



Łukasiewicz

Instytut Organizacji i Zarządzania
w Przemysle ORGMASZ



BEZPIECZEŃSTWO W TECHNOLOGIACH WODOROWYCH

**IV - INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA
TECHNOLOGII WODOROWYCH –
BEZPIECZEŃSTWO W OBSZARZE
MAGAZYNOWANIA WODORU**

BEZPIECZEŃSTWO W TECHNOLOGIACH WODOROWYCH

IV

INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA TECHNOLOGII WODOROWYCH – BEZPIECZEŃSTWO W OBSZARZE MAGAZYNOWANIA WODORU

Warszawa, czerwiec 2023 r.

Recenzenci: prof. dr. hab. inż. Piotr Wolański, dr inż. Katarzyna Stec, dr inż. Renata Kulesza, dr hab. inż. Grzegorz Wojtasiewicz, dr inż. Antoni Migdał, dr inż. Piotr Wieczorek, Damian Wijatyk, dr inż. Kamil Kulesza

Kierownik projektu: dr Katarzyna Iwińska

Zespół projektu: dr Katarzyna Iwińska, dr inż. Kamil Kulesza, dr hab. Michał Wróblewski, Joanna Grudowska

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa” nr projektu NdS 545480/2022/2022, kwota dofinansowania 1 410 152 zł, całkowita wartość projektu 1 410 152 zł.



Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemysle ORGMASZ
ul. Żelazna 87 00-879 Warszawa

SPIS TREŚCI

Spis treści	2
1. Wstęp – cel opracowania	3
2. Analiza obowiązujących przepisów prawa, standardów, wytycznych oraz kryteriów oceny bezpieczeństwa	5
3. Definiowanie obszaru projektowego i jego elementów	5
3.1. Definiowanie obszaru projektowego dotyczącego bezpieczeństwa, w przypadku przechowywania wodoru podejście ogólne	5
3.2. Definiowanie obszaru projektowego	6
4. Analiza podsystemów technicznych w procesie projektowym dla wodorowej inżynierii bezpieczeństwa	9
4.1. Zagadnienia związane z oddziaływaniem instalacji wodorowych na otoczenie	9
4.2. Metody minimalizowania zagrożeń oraz ich skutków związanych z magazynowaniem wodoru	12
5. Analiza jakościowa w procesie projektowym dla wodorowej inżynierii bezpieczeństwa	13
5.1. Zagadnienia dotyczące systemów technicznych (w tym założenia związane z rozmieszczeniem czujników oraz innymi metodami monitorowania zagrożeń)	13
5.2. Zagadnienia związane z wpływem wodoru na infrastrukturę i otoczenie oraz na człowieka	14
5.3. Techniki inżynierskie: scenariusze kryzysowe (w ujęciu jakościowym i ilościowym).....	15
6. Podsumowanie	17
7. Bibliografia	19

1. WSTĘP – CEL OPRACOWANIA

Celem opracowania jest przedstawienie zagadnień dotyczących bezpieczeństwa w obszarze magazynowania wodoru, które wystąpią w związku ze zmianą skali oraz zmianą lokalizacji instalacji magazynujących wodór.

Zbiorniki są opanowane generalnie pod względem bezpieczeństwa technologii wodorowych, natomiast wyzwaniem jest ich szerokie występowanie na terenach, do których dostęp mają osoby trzecie i będą one narażone na potencjalne skutki awarii. Metody składowania wykorzystujące naturalne struktury terenowe (np. kawerny) prawdopodobnie nie będą wdrażane do 2030 roku, natomiast w tym czasookresie będą przedmiotem studiów (np. wykonalności), a obszar ten nie jest dostatecznie uregulowany.

