

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny PAWLUK**  
**pt. Wielowarstwowe przepuszczalne bariery reaktywne**  
**w zabezpieczaniu środowiska gruntowo-wodnego wzdłuż tras komunikacyjnych**

**Podstawa opracowania recenzji**

Pismo Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie z dnia 11.12.2014 r. (Nr BIS-561/1/2014) wraz z załączonym egzemplarzem rozprawy doktorskiej, której promotorami są:

głównym - Prof. dr hab. inż. Kazimierz Garbulewski z SGGW w Warszawie  
pomocniczym - dr inż. Joanna Fronczyk z SGGW w Warszawie

**1. Tematyka i cel rozprawy**

W ostatnim dziesięcioleciu nastąpiła w kraju intensywna budowa i modernizacja infrastruktury komunikacyjnej (głównie drogowej) oraz wzrosło istotnie natężenie ruchu kołowego. W efekcie tego wzrosło negatywne oddziaływanie infrastruktury komunikacyjnej na środowisko gruntowo-wodne, szczególnie niepożądane w rejonach cennych przyrodniczo (np. Natura 2000).

Dostrzegając wymienione fakty, Autorka (pod kierownictwem obu Promotorów) postanowiła opracować, przebadać i zaproponować do wdrożenia nowy, skuteczny system zabezpieczania środowiska gruntowo-wodnego wzdłuż tras komunikacyjnych za pomocą wielowarstwowych przepuszczalnych barier reaktywnych (WPBR).

Autorka sformułowała następującą hipotezę naukowo-badawczą:

*Wielowarstwowe Przepuszczalne Bariery Reaktywne złożone z żelaza zero-wartościowego, węgla aktywnego, zeolitu i gezy zabezpieczają środowisko gruntowo-wodne wzdłuż tras komunikacyjnych przed zanieczyszczeniami pochodzącymi z dróg, szczególnie zawierającymi metale ciężkie, chlorki i substancje ropopochodne.*

W celu udokumentowania tej hipotezy przebadła, przeanalizowała i określiła (w badaniach środowiskowych i laboratoryjnych):

- właściwości fizyczne, mechaniczne, hydrauliczne i zdolność do zatrzymywania zanieczyszczeń zeolitu, gezy, węgla aktywnego i żelaza zero-wartościowego,
- mechanizmy oczyszczające środowisko gruntowo-wodne (filtrację, sorpcję, redukcję) wybranych materiałów reaktywnych,
- wpływ zanieczyszczeń na właściwości wybranych materiałów reaktywnych,
- kryteria doboru materiałów reaktywnych i konfiguracji szerokości warstw w WPBR.

Tematykę recenzowanej rozprawy oceniam jako aktualną i istotną, mającą charakter interdyscyplinarny i wchodzącą w zakres dyscypliny naukowej budownictwo w specjalności budownictwo komunikacyjne.

Sformułowana hipoteza rozprawy oraz sposób jej udokumentowania i potwierdzenia są właściwe oraz warte badania z poznawczo-naukowego i praktycznego (inżynierskiego) punktu widzenia.

## **2. Analiza treści i ocena rozprawy**

Rozprawa doktorska (o objętości 224 strony tekstu plus 110 stron załączników) ma charakter doświadczalno-analityczny. Pierwsza jej część (rozdziały 1+2 o objętości około 26%) ma charakter kompilacyjny, druga zaś (rozdziały 3+8) ma charakter oryginalnych własnych badań środowiskowych i laboratoryjnych wraz z opracowaniem i analizą wyników oraz zawiera propozycję koncepcji Wielowarstwowej Przepuszczalnej Bariery Reaktywnej, jej zwymiarowanie z uwzględnieniem optymalizacji wraz z obliczeniami numerycznymi stateczności i zaleceniami projektowymi oraz wnioskami.

Całość rozprawy uzupełnia obszerny (317 pozycji) spis literatury (książki, artykuły, normy, ustawy, dyrektywy, witryny internetowe), w którym około 72% stanowi literatura zagraniczna. Ponadto w 5 załącznikach (110 stron) zawarte są szczegółowe wyniki całości badań własnych Autorki.

Proporcje objętościowe między poszczególnymi rozdziałami rozprawy są właściwe, układ rozdziałów logiczny, przejrzysty i konsekwentny, a język (poza drobnymi usterkami) poprawny technicznie i stylistycznie. Szata edytorska pracy bez zastrzeżeń.

Część kompilacyjna (rozdział 2) charakteryzuje się zwięzłym i jednocześnie wyczerpującym przedstawieniem zagrożeń oraz dotychczas stosowanych zabezpieczeń środowiska gruntowo-wodnego wzdłuż tras komunikacyjnych. Autorka położyła nacisk na scharakteryzowanie aspektów geotechniczno-budowlanych, technologicznych i projektowych barier reaktywnych stosowanych w kraju i na świecie oraz na aspekty sozologiczne i sozotechniczne z tym związane.

Biorąc pod uwagę fakty przedstawione w rozdziale 2, Autorka w rozdziale 3 poprawnie sformułowała ogólną hipotezę naukowo-badawczą rozprawy doktorskiej, a następnie określiła zakres i metodykę realizacji tej hipotezy.

Założoną hipotezę zrealizowała kompleksowo i z powodzeniem w drugiej zasadniczej części rozprawy doktorskiej, w której:

- w rozdziale 3 wytypowała i scharakteryzowała:
  - cztery rodzaje materiałów reaktywnych do budowy wielowarstwowych przepuszczalnych barier reaktywnych (WPBR) określając w badaniach własnych ich właściwości fizyczne i chemiczne,
  - jedno- i wieloskładnikowe roztwory modelowe zawierające jony chlorkowe, różne metale ciężkie oraz substancje ropopochodne określając ich skład i stