



HySkills ΚΑ2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ 2- Εκπαιδευτικό σεμινάριο για τη μεταφορά και την παράδοση του υδρογόνου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ 2.6 – ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Σε αυτό το εκπαιδευτικό πρόγραμμα, οι σπουδαστές/ριες θα είναι σε θέση να κατανοήσουν τη θεωρία σχετικά με τις επιλογές μεταφοράς και παράδοσης του υδρογόνου. Επιπλέον, αυτή η ενότητα θα επικεντρωθεί στους τύπους συμπιεστών που χρησιμοποιούνται στο υδρογόνο προκειμένου αυτό να μεταφερθεί, καθώς και στις ιδιότητες επιλογής υλικών για αγωγούς υδρογόνου.



Περιεχόμενα

Πίνακας εικόνων	4
1 Συστήματα αποθήκευσης του υδρογόνου.....	5
1.1 Πως μεταφέρεται το υδρογόνο;.....	5
1.2 Τύποι συστημάτων αποθήκευσης του υδρογόνου	8
1.2.1 Μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα.....	10
1.3 Υγρό Υδρογόνο (LH ₂)	13
1.4 Κρυογονικές δεξαμενές για υγρό υδρογόνο (LH ₂).....	15
1.5 Συμπιεσμένο Υδρογόνο	18
1.6 Σύνθετες δεξαμενές για συμπιεσμένο υδρογόνο	19
1.7 Αποθήκευση μεταλλικών υδριδίων	20
2 Υλικά κατασκευής αγωγών	22
2.1 Γιατί πολυαιθυλένιο;.....	22
2.2 PE80 έναντι PE100;.....	22
3 Συμπιεστές Υδρογόνου.....	24
3.1 Φυγοκεντρικός συμπιεστής	24
3.2 Περιστροφικός συμπιεστής	25
3.3 Εμβολοφόρος συμπιεστής.....	26
3.4 Ιοντικός συμπιεστής.....	27
4 Σχετικοί κανονισμοί και πρότυπα:.....	32
4.1 Διεθνή πρότυπα στον τομέα του υδρογόνου.....	32
4.1.1 Τεχνολογίες στον τομέα του υδρογόνου	33
4.1.2 Σκάφη απόθήκευσης.....	34



4.1.3	Πρότυπα για όλους τους τύπους βαλβίδων	34
4.1.4	Εφαρμογές βαλβίδων εκτόνωσης πίεσης:.....	35
5	Διαδικασία ασφαλούς παράδοσης αέριου υδρογόνου	36
5.1	Λίστα ελέγχου ασφαλείας ασφαλούς αέριου υδρογόνου	41
6	Διαδικασία ασφαλούς παράδοσης υγρού υδρογόνου.....	42
6.1	Λίστα ελέγχου ασφάλειας υγρού υδρογόνου	48
7	Παραπομπές	49



Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Μεγάλο φορτηγό πάνελ.....	9
Εικόνα 2: Διανομέας νερού με το μπουκάλι του ψυγείου νερού που απεικονίζεται στην κορυφή.	9
Σχήμα 3: Σύστημα αποθήκευσης του υγρού υδρογόνου [2].....	14
Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση μιας κρυογονικής δεξαμενής υδρογόνου. Προσαρμογή από [3].....	16
Εικόνα 5: Βίντεο της Linde για τον ασφαλή χειρισμό του υδρογόνου.....	17
Εικόνα 6: Βίντεο της Chart Industries για την κρυογενετική.	17
Εικόνα 7: Γενικό διάγραμμα μπλοκ για συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο (CH ₂) [2].....	18
Σχήμα 8: Σύνθετη δεξαμενή υδρογόνου. Σχήμα προσαρμοσμένο από το [4].....	20
Εικόνα 9: Η μονάδα αποθήκευσης της GKN Powder Metallurgy αποτελείται από οκτώ ξεχωριστά ελεγχόμενες δεξαμενές αποθήκευσης και μπορεί να αποθηκεύσει 133 kWh ηλεκτρικής ενέργειας [5].....	22
Σχήμα 10: Ένα δείγμα σωλήνων HDPE 4 ιντσών με βαθμολογία SDR 17, 11, 9, αντίστοιχα, και το σχετικό πάχος τοιχώματος. Προσαρμογή από [11].....	24
Εικόνα 11: Αρχή ενός φυγοκεντρικού συμπιεστή και τα σχετικά μέρη του. Προσαρμογή από [14].	25
Εικόνα 12: Αρχή ενός περιστροφικού συμπιεστή και τα σχετικά μέρη του. Προσαρμογή από [15].	26
Σχήμα 13: Διάγραμμα ενός παλινδρομικού συμπιεστή με τα συναφή μέρη του: 1) περιοχή αναρρόφησης του συμπιεστή 2) περιοχή εργασίας, 3) περιοχή πίεσης, 4) έμβολο. Προσαρμογή από [16].....	27
Εικόνα 14: Επισκόπηση της αποθήκευσης αέριου υδρογόνου υπό πίεση σε μεγάλη κλίμακα. Προσαρμογή από [17].....	28
Εικόνα 15: Απαιτούμενη πίεση για διάφορες μεθόδους διανομής αέριου υδρογόνου υπό πίεση. Προσαρμογή από [17].....	29
Εικόνα 16: Μεταφορά υγρού υδρογόνου σε μονωμένη δεξαμενή.	39



ΑΡΧΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1

1 Συστήματα αποθήκευσης του υδρογόνου

1.1 Πως μεταφέρεται το υδρογόνο;

Οι εγχώριοι και εξωτερικοί προμηθευτές υδρογόνου χρησιμοποιούν επί του παρόντος, δρόμους ή αγωγούς για τη μεταφορά του υδρογόνου. Αυτό γίνεται συμβατικά με τη χρήση ρυμουλκούμενων σωλήνων ή βυτιοφόρων με κρυογενικό υγρό υδρογόνο. Άλλες μορφές, λιγότερο συμβατικών επιλογών μεταφοράς, είναι οι χημικοί μεταφορείς. Αυτές περιλαμβάνουν τη χρήση καυσίμων πλούσιων σε υδρογόνο, δηλαδή χημικών ενώσεων που περιέχουν μεγάλη πηγή ατόμων υδρογόνου, όπως αμμωνία, μεθανόλη, αιθανόλη (NH₃, CH₃OH, C₂H₅OH, αντίστοιχα) κ.λπ. Έχουν επίσης υπάρξει αναφορές για μεταφορά υδρογόνου με αεροβαρέλια σε ειδικές περιπτώσεις.

Η μεταφορά του υδρογόνου μέσω ολοκληρωμένων αγωγών είναι ο λιγότερο δαπανηρός τρόπος μεταφοράς τεράστιων ποσοτήτων αερίου υδρογόνου και έχουν κατασκευαστεί αρκετές γραμμές παγκοσμίως για να διευκολυνθεί αυτό. Πρόσφατα υπήρξε τεράστια ώθηση και δέσμευση μέσω της κυβέρνησης για τη διασφάλιση της ανάπτυξης των αγωγών υδρογόνου. Η ύπαρξη αυτής της υποδομής θα επιτρέψει την παράδοση υδρογόνου σε όλη την επικράτεια. Παλαιότερα οι γραμμές κατασκευάζονταν κοντά σε διυλιστήρια πετρελαίου ή χημικά εργοστάσια. Ωστόσο, τώρα δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στο φυσικό αέριο και σε συγκεκριμένους αγωγούς αερίου υδρογόνου.

Αντίθετα, το αέριο υδρογόνο μπορεί επίσης να συμπιεστεί και να μεταφερθεί μέσω της υπάρχουσας οδικής υποδομής με τη χρήση σωληνωτών ρυμουλκούμενων. Αυτή η επιλογή χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση μικρών ποσοτήτων υδρογόνου ταυτόχρονα σε σχετικά μικρές αποστάσεις σε σύγκριση με τους αγωγούς φυσικού αερίου. Γενικά, η απόσταση άνω των 200 μιλίων από το σημείο παραγωγής καθιστά την επιλογή αυτή για πολλές εταιρείες και προμηθευτές απαγορευτική από πλευράς κόστους.



FIGURE 34

Comparison of hydrogen transport options over various distances

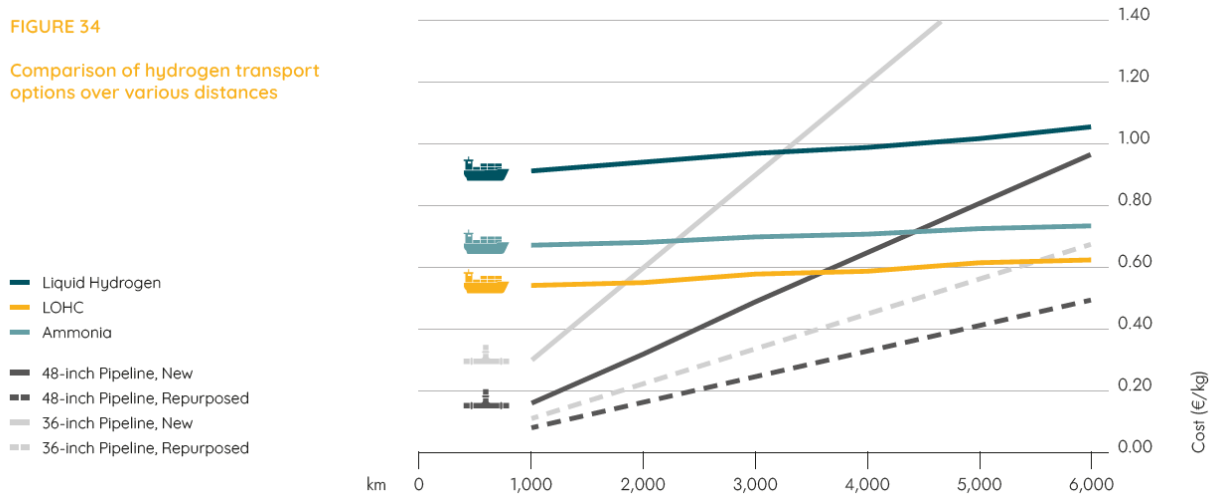




FIGURE 35

Map of example routes to compare
shipping and pipelines as hydrogen
transport methods

For imports from
(1) North Africa to Northern Europe and
(2) Saudi Arabia to Southeast Europe)



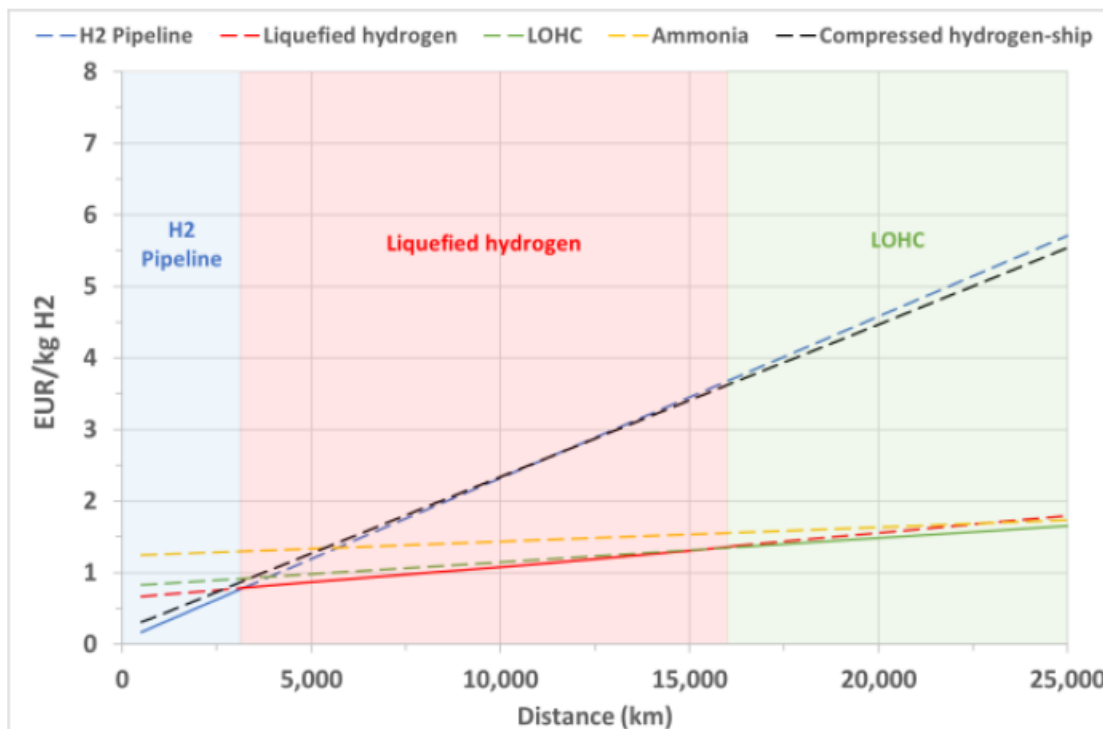


Figure 2 Hydrogen delivery costs for a simple (point to point) transport route, for 1 Mt H₂ and low electricity cost scenario.