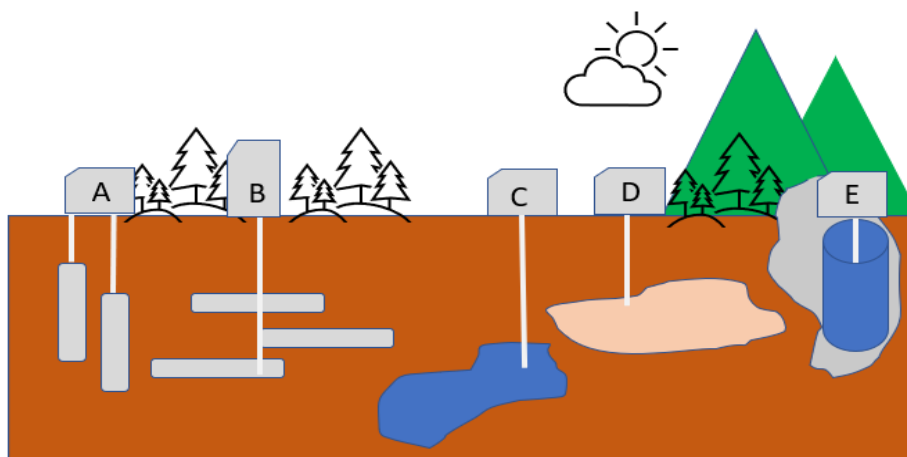
Magazynowanie wodoru jest realizowane na kilka sposobów: magazynowanie wodoru w fazie gazowej, magazynowanie wodoru w fazie ciekłej i magazynowanie wodoru w formie związanej chemicznie.

Magazynowanie wodoru w fazie gazowej (zbiorniki, kawerny itp.)

Obecnie stosuje się cztery rodzaje zbiorników przeznaczonych do magazynowania wodoru w fazie gazowej¹:

- typ I - zbiorniki wykonane ze stali lub aluminium pozwalające przechowywać wodór do ciśnienia ok 200 bar,
- typ II - zbiorniki metalowe zbrojone włóknem szklanym lub węglowym pozwalające przechować wodór do ciśnienia ok. 300 bar,
- typ III - zbiorniki z wkładem metalowym i pełnym oplotem kompozytowym z włókna szklanego lub węglowego pozwalają przechowywać wodór do ciśnienia ok. 430 bar,
- typ IV - zbiorniki w pełni kompozytowe, wewnętrzny wkład (liner) wzmocniony oplotem kompozytowym z włókna szklanego lub węglowego pozwalają przechowywać gazowy wodór do ciśnienia ok 660 bar.

Magazynowanie sprężonego wodoru realizuje się również w naturalnych lub powstałych w wyniku wydobycia gazu, ropy naftowej czy soli w kawernach². Systemy przechowywania wodoru w kawernach są bardzo zbliżone do systemów przechowywania gazu ziemnego. Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie metody magazynowania wodoru w kawernach naturalnych oraz sztucznych wyrobiskach².



A-Kawerny solne, B- Wyrobiska po kopalniach, C – Warstwy wodonośne, D Wyrobiska, E – Kawerny skalne

Rysunek 1 Metody przechowywania wodoru w naturalnych kawernach oraz sztucznych wyrobiskach, opracowano na podstawie²

Magazynowanie wodoru w fazie ciekłej.

Do magazynowania wodoru w fazie ciekłej³ stosowane są zbiorniki kriogeniczne. Ten sposób magazynowania pozwala na zastosowanie zbiornika o znacznie mniejszej objętości niż objętość zbiornika wodoru gazowego, w którym zmagazynowano tą samą ilość energii^a. Aby skroplić wodór należy obniżyć temperaturę gazu poniżej jego temperatury skraplania w zastosowanym ciśnieniu. Proces skraplania wodoru jest bardzo energochłonny. Przechowywanie i wykorzystanie ciekłego wodoru na skalę przemysłową zostało zastosowane w przemyśle kosmicznym, w którym wodór jest stosowany, jako paliwo rakietowe.

Magazynowanie wodoru w formie związanej chemicznie.

Wodorki metali mogłyby stanowić alternatywę w obszarze przechowywania wodoru³, z uwagi na znacznie większą gęstość przechowywanej energii, w porównaniu z gęstością energii uzyskiwaną w zbiornikach ze sprężonym czy ciekłym wodorem. Większość wodorków metali rozkłada się w wysokiej temperaturze, co może powodować występowanie zagadnień związanych z bezpieczeństwem procesów wysokotemperaturowych. Wodorki metali, które mogą uzyskać wysoką gęstość energii w przeliczeniu na masę lub objętość, powodują konieczność zastosowania bardzo restrykcyjnych zabezpieczeń związanych z ich gwałtownymi i egzotermicznymi reakcjami z tlenem oraz wilgocią zawartą w otoczeniu. Dodatkowo wodorki metali, w przypadku pożaru generują nowe wyzwania przed służbami ratowniczymi, które nie są im powszechnie znane.

^a Z punktu widzenia termodynamicznego bardzo wysokich ciśnień kompresji, pozwalającą uzyskać gęstość energii sprężonego wodoru przewyższającą gęstość energii skroplonego wodoru jest bezcelowa ze względów ekonomicznych.