genom att reagera under inverkan av eldens värme och bilda ett isolerande lager av skum.
- Fysiskt skydd, såsom barriärer, beläggningar eller offerlager kan användas för att mildra effekterna av skador orsakade av, till exempel mekanisk nötning, stötar, brand, pistolskott eller kemisk exponering.

Tryckkärl genomgår dessutom rigorösa testprocedurer, till exempel enligt SS-EN 17533: 2020. Till skillnad från stationära standarder, i UN ECE R134 (26) för vägfordon utsätts tryckkärl för olika provningar som simulerar den avsedda livslängden och måste då i värsta fall motstå övertryck motsvarande det från en påfyllningsstation.

Rätt tillämpning av säkerhetsutrustning kräver inte bara val av enhet som uppfyller designkraven utan också tekniska och administrativa kontroller som säkerställer att PRD kommer att möta det långsiktiga tillförlitlighetsbehovet. En NREL-rapport ”High Pressure Hydrogen Pressure Relief Devices” (27) sammanfattar följande allmänna rekommendationer för bästa praxis från branschen för PRD:er:

- Ventilation ut i luften bör ha tillräckligt skydd mot regn och fukt och vara designade för att tömma kondensat och regnvatten
- Se till att övertrycksventilens utgång inte blockeras
- Rutinunderhåll av övertrycksventiler innefattar visuell inspektion av avlastningsventil och utloppsrör och bör utföras var sjätte månad
- Avlastningsventiler bör bytas ut med intervaller baserat på rekommenderad livslängd av tillverkaren och tillgängliga processtillförlitlighetsdata.
- Behåll övertrycksventildata i ett lagerregister, inklusive plats, storlek, uppsättning tryck, tillverkare, kapacitet, installationsdatum, datum för inspektioner och senaste datum för ersättning. Övertrycksventiler som är installerade i ett system med bland annat tryckkärll inventeras vanligtvis som en del av delsystemets leverantörsregister.
- Övertrycksventiler bör inte tömmas under installation. [Oklart vad som avses i referens.]
- Inspektera, återställ eller byt övertrycksventiler när de har löst ut.
- Utsätt aldrig ditt ansikte eller din kropp för en trycksatt avlastningsventilsutgång.
- Undvik isbildning mellan ventiler och annan utrustning.
- Minska inloppstrycket till noll innan du försöker installera eller byta ut en tryckavlastnings-ventil. Företrädesvis, och som krävs av de flesta koder, använd en trevägs dubbel avstängningsventil för att isolera övertrycksventiler för individuell inspektion eller utbyte.
- Kontrollera namnskylden eller installationsdatumetiketten för att vara säker på att drifttiden inte överstiger fem år.

5.3 Vilka krav finns för ovanstående säkerhetsutrustning? Till exempel vilka krav ställs på säkerhetsventiler enligt AFS 2016:1 (PED)?

Det finns inget uttalat krav i AFS 2016:1 att just säkerhetsventiler ska användas. Däremot ska en funktion finnas som säkerställer att trycket inte långvarigt kan överskrida det högsta tillåtna trycket PS. Avsnitt 2.9 - 2.11 tar upp detta. Det föreslås här ett antal exempel på tryckbegränsande metoder varav säkerhetsventil är en av dem. Man skriver också att den tryckbärande anordningens säkerhetsfunktioner ska utföras enligt lämpliga konstruktionsprinciper bland annat redundans (avsnitt 2.11.1).

Hos den amerikanska motsvarigheten till Arbetsmiljöverket är det som jämförelse ett uttalat krav på säkerhetsventiler i installationer av tryckkärll med en volym över 11,3 m³:

OSHA 1910.103(b)(1)(ii)(a)

Hydrogen containers shall be equipped with safety relief devices as required by the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, section VIII Unfired Pressure Vessels, 1968 or the DOT Specifications and Regulations under which the container is fabricated. (28)

Det finns andra standarder som är dedikerade för just säkerhetsventiler:

- Internationella/ Europa/ Sverige, SS-EN ISO 4126 serie, Säkerhetskomponenter till skydd mot otillåten tryckförhöjning, del 1 till 7, till exempel (29)

- Europa/ Sverige, SS-EN 764-7, Säkerhetssystem för ej eldberörda tryckbärande anordningar (30)

5.4 Kan både tryckaktiverade säkerhetsventiler (PPRD)- och smältsäkringsventiler (TPRD) användas och i så fall hur?

Ur ett PED/AFS2016:1-perspektiv är varken TPRD eller PPRD att föredra eller utesluta, så båda kan användas. Mer information finns i avsnitt 5.2.

Stål leder värme bra samtidigt som det behåller sin styrka vid högre temperaturer än komposit. Därför kommer en PPRD på en kompositbehållare sällan vara effektiv vid extern hotande brand.

5.5 Baserat på svaren från ovanstående önskas en beskrivning av ett exempel på hur ett scenario med en extern brandhändelse skulle kunna utveckla sig?

Finns resultat från studier på hur olika komposit-behållare beter sig vid yttre brand. Särskilt ska en typ 4 behållare som utsätts för externbrand beskrivas angående försämrade hållfasthet och strategi och möjlighet att skydda mot ruptur.

