

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**mgr inż. Tomasza Urycha , zatytułowanej *Badania modelowe składowania ditlenku węgla w głębokich poziomach solankowych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.***

Przedmiotem niniejszego opracowania jest recenzja pracy doktorskiej, w oparciu o obowiązujące akty prawne. Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Ustawa z dnia 13 stycznia 2023 r. o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz niektórych innych ustaw. Ustawa z dnia 28 lipca 2023 r. o zmianie ustawy - Karta Nauczyciela oraz niektórych innych ustaw Ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 11 października 2022 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych Rozporządzenie Ministra Edukacji i Nauki z dnia 14 września 2023 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych. Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 11 października 2022 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych - tekst jednolity z dnia 12 lutego 2025 r, stanowią podstawę do ubiegania się przez mgr inż. Tomasza Urycha o stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska. Górnictwo i Energetyka

### **I. Podstawa formalno-prawna oceny**

Podstawę do opracowania niniejszej recenzji stanowi umowa o dzieło nr NOP/001/03/2025/U/CP zawarta w Katowicach pomiędzy dyrektorem GIG PIB Jarosławem Zagórowskim, a dr hab. inż. Arkadiuszem Szymankiem prof. PCz. zatrudnionym w Politechnice Częstochowskiej, której przedmiotem jest recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Urycha. Recenzentowi, w celu sporządzenia przekazano oryginał rozprawy.

### **2. Charakterystyka doktoranta**

Pan mgr inż. Tomasz Urych ukończył w 2007 roku studia magisterskie na Akademii Górniczo-Hutniczej, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Kierunek: Górnictwo i Geologia, Specjalność: Geoinformatyka. W roku 2015 ukończył także studia podyplomowe Technologia wydobywania gazu ze złóż niekonwencjonalnych również na Akademii Górniczo-Hutniczej, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu. Od roku 2007 jest Pracownikiem Głównego Instytutu Górnictwa, Państwowy Instytut Badawczy, a od 2009 jest asystentem w Zakładzie Geologii, Geofizyki i Ochrony Powierzchni, Laboratorium Geologii Złożowej i Składowania CO<sub>2</sub>. Posiada w swym dorobku 12 publikacji naukowych i brał udział w 13 projektach badawczych polskich i zagranicznych, a także w wielu konferencjach zarówno krajowych jak i zagranicznych. Pan mgr inż. Tomasz Urych posiada zatem bardzo bogate doświadczenie naukowe.

### **3. Ocena pracy doktorskiej.**

#### **3. 1. Układ i struktura pracy**

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Tomasza Urycha zatytułowana „Badania modelowe składowania ditlenku węgla w głębokich poziomach solankowych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji” przedstawiona została na 143 stronach. Zawiera 64 rysunki oraz 32 tabele. Treść została podzielona na 4 główne rozdziały, aktualny stan wiedzy, numeryczne modele złożowe poziomów solankowych GZW, analiza wrażliwości modelu symulacyjnego, opracowanie modelu zastępczego opartego na sztucznych sieciach neuronowych, sformułowanie problemu badawczego, zawierające cel pracy oraz koncepcję badań, a także wstęp i podsumowanie. Przegląd literatury stanowi 33 stron, natomiast badania własne doktorant zawarł na 53 stronach. Praca zawiera także załączniki, spis tabel i rysunków oraz oczywiście alfabetyczny spis literatury. Bardzo ważnym elementem dla czytelności pracy jest zrobienie spisu skrótów oraz symboli. Układ pracy jest czytelny, rozdziały logicznie podzielone na poszczególne podrozdziały, co sprawia, że rozprawę czyta się bardzo dobrze jako spójną pracę naukową.