1.2 Τύποι συστημάτων αποθήκευσης του υδρογόνου

Όταν το υδρογόνο αποθηκεύεται ως αέριο στην επιφάνεια, απαιτούνται πολύ μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης που λειτουργούν υπό υψηλή πίεση έως και 300 bar. Το υδρογόνο μπορεί επίσης να αποθηκευτεί υπόγεια σε σπήλαια, αλατόδρομους και εξαντλημένα κοιτάσματα πετρελαίου/αερίου. Το υγρό υδρογόνο απαιτεί μικρότερο όγκο, αλλά η διαδικασία υγροποίησης είναι δαπανηρή και πιο επικίνδυνη για το χειρισμό του, λόγω της εξαιρετικά χαμηλής θερμοκρασίας που απαιτείται. Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύσσονται συστήματα μεταλλικών υδρογονανθράκων που μπορούν να αποθηκεύσουν υδρογόνο με πυκνότητα παρόμοια με αυτή του υγρού υδρογόνου, αλλά βρίσκονται ακόμη σε στάδιο ανάπτυξης.

Ενδεικτικά, ένα χιλιόγραμμο υδρογόνου έχει όγκο 12 κυβικών μέτρων σε NTP (κανονική θερμοκρασία και πίεση ή 1 atm, 20°C), θα γέμιζε την αποθήκη ενός μεγάλου βαν και έχει το ενεργειακό ισοδύναμο ενός γαλονιού βενζίνης ή 33 kWh.



Εικόνα 1: Μεγάλο φορτηγό πάνελ.

Η συμπίεση του υδρογόνου στα 100 Bar μειώνει τον όγκο στα 130 λίτρα, που ισοδυναμεί με το μέγεθος μιας τυπικής δεξαμενής ζεστού νερού χρήσης. Στα 700 Bar, την πίεση λειτουργίας ενός οχήματος υδρογόνου, ο όγκος μειώνεται στα 26 λίτρα. Οι δύο δεξαμενές υδρογόνου του Toyota Mirai έχουν συνολικό όγκο 122 λίτρων, συνδυασμένο βάρος 87,5 kg και χωρητικότητα 5 kg.



Εικόνα 2: Διανομέας νερού με το μπουκάλι του ψυγείου νερού που απεικονίζεται στην κορυφή.

Ο υγρός όγκος 1 κιλού υδρογόνου είναι 15 λίτρα σε 1 bar και $-252\text{ }^{\circ}\text{C}$, δηλαδή ο ίδιος όγκος με ένα τυπικό μπουκάλι ψυγείου νερού. Η αποθήκευση του ίδιου υδρογόνου σε υδρίδιο μετάλλου απαιτεί 17 λίτρα σε 33 Bar και $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.



1.2.1 Μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα

Υπάρχει ανάγκη μετεκπαίδευσης εξειδικευμένου και έμπειρου προσωπικού από τις βιομηχανίες ορυκτών καυσίμων για την οικονομία του υδρογόνου. Επιπλέον, το κοινό είναι εξοικειωμένο με τα ορυκτά καύσιμα και είναι χρήσιμο να ξεκινήσουμε με τις κρίσιμες διαφορές στις ιδιότητες μεταξύ του φυσικού αερίου και του αερίου υδρογόνου, καθώς και του υγρού φυσικού αερίου LNG και του υγροποιημένου υδρογόνου (LH2).

Η επιλογή των υλικών αποθήκευσης είναι διαφορετική από το φυσικό αέριο. Στα συστήματα υδρογόνου υπάρχει το ενδεχόμενο ευθραυστότητας των υλικών, διαπερατότητας του υδρογόνου, ακραία χαμηλών θερμοκρασιών καθώς και η πιθανότητα ηλεκτροστατικής συσσώρευσης και εκφόρτισης. Οι υψηλότερες πιέσεις στις οποίες αποθηκεύεται το υδρογόνο σημαίνουν ότι η ταχύτητα οποιασδήποτε ροής υδρογόνου είναι μεγάλη και η προκύπτουσα κρούση και τριβή μπορεί να δημιουργήσει ηλεκτροστατική συσσώρευση σε μη γειωμένα ή μονωμένα υλικά. Αυτοί οι "συλλέκτες φορτίων" μπορεί να εκφορτιστούν και να αποτελέσουν πηγή ανάφλεξης του υδρογόνου [1].

Οι ιδιότητες του υδρογόνου που σχετίζονται με την ασφάλεια για την αποθήκευση υδρογόνου περιλαμβάνουν τη χαμηλή πυκνότητα, τη χαμηλή ενέργεια ανάφλεξης, το ευρύ φάσμα ευφλεκτότητας και τη δυνητική εκρηκτικότητά του. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τις κρίσιμες για την ασφάλεια ιδιότητες του υδρογόνου και τις συγκρίνει με εκείνες του μεθανίου, ενώ τονίζεται ο αντίκτυπος στην ασφάλεια.



Πίνακας 1: Σύγκριση των ιδιοτήτων που σχετίζονται με την ασφάλεια για το υδρογόνο και το μεθάνιο [2].

Property	Hydrogen	Methane	Consequences for hydrogen safety
Gas density at NTP	0.0827 kg/m ³	0.659 kg/m ³	Can be positive for outdoor dispersion due to buoyancy, but only for passive clouds. High-pressure jet dispersion is dominated by momentum not buoyancy. Also negative because LFL may extend further for hydrogen jet than for methane.
Flammability range (25 °C, 101.3 kPa)	4–75 vol%	5–17 vol%	Negative, causing larger flammable cloud volume. LFL = 4% only for upward propagating H ₂ flames, 8% is the lean limit of hydrogen combustion for practical applications.
Autoignition temperature	585 °C	537 °C	Neutral.
Minimum ignition energy	0.017 mJ	0.27 mJ	Negative. The ignition energy varies significantly with gas concentration (see Figure 4.1). For hydrogen concentrations up to 60%, the ignition energy is less than that of methane, with the absolute minimum being more than an order of magnitude less.
Boiling point	-253 °C	-161 °C	More challenging than CH ₄ . LH ₂ can condense oxygen in air and cause unknown effects due to concentrated oxygen. Cryogenic effects different from LNG.
Amount of energy, heat of combustion (lower heating value)	120 kJ/g	50 kJ/g	For high-pressure gas releases at the same pressure and through the same hole size, the energy released for hydrogen is about 85% of that for methane.
Maximum burning velocity in NTP air (cm/s)	265–325	37–45	Negative. Results in much greater flame acceleration in congested areas and higher pressures in confined spaces due to the greater difficulty in venting the explosion fast enough. Rapid flame acceleration will give high explosion pressures in small clouds.
Detonability measured in minimum mass of tetryl (Bull, 1979)	0.8 g	16 000 g	Negative. Given greater flame acceleration with hydrogen (see above), DDT is a realistic if unlikely possibility. This is not the case for methane. A hydrogen detonation can propagate through the full cloud and increase the explosion severity significantly.
Laminar diffusion coefficient at NTP (cm²/s)	0.61	0.16	Negligible effect on dispersion which is dominated by turbulent diffusion. Other effects are more important, such as flow speed and low density causing longer momentum jets.
Speed of sound at NTP (m/s)	1 294	446	Negative, contributes to larger volumetric flowrates from leaks. Hydrogen has higher speed of sound and lower density. These cancel each other out, resulting in similar jet momentum for releases with the same pressure and hole size.
Compressibility factor Z average 0 to 300 barg	0.1	0.9	Minor effect of non-ideal gas. Causes a reduced mass leak rate for H ₂ compared to using ideal gas law. For higher pressure, real gas effects are larger.
Joule-Thomson effect when pressure is relieved	Causes a small temperature increase	Causes a temperature decrease	Negligible since the temperature increase effect on hydrogen is only a few Kelvins. Requirement to limit CH ₄ temperature in storage tanks restricts filling rates (relevant for CH ₄ bunkering).
Adiabatic flame temperature	2 045 °C	1 875 °C	Hydrogen flames can be hotter.
Heat radiated from flame to surroundings	17–25%	23–33%	These ranges are indicative and vary with release rate. Smaller hydrogen flames are invisible. At large release rates, a hydrogen fire can have the same radiation level as methane. There is very limited large-scale hydrogen data.

Comments give positive or negative safety effects for hydrogen compared with methane or natural gas systems. (NTP = Normal Temperature and Pressure, 20 °C and 101.3 kPa.)



Η πυκνότητα του αερίου υδρογόνου με $0,083 \text{ kg/m}^3$ είναι μία τάξη μεγέθους ελαφρύτερη από τον αέρα $1,204 \text{ kg/m}^3$. Η υψηλή άνωση του υδρογόνου μπορεί να αποτελέσει πλεονέκτημα αλλά και κίνδυνο και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό συστημάτων υδρογόνου. Λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας του υδρογόνου, μια απελευθέρωση αερίου υδρογόνου σε εξωτερικούς χώρους θα διαχυθεί γρήγορα. Ωστόσο, για έναν πίδακα υψηλής ορμής με ρυθμό απελευθέρωσης πάνω από μία ορισμένη τιμή, το αέριο κινείται από την ορμή του και όχι από την άνωση - υπό αυτές τις συνθήκες μπορεί να δημιουργήσει ένα μεγάλο νέφος αερίου παρόμοια με μία διαρροή φυσικού αερίου. Αυτό το φαινόμενο της ορμής είναι επίσης σχετικό μέσα σε κλειστούς χώρους, όπου ένα νέφος αερίου μπορεί να δημιουργηθεί σε όλες τις θέσεις πριν κινηθεί προς τα πάνω.

Ένα στοιχειομετρικό μείγμα είναι ένα μείγμα όπου η ποσότητα του καυσίμου ταιριάζει με την ακριβή ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για πλήρη καύση με την απελευθέρωση της μέγιστης ενέργειας καύσης. Ένα στοιχειομετρικό μείγμα υδρογόνου στον αέρα περιέχει 29,5 (vol)% υδρογόνο, ενώ για το φυσικό αέριο είναι 10 (vol)%. Συνεπώς, παρόλο που το υδρογόνο απαιτεί μεγαλύτερο ποσοστό διαρροής από το φυσικό αέριο, η υψηλότερη πίεση υπό την οποία αποθηκεύεται έτοιμο το υδρογόνο, παρέχει υψηλά ποσοστά διαρροής. Επιπλέον, ένα ίσο μέγεθος οπής δίνει στο υδρογόνο περίπου τριπλάσια ογκομετρική ροή από το φυσικό αέριο σε μία όμοια κατάσταση λόγω του χαμηλού ιξώδους και του μικρού μεγέθους μορίων του υδρογόνου. Λόγω του μεγάλου εύρους ευφλεκτότητας του υδρογόνου, μπορεί να δημιουργήσει μεγαλύτερο εύφλεκτο νέφος σε σύγκριση με το μεθάνιο.

Οι θερμοκρασίες αυτόανάφλεξης για το υδρογόνο και το μεθάνιο είναι συγκρίσιμες- ως εκ τούτου, υπάρχουν παρόμοιες πιθανότητες ανάφλεξης από θερμές επιφάνειες. Ενώ η ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης (σπινθήρας) για συγκεντρώσεις υδρογόνου κάτω του 15%, είναι παρόμοια με αυτή του μεθανίου, για υψηλότερες συγκεντρώσεις υδρογόνου, η ενέργεια ανάφλεξης είναι μία τάξη μεγέθους χαμηλότερη. Επομένως, σε αντίθεση με τα νέφη μεθανίου, τα πιο πλούσια νέφη υδρογόνου έχουν πολύ μεγαλύτερο κίνδυνο ανάφλεξης από ηλεκτρική εκκένωση.

Όταν το υδρογόνο καίγεται, το μόνο προϊόν καύσης είναι οι υδρατμοί. Τα καθαρά μείγματα υδρογόνου/αέρα καίγονται με μία μη φωτεινή, σχεδόν αόρατη, ωχρό μπλε θερμή φλόγα που απελευθερώνει τη χημικά δεσμευμένη ενέργεια ως θερμότητα (ακαθάριστη θερμότητα καύσης).



Η θεωρητική μέγιστη θερμοκρασία φλόγας ενός προ-αναμεμειγμένου στοιχειομετρικού μίγματος υδρογόνου με αέρα φτάνει τους 2130 °C. Οι φλόγες υδρογόνου μπορούν να φθάσουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες από άλλα αέρια, αλλά ταυτόχρονα η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία από τη φλόγα είναι συνήθως χαμηλότερη. Όταν αυξάνεται το μέγεθος της φωτιάς, αυξάνεται και το επίπεδο ακτινοβολίας. Για μία μεγάλη πυρκαγιά υδρογόνου, τα επίπεδα ακτινοβολίας είναι συγκρίσιμα με εκείνα των πυρκαγιών υδρογονανθράκων και η φλόγα γίνεται πιο ορατή. Μία έκρηξη υδρογόνου θα μπορούσε να είναι μία σοβαρή συνέπεια από μία διαρροή αποθήκευσης υδρογόνου (και ανάφλεξη) σε κλειστό ή ημιυπαίθριο χώρο, και αυτό το σενάριο θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλές υπερπτήσεις έκρηξης. Συνεπώς, η εκτίμηση του κινδύνου έκρηξης υδρογόνου αποτελεί βασικό στοιχείο στις αναλύσεις κινδύνου υδρογόνου.

1.3 Υγρό Υδρογόνο (LH₂)

Το υδρογόνο σε υγρή (κρυογονική) μορφή είναι πιο ενεργοβόρο για να αποθηκευτεί ως υγρό σε σύγκριση με το μεθάνιο, λόγω του εξαιρετικά χαμηλού σημείου βρασμού του υδρογόνου (-253 °C). Δεδομένου ότι το υδρογόνο έχει ένα στενό εύρος θερμοκρασιών, 20°C για την υγρή του φάση, είναι πιο απαιτητικό να διατηρηθεί το υδρογόνο στην κρυογονική υγρή φάση και να ελαχιστοποιηθεί η εκροή σε σύγκριση με το φυσικό αέριο.

Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι πιθανές κρυογονικές επιπτώσεις μίας απελευθέρωσης LH₂. Ο αέρας αποτελείται από οξυγόνο και άζωτο, τα οποία υγροποιούνται ή και στερεοποιούνται σε επαφή με το LH₂. Καθώς το σημείο βρασμού του αζώτου (77,36 K) είναι χαμηλότερο από εκείνο του οξυγόνου (90,19 K), το υγρό οξυγόνο συγκεντρώνεται όταν ο αέρας έρχεται σε επαφή με υγρό υδρογόνο ή σωληνώσεις LH, αυξάνοντας την πιθανότητα ανάφλεξης και σοβαρών εκρηκτικών γεγονότων.



Σχήμα 3: Σύστημα αποθήκευσης του υγρού υδρογόνου [2].

Καθώς το υδρογόνο με 461 kJ/kg έχει χαμηλότερη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης από το φυσικό αέριο (510 kJ/kg), χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για την εξάτμισή του από το ΥΦΑ, και επομένως ένας ψεκασμός LH2 παρόμοιου μεγέθους, θα εξατμιστεί ευκολότερα και θα έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη ψύξη του περιβάλλοντος (π.χ. χάλυβα), εν αντιθέσει με ένα συγκρίσιμο ψεκασμό ΥΦΑ. Παρόλο που μία λίμνη από διαρροή LH2 είναι πιο κρύα από μία παρόμοια λίμνη ΥΦΑ, το LH2 εξατμίζεται ταχύτερα. Η ταχεία εξάτμιση του LH2 που διαρρέει μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία αύξηση της πίεσης σε περιορισμένους χώρους, εάν ο εξαερισμός είναι ανεπαρκής ή αναποτελεσματικός. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση των περιβλημάτων των χώρων αποθήκευσης LH2 και των σχετικών συστημάτων εξαερισμού.



1.4 Κρυογονικές δεξαμενές για υγρό υδρογόνο (LH₂)

Το κρυογενικό υδρογόνο αναφέρεται συχνά ως υγρό υδρογόνο (LH₂) και έχει πυκνότητα 70,8 kg/m³ στο κανονικό σημείο βρασμού του στους -20K. Ορισμένα άλλα χαρακτηριστικά του LH₂ είναι τα εξής:

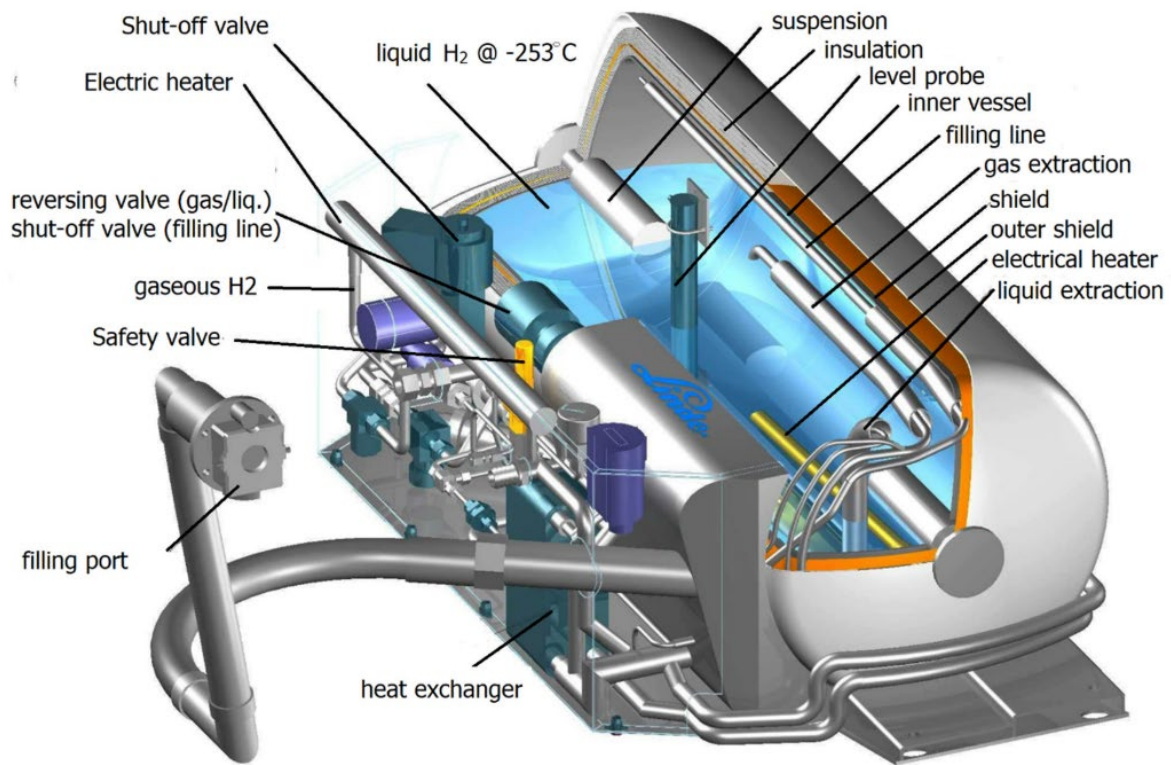
- Κρίσιμη πίεση: 13 bar
- Κρίσιμη θερμοκρασία: 33K

Η θεωρητική βαρυμετρική πυκνότητα του LH₂ είναι 100%. Ωστόσο, μόνο 20 % κ.β. H₂ μπορεί να επιτευχθεί σε πρακτικά συστήματα υδρογόνου μέχρι σήμερα. Σε ογκομετρική βάση, οι αντίστοιχες τιμές είναι 80 και 30 kg/m³, αντίστοιχα. Αυτό τελικά σημαίνει ότι το LH₂ έχει πολύ καλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από εκείνη του αντίστοιχου συμπιεσμένου υδρογόνου, η οποία περιγράφεται παρακάτω.

Ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης κρυογονικής αποθήκευσης υγρού υδρογόνου είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης κρυογονικής αποθήκευσης υγρού υδρογόνου.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Η υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί σε σχετικά χαμηλές πιέσεις.	Υπάρχει μια σημαντική ενεργειακή ποιινή, όπου περίπου το 30-40% της ενέργειας χάνεται κατά την παραγωγή LH ₂ .
Το υγρό υδρογόνο έχει δοκιμαστεί σε συμβατικά εμπορικά οχήματα (π.χ. BMW)	Ένα άλλο μειονέκτημα με το LH ₂ είναι το βράσιμο κατά τη διάρκεια των περιόδων ηρεμίας, καθώς και το γεγονός ότι απαιτούνται εξαιρετικά μονωμένα κρυογονικά δοχεία.
Στη συνέχεια, στο μέλλον θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πηγή καυσίμου για τις αερομεταφορές, καθώς παρέχει το καλύτερο πλεονέκτημα βάρους από κάθε άλλη μέθοδο αποθήκευσης υδρογόνου.	



Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση μιας κρυογονικής δεξαμενής υδρογόνου. Προσαρμογή από [3].

Ακολουθούν εκπαιδευτικά βίντεο σχετικά με την ασφαλή λειτουργία των βυτιοφόρων οχημάτων μεταφοράς υγρού υδρογόνου:



Εικόνα 5: Βίντεο της Linde για τον ασφαλή χειρισμό του υδρογόνου.



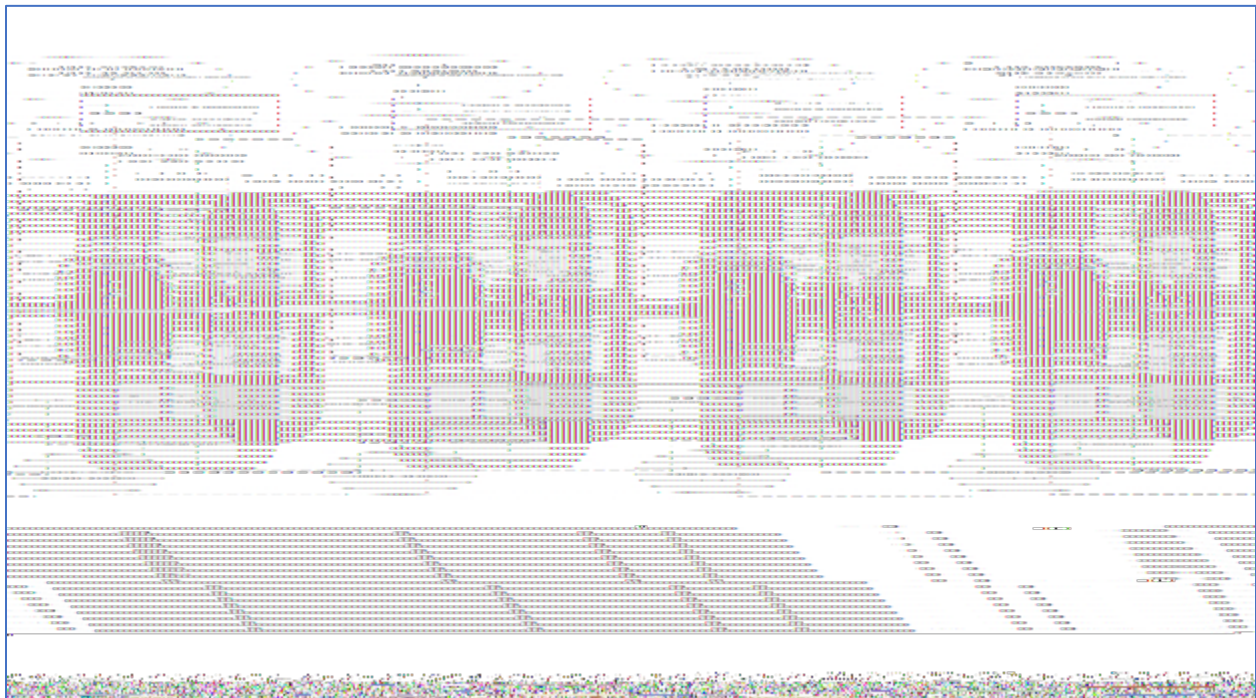
Εικόνα 6: Βίντεο της Chart Industries για την κρυογενετική.



1.5 Συμπιεσμένο Υδρογόνο

Το σχήμα 4 περιγράφει τη διάταξη του συστήματος για την αποθήκευση υδρογόνου (CH_2) με συμπιεσμένο αέριο. Για την αποθήκευση συμπιεσμένου υδρογόνου, ο χώρος αποθήκευσης της δεξαμενής πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Δέσμη(-ες) δεξαμενών CH_2 , συνήθως 350-700 bar.
- Γραμμές καυσίμου.
- Σύστημα εξαερισμού υδρογόνου (σύστημα εκτόνωσης πίεσης για τις δέσμες δεξαμενών).
- Σύστημα εξαερισμού (τεχνητός εξαερισμός για την παροχή συνεχών αλλαγών αέρα στο χώρο αποθήκευσης της δεξαμενής).
- Μονάδα(ες) ρύθμισης της πίεσης.
- Σύστημα πυροπροστασίας.
- Σύστημα ανίχνευσης H_2 .
- Συστήματα ασφαλείας (ανίχνευση πυρκαγιάς, σύστημα πυρόσβεσης, σύστημα διακοπής λειτουργίας έκτακτης ανάγκης).
- Δομική πυροπροστασία (μόνωση προς τους γειτονικούς χώρους).



Εικόνα 7: Γενικό διάγραμμα μπλοκ για συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο (CH_2) [2].



Η μεταφορά υδρογόνου από ένα βυτιοφόρο μπορεί να επιτευχθεί με εξισορρόπηση της πίεσης ή με άμεση συμπίεση του αερίου υδρογόνου πριν από τη μεταφορά στην εγκατάσταση αποθήκευσης. Για την εξισορρόπηση πίεσης, η πίεση του βυτιοφόρου πρέπει να είναι υψηλότερη από εκείνη που απαιτείται από το δοχείο υποδοχής. Η εναλλακτική λύση είναι η χρήση ενισχυτικού συμπιεστή για την αύξηση της πίεσης κατά τη μεταφορά.

1.6 Σύνθετες δεξαμενές για συμπιεσμένο υδρογόνο

Τα σύνθετα υλικά μπορούν να οριστούν ως ‘αποτελούμενα από διάφορα μέρη ή στοιχεία’. Η έρευνα για τα σύνθετα υλικά έχει αποκτήσει σημαντικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια εξετάζοντας πολυάριθμους τομείς, όπως ιατρικές εφαρμογές και εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία, κτίρια και δοχεία αποθήκευσης. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη δυνατότητα επιλεκτικής επιλογής ορισμένων από τις βελτιωμένες ιδιότητες των υλικών που ταιριάζουν στην τελική εφαρμογή και στη δυνατότητα κατασκευής αυτών των σύνθετων υλικών. Πρόσφατα, η έρευνα για τα σύνθετα υλικά επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη δεξαμενών για την αποθήκευση υδρογόνου, καθώς υπάρχει μια τεράστια ώθηση για την απεξάρτηση από τον άνθρακα σε παγκόσμιο επίπεδο, ώστε να συμβάλει στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Συνήθως, αυτές οι δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου περιέχουν σύνθετο υλικό από ίνες άνθρακα στο εξωτερικό στρώμα της δεξαμενής. Η χρήση σύνθετων δεξαμενών για την αποθήκευση του υδρογόνου έχει πολλά πλεονεκτήματα:

- Δεν απαιτούν εσωτερικό εναλλάκτη θερμότητας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως κρυο αέριο με επιπλέον εξαρτήματα.
- Το χαμηλό βάρος τους (το οποίο μπορεί να προσαρμοστεί με την κατασκευή του σύνθετου υλικού), ανταποκρίνεται σε βασικούς στόχους και οι δεξαμενές είναι ήδη διαθέσιμες στο εμπόριο, δοκιμασμένες σε θέματα ασφάλειας και καλά σχεδιασμένες, αφού έχουν ολοκληρωθεί πολυάριθμες φάσεις πρωτοτύπων.
- Οι δεξαμενές τυποποιημένων μεγεθών είναι διαθέσιμες παγκοσμίως με ειδικούς κωδικούς για πιέσεις στην περιοχή 350-700 bar.