Finns CE-godkända säkerhetsventiler och/eller smältsäkringar för denna tillämpning? Innehållet i en typ 4 behållaren skyddas enligt uppgift av ett tätt termoplastskikt som testas för att vara tätt upp till 100 grader C, enligt UN-ECE R110.

OBS att UN ECE R110 (31) är tillämpligt på komprimerade naturgassystem för vägfordon, inte vätgas, och den relaterade vätgasregleringen är UN ECE R134 (26).

Vid en extern brand så krävs ingen större strålning (5-10 kW/m²) innan en komposit-behållare börjar förlora sin hållfasthet (kan starta redan vid en yttemperatur på 100 °C när plasten i kompositen börjar smälta). Eftersom komposit inte leder värme speciellt bra värms gasen upp långsamt med en blygsam tryckökning. Detta gör det vanskligt att använda sig av tryckaktiverade säkerhetsventiler för kompositbehållare. Viss påverkan börjar alltså ske för mindre glöddbränder i absolut närhet till komposit-behållaren, eller för lite större brandkällor på några meters avstånd. Dock kommer det ta lång tid (över 1 timme) innan behållaren riskerar brista. För ett snabbare förlopp krävs det en större brand med flammor som når behållaren. När hållfastheten är lägre än lasten från den uppvärmda gasen sker en ruptur. Tiden fram till att detta sker är, för en omfattande brand, i storleksordningen 5-20 min för kompositbehållare av typ 3 eller typ 4. Det tar längre tid, uppemot 1 timme eller mer om starttrycket är lågt och/eller om brandkällan är liten (32) (33). Kompositbehållare av typ 2, där metallen bär 5% eller mer av lasten, skulle kunna klara sig något längre. Förloppet till en ruptur kan förhindras av:

- Om branden släcks (eller gasflaskor förs i säkerhet (34)).
- En TPRD, smältsäkring, som aktiverar på grund av förhöjd temperatur. Dessa behöver vara placerade så att de exponeras för branden, se 5.2.
- Om behållaren är av typen leak-before-burst där ett läckage genom materialet sker så att behållaren töms på gas.

- Om behållaren kyls. Observera att stora mängder vatten krävs om den utsätts för flammor/hög strålning. Mängden vatten som krävs är påtagligt mer än den mängd ett typiskt sprinklersystem ger.
- Brandskydd i form av isolering eller brandskyddsfärg, se 5.2.

Det finns inga hinder för att CE-märka en säkerhetsventil enligt AFS 2016:1 även om den faller under 8§ (till exempel på grund av en anslutning mindre än DN25). Dock så brukar säkerhetsanordningar falla under kategori 4 (trycksatta anordningar klassas normalt i fyra kategorier efter ökande faror, se AFS 2016:1, bilaga 2 avsnitt 2). Det finns exempel på ventiler, såväl PPRD som TPRD, som marknadsförs som PED-godkända för tryck upp till minst 1050 bar.

6. VÄTEFÖRSPRÖDNING AV OCH DIFFUSION GENOM KOMPOSITMATERIAL

6.1 Vilka studier och resultat finns inom väteförsprödning (embrittlement) av kompositmaterial?

Frågan om materialkompatibilitet med väte är komplex och involverar ett antal mekanismer, varav den mest kända är väteförsprödning. Andra inkluderar väteangrepp och polymerskador.

Kompositmaterial används i typ 2-5 behållare, men inte i typ 1 behållare (metall). Det är viktigt att fastslå att med kompositmaterial avses det strukturella omslaget, till exempel kolfiber/hartsmatris. Om behållaren har en metallinnerbehållare kommer genomträngningen genom materialet att vara försumbar (se 6.2 §), men om behållaren har en polymerinnerbehållare eller är innerbehållarefri blir frågan om kompatibilitet aktuell.

Väteförsprödning är ett spänningsrelaterat fenomen som medför mekanisk skada på en metall. På grund av penetration av atomärt väte i metallen orsakas förlust av duktilitet, seghet och draghållfasthet (35). Detta påverkar särskilt utmattningsskänsliga delar. Väte kan vara närvarande antingen i sin rena form eller i en väteförening. Väteförsprödning är en samlingsbeteckning för ett antal olika mekanismer som försvagar olika typer av metaller, i synnerhet ferritiska stål, och vissa är mer mottagliga än andra. Molekylärt väte måste dissociera på metallytan (36), och det atomära vätet diffunderar in i materialets mikrostruktur, vilket sänker brottmotståndet under applicerad påkänning (inre väteförsprödning). När väte diffunderar in i en metalls ytnära volym kan spridningen underlättas av ytdefekter, det vill säga mikrosprickor (försprödning av väte i miljön). Väteförsprödning (hydrogen embrittlement) har alltså främst med metall att göra. Vi känner inte till att detta är relevant för kompositmaterial. Regler och standarder för vägfordonsindustrin anger inte specifika materialkompatibilitetskrav för strukturella fibrer med avseende på vätgaskompatibilitet, inte heller mer allmänna skrivelser som, till exempel ISO/TR15916 (36) och NASA NSS 1740.16 (37). Vid en informationssökning framgår det att det finns begränsat med publik information.