#### **3. 2. Oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**

Podjęta tematyka badawcza dotyczy bardzo ważnego tematu, jakim jest składowanie ditlenku węgla w głębokich poziomach solankowych. Przy czym zagadnienie to nie musi dotyczyć tylko CO<sub>2</sub> wytwarzanego w procesach konwersji węglowodorów wykorzystywanych do produkcji ciepła i energii elektrycznej. Ma także szerokie zastosowanie dla wielu innych procesów przemysłowych, jak na przykład kalcynacja wpieni: przemysł

wapienniczy, cementowy czy nawozowy. Temat jest ciekawy i nowatorski wpisujący się bardzo dobrze w aktualne potrzeby rynkowe i naukowe. Odnosząc się do aktualności tematu należy popatrzeć globalnie na zagadnienie, przez pryzmat światowej produkcji ditlenku węgla. W raporcie Międzynarodowej Agencji Energetycznej możemy przeczytać, że chociaż surowiec ten jest uważany często za relikwyt przeszłości, jego globalne zużycie podwoiło się w ciągu ostatnich trzech dekad. Rok 2024 był rekordowym pod względem wykorzystania tego paliwa na świecie, a jego zużycie wzrosło do poziomu 8771 mln ton, co stanowi wzrost o 1% w porównaniu, jak się wydawało wcześniej już rekordowym rokiem 2023. Perspektywy ograniczenia zużycia węgla na świecie są w zasadzie żadne, gdyż ciągle budowane są nowe źródła wytwórcze oparte o ten surowiec. Jediną perspektywą, jak się wydaje na ten moment jest porostu wyczerpanie się zapasów tego paliwa, choć patrząc na „stany magazynowe” może to potrwać jeszcze kilka, jak nie kilkanaście dekad. Na tym tle praca jest więc niezwykle aktualna i ważna, stanowi na pewno oryginalne podejście do problemu. Ze względu na geopolityczne i strikte polityczne traktowanie procesu spalania paliw kopalnych w Europie, praca ma charakter bardzo dużego umiędzynarodowienia. Jej wyniki mogą być wykorzystywane u największych potentatów energetycznych, którzy często deklarują chęć, przynajmniej teoretyczną, walki z emisją CO<sub>2</sub>, choćby właśnie przez składowanie i wykorzystanie. Zdanie poprzedzające nie wyklucza również bardzo dużego zainteresowania tematem na rynku europejskim, dzięki temu, że CCSU może być jednym z rozwiązań na obniżenie emisji ditlenku węgla. Wiele scenariuszy rozwoju CCUS pokazuje, że w tym zakresie trwają bardzo intensywne prace, a podejście takie powinno odgrywać bardzo istotną rolę. Dane światowe opublikowane przez Global CCS Institute w 2023 roku, pokazują znaczący wzrost instalacji CCSU na świecie, co zresztą bardzo precyzyjnie wykazał doktorant w przeglądzie literatury w rozdziale zatytułowanym „Rozwój technologii wychwytu, wykorzystania i składowania ditlenku węgla (CCUS) skutecznym sposobem na zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>. Bardzo dobrze pan mgr. inż. Tomasz Urych sformułował również problem badawczy, Analizując zagadnienie CCSU, rozważył geologiczne składowanie ditlenku węgla przez pryzmat Dyrektywy CCS. Wskazał również na problemy dynamicznego zachowania się ditlenku węgla składowanego w górotworze, pokazując konieczność modelowania ww. zjawisk. Na tym tle doktorat wyartykułował cel naukowy, który ma wykazać i określić efektywność procesu geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w głębokich solankowych poziomach wodonośnych z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji. Do tego doktorant wskazał na cel użytkowy, wykazujący znaczne zmniejszenie czasochłonności numerycznych symulacji geologicznego składowania ditlenku węgla. Również bardzo precyzyjnie doktorant

zaplanował proces badawczy pracy wskazując wcześniej na zmienne eksperymentalne i parametry mierzone. a jako główne elementy będące procesem dojścia do stawianych celów jest budowana numerycznych modeli złożowych w rejonie trzech wybranych struktur GZW oraz analiza wrażliwości modelu symulacyjnego wraz z określeniem wpływu kluczowych parametrów na przebieg procesu składowania ditlenku węgla. Wreszcie efektem końcowym było opracowanie modelu zastępczego opartego na sztucznych sieciach neuronowych. Na tym etapie mam jednak jedną uwagę krytyczną, w tym miejscu dobrze było by poza celami określić tezę pracy, która zawsze podkreśla ważność i wyjątkowość rozprawy doktorskiej. Kolejne etapy dysertacji wskazują wówczas na metody dowodzenia, wnioskowania, aż wreszcie udowodnienia bądź zaprzeczenia postawionej tezy, Co ułatwia też podsumować podjęte wyzwania. Jednak w recenzowanej pracy wnioski stanowiące rozdział 6 dobrze korespondują z celami i są wnioskami szczegółowymi, nie można by ich było wysnuć bez zrealizowania wszystkich etapów pracy, co jest bardzo poprawne i na wysokim poziomie. Tylko 3 ostatnie akapity ze strony 119 stanowią wnioski ogóle ale pokazanie ich w tym miejscu wydaje się, że jest również uzasadnione.

### **3.3. Uwagi ogólne:**

Prowadzone badania są bardzo ciekawe i na pewno wskazują nowe podejście do zagadnienia redukcji emisji ditlenku węgla. W trakcie czytania i recenzowania dysertacji pojawiły się pytania, które nie podważają wartości naukowej i merytorycznej pracy. Pracę jak wspomniano wcześniej doktorant opatrzył szczegółowymi wnioskami, co jak również wcześniej wskazano należy zaliczyć do pozytywów pracy. Jednak wniosek ze strony 118 „w ramach niniejszej pracy określono efektywność procesu geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w głębokich solankowych poziomach wodonośnych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji” budzi pewną wątpliwość i jest nie zrozumiałą. Jaką efektywność ma doktorant na myśli ekonomiczną, energetyczną czy jeszcze zupełnie inną? Można się domyślać, że chodzi o zmniejszenie czasochłonności prac przy modelowaniu, co wynika z drugiej części wniosku. Ponieważ wskazana pierwsza część wniosku jest dość jednoznaczna i odnosi się wprost do efektywności geologicznego składowania to w opinii recenzenta, jest chyba postawiona trochę na wyrost i zbyt optymistycznie. Nawiązując do efektywności energetycznej to trzeba zaznaczyć, że bardzo ciekawie wyglądały by tu właśnie np. analizy efektywności energetycznej procesu zatłaczania ditlenku węgla, a także w zakresie kosztów ekonomicznych takiego procesu, dlatego też kolejne pytanie dotyczy tego typu analiz. Jak kształtują się koszty zatłoczenia i zdeponowania 1 Mg CO<sub>2</sub>? Czy można było by je chociaż oszacować na tym