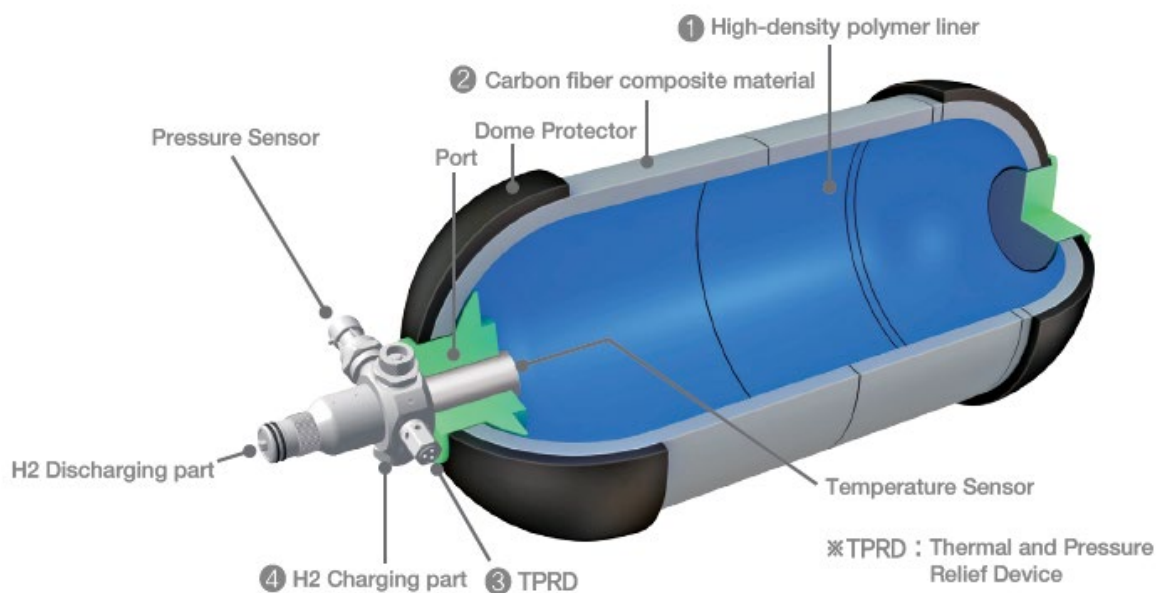
Στη συνέχεια, υπάρχουν επίσης ορισμένα μειονεκτήματα που συνοδεύουν τη χρήση αυτού του μέσου αποθήκευσης:

- Απαιτείται μεγάλος φυσικός όγκος για τις δεξαμενές και το ιδανικό κυλινδρικό σχήμα τους



δεν ανταποκρίνεται πάντα στον διαθέσιμο χώρο, ανάλογα με το πού μπορεί να εγκατασταθεί.

- Υπάρχει υψηλή ενεργειακή επιβάρυνση με τη συμπίεση του αερίου υδρογόνου σε πολύ υψηλές πιέσεις. Ομοίως, κατά τη φάση της συμπίεσης παράγεται επίσης απορριπτόμενη θερμότητα που δεν αξιοποιείται πάντα.
- Εξακολουθούν να έχουν υψηλό κόστος χρήσης (συνήθως της τάξης των 500-600 \$/kg υδρογόνου).



Σχήμα 8: Σύνθετη δεξαμενή υδρογόνου. Σχήμα προσαρμοσμένο από το [4].

1.7 Αποθήκευση μεταλλικών υδριδίων

Η χρήση μεταλλικής σκόνης ως μέσου αποθήκευσης υδρογόνου έχει ορισμένα προφανή πλεονεκτήματα: η ίδια ποσότητα αερίου υδρογόνου μπορεί να αποθηκευτεί σε μία δεξαμενή που δεν έχει ούτε το μισό μέγεθος σε σύγκριση με το αέριο. Επιπλέον, η διαδικασία με βάση τη μεταλλική σκόνη λειτουργεί σε χαμηλότερη πίεση και είναι ευκολότερο να ελεγχθεί όσον αφορά τα επίπεδα θερμοκρασίας. Στη δική μας διαδικασία, οι δεξαμενές αποθήκευσης φορτώνονται με αέριο υδρογόνο σε επίπεδα πίεσης κάτω των 40 bar. Το σφαιριδιοποιημένο κράμα μετάλλων στο εσωτερικό της δεξαμενής αντιδρά με το υδρογόνο και δημιουργεί υδρίδια μετάλλων.



Η φόρτωση της δεξαμενής με υδρογόνο είναι μια εξώθερμη διαδικασία, πράγμα που σημαίνει ότι η απορρόφηση του υδρογόνου στο μεταλλικό πλαίσιο της δεξαμενής πρέπει να ψύχεται και να διατηρείται στους 20°C για να διατηρείται η διαδικασία φόρτωσης σταθερή και αποτελεσματική.

Για την εκφόρτωση ή την εκρόφιση, η δεξαμενή πρέπει να θερμανθεί στους 60°C, καθώς η χημική αντίδραση για την απομάκρυνση του υδρογόνου από το μεταλλικό πλέγμα είναι ενδόθερμη. Όσο μεγαλύτερη είναι η ροή υδρογόνου μέσα ή έξω από τη δεξαμενή, τόσο πιο έντονη είναι η χημική αντίδραση. Για να αυξηθεί η κινητική ικανότητα για γρήγορη φόρτωση και εκφόρτωση και για λόγους ασφαλείας, η θερμική διαχείριση αποτελεί βασική πτυχή του συστήματος μεταλλικού υδρογόνου-δεξαμενής. Οι δεξαμενές διπλού σωλήνα μπορούν να βοηθήσουν στη βέλτιστη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του "ενεργού" υλικού και του μέσου ψύξης/θέρμανσης.





Εικόνα 9: Η μονάδα αποθήκευσης της GKN Powder Metallurgy αποτελείται από οκτώ ξεχωριστά ελεγχόμενες δεξαμενές αποθήκευσης και μπορεί να αποθηκεύσει 133 kWh ηλεκτρικής ενέργειας [5].

Τέλος Ενότητας 1

ΑΡΧΗ ΕΝΟΤΗΤΑΣ 2

2 Υλικά κατασκευής αγωγών

2.1 Γιατί πολυαιθυλένιο;

Όταν συγκρίνουμε το πολυαιθυλένιο (PE) με άλλα συμβατικά υλικά σωληνώσεων, όπως ο όλκιμος σίδηρος ή ο χάλυβας, υπάρχει σημαντικός αριθμός πλεονεκτημάτων που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Καθώς το πολυαιθυλένιο είναι μια μορφή πλαστικού, το πολυαιθυλένιο θα έχει έναν εντελώς διαφορετικό τύπο μηχανισμού αποικοδόμησης από αυτόν των μετάλλων που αναφέρονται [6]. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα, καθώς τα πρώτα μέταλλα θα ήταν ευάλωτα σε ζητήματα όπως: η ευθραυστότητα από υδρογόνο και η φουσκάλωση από υδρογόνο [7].

2.2 PE80 έναντι PE100;

Οι αναγραφόμενες ονομασίες PE80/PE100 βασίζονται στη μακροχρόνια αντοχή των συγκεκριμένων υλικών, πιο γνωστή και ως ελάχιστη απαιτούμενη αντοχή (MRS) σύμφωνα με το πρότυπο ISO 12162 - Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications - Classification and designation - overall Service (Design) coefficient [8]. Η ελάχιστη απαιτούμενη αντοχή προσδιορίζεται με τη διενέργεια ανάλυσης παλινδρόμησης σύμφωνα με το ISO 9080 [9] στα δεδομένα δοκιμών από τα αποτελέσματα των μακροχρόνιων δοκιμών υπό πίεση. Η ανάλυση παλινδρόμησης επιτρέπει την πρόβλεψη της ελάχιστης αντοχής για συγκεκριμένη διάρκεια ζωής. Στη συνέχεια, τα δεδομένα προεκτείνονται για την πρόβλεψη της ελάχιστης αντοχής στους 20 °C και στην καθορισμένη 50ετή διάρκεια ζωής σχεδιασμού [10].

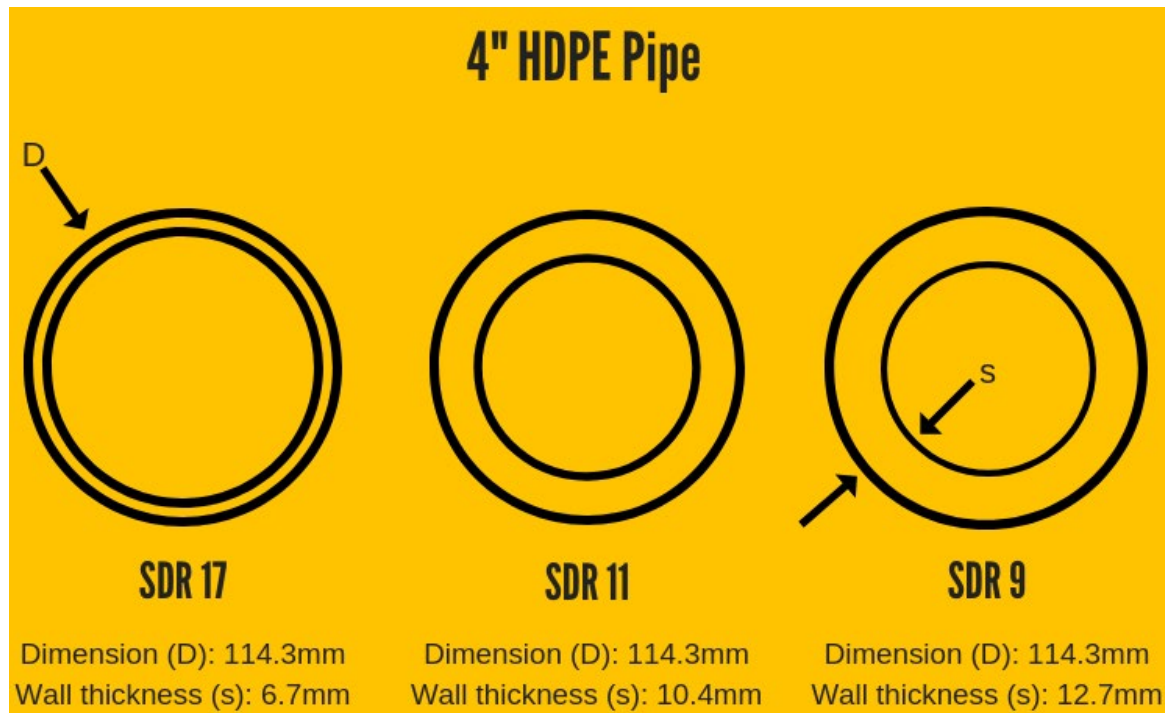


Πίνακας 3: Παράμετροι υλικού για σωλήνες PE80 και PE100.

Τύπος υλικού (κωδικός)	Ελάχιστη απαιτούμενη αντοχή [MRS] (MPa)
PE80	8.00
PE100	10.00

Ο τυπικός λόγος διαστάσεων (SDR) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σχέση μεταξύ της διαμέτρου ενός σωλήνα και του πάχους του τοιχώματός του. Επομένως, αυτό μεταφράζεται άμεσα με την ονομαστική πίεση του σωλήνα.

$$SDR = \frac{\text{Εξωτερική διάμετρος σωλήνα (Ελάχιστο)}}{\text{Εξωτερική διάμετρος σωλήνα (Ελάχιστο)}}$$



Σχήμα 10: Ένα δείγμα σωλήνων HDPE 4 ιντσών με βαθμολογία SDR 17, 11, 9, αντίστοιχα, και το σχετικό πάχος τοιχώματος. Προσαρμογή από [11].

3 Συμπιεστές Υδρογόνου

Ο συμπιεστής υδρογόνου είναι ένας τύπος συσκευής που συμπιέζει το αέριο υδρογόνο σε υψηλότερο επίπεδο πίεσης, καταλαμβάνοντας μικρότερο όγκο σε σύγκριση με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η αύξηση της πίεσης του υδρογόνου επιτρέπει τη μεταφορά μεγαλύτερης ποσότητας του αερίου σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή σε έναν δεδομένο περιορισμό όγκου, όπως ένα ρυμουλκούμενο/φορητό με σωλήνες. Επιπλέον, η αύξηση της πίεσης του υδρογόνου είναι απαραίτητη στα συστήματα πλήρωσης υδρογόνου και είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της σταθερής λειτουργίας των σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου [12].

3.1 Φυγοκεντρικός συμπιεστής

Ο φυγοκεντρικός συμπιεστής είναι μακράν ο ιδανικότερος συμπιεστής για χρήση σε εφαρμογές αγωγών. Αυτό οφείλεται κυρίως στον μέτριο λόγο συμπίεσης και στην υψηλή απόδοση. Οι

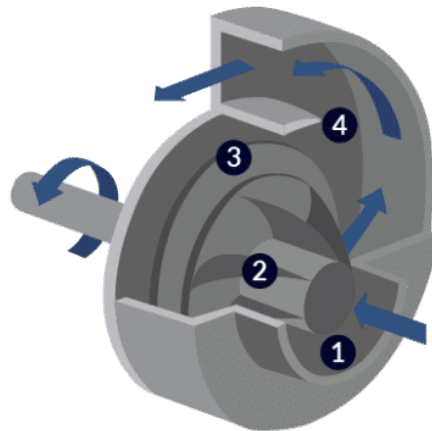


φυγοκεντρικοί συμπιεστές λειτουργούν στην πράξη με την περιστροφή ενός τροβίλου σε πολύ υψηλή ταχύτητα για τη συμπίεση ενός αερίου. Λόγω του χαμηλού μοριακού βάρους του υδρογόνου (2g/mol για το διατομικό υδρογόνο, H_2) σε σύγκριση με αυτό του φυσικού αερίου (μεθάνιο, 16g/mol , CH_4), οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές υδρογόνου πρέπει να λειτουργούν σε ταχύτητες κορυφής 3 φορές ταχύτερες από αυτές των συμπιεστών μεθανίου για να επιτύχουν τον ίδιο λόγο συμπίεσης [13].

PARTS OF A CENTRIFUGAL COMPRESSOR

The 4 components of a centrifugal compressor are the inlet, impeller, diffuser, and collector.

They all work together to turn kinetic energy into pressure.



1. Inlet:

Where gases enter the compressor

2. Impeller:

Bladed rotor that spins rapidly to create kinetic energy

3. Diffuser:

High-velocity output from the impeller hits the diffuser, slows and kinetic energy turns into pressure

4. Collector:

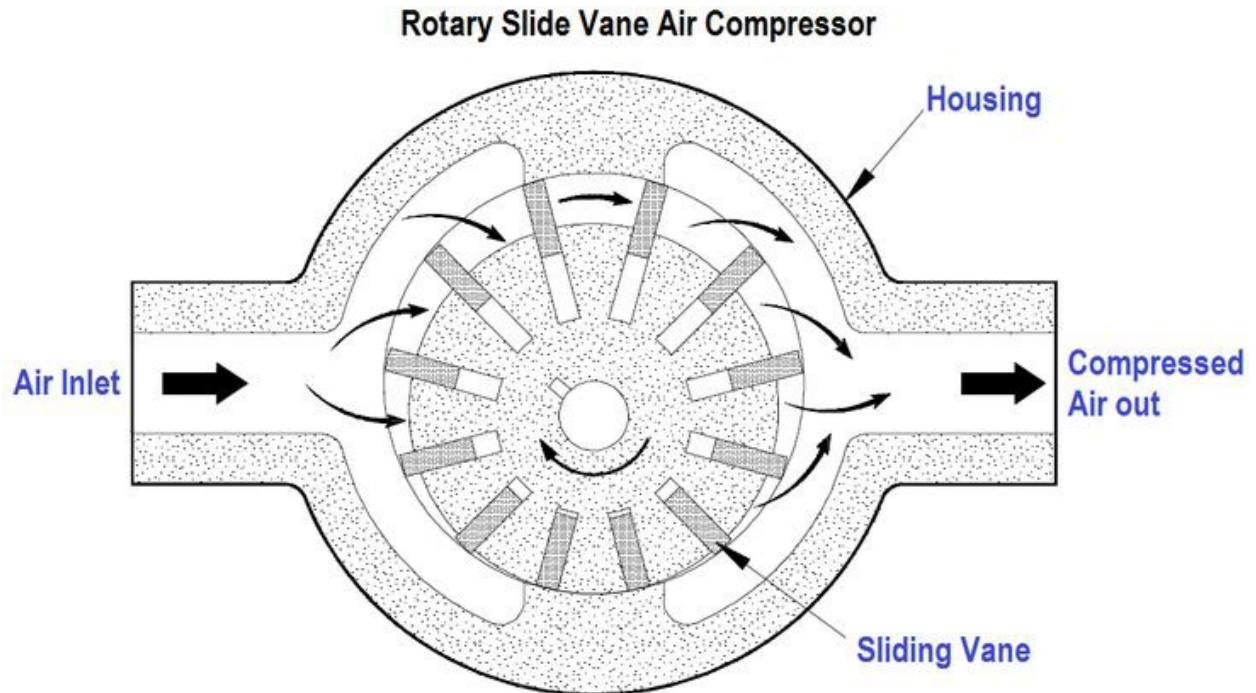
Empty chamber where the gases are gathered before leaving the compressor



Εικόνα 11: Αρχή ενός φυγοκεντρικού συμπιεστή και τα σχετικά μέρη του. Προσαρμογή από [14].

3.2 Περιστροφικός συμπιεστής

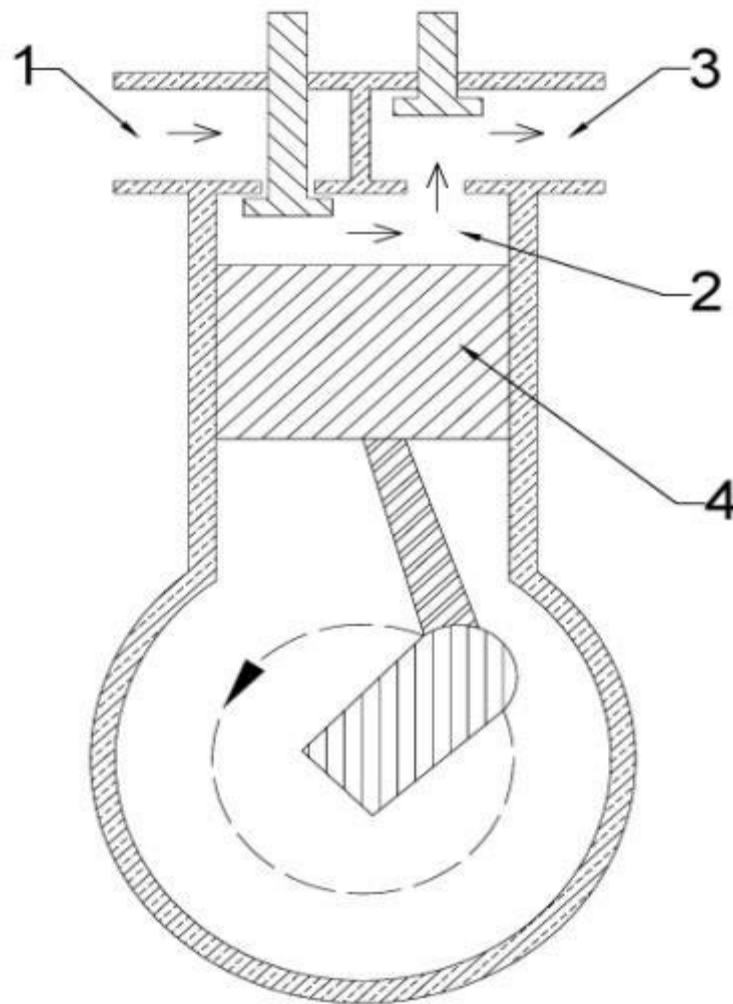
Οι περιστροφικοί συμπιεστές λειτουργούν με βάση την αρχή της περιστροφής γραναζιών, περυνγίων, λοβών, κυλίνδρων ή κοχλιών. Η συμπίεση υδρογόνου είναι μία δύσκολη εφαρμογή για τους συμπιεστές θετικής εκτόπισης λόγω της στενής ανοχής για την αποφυγή διαρροών.



Εικόνα 12: Αρχή ενός περιστροφικού συμπιεστή και τα σχετικά μέρη του. Προσαρμογή από [15].

3.3 Εμβολοφόρος συμπιεστής

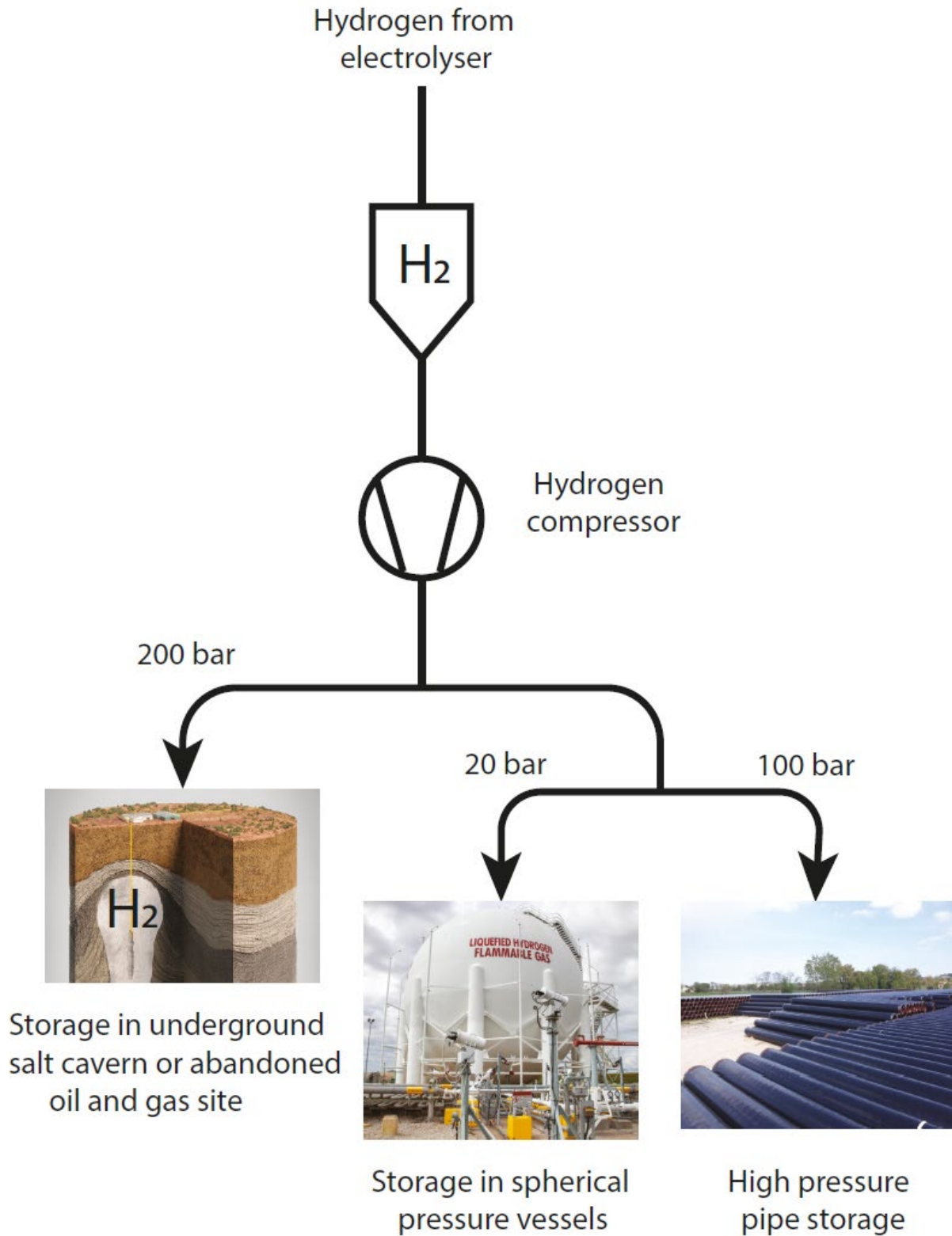
Οι παλινδρομικοί συμπιεστές χρησιμοποιούν έναν κινητήρα με γραμμική κίνηση για να μετακινήσουν ένα διάφραγμα ή ένα έμβολο προς τα πίσω και προς τα εμπρός. Αυτός ο τύπος κίνησης συμπιέζει το υδρογόνο μειώνοντας τον όγκο που καταλαμβάνει το αέριο. Οι παλινδρομικοί συμπιεστές είναι επίσης μερικές φορές γνωστοί ως "recips" ως συντομευμένος όρος, είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος συμπιεστής για εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλό λόγο συμπίεσης.



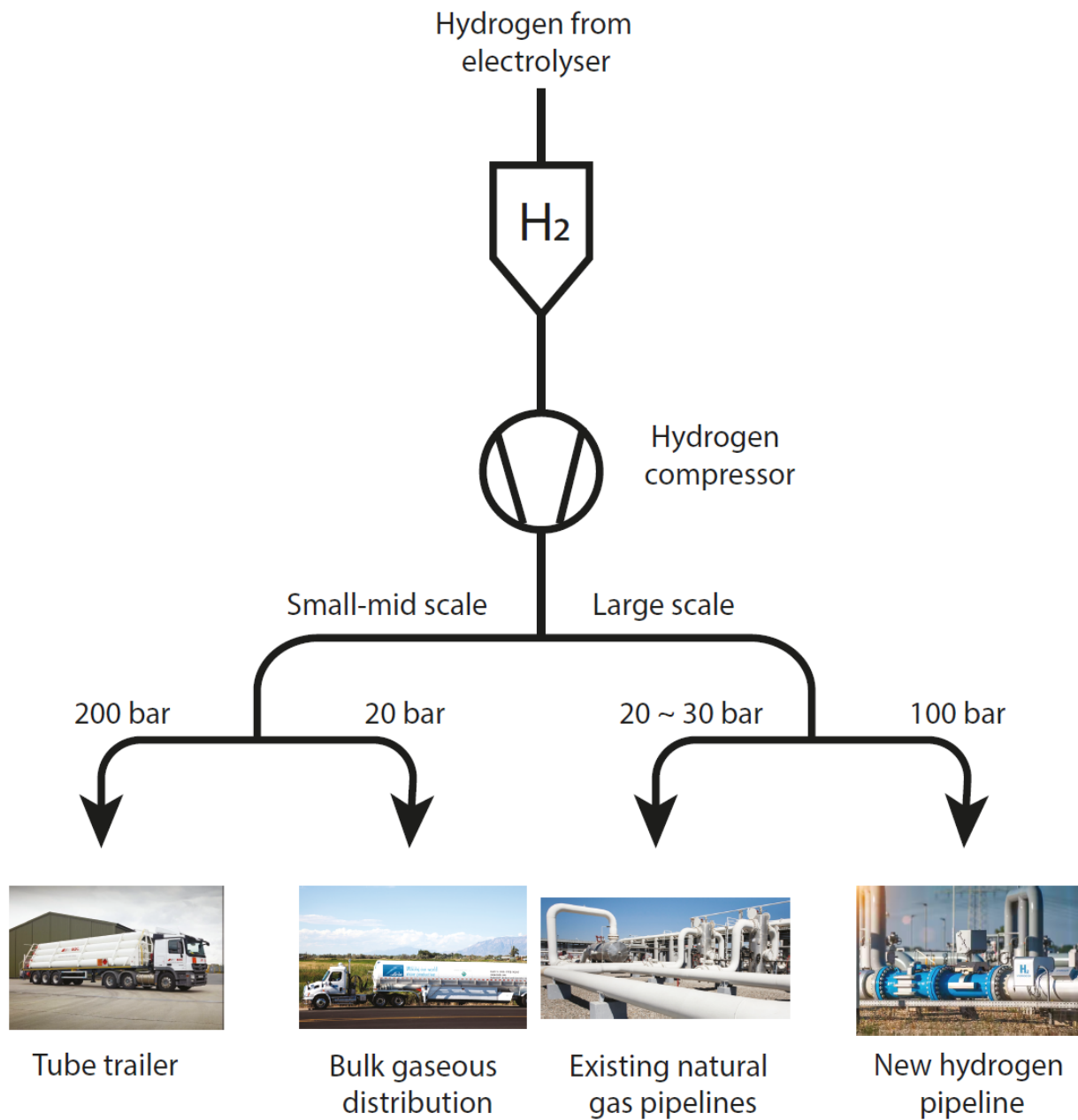
Σχήμα 13: Διάγραμμα ενός παλινδρομικού συμπιεστή με τα συναφή μέρη του: 1) περιοχή αναρρόφησης του συμπιεστή 2) περιοχή εργασίας, 3) περιοχή πίεσης, 4) έμβολο. Προσαρμογή από [16].

3.4 Ιοντικός συμπιεστής

Οι ιοντικοί συμπιεστές είναι παρόμοιοι από τη φύση τους με τους παλινδρομικούς συμπιεστές, αλλά χρησιμοποιούν ιοντικά υγρά στη θέση του εμβόλου. Αυτοί οι συμπιεστές δεν απαιτούν στεγανοποιήσεις ή έδρανα, τα οποία είναι δύο συνήθεις πηγές βλάβης στους παλινδρομικούς συμπιεστές. Αυτοί οι τύποι συμπιεστών είναι πλέον διαθέσιμοι στις κατάλληλες πιέσεις και χωρητικότητες που απαιτούνται για τους σταθμούς ανεφοδιασμού του υδρογόνου.



Εικόνα 14: Επισκόπηση της αποθήκευσης αέριου υδρογόνου υπό πίεση σε μεγάλη κλίμακα. Προσαρμογή από [17].



Εικόνα 15: Απαιτούμενη πίεση για διάφορες μεθόδους διανομής αέριου υδρογόνου υπό πίεση. Προσαρμογή από [17].

Πίνακας 4: Επισκόπηση και σύγκριση μεταξύ πολυάριθμων τύπων συμπιεστών υδρογόνου.

Τύπος συμπιεστή	Μέγιστη παροχή [Nm ³ /h]	Μέγιστη πίεση [MPa]	Μέθοδος συμπίεσης	Μειονεκτήματα	Πλεονεκτήματα
Ηλεκτροχημική συμπίεση	470	100	Ηλεκτροχημική - θετική μετατόπιση.	Δύσκολο στη συναρμολόγηση κυττάρων κατασκευής.	Χαμηλό κόστος.
Κρυογενικός συμπιεστής υδρογόνου	1000	90	Θερμική - θετική μετατόπιση.	Υψηλό ενεργειακό κόστος για την υγροποίηση.	Υψηλή πυκνότητα υδρογόνου.
Συμπιεστές διαφράγματος	581	28.1	Θετική μετατόπιση.	Βλάβη του διαφράγματος.	Σχεδιασμός χωρίς στεγανοποίηση.
Φυγοκεντρικός συμπιεστής	50,000	84.7	Δυναμική.	Λειτουργική πολυπλοκότητα.	Χαμηλά κινούμενα μέρη.
Συμπιεστής υγρού εμβόλου	750	100	Θετική μετατόπιση.	Φαινόμενα σπηλαιώσης.	Μεγάλη διάρκεια ζωής.
Σύστημα γραμμικού συμπιεστή	112	95	Θετική μετατόπιση.	Εξελιγμένος έλεγχος εμβόλου.	Υψηλή αξιοπιστία.
Συμπιεστής προσρόφησης	560	10	Θερμική.	Δύσκολη θερμική διαχείριση.	Χωρίς κινούμενα μέρη.
Εμβολοφόρος συμπιεστής	4800	85.9	Θετική μετατόπιση.	Δύσκολη συντήρηση.	Πολύ υψηλή πίεση απόρριψης.
Υδρίδιο μετάλλου	10	30	Θερμική.	Χαμηλή απόδοση.	Χωρίς κινούμενα μέρη.





4 Σχετικοί κανονισμοί και πρότυπα:

4.1 Διεθνή πρότυπα στον τομέα του υδρογόνου

Το υδρογόνο χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο εδώ και πολύ καιρό ως βιομηχανικό αέριο (κατασκευή τσιπ, κατασκευή γυαλιού και αέριο ψύξης σε γεννήτριες ηλεκτροπαραγωγής) και στη διαστημική βιομηχανία. Ως εκ τούτου, υπάρχουν ορισμένα πρότυπα και κώδικες που καλύπτουν τη βιομηχανική χρήση του υδρογόνου και ορισμένα από αυτά μπορεί να είναι σχετικά με τη χρήση του υδρογόνου ως φορέα ενέργειας για την επίτευξη του καθαρού μηδενός. Οι εργασίες τυποποίησης που σχετίζονται με τη χρήση του υδρογόνου ως καυσίμου στον τομέα των μεταφορών είναι νεότερες. Ωστόσο, αρχίζει να διαμορφώνεται το ρυθμιστικό καθεστώς για τους απαιτούμενους σταθμούς πλήρωσης υδρογόνου και για τα οχήματα υδρογόνου FC. Αυτά περιλαμβάνουν πρότυπα της Αμερικανικής Εταιρείας Μηχανολόγων Μηχανικών (ASME) και του Αμερικανικού Ινστιτούτου Πετρελαίου (API), οδηγίες και πρότυπα της ΕΕ, καθώς και πρότυπα ISO και IEC.

Οι παγκόσμιοι οργανισμοί ανάπτυξης προτύπων, όπως ο ISO (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης) και ο IEC (Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή), επικεντρώνονται στην ανάπτυξη προτύπων για εξαρτήματα καθώς και γενικών πρωτοκόλλων. Τα διεθνή (ISO και IEC) πρότυπα εξαρτημάτων αναπτύσσονται για την εξάλειψη των παγκόσμιων εμποδίων στο εμπόριο. Με αυτόν τον τρόπο, ένα εξάρτημα υδρογόνου (όπως ένας σωλήνας) ή ένα συγκρότημα (όπως ένας αναμορφωτής ή ένας διανομέας) μπορεί να πληρεί τα ίδια κριτήρια σχεδιασμού και δοκιμών και, συνεπώς, να πωλείται σε όλο τον κόσμο χωρίς πρόσθετες απαιτήσεις.

Οι απαιτήσεις εγκατάστασης των εν λόγω εξαρτημάτων ή συγκροτημάτων (για παράδειγμα, αποστάσεις διαχωρισμού) μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τη δικαιοδοσία, αλλά οι απαιτήσεις σχεδιασμού και δοκιμών τους δεν θα πρέπει να διαφέρουν. Δεδομένου ότι τα πρότυπα ISO και IEC αναπτύσσονται από το ευρύτερο φάσμα των διεθνών ενδιαφερομένων, καθίστανται "υπερ-πρότυπα". Συνεπώς, θα πρέπει να αντικαθιστούν τυχόν υφιστάμενα παρόμοια ή ανάλογα εθνικά πρότυπα για τα κατασκευαστικά στοιχεία. Η εξέταση αυτή έχει τις ακόλουθες συνέπειες:



- Τα εθνικά πρότυπα κατασκευαστικών στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που χρησίμευσαν ως έγγραφα εκκίνησης για την ανάπτυξη διεθνών προτύπων, πρέπει να είναι προετοιμασμένα για την εναρμόνιση των απαιτήσεων σχεδιασμού και δοκιμών τους με τα διεθνή πρότυπα. Τα εθνικά πρότυπα θα πρέπει να εναρμονιστούν με τα υιοθετημένα διεθνή πρότυπα, όπου οι μόνες αποκλίσεις είναι οι αναφορές σε συγκεκριμένα σχετικά εθνικά πρότυπα και κανονισμούς και, όταν δικαιολογείται, στις κλιματικές συνθήκες.
- Η εθνική νομοθεσία και οι κώδικες εγκατάστασης θα πρέπει να αναγνωρίζουν τα διεθνή πρότυπα ή τις εναρμονισμένες εθνικές υιοθεσίες τους, ως τα μόνα/προτιμώμενα πρότυπα καταχώρησης ή πιστοποίησης στοιχείων.
- Οι εθνικοί κώδικες εγκατάστασης θα πρέπει να καταργούν κάθε απαίτηση σχεδιασμού και δοκιμών που αφορά τα εξαρτήματα και τα συγκροτήματα και να επικεντρώνονται αποκλειστικά στις απαιτήσεις εγκατάστασής τους. Θα πρέπει επίσης να παραπέμπουν ρητά στα διαθέσιμα διεθνή πρότυπα εξαρτημάτων ή στις εθνικές εναρμονισμένες υιοθεσίες τους για τις απαιτήσεις σχεδιασμού και δοκιμών.

4.1.1 Τεχνολογίες στον τομέα του υδρογόνου

Ο ISO (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης) με την Τεχνική Επιτροπή (TC) 197 είναι ο κορυφαίος διεθνής φορέας τυποποιητικών εγγράφων για τις τεχνολογίες υδρογόνου. Τη γραμματεία της εν λόγω TC έχει το Συμβούλιο Τυποποίησης του Καναδά (SCC). Η ISO/TC 197 αποτελείται από 20 συμμετέχουσες χώρες, μεταξύ των οποίων ενεργή ενεργή συμμετοχή έχουν όλες οι G7 χώρες, καθώς και η Κίνα, η Κορέα, η Ινδία, η Ρωσία κ.λπ. Σε συνδυασμό με τα παρατηρητικά μέλη, η παγκόσμια συμμετοχή της ISO/TC 197 καλύπτει τις περισσότερες από τις μεγαλύτερες οικονομίες του κόσμου. Το πεδίο εφαρμογής της ISO/TC 197 είναι η τυποποίηση στον τομέα των συστημάτων και συσκευών για την παραγωγή, αποθήκευση, μεταφορά, μέτρηση και χρήση του υδρογόνου. Ένα πρόσφατα προγραμματισμένο και δρομολογημένο έργο με σκοπό την ανάπτυξη ενός πακέτου τριών προτύπων για πρωτόκολλα ανεφοδιασμού με αέριο υδρογόνο σε οχήματα που κινούνται με υδρογόνο (στο πλαίσιο της σειράς ISO 19885) είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Ένας



ξεχωριστός αριθμός σειράς έχει δεσμευτεί για τα πρωτόκολλα τροφοδοσίας υγρού υδρογόνου - ISO 19886. Αυτός είναι επί του παρόντος ένας χώρος τοποθέτησης για μελλοντικές προτάσεις νέων στοιχείων εργασίας.

ISO TR 15916 Δίνονται βασικές εκτιμήσεις για την ασφάλεια των συστημάτων υδρογόνου, παρέχοντας μία επισκόπηση των σχετικών με την ασφάλεια ιδιοτήτων και των σχετικών εκτιμήσεων για το υδρογόνο. Το παράρτημα Γ παρέχει μία επισκόπηση των επιδράσεων του υδρογόνου σε χαμηλές θερμοκρασίες στα υλικά και το έγγραφο προτείνει επίσης κατάλληλα κριτήρια επιλογής υλικών, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου εξέτασης της ευθραυστότητας του υδρογόνου.

4.1.2 Σκάφη απόθήκευσης

- ISO 11114-2. Φιάλες αερίου Συμβατότητα υλικών φιάλης και βαλβίδας με το περιεχόμενο αερίου — Μέρος 2: Μη μεταλλικά υλικά.
- ISO 21013-1. Κρυογονικά δοχεία Εξαρτήματα ανακούφισης από την πίεση για κρυογονική χρήση — Μέρος 1: Επανακλειόμενες βαλβίδες εκτόνωσης πίεσης.
- ISO 21013-3. Κρυογονικά δοχεία Εξαρτήματα εκτόνωσης πίεσης για κρυογονική υπηρεσία — Μέρος 3: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός χωρητικότητας.
- ASME VIII-1, Div.1
- Κώδικας λεβήτων και δοχείων πίεσης ASME
- ASME B 16.34 Βαλβίδες με φλάντζα, σπείρωμα και άκρο συγκόλλησης.
- API 520 Διαστασιολόγηση, επιλογή και εγκατάσταση συσκευών εκτόνωσης πίεσης.

4.1.3 Πρότυπα για όλους τους τύπους βαλβίδων

- EN 12516-1/-2/-3/-4 Βιομηχανικές βαλβίδες:
 - Μέρος 1 - Αντοχή σχεδιασμού κελύφους
 - Μέρος 2 - Μέθοδος υπολογισμού για χαλύβδινα κελύφη βαλβίδων
 - Μέρος 3 - Πειραματική μέθοδος



- Μέρος 4 - Μέθοδος υπολογισμού για κελύφη βαλβίδων κατασκευασμένα από μεταλλικά υλικά εκτός του χάλυβα
- EN 13445 Άκαυστα δοχεία πίεσης.
- ASME B 16.34: Βαλβίδες με φλάντζες, σπείρωμα και άκρο συγκόλλησης.

4.1.4 Εφαρμογές βαλβίδων εκτόνωσης πίεσης:

- EN ISO 21028-1 Κρυογονικά δοχεία - Απαιτήσεις ανθεκτικότητας για υλικά σε κρυογονικές θερμοκρασίες — Μέρος 1: Θερμοκρασίες κάτω των -80 °C
- ISO 4126 Διατάξεις ασφαλείας για προστασία από υπερβολική πίεση - ISO 4126
 - Μέρος 1: Βαλβίδες ασφαλείας
 - Μέρος 4: Βαλβίδες ασφαλείας με πιλότο
- EN 13648-1 Κρυογονικά δοχεία - Διατάξεις ασφαλείας για προστασία από υπερβολική πίεση - Μέρος 1: Βαλβίδες ασφαλείας για κρυογονική λειτουργία.
- ISO 11114-1. Φιάλες αερίου- Συμβατότητα υλικών φιάλης και βαλβίδων με το περιεχόμενο αερίου — Μέρος 1: Μεταλλικά υλικά.
- ISO 21013-1. Κρυογονικά δοχεία- Εξαρτήματα ανακούφισης από την πίεση για κρυογονική υπηρεσία — Μέρος 1: Επανακλειόμενες βαλβίδες εκτόνωσης πίεσης.
- ISO 21013-3. Κρυογενικά δοχεία- Εξαρτήματα ανακούφισης πίεσης για κρυογενική λειτουργία — Μέρος 3: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός της χωρητικότητας.
- ASME VIII-1, Div.1; Κώδικας λεβήτων και δοχείων πίεσης ASME.
- ASME B 16.34: Βαλβίδες με φλάντζα, σπείρωμα και άκρο συγκόλλησης.
- API 520- Διαστασιολόγηση, επιλογή και εγκατάσταση συσκευών εκτόνωσης πίεσης.



5 Διαδικασία ασφαλούς παράδοσης αέριου υδρογόνου

Όνομα _____ Καταγραφέας με βάση την εργασία _____
 Αξιολογητής _____ Ημερομηνία _____ Τοποθεσία της εγκατάστασης αποθήκευσης
 υδρογόνου _____ Αναφορά εργασίας _____

	Ναι	Όχι
Προσδιορίζετε ότι κάθε ρούχο σας είναι μη σπινθηροβόλο και πυρίμαχο.		
Λαμβάνετε άδεια εισόδου στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης υδρογόνου.		
Εντοπίζετε τυχόν εμπόδια που εμποδίζουν την ασφαλή εκφόρτωση και τα απομακρύνετε.		
Παρκάρετε το βυτιοφόρο σας στην καθορισμένη αποβάθρα εκφόρτωσης υδρογόνου.		
Τοποθετείτε τέσσερις σφήνες στις αντίθετες πλευρές των μπροστινών και των πίσω τροχών.		
Προσδιορίζετε τους τύπους σωλήνων των εγκαταστάσεων αποθήκευσης: ατσάλινοι ή σύνθετοι.		
Προσδιορίζετε την τιμή διακοπής έκτακτης ανάγκης της εγκατάστασης σε περίπτωση διαρροής.		
Προσδιορίζετε τη σωστή ζεύξη παραλαβής υδρογόνου.		
Συνδέετε την εγκατάσταση παραλαβής με το φορτηγό σας για να διασφαλίσετε ότι δεν δημιουργούνται σπινθήρες κατά τη σύνδεση των σωλήνων		
Γειώνετε το φορτηγό σας για να διασφαλίσετε ότι δεν δημιουργούνται σπινθήρες από τη συσσώρευση στατικού ηλεκτρισμού		
Προσδιορίζετε τη μέγιστη πίεση της εγκατάστασης παραλαβής.		



Προσδιορίζετε τα εργαλεία που δεν προκαλούν σπινθήρες.		
Τοποθετείτε τον σύνδεσμο στον σωλήνα παράδοσης.		
Προσδιορίζετε τη σωστή στεγανότητα της σύνδεσης.		
Ανοίγετε τη βαλβίδα παραλαβής στην εγκατάσταση.		
Αποδεικνύετε ότι δεν υπάρχουν διαρροές με τη χρήση ανιχνευτών διαρροής υδρογόνου.		
Εκτελείτε δοκιμή ευαισθησίας των οργάνων για να βεβαιωθείτε ότι ο ανιχνευτής έχει την ευαισθησία να ανιχνεύει υδρογόνο 1 ppm.		
Κρατάτε τον ανιχνευτή σε απόσταση 10 mm από κάθε σύνδεση που έχετε πραγματοποιήσει ενώ κάνετε μέτρηση της συγκέντρωσης υδρογόνου. Λόγω της ταχείας διασποράς, οι ηλεκτρονικοί ανιχνευτές υδρογόνου δυσκολεύονται να ανιχνεύσουν διαρροές και είναι χρονοβόρο να εντοπίσετε το εξάρτημα που διαρρέει.		
Ανοίγετε αργά τη βαλβίδα εκκένωσης στο βυτιοφόρο.		
Παρακολουθείτε την ποσότητα του υδρογόνου που εκφορτώνεται στον μετρητή ροής.		
Παρακολουθείτε τις πιέσεις στο βυτιοφόρο και στην εγκατάσταση.		
Εντοπίζετε πότε πλησιάζει η μέγιστη πίεση λειτουργίας της εγκατάστασης και λειτουργείτε πάντα κάτω από την πίεση αυτή χρησιμοποιώντας τη βαλβίδα εκφόρτωσης του βυτιοφόρου.		
Εντοπίζετε ότι οι πιέσεις υδρογόνου έχουν εξισωθεί.		
Κλείνετε τη βαλβίδα εκκένωσης του βυτιοφόρου.		
Ανοίγετε τη βαλβίδα εξαερισμού στον εύκαμπτο σωλήνα σύνδεσης.		



Διαπιστώνετε ότι η πίεση στο σωλήνα σύνδεσης έχει εξαλειφθεί.		
Αποσυνδέετε τον σωλήνα σύνδεσης υποδοχής.		
Εντοπίζετε τις διαρροές υδρογόνου παρατηρώντας τους αισθητήρες παρακολούθησης.		
Εάν εντοπιστεί διαρροή, ενεργοποιείτε τις βαλβίδες διακοπής έκτακτης ανάγκης τόσο στο βυτιοφόρο όσο και στην εγκατάσταση παραλαβής, μετακινείτε στην πιο απομακρυσμένη περίμετρο μακριά από κτίρια και αναφέρετε τη διαρροή στη διεύθυνση της γραμμής σας.		
Αναφέρετε τυχόν διαρροές στη διαχείριση της γραμμής σας.		
Αφαιρείτε το καλώδιο σύνδεσης (γείωσης) από το ρυμουλκούμενό σας.		
Εντοπίζετε τους κινδύνους για την έξοδο από την εγκατάσταση και τους απομακρύνετε.		
Ζητάτε την απομάκρυνση των κινδύνων κατά περίπτωση.		
Αφαιρείτε τις σφήνες από τους μπροστινούς και τους πίσω τροχούς.		
Βγαίνετε από την εγκατάσταση.		
Μόνο για χρήση από τον αξιολογητή		
Ακολουθούνται και επιτυγχάνονται τα βιομηχανικά πρότυπα για την ασφαλή παράδοση υδρογόνου		

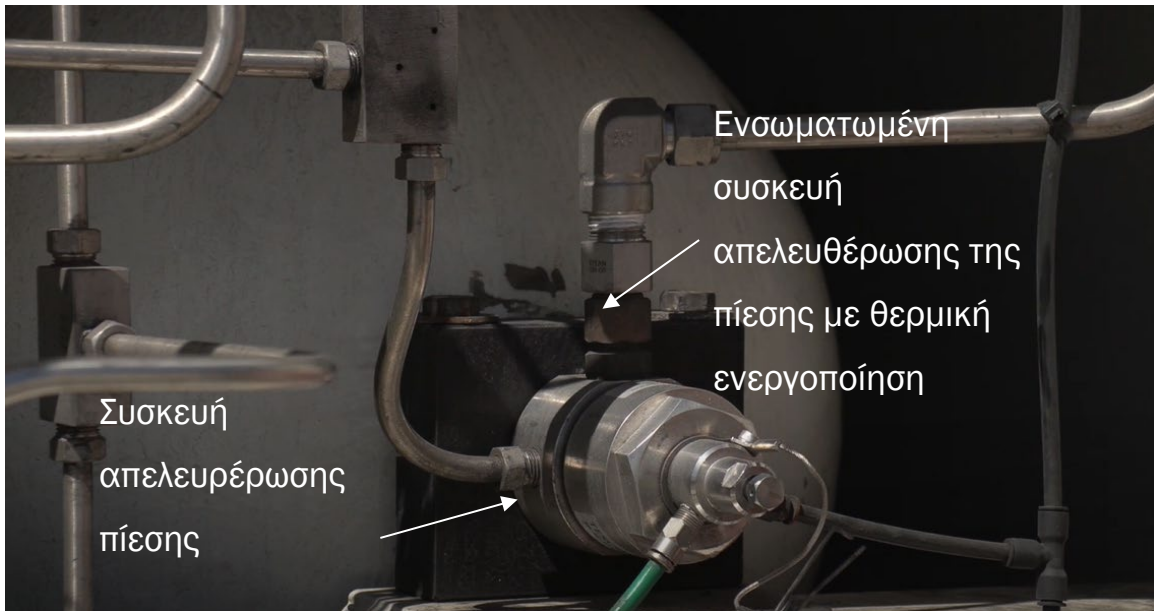


Εικόνα 16: Μεταφορά υγρού υδρογόνου σε μονωμένη δεξαμενή.

Όλοι οι σωλήνες σε ένα ρυμουλκούμενο αερίου συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός συλλέκτη.

Προσδιορίστε τον τύπο κατασκευής των σωλήνων: Οι χαλύβδινοι σωλήνες διαθέτουν μόνο συσκευές απελευθέρωσης πίεσης (PRD) και μπορούν να αντέξουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι

σύνθετοι σωλήνες είναι ενισχυμένοι με εύφλεκτα υλικά και χάνουν την αντοχή τους σε πυρκαγιά. Ως εκ τούτου, οι σύνθετοι σωλήνες διαθέτουν συσκευές απελευθέρωσης πίεσης (PRD) με ενσωματωμένη συσκευή απελευθέρωσης πίεσης με θερμική ενεργοποίηση (TPRD).



Σύνδεση του σωλήνα παροχής της εγκατάστασης αποθήκευσης του υδρογόνου.





5.1 Λίστα ελέγχου ασφαλείας ασφαλούς αέριου υδρογόνου

Καταγράψτε κάθε προφύλαξη που απαιτείται για την πρόληψη πυρκαγιών από υδρογόνο:

1. Καταγράψτε παρακάτω τους δύο τύπους κατασκευής σωλήνων και πώς αναγνωρίζονται;

2. Πώς ανιχνεύονται οι διαρροές υδρογόνου;

3. Γιατί είναι σημαντικό να αναφέρετε τυχόν διαρροές/αποκλίσεις στον προϊστάμενό σας;



6 Διαδικασία ασφαλούς παράδοσης υγρού υδρογόνου

Όνομα _____ Καταγραφέας με βάση την εργασία _____
 Αξιολογητής _____ Ημερομηνία _____ Τοποθεσία της εγκατάστασης αποθήκευσης
 υδρογόνου _____ Αναφορά εργασίας _____

	Ναι	Όχι
Αναγνωρίζετε ότι κάθε ρούχο σας είναι μη σπινθηροβόλο και πυρίμαχο.		
Λαμβάνετε άδεια εισόδου στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης υδρογόνου.		
Εντοπίζετε τυχόν εμπόδια που εμποδίζουν την ασφαλή εκφόρτωση και τα απομακρύνετε.		
Παρκάρετε το βυτιοφόρο σας στην καθορισμένη αποβάθρα εκφόρτωσης υδρογόνου.		
Φοράτε τα κατάλληλα ΜΑΠ, συμπεριλαμβανομένων των προστατευτικών για τα μάτια και το πρόσωπο και των κρυογονικών γαντιών.		
Δεν αγγίζετε ποτέ τους αγωγούς κατά τη μεταφορά υγρού υδρογόνου. Σοβαρά κρυοπαγήματα προκύπτουν από οποιαδήποτε επαφή και προσέξτε τους ατμούς υδρογόνου ειδικά στα μάτια.		
Σε περίπτωση που το δέρμα σας έρθει σε επαφή με οποιαδήποτε ψυχρή επιφάνεια, ρίξτε ζεστό νερό στην πληγείσα περιοχή.		
Τοποθετείτε τέσσερις σφήνες στις αντίθετες πλευρές των μπροστινών και των πίσω τροχών.		
Προσδιορίζετε ότι η εγκατάσταση αποθήκευσης είναι για υγρό υδρογόνο σε μονωμένες δεξαμενές.		
Αναγνωρίζετε την τιμή διακοπής έκτακτης ανάγκης της εγκατάστασης σε περίπτωση διαρροής.		



Συνδέετε την εγκατάσταση παραλαβής με το φορτηγό σας για να διασφαλίσετε ότι δεν δημιουργούνται σπινθήρες κατά τη σύνδεση των σωλήνων.		
Γειώνετε το φορτηγό σας για να διασφαλίσετε ότι δεν δημιουργούνται σπινθήρες από τη συσσώρευση στατικού ηλεκτρισμού.		
Προσδιορίζετε αν το βυτιοφόρο εξαερίζεται μέσω του εξαερισμού της εγκατάστασης υποδοχής και συνδέετε τον εύκαμπτο σωλήνα εξαερισμού του βυτιοφόρου με το σύστημα εξαερισμού της εγκατάστασης υποδοχής.		
Εντοπίζετε τη σωστή ζεύξη υποδοχής υδρογόνου και διασφαλίζετε ότι είναι καθαρή και χωρίς ελαττώματα.		
Προσδιορίζετε τη μέγιστη πίεση της εγκατάστασης υποδοχής.		
Προσδιορίζετε τη μέγιστη διαφορική πίεση της εγκατάστασης υποδοχής.		
Προσδιορίζετε τα εργαλεία που δεν προκαλούν σπινθήρες.		
Προσδιορίζετε τον σύνδεσμο προσαρμογής, ελέγχετε ότι είναι καθαρός και χωρίς ελαττώματα και τον τοποθετείτε στον σύνδεσμο υποδοχής.		
Προσδιορίζετε τη σωστή στεγανότητα της σύνδεσης.		
Ανοίγετε τη βαλβίδα εξαερισμού της εγκατάστασης.		
Προσδιορίζετε τον τύπο του συστήματος μεταφοράς που είναι εγκατεστημένο στο βυτιοφόρο. Θέτετε σε λειτουργία την υδραυλική αντλία/γεννήτρια εκκένωσης του βυτιοφόρου, εάν υπάρχει.		



<p>Προσδιορίζετε ότι ο σωλήνας του βυτιοφόρου είναι καθαρός και χωρίς ελαττώματα και τον τοποθετείτε στο σύνδεσμο προσαρμογής.</p>		
<p>Για συστήματα μεταφοράς με αντλία, θέτετε σε λειτουργία την αντλία εκκένωσης του βυτιοφόρου. Στα συστήματα μεταφοράς υπό πίεση ανοίγετε τη βαλβίδα οικοδόμησης πίεσης (PB).</p>		
<p>Ελέγχετε για διαρροές χρησιμοποιώντας ανιχνευτές διαρροής υδρογόνου.</p>		
<p>Εκτελέστε τη δοκιμή ευαισθησίας των οργάνων για να βεβαιωθείτε ότι ο ανιχνευτής έχει την ευαισθησία να ανιχνεύσει υδρογόνο 1 ppm</p>		
<p>Κρατάτε τον ανιχνευτή σε απόσταση 10 mm από κάθε σύνδεση που έχετε πραγματοποιήσει ενώ κάνετε μέτρηση της συγκέντρωσης υδρογόνου. Λόγω της ταχείας διασποράς, οι ηλεκτρονικοί ανιχνευτές υδρογόνου δυσκολεύονται να ανιχνεύσουν διαρροές και είναι χρονοβόρο να εντοπίσετε το εξάρτημα που διαρρέει.</p>		
<p>Εάν δεν εντοπιστούν διαρροές, πραγματοποιήστε επτά καθαρισμούς με άζωτο του σωλήνα του βυτιοφόρου για να εξαλείψετε τους μολυσματικούς παράγοντες όπως ο αέρας και το νερό από τις σωληνώσεις.</p>		
<p>Στα συστήματα μεταφοράς με αντλία ανοίξτε την αυτόματη βαλβίδα και ρυθμίστε τη ροή στη σχεδιασμένη ροή. Στα συστήματα μεταφοράς υπό πίεση ανοίξτε τη χειροκίνητη βαλβίδα και στη συνέχεια την αυτόματη βαλβίδα.</p>		



<p>Ανοίγετε τη βαλβίδα άνω πλήρωσης στην εγκατάσταση υποδοχής. Η προσθήκη ψυχρότερου υγρού υδρογόνου στο αέριο υδρογόνο στην κορυφή της δεξαμενής συμπυκνώνει το αέριο υδρογόνο και μειώνει την πίεση της δεξαμενής.</p>		
<p>Ανοίγετε την κάτω βαλβίδα πλήρωσης στην εγκατάσταση παραλαβής. Η προσθήκη υγρού υδρογόνου στον πυθμένα της δεξαμενής αύξησε τον όγκο του υγρού υδρογόνου στον πυθμένα της δεξαμενής και αυξάνει την πίεση της δεξαμενής. Η σωστή πίεση της δεξαμενής διατηρείται με τη ρύθμιση των άνω και κάτω βαλβίδων.</p>		
<p>Εάν ο αέρας αρχίσει να υγροποιείται γύρω από τις σωληνώσεις υδρογόνου κλείστε την αυτόματη βαλβίδα και καλέστε τον προϊστάμενό σας.</p>		
<p>Παρακολουθείτε την ποσότητα του υδρογόνου που εκφορτώνεται στον μετρητή ροής.</p>		
<p>Παρακολουθείτε τις πιέσεις στο βυτιοφόρο και στην εγκατάσταση, η μείωση της ροής προς τον πυθμένα μειώνει την πίεση της δεξαμενής υποδοχής.</p>		
<p>Προσδιορίζετε τη μέγιστη διαφορική πίεση λειτουργίας της εγκατάστασης που πλησιάζει για να υποδείξει ότι η δεξαμενή είναι γεμάτη.</p>		
<p>Προσδιορίζετε εάν ο εξαερισμός υδρογόνου δείχνει ότι το δοχείο υποδοχής είναι γεμάτο.</p>		
<p>Κλείνετε τις άνω και κάτω βαλβίδες πλήρωσης της εγκατάστασης.</p>		
<p>Κλείνετε τη βαλβίδα εξαερισμού.</p>		
<p>Απενεργοποιείτε την αντλία υδρογόνου και την υδραυλική αντλία/ηλεκτρική γεννήτρια, εάν υπάρχουν, και κλείνετε την αυτόματη βαλβίδα και στη συνέχεια τη χειροκίνητη βαλβίδα.</p>		



Προσδιορίζετε την πίεση στο βυτιοφόρο και αν είναι εκτός προδιαγραφών εξαερίζετε το βυτιοφόρο μέχρι να είναι εντός προδιαγραφών.		
Εάν εντοπιστεί διαρροή, ενεργοποιείτε τις βαλβίδες διακοπής έκτακτης ανάγκης τόσο στο βυτιοφόρο όσο και στην εγκατάσταση παραλαβής, μετακινείτε στην πιο απομακρυσμένη περίμετρο μακριά από κτίρια και αναφέρετε τη διαρροή στη διεύθυνση της γραμμής σας.		
Ζεσταίνετε τον εύκαμπτο σωλήνα σύνδεσης υποδοχής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και στη συνέχεια αποσυνδέετε.		
Εάν είναι συνδεδεμένος, αποσυνδέετε τον εύκαμπτο σωλήνα εξαερισμού του βυτιοφόρου από την εγκατάσταση υποδοχής.		
Αφαιρείτε το καλώδιο γείωσης και σύνδεσης από το ρυμουλκούμενό σας.		
Εντοπίζετε τους κινδύνους για την έξοδο από την εγκατάσταση και τους απομακρύνετε.		
Ζητάτε την απομάκρυνση των κινδύνων κατά περίπτωση.		
Αφαιρείτε τις σφήνες από τους μπροστινούς και τους πίσω τροχούς.		
Βγαίνετε από την εγκατάσταση		
Μόνο για χρήση από τον αξιολογητή		
Ακολουθούνται και επιτυγχάνονται τα βιομηχανικά πρότυπα για την ασφαλή παράδοση υδρογόνου		



Σχήμα 16: Μεταφορά υγρού υδρογόνου σε μονωμένη δεξαμενή.

Τα κόκκινα βέλη παραπάνω υποδεικνύουν κινδύνους και πιθανά σενάρια αστοχίας που σχετίζονται με τη μεταφορά LH₂: ο κακός χειρισμός της ακολουθίας λειτουργίας της βαλβίδας από τον χειριστή οδηγεί σε πιθανές διαρροές και διαρροές/διαρροές από τον εύκαμπτο σωλήνα μεταφοράς που θα μπορούσαν να κατευθυνθούν προς τα κάτω ή παράλληλα προς το έδαφος (από το HySafe). Παράδειγμα συνήθους εξαερισμού ψυχρού υδρογόνου κατά την αποσυμπίεση της δεξαμενής μεταφοράς LH₂ μέσω της στοάς εξαερισμού του επίγειου αποθηκευτικού χώρου Dewar μετά την ολοκλήρωση της μεταφοράς LH₂ (από HySafe).



6.1 Λίστα ελέγχου ασφάλειας υγρού υδρογόνου

Καταγράψτε κάθε προφύλαξη που απαιτείται για την πρόληψη πυρκαγιών υδρογόνου:

1. Καταγράψτε τα μέτρα που απαιτούνται για την προστασία από ψυχρά εγκαύματα.

2. Πώς ανιχνεύονται οι διαρροές υδρογόνου;

3. Γιατί είναι σημαντικό να αναφέρετε τυχόν αποκλίσεις διαρροών στον προϊστάμενό σας;

**ΝΑ ΕΙΣΤΕ ΑΣΦΑΛΕΙΣ ΟΤΑΝ ΕΡΓΑΖΕΣΤΕ ΜΕ
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ**



7 Παραπομπές

- [1] Z. Han, R. Lou, and J. Shan, “Analysis on an electrostatic accident due to hydrogen gas ejection,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 418, no. 1, p. 012036, Mar. 2013, doi: 10.1088/1742-6596/418/1/012036.
- [2] DNV, “Handbook for hydrogen-fueled vessels,” pp. 1–108, 2021.
- [3] A. G. Rao, F. Yin, and H. Werij, “Energy Transition in Aviation: The Role of Cryogenic Fuels,” *Aerospace*, vol. 7, no. 12, p. 181, Dec. 2020, doi: 10.3390/aerospace7120181.
- [4] Fortress UAV, “Hydrogen Tank Overview,” *Hydrogen Tanks*, 2021. <https://www.fortressuav.com/doosan/hydrogen-tank> (accessed May 26, 2022).
- [5] “GKN showcases demonstrator system for residential hydrogen storage.” <https://www.pm-review.com/gkn-showcases-demonstrator-system-for-residential-hydrogen-storage/> (accessed Jun. 24, 2022).
- [6] K. Technology, “Hydrogen transport through PE100 pipes H2 research and developments for PE100+ Association.” Accessed: Mar. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.pe100plus.com/Download/News/PieceJointeInfo/fichier/443.pdf>
- [7] “Polyethylene pressure pipe materials explained | JDP.” <https://www.jdpipes.co.uk/knowledge/mains-supply/materials-explained.html> (accessed Jun. 24, 2022).
- [8] “ISO - ISO 12162:2009 - Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications — Classification, designation and design coefficient.” <https://www.iso.org/standard/43865.html> (accessed Jun. 24, 2022).
- [9] “ISO - ISO 9080:2003 - Plastics piping and ducting systems — Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation.” <https://www.iso.org/standard/28314.html> (accessed Jun. 24, 2022).
- [10] “PE 80, PE 100 Pipe & MRS meaning.” <https://www.pe100plus.com/PE-Pipes/Technical-guidance/model/Materials/mrs/What-is-the-meaning-of-the-designations-PE80-and-PE100-i254.html> (accessed Jun. 24, 2022).
- [11] E. Trading, “SDR on HDPE Pipe | Eiffel Trading,” *Eiffel Trading 101*, 2021. <https://www.eiffeltrading.com/blog/post/eiffel-trading-101-sdr-for-hdpe-pipe> (accessed Mar. 30, 2023).



- [12] Z. Peng *et al.*, “Overview of hydrogen compression materials based on a three-stage metal hydride hydrogen compressor,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 895. Elsevier Ltd, Feb. 25, 2022. doi: 10.1016/j.jallcom.2021.162465.
- [13] “Gaseous Hydrogen Compression | Department of Energy.” <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/gaseous-hydrogen-compression> (accessed Mar. 30, 2023).
- [14] “Centrifugal Chillers | North Slope Chillers.” <https://northslopechillers.com/blog/centrifugal-chillers/> (accessed Mar. 30, 2023).
- [15] “Rotary Compressors | Rotary compressor, Compressors, Rotary.” <https://in.pinterest.com/pin/rotary-compressors--784893041282593643/> (accessed Mar. 30, 2023).
- [16] N. Szmolke, “Compressors in Heat Pumps,” 2016. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/313134829>
- [17] M.-R. Tahan, “Recent advances in hydrogen compressors for use in large-scale renewable energy integration,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 83, pp. 35275–35292, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.08.128.