Väteangrepp (hydrogen attack) är ett fenomen med förhöjd temperatur som påverkar metaller över 200°C (36). Det leder till bildandet av en gas eller hydrid inuti materialet, vilket potentiellt leder till blåsor i materialet eller bildning av en porös struktur, som båda försvagar metallen.

De flesta polymerer är lämpliga i vägasapplikationer men noggrannhet krävs vid valet av polymerer som ska användas som tätningar i högtrycksvätesystem (36). Genomträngning av väte i dessa material under en längre tidsperiod, följt av snabb trycksänkning, kan resultera i skador eller mekaniska fel på grund av svullnad eller blåsbildning i tätningarna (38). Detta skiljer sig från de genomträngningsfrågor som tas upp i 6.2 § och 6.3 § nedan.

Även om det finns många onlineresurser som indikerar kompatibiliteten mellan olika material och väte, bör man tillse att testförhållandena är jämförbara med de förväntade driftförhållandena.

6.2 Vilka studier och resultat finns av genomträngning/diffusion genom kompositmaterialet (permeation?)

Permeation av gaser är ett inneboende fenomen för alla gaser i kontakt med polymerer och är det resultatet av gasmolekylernas upplösning och diffusion i polymer och kompositmatrisen (39). Permeationshastigheten varierar för olika material. Eftersom vätgas är en liten molekyl så är permeabiliteten hög och väte tränger långsamt genom alla material i någon grad. ISO TR 15916 indikerar att permeationshastigheten i metaller vid rumstemperatur är extremt låg med obetydliga mängder som tränger igenom under mycket långa tidsperioder (36). För behållare Typ 1-3 med hel metallkonstruktion eller metallinnerbehållare anses permeationen vara försumbar (40) (41) (42). När man granskar forskning om permeation är det viktigt att tillse att testerna utförts vid lämpliga temperaturer och tryck, eftersom många studier har utförts vid rumstemperatur och lågt tryck.

Vätetransport i polymerer skiljer sig från metaller i en viktig aspekt, väte dissocierar (molekylen delas upp i atomer) inte före upplösning i materialet (43) (44) (44). Permeationprocessen genom ett polymert material sker i tre distinkta steg. Gasen måste först absorberas eller kondensera på polymerytan och sedan diffundera genom polymeren via kemiska potentialgradienter eller tryckskillnader, och slutligen desorbera eller avdunsta från polymeren till atmosfären på motsatt sida av filmen. Kolfiber/hartskompositer är inte effektiva vätgasbarriärer, därav behovet av en gasbarriär eller liner i typ 4-design. Typ 5 linerless ska fortfarande provas vid högt tryck, men verkar sannolikt använda andra hartser än befintliga Typ 4 behållare. Polymerer eller kompositmaterial har större permeation än metall, och därmed kan betydande mängder väte ackumuleras och leda till oacceptabla risker i vissa situationer, till exempel om flödet går in i små oventilerade slutna utrymmen eller transporteras till delar av anläggningen som inte förväntas innehålla vätgas. Dessutom kan permeation av väte i polymerer resultera i tätningsfel i högtryckstillämpningar om snabb trycksänkning inträffar (36). För typ 4 behållare (polymerinnerbehållare), och i framtiden typ 5 (linerless), är permeation ett potentiellt säkerhetsproblem i dåligt ventilerade slutna utrymmen.

Kompositmaterial avser den strukturella lindningen i typ 4 behållare, till exempel kolfiber/hartsmatris. I typ 4 behållare används en polymerinnerbehållare som ett vätebarriärskikt, men permeationen genom detta är avsevärt större än genom en metallinnerbehållare (42). För typ 4 behållare är det permeation genom vätebarriären som är viktigt. Gaspermeationen genom polymerer har typiskt studerats för material utformade för användning som barriärmaterial (låg permeabilitet). Det råder motstridiga uppfattningar om huruvida åldring av kompositmaterialet i form av mikrosprickbildning av kompositmaterialet under behållarens livslängd kan leda till ökad permeation (40) (41).

Typ 4-innerbehållare består av polymerer typiskt baserade på HDPE och även om alternativa material eller modifieringar av HDPE-innerbehållare kan resultera i blygsamma eller betydande minskningar av permeation, har de en betydande inverkan på innerbehållare-kostnaden (45). Inledande forskning på vätepermeation genom kompositmaterial tyder på att hastigheten är betydande (46). Annan forskning på tunna kolfiberförstärkta polymerer tyder på att vätediffusion genom materialet är av samma storleksordning som en legering av rostfritt stål som används i väteapplikationer (47). I studien har effekten av åldrande och mikrosprickor på grund av termiska och mekaniska påfrestningar inte studerats. Det föreslås att denna fråga utreds vidare.

6.3 Vilken ventilation behövs därför pga permeation vid inomhuslagring?

Läckage av brandfarlig gas kan komma från olika källor inklusive permeation, läckor och potentiellt även avsiktliga utsläpp från en säkerhetsanordning. Detta avsnitt fokuserar på permeation genom typ 4 behållare och tar INTE hänsyn till andra läckor eller källor till vätgas, till exempel rör- eller ventilanslutningar.

MSBs föreskrifter om hantering av brandfarlig gas, MSBFS 2020:1 (48) avsnitt 2, 13 § anger:

- *Ett utrymme där brandfarlig gas förvaras eller där det finns risk för läckage av brandfarlig gas i mer än ringa grad ska vara tillräckligt ventilerat för att motverka utbredning av en antändbar gasblandning.*
- *Ventilationens frånluft ska mynna ut på lämplig plats. Ventilationen ska vara utformad så att frånluften inte kan komma in genom andra öppningar i byggnader.*
- *Källare, kulvertar och andra utrymmen där naturlig ventilation inte kan ge tillräckligt ventilationsflöde ska ha mekanisk ventilation. Funktionaliteten hos en mekanisk ventilation ska löpande säkerställas*

Paragrafens allmänna råd om naturlig ventilation bygger på empiriska krav, från vilket det är svårt att fastställa ett kvantitativt ventilationsflöde genom utrymmet, eftersom det kommer att bero på många faktorer som inte är specificerade såsom yttre och inre luftrörelser (till exempel vind) och temperatur, faktiska utrymmesdimensioner, faktisk placering av ventiler etc. I ett utrymme för lösa behållare med mekanisk ventilation bör ett utrymme anses vara tillräckligt ventilerat om det luftflödet är minst 0,5 rumsvolymer per timme (rv/h).

För behållare Typ 1-3 med all metallkonstruktion eller med metallinnerbehållare skulle permeationen vara försumbar, se §6.2. Men för typ 4, eller möjligen i framtiden typ 5, är permeation av vätgas ett potentiellt problem i dåligt ventilerade slutna utrymmen.

Ett antal frågor måste övervägas för att förstå permeation av vätgas i slutna utrymmen, inklusive:

- Utveckling av scenarier inklusive aspekter på tryckkärl (mängd vätgas som ska lagras, tryck, storlek på vätgasbehållare, dimensioner, maximal materialtemperatur, ny behållare eller uttjänt behållare, tillåtna permeationshastigheter om några)
- Aspekter associerade med det omslutande utrymmet (dimensioner, lägsta troliga ventilationshastighet, maximal möjlig omgivningstemperatur, säkerhetsgrad som krävs)
- Spridningsbeteendet för vätgas vid de mycket låga flödes hastigheterna som är förknippade med permeation
- En installation ska vara säker oavsett om tryckkärlet är nytt eller närmar sig slutet av sin livslängd, och hänsyn behöver tas till verkliga förhållanden, till exempel

permeationshastigheten ökar med ökande lagringstryck, materialtemperatur och åldrande.

Ur perspektivet att minska risken med permeation skulle den säkraste lösningen i många fall vara att placera tryckkärlen i det fria, eller under ett enkelt tak som inte fångar vätgas eller begränsar naturlig ventilation. Om tryckkärlen måste vara i ett helt slutet utrymme, till exempel en byggnad, kan antingen den genomträngda vätgasen begränsas genom godkännandetest av behållare, eller genom att begränsa hur många enskilda behållare som kan tillåtas i en enda inneslutning? Att specificera en säker ventilationshastighet för genomträngt väte i en inneslutning är svårt och detaljerade föreskriftskrav är också problematiskt eftersom de kan misstolkas. Ska det, till exempel räcka att hantera vissa läckagetal utöver permeation, men i så fall hur mycket? Läckage beaktas inte i detta avsnitt. Detta skulle vara ett nyckelelement i installationens säkerhetskoncept. Ett mer generellt prestandakrav skulle ge större frihet att utveckla tekniska lösningar som är lämpliga för en viss installation, till exempel ”vätgaskoncentrationen bör inte vid något tillfälle i inneslutningen överstiga en specificerad procentandel av den nedre antändningsgränsen för väte, förslagsvis 25%” som är normala säkerhetsfaktorn i ATEX, till exempel.

Högsta tillåtna permeationshastigheter från kompostibehållare anges i vissa lagkrav och standarder för vätgas (se nedan), men PED, AFS 2016:1, TPED och MSBFS 2011:3 anger dock inga gränser för permeationshastighet vid kvalificering av behållare och de berör inte permeation alls, det vill säga det finns inga reglerade värden. ISO 15916 (36) ger inte heller någon vägledning i frågan. Den icke-harmoniserade standarden SS-EN 17533:2020 (12) för stationär vätgaslagring innehåller ett permeationstest som, förutom definitionen av testtrycket, verkar likna den siffra som används i fordonsstandarder, och det är därför nödvändigt att förstå hur den hastigheten härleddes:

For Type 4 designs, the finished pressure vessel shall be filled with compressed hydrogen to the MAWP, placed in a sealed chamber at ambient temperature, and monitored for permeated flow for 500 h. The steady-state permeation rate for hydrogen gas shall be less than 6 cm³ of hydrogen per hour per litre of the water capacity.

Permeationkraven i det senaste utkastet till ISO 19884-1 Gaseous hydrogen — Cylinders and tubes for stationary storage — Part 1: General Requirements (16) är ännu inte offentligt tillgängliga, men uppfattas vara liknande.

