



**POLITECHNIKA ŚLĄSKA**

**Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa  
i Automatyki Przemysłowej**

**mgr inż. Dawid Gajda**

ROZPRAWA DOKTORSKA

*Migracja wodoru z podziemnych magazynów  
mieszanin metanowo – wodorowych.  
Zagadnienia przepuszczalności i dyfuzji.*

Promotor:

**dr hab. inż. Marcin Lutyński, prof. PŚ**

Dyscyplina naukowa:

**Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka**



Gliwice, 2022

## Streszczenie

Nierozzerwalnym elementem energetyki odnawialnej jest wielkoskalowe magazynowanie energii. Element ten jest nieodzowny, ze względu na niską stabilność produkcji energii, spowodowaną zmiennymi warunkami atmosferycznymi. Ma to szczególne znaczenie w energetyce wiatrowej i solarnej. Jednym rozwiązaniem jest technologia Power – 2 – Gas, dzięki której można wytwarzać wodór z nadwyżek energii, a następnie wykorzystywać go jako wtórne źródło energii w okresach zwiększonego zapotrzebowania na energię, które nie może zostać pokryte z produkcji bieżącej źródeł odnawialnych. Wodór może być wykorzystany do produkcji gazu syntetycznego. Potrzebne jest do tego źródło węgla, najczęściej CO<sub>2</sub>, oraz dostarczenie dodatkowej energii do procesu syntezy. Wodór może także być użytkowany jako czysty gaz, zarówno w ogniwach paliwowych, jak i konwencjonalnych procesach spalania, w tym również jako dodatek do gazu ziemnego. Problemem jest jednak magazynowanie czystego wodoru, ze względu na duże zdolności wodoru do migracji i dyfuzji przez różne bariery, a także podatność na działanie mikroorganizmów.

Ograniczone możliwości wielkoskalowego magazynowania wodoru, jakie dają w tej chwili jedynie kaverny solne, skłania do poszukiwania alternatywnych metod składowania tego gazu jako nośnika energii. Obiecującą technologią jest magazynowanie w izolowanych wyrobiskach podziemnych (ang. LRC – Lined Rock Cavern). Technologia ta wykorzystywana jest już jednostkowo do magazynowania gazu ziemnego. Jako izolacja wykorzystywane są płyty ze stali nierdzewnej, co zwiększa znacząco koszty budowy, a także naraża na zjawisko korozji wodorowej (hydrogen embrittlement), gdyż tylko niektóre gatunki stali oraz metali są na ten proces odporne. Materiał o odpowiednich właściwościach izolacyjnych dla wodoru, dostępności i ekonomiczności, mógłby przyczynić się do adaptacji technologii LRC dla wodoru.

Tezą pracy było wykazanie, że istnieje możliwość wytypowania powszechnie dostępnych i ekonomicznych materiałów, mogących stanowić odpowiednią powłokę izolacyjną do magazynowania wodoru. Celem naukowym pracy było bliższe poznanie mechanizmu dyfuzji wodoru przez różne materiały syntetyczne oraz skały, zaś wśród celów użytkowych znalazło się stworzenie stanowiska badawczego do analizy przepuszczalności gazowej różnych materiałów w różnej skali przepływu (od dyfuzji po przepływ gazu) oraz właśnie wytypowanie odpowiednich materiałów izolacyjnych.

Badania eksperymentalne przeprowadzone na stworzonym stanowisku (bazującym na metodzie Carrier Gas), wykazały przepuszczalność wodoru (P<sub>H<sub>2</sub></sub>) przez wytypowane polimery syntetyczne (żywica epoksydowa, poliestrowa, poliuretan) na poziomie 10<sup>-11</sup> cm<sup>3</sup>STP\*cm\*cm<sup>-2</sup>\*s<sup>-1</sup>\*cmHg<sup>-1</sup> (10<sup>-1</sup> Barrer). Podobną przepuszczalnością wykazała się sól kamienna po procesie pęcznienia, spowodowanym ciśnieniem utrzymującym próbkę w rękawie oraz ciśnieniem gazu. Stal nierdzewna wykazuje przepuszczalność kilka rzędów wielkości niższą (10<sup>-17</sup> cm<sup>3</sup>STP\*cm\*cm<sup>-2</sup>\*s<sup>-1</sup>\*cmHg<sup>-1</sup>). Materiały wieloziarniste na bazie cementów wykazywały przepuszczalności rzędu 10<sup>-4</sup> – 10<sup>-5</sup> cm<sup>3</sup>STP\*cm\*cm<sup>-2</sup>\*s<sup>-1</sup>\*cmHg<sup>-1</sup>, zaś skały (mułowiec, sól kamienna przed pęcznieniem) nieco niższe: 10<sup>-7</sup> cm<sup>3</sup>STP\*cm\*cm<sup>-2</sup>\*s<sup>-1</sup>\*cmHg<sup>-1</sup>. Wykonano również symulacje przepuszczalności wodoru polimerów z różnymi domieszkami, za pomocą modelu Maxwell'a, a także prognozowanie ubytków wodoru przez różne izolacje z magazynu o założonych parametrach.

Wszystkie cele pracy zostały zrealizowane, a postawiona teza potwierdzona.