etapie rozważań? Kolejna uwaga dotyczy podsumowania wyników na stronie 80 pierwszy wyjustowany wniosek brzmi „spośród trzech analizowanych zbiorników najbardziej perspektywiczne dla potencjalnego składowania CO<sub>2</sub> wydają się być warstwy dębowieckie, które charakteryzują się najkorzystniejszymi parametrami geologicznymi i hydrogeologicznymi”. Dalej jednak doktorant nie wskazuje, które to parametry promują ten zbiornik, a dyskwalifikują bądź ograniczają potencjał dwóch pozostałych. Brakuje tej informacji w tym miejscu dysertacji. Doktorant również używa dwóch jednostek opisujących ilość zatłaczanego CO<sub>2</sub>, raz są to Mg CO<sub>2</sub> (strona 80), a raz są to mld sm<sup>3</sup>zatłaczanego ditlenku węgla (np. strona 90), co utrudnia analizowanie danych i wymaga od czytelnika dokonywania własnych kalkulacji w tym zakresie. Kolejnym elementem do dyskusji jest potencjalna pojemność magazynowa analizowanego zbiornika, na stronie 80 doktorant napisał, że wariant z sumaryczną ilością „zatłoczonego CO<sub>2</sub> wynosi około 8,54 mln CO<sub>2</sub> uzyskany w trakcie 25 lat zatłaczania”. Warto w tym miejscu przypomnieć, że trzy polskie elektrownie Bełchatów, Kozienice i Turów produkują rocznie ponad 60 mln Mg CO<sub>2</sub> jeżeli, zatem wskazane przez doktoranta 8,54 podzielone zostanie przez 25 lat, to jesteśmy w stanie zatłoczyć i ograniczyć około 0,5% wyprodukowanego ditlenku węgla tylko przez wskazane trzy elektrownie w skali roku. Jak wygląda zatem polski potencjał możliwości składowania ditlenku węgla w porównaniu z jego produkcją? Ciekawe było by też określenie tego potencjału w skali światowej produkcja ditlenku węgla do możliwości składowania. Kolejne wątpliwości dotyczą ryzyk związanych ze składowaniem ditlenku węgla. Jaką mamy pewność, że składowany ditlenek węgla nie uwolni się ze zbiorników np. wskutek wstrząsu górotworu lub innych tego typu zjawisk będących poza naszą kontrolą? Jaką mamy również pewność, że składowany ditlenek węgla nie będzie uwalniał się w sposób powolny i rozłożony w czasie? Jak wreszcie wpłynie i czy w ogóle wpłynie on na zmiany ekosystemu w obrębie zbiorników? Czy wykonywano na którymś etapie planowania i przygotowania rozprawy doktorskiej analizę ryzyk z tym związaną? Czy można byłoby o taką analizę ryzyk wzbogacić model zastępczy np. do rozwiązania przez sztuczną inteligencję? Ostatnie zagadnienie dotyczy czystości ditlenku węgla zatłaczanego np. do głębokich poziomów solankowych. Doktorant wskazał na ten problem w pracy, iż pewnych ilości ditlenku węgla nie da się wychwycić np. rolnictwo i kila innych, co oczywiście w pełni korespondujące ze stanem faktycznym. Natomiast ciekawe jest jak na proces składowania będą wpływały domieszki innych związków, bo przecież wychwycenie tylko w 100% czystego CO<sub>2</sub> nie jest możliwe, czy to zagadnienie w jakiś sposób było analizowane przez doktoranta i czy podobnie jak wyżej można byłoby je włączyć np. do modelu zastępczego?

Z reguły w recenzjach w tym miejscu pojawiają się uwagi szczegółowe, edycyjne itp. Praca Pana mgr inż. Tomasza Urycha w opinii recenzenta jest napisana bardzo starannie i została poddana bardzo dobrej korekcie edytorskiej. W trakcie czytania pracy udało się wychwytać kilka i to bardzo drobnych uchybień edycyjnych, o których nie warto wspominać szczegółowo w recenzji.

#### **4. Wniosek**

Przedstawiona rozprawa doktorska Pana mgr inż. Tomasza Urycha zatytułowana „Badania modelowe składowania ditlenku węgla w głębokich poziomach solankowych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji”, spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim zawarte w Ustawie Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce. Wymienione uwagi krytyczne w żaden sposób nie ujmują wartości naukowej pracy, zatem stawiam wniosek o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony nad przedstawioną rozprawą doktorską. Recenzja jest jednoznacznie pozytywna.

Jednocześnie wnoszę do Rady Naukowej GIG PIB o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Tomasza Urycha, ze względu na ważność i aktualność podjętego tematu, a także sposób jego rozwiązania i opracowania. Rozprawa jest na bardzo wysokim poziomie naukowym i wnosi wiele nowości w zakresie dyscypliny Inżynieria Środowiska. Górnictwo i Energetyka, a doktorant wykazuje się ponad przeciętnym opanowaniem warsztatu naukowego.