Testet i SS-EN 17533:2020 liknar det i CSA/ANSI HGV 2:21 (49) för fordonsbränslebehållare med komprimerad vätgas. Testet i CSA/ANSI HGV2:21 tros härröra från testet i ISO 19881:2018, som i sin tur baserades på metodiken och rekommendationerna som utvecklats i EU:s HySafe-projekt (40) (41) (50). En viktig skillnad mellan ISO 19881 och CSA/ANSI HGV 2/SS-EN 17533-testet är dock specifikationen av testtemperaturen. I ISO 19881 (51) anges testtemperaturen till 15°C, medan den i övriga standarder anges som ”omgivningstemperatur”. Om den ”omgivande” testtemperaturen är högre än 15°C blir testet strängare, men om testet utfördes vid temperaturer lägre än 15°C blir testet mer förlåtande. UN ECE GTR13 (52) och UN R134 (26) och SAE J2579: 2018 (53) för vägfordon antar en annan specifikation baserat på olika testförhållanden (mycket högre testtemperatur och vid simulerad livslängd), men dessa värden är också härledda från HySafe-metoden med rekommendationer baserade på fordonsnivå i stället för på lagringssystem.

Är den högsta tillåtna permeationshastigheten i SS-EN 17533 faktiskt lämplig? I ett stationärt system kommer mängden vätgas som lagras, och därför den sannolika mängden genomträngd vätgas, potentiellt vara mycket större än i en personbil i ett garage som låg till grund för HySafe-scenarierna.

Även om samma underliggande metod som användes för bilar kan användas för stationär lagring, finns det dock oändliga kombinationer av inneslutningsdimensioner, kvantiteter vätgas och antal tryckkärl jämfört med de slutna garage-scenarierna som används för att härleda nivån som används i vägfordonsstandarder. Andra faktorer som förhöjd materialtemperatur kan behöva omprövas för Sverige.

Det kritiska Hysafe-scenariot baserades på en bil i ett slutet villagarage med låg/bristfällig ventilation och hög temperatur. Det finns många potentiella stationära applikationer och scenarier, av vilka några kan resultera i en koncentration av permerat väte som är betydligt högre än fordonsscenariot men i en liknande volym, om den tillåtna permeationshastigheten från SS-EN17533: 2020 används.

Ventilationskraven i MSBFS 2020:1 (48) avsnitt 2, 13 § föreslås noggrant ses över för vätgaspermeation från kompositbehållare och sådant arbete ligger utanför detta projekts ram. Granskningen bör också beakta potentiella små läckor från nätverket av anslutningar som är typiska för en stationär installation. Att permeationen inte kan stoppas vid ventilationsbortfall, till exempel på grund av fel eller strömavbrott, behöver beaktas, till exempel vid val av mekanisk eller naturlig ventilation. Granskningen bör också överväga om den tillåtna permeationshastigheten som anges i stationära vätgasstandarder, det vill säga, SS-EN 17533: 2020, faktiskt är lämplig för alla stationära tillämpningar från industrianläggningar till bostadshus.

7. STANDARDER OCH FÖRESKRIFTER FÖR DENNA TYP AV TILLÄMPNING (SE BAKGRUND)

7.1 Vilka föreskrifter och standarder är relevanta att följa för denna typ av tillämpningar?

Det finns inga lagkrav eller harmoniserade standarder för denna typ av tillämpningar som specifikt fokuserar på vätgas men det finns icke-harmoniserade standarder, se avsnitt 3 i denna rapport.

7.2 Är SS-EN 12245:2022 harmoniserad enligt något direktiv?

Svensk Standard SS-EN 12245:2022 ”Transportable gas cylinders - Fully wrapped composite cylinders” och Svensk Standard SS-EN 12257:2002 ”Transportable gas cylinders - Seamless, hoop-wrapped composite cylinders” är inte harmoniserad enligt PED. För TPED verkar det inte finnas någon lista över harmoniserade standarder. Dock tillhandahåller CEN en lista över direktiv som är länkade till dessa standarder:

- EN 12245
 - Legal Directive(s) 2008/68/EC

- Mandate(s) M/TDG
- Citation in OJEU No citation expected for Directive 2008/68/EC

- EN 12257
 - Legal Directive(s) 94/55/EC, 96/49/EC, 96/86/EC, 96/87/EC
 - Mandate(s) M/086
 - Citation in OJEU No citation expected for Directive 94/55/EC, No citation expected for Directive 96/49/EC, No citation expected for Directive 96/86/EC, No citation expected for Directive 96/87/EC

Det är oklart om de standarderna är harmoniserade enligt direktiven ovan.

7.3 Finns behov av ytterligare nya föreskriftskrav utöver de som nämnts i 6.1. och i inledningen som ni ser som relevanta slutsatser efter denna undersökning?

- Behållare (gasflaskor) gjorda av metall (Typ I) har använts under lång tid. Eftersom de oftast inte har TPRD/PPRD eller liknande kommer de dock att leda till en kraftig ruptur vid en brand när trycket överstiger behållarens hållfasthet, om de inte förs i säkerhet. Detsamma gäller kompositbehållare som dock kan brista något tidigare, men vid ett lägre tryck eftersom kompositmaterialet försvagas och behållaren samt gasen inte värms upp så snabbt, de kommer alltså ge ett lägre skadefall givet samma mängd gas. Att komposit används i stället för en legering av metall ändrar inte riskbilden markant vid större bränder (givet att TPRD/PPRD inte används). För mindre glödbränder, eller bränder på avstånd, som ger en infallande strålning över 5 kW/m² skulle en riskökning kunna ses eftersom en sådan brand inte hotar en stålbehållare på samma sätt. Det är dock svårbedömt hur troligt ett sådant brandscenario är i industriella sammanhang, och om ytterligare föreskriftskrav behövs.
- Ur ett föreskriftsperspektiv är det värt att påpeka att det kan behövas kompletteringar som riktar sig mot privata installationer då det inte finns ett entydigt synsätt mellan regelverk. Som exempel är privata installationer innefattade i AFS2016:1 (3§) där man refererar till ”den som tar en sådan anordning i bruk”. Men arbetsmiljöverket ställer exempelvis inga krav på privata anläggningar som riktar sig mot fortlöpande tillsyn i AFS 2017:3 (avsnitt 1, 5§). En privat aktör ansvarar således för att installationen uppfyller kraven på utförande men innefattas inte av kraven på fortlöpande tillsyn. En större anläggning som i industriell regi skulle vara besiktningspliktigt av ett ackrediterat kontrollorgan (Notified Body) kommer därför i privat regi inte innefattas av krav på fortlöpande tillsyn.
- Ventilationskraven i MSBFS 2020:1 (48) avsnitt 2, 13 § föreslås noggrant ses över för vätgaspermeation från kompositbehållare och sådant arbete ligger utanför detta projekts ram. Granskningen bör också beakta potentiella små läckor från nätverket av anslutningar som är typiska för en stationär installation. Att permeationen inte kan stoppas vid ventilationsbortfall, till exempel på grund av fel eller strömavbrott, behöver beaktas, till exempel vid val av ventilation, det vill säga om det ska vara mekanisk eller naturlig. Granskningen bör också överväga om den tillåtna permeationshastigheten som anges i stationära vätgasstandarder, det vill säga, SS-EN 17533: 2020, faktiskt är lämplig för alla stationära tillämpningar från industrianläggningar till bostadshus.

- Utöver rena tekniska krav som utgår från förebyggande av skador orsakade av oplanerad påverkan, som skador eller fel hos komponenter finns också risker kopplade till avsiktlig påverkan. En i omvärlden förändrad hotbild kan därför motivera att ett grundtänk etableras för anläggningar som har betydelse för kritisk infrastruktur. I detta arbete behöver alla aspekter inkluderas även, till exempel mjukvara som kan ha betydelse för säkerheten om den till exempel styr en anläggning.
- På längre sikt ser vi också ett behov av att kunna kvalificera behållare för så kallade Second-life. Det innebär att man använder behållare som passerat sin livslängd (mätt i antal cykler) i ytterligare bruk. Detta skulle kunna ske med samma eller med ett lägre arbetstryck. Behållare skulle kunna flyttas mellan olika applikationer och branscher. Regelverken behöver på sikt kunna hantera detta. Redan nu är det viktigt att säkra spårbarheten för behållare och hur de används för att kunna ha underlag för beslut som behöver tas om 10 år. Utöver det behöver det finnas verifierade metoder för hur man hanterar och accepterar Second-life map inspektion mm.
- Överväg prestandabaserade rekommendationer för att säkerställa prestandan hos säkerhetsutrustning vid installation.

8. REFERENSER

1. Europeiska unionen. Typer av rättsakter. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/law/types-legislation_sv.
2. Europeiska kommission. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/european-standards/harmonised-standards_sv?etrans=sv.
3. Europaparlamentet. Direktiv 2014/68/EU, Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/68/EU av den 15 maj 2014 om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om tillhandahållande på marknaden av tryckbärande anordningar. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:02014L0068-20140717&from=EN>.
4. Europaparlamentet. Direktiv 2010/35/EU: Directive 2010/35/EU of the European Parliament and of the Council of 16 June 2010 on transportable pressure equipment and repealing Council Directives 76/767/EEC, 84/525/EEC, 84/526/EEC, 84/527/EEC and 1999/36/EC. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0035&from=en>.
5. Europeiska kommission. Guidelines related to the Pressure Equipment Directive 2014/68/EU (PED). [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/41641/attachments/1/translations/en/renditions/native>.
6. European Union. National transposition measures communicated by the Member States concerning:. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/NIM/?uri=CELEX:32014L0068>.
7. Arbetsmiljöverket. AFS 2016:1 Tryckbärande anordningar. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/tryckbarande-anordningar-foreskrifter-afs2016-1.pdf>.
8. European Commission. Harmonised Standards > Pressure equipment Directive 2014/68/EU. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/european-standards/harmonised-standards/pressure-equipment_en.
9. Europaparlamentat. Summary of references of harmonised standards published in the Official Journal – Directive 2014/68/EU 1 of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 on the harmonisation of the. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/51457/attachments/1/translations/en/renditions/native>.
10. Europaparlamentat. Sammanfattning av hänvisningar till harmoniserade standarder som offentliggjorts i Europeiska unionens officiella tidning – [Hänvisning till och titel på akten] (sista sidan). [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/38169/attachments/2/translations/en/renditions/native>.
11. SIS. SVENSK STANDARD · SS-EN 13445-1:2021: Tryckkärl (ej eldberörda) - Del 1: Allmänt. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://www.sis.se/produkter/fluidsystem-och-delar/enheter-for-vatskelagring/tryckkarlej-eldberorda-ssen-13445/ss-en-13445-12021/>.
12. SIS. SVENSK STANDARD · SS-EN 17533:2020: Vätgas - Gasflaskor och storflaskor för stationär lagring. [Online] 2020. [Citat: den 31 Jan 2023.]

<https://www.sis.se/produkter/kemiteknik-3b58b2e7/produkter-fran-kemisk-industri/gaser-for-industriellt-bruk/ss-en-175332020/>. SS-EN 17533:2020.

13. *FRENCH GUIDE TO CONFORMITY ASSESSMENT AND CERTIFICATION OF HYDROGEN SYSTEMS*. Debray, B., et al. u.o. : HySafe/ Int. Conf. on Hydrogen Safety, 2021. <https://hysafe.info/uploads/papers/2021/171.pdf>.

14. Personal Communication - P.Carpentier (projektledare SIS TK 296). 16 Dec 2023.

15. ISO. ISO/FDIS 19884 Gaseous hydrogen — Cylinders and tubes for stationary storage (deleted). [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://www.iso.org/standard/65487.html>.

16. ISO. ISO/CD 19884-1 Gaseous hydrogen — Cylinders and tubes for stationary storage — Part 1: General Requirements (under development). [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://www.iso.org/standard/80587.html>.

17. MSB. MSBFS 2011:3 Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transportabla tryckbärande anordningar. [Online] den 23 Feb 2023. <https://www.msb.se/siteassets/dokument/regler/rs/1c145d03-2aff-448d-a48d-8714761707c9.pdf>.

18. Arbetsmiljöverket. AFS 2017:3 Användning och kontroll av trycksatta anordningar. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/anvandning-och-kontroll-av-trycksatta-anordningar-afs2017-3.pdf>.

19. MSB. MSBFS 2013:3 Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://www.msb.se/siteassets/dokument/regler/rs/61531c7c-d2a9-4585-8cc8-b7bbb87184aa.pdf>.

20. MSB. MSBFS 2020:1 föreskrifter om hantering av brandfarlig gas och brandfarliga aerosoler. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://www.msb.se/siteassets/dokument/regler/forfattningar/msbfs-2020-1.pdf>.

21. MSB. Gällande regler inom Allvarliga kemikalieolyckor (Seveso). [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://www.msb.se/sv/regler/gallande-regler/allvarliga-kemikalieolyckor-seveso/>.

22. Kommittén för undersökning av allvarliga olyckshandelser. *Gasexplosionen på Brahegatan i Stockholm den 3 mars 1983: Utredningsrapport Nr 2:1984*. u.o. : Kommittén (Kn 1981:02) för undersökning av allvarliga olyckshandelser, 1984.

23. *Source, dispersion and combustion modelling of an accidental release of hydrogen in an urban environment*. Venetsanos, A.G., et al. 1-3, P 1-25, u.o. : J. of Hazardous Materials, 2003, Vol. 105.

24. Lyckeback, E. Vätgasläckage i Mariestad. u.o. : Räddningstjänsten Östra Skaraborg, Dec. 2022.

25. [Online] <https://northsearegion.eu/media/19500/hydrogen-transport-legislation-and-standards-in-the-nsr-final.pdf>.

26. UNECE. Regulation No 134 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles and their components with regard to the safety-related performance of hydrogen-fuelled vehicles (HFCV) [2]. [Online] [Citat: den 16 Feb 2023.] <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8aad3d19-7870-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-en>.

27. Burgess, R., et al. *High Pressure Hydrogen Pressure Relief Devices: Accelerated Life Testing and Application Best Practices*. u.o. : NREL Technical Report NREL/TP-5400-67381 , 2017. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/67381.pdf>.
28. US Dept. of Labor. Occupational Safety and Health Administration, OSHA Laws & Regulations 1910 Regulations (Standards - 29 CFR). [Online] [Citat: den 16 Feb 2023.] <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910>.
29. SIS. SVENSK STANDARD · SS-EN ISO 4126-1:2013 Rörledningsarmatur - Säkerhetskomponenter till skydd mot otillåten tryckförhöjning - Del 1: Säkerhetsventiler (ISO 4126-1:2013). [Online] [Citat: den 16 Feb 2023.] <https://www.sis.se/produkter/miljo-och-halsoskydd-sakerhet/skydd-mot-stotchock/sseniso412612013/>.
30. SIS. SVENSK STANDARD · SS-EN 764-7 Tryckbärande anordningar - Del 7: Säkerhetssystem för ej eldberörda tryckbärande anordningar. [Online] [Citat: den 16 Feb 2023.] <https://www.sis.se/produkter/fluidsystem-och-delar/enheter-for-vatskelagring/tryckkarl/ssen7647/>.
31. UNECE. Regulation No 110 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) - motor vehicles using compressed natural gas (CNG) in their propulsion. [Online] [Citat: den 16 Feb 2023.] <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:120:0001:0108:EN:PDF>.
32. Gehandler, Jonatan och Lönnemark, Anders. *CNG vehicle containers exposed to local fires*. Borås : RISE, 2019.
33. Gehandler, Jonatan, Olofsson, Anna och Hynynen, Jonna. *BREND 2.0 - Fighting fires in new energy carriers on deck 2.0*. Borås : RISE, 2022.
34. MSB. HANDBOK Hantering av brandfarlig gas för yrkesmässig verksamhet Publikationsnummer: MSB1589 - juni 2020. [Online] [Citat: den 16 Feb 2023.] <https://rib.msb.se/filer/pdf/29241.pdf>.
35. *A Review on Failures of Industrial Components due to Hydrogen Embrittlement & Techniques for Damage Prevention*. Khare, A., et al. 8, u.o. : Int. Jour. of Applied Engineering Research, 2017, Vol. 12. https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n8_44.pdf.
36. ISO. ISO/TR 15916:2015 - Basic considerations for the safety of hydrogen systems. u.o. : ISO, 2015. 2. ISO/TR 15916:2015.
37. *Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems*. NASA. u.o. : NASA, 1997. NSS 1740.16.
38. Compatibility of hydrogen with different materials. *HyResponder*. [Online] 2021. [Citat: den 31 Jan 2023.] <https://hyresponder.eu/wp-content/uploads/2021/06/Lecture-4-slides.pdf>.
39. *Hydrogen storage: Recent improvements and industrial perspectives*. Barthelemy, H., et al. 11, u.o. : Int. Jour. of Hydrogen Energy, 2017, Vol. 42. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319916305559>.
40. Adams, P., et al. InsHyDe, Sub-task IP1.3: ALLOWABLE HYDROGEN PERMEATION RATE: Deliverable D74 (InsHyde) – FINAL with Corr.1. *HySafe*. [Online] 2009. [Citat: den 31 Jan 2023.] <http://www.hysafe.net/download/1855/HySafe%20D74%20Permeation%20Rev7%20Final%20Corr%201.pdf>.

41. *Allowable hydrogen permeation rate from road vehicles*. Adams, P., et al. 3, u.o. : Int. Jour. of Hydrogen Energy, 2011, Vol. 36.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319910008633>.
42. HyResponder. Lecture 4: Compatibility of hydrogen with different materials. *HyResponder*. [Online] 2016. [Citat: den 31 Jan 2023.] https://hyresponder.eu/wp-content/uploads/2021/06/L4_HyResponder_Level4_210616.pdf.
43. San Marchi, C. Technical Reference on Hydrogen Compatibility of Materials, Nonmetals;, Polymers (code 8100). *H2Tools*. [Online] [Citat: den 31 Jan 2023.]
https://h2tools.org/file/2818/download?token=d7_IXSOB.
44. *Review of the Hydrogen Permeability of the Liner Material of Type IV On-Board Hydrogen Storage Tank*. Su, Y., et al. u.o. : World Electr. Veh. J., 2021, Vol. Special Issue.
<https://www.mdpi.com/2032-6653/12/3/130>.
45. N., Newhouse. *Development of Improved Composite Pressure Vessels for Hydrogen Storage*. u.o. : Hesagon Lincoln, Hexagon Lincoln, 2016.
<https://www.osti.gov/biblio/1249338>.
46. *Gas permeation of fibre reinforced plastics*. Humphenoder, J. 1, u.o. : Cryogenics, 1998, Vol. 38. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011227597001252>.
47. Katsivalis, I., et al. *Thin-ply composites for hydrogen storage applications*. u.o. : Chalmers Uni. of Tech., 2022. <http://www.chalmers.se/en/areas-of-advance/materials/Calendar/Documents/Katsivalis%20abstract-template-materials-for-tomorrow-2022.pdf>.
48. *MSBFS 2020:1 föreskrifter om hantering av brandfarlig gas och brandfarliga aerosoler*. MSB. u.o. : Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB, Sverige, 2020.
<https://www.msb.se/sv/regler/gallande-regler/brandfarliga-och-explosiva-varor/msbfs-202012/>.
49. CSA/ANSI. CSA/ANSI HGV 2:21 Compressed hydrogen gas vehicle fuel containers. [Online] [Citat: den 22 03 2023.] <https://www.csagroup.org/store/product/2428597/>.
50. *Hydrogen permeation from CGH2 vehicles in garages: CFD dispersion calculations and experimental validation*. Venetsanos, A.G., et al. 8, u.o. : Int. Jour. of Hydrogen Energy, 2010, Vol. 35. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319910002326>.
51. ISO. ISO 19881:2018 Gaseous hydrogen — Land vehicle fuel containers. [Online] [Citat: den 22 03 2023.] <https://www.iso.org/standard/65029.html>.
52. UN ECE. Global Technical Regulation No.13 (Hydrogen and fuel cell vehicles). [Online] [Citat: den 21 03 2023.]
<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/EC-E-TRANS-180a13e.pdf>.
53. SAE. Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles J2579_202301. [Online] [Citat: den 22 03 2023.] https://www.sae.org/standards/content/j2579_202301/.
54. M.C., Kane. *Permeability, Solubility, and Interaction of Hydrogen in Polymers- An Assessment of Materials for Hydrogen Transport*, WSRC-STI-2008-00009, Rev. 0. u.o. : Savannah River National Laboratory (SRNL), 2008.
https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc902701/m2/1/high_res_d/927901.pdf.
55. European Commission. Harmonised Standards > Pressure equipment Directive 2014/68/EU. [Online] [Citat: den 14 Feb 2023.] <https://single-market->

economy.ec.europa.eu/single-market/european-standards/harmonised-standards/pressure-equipment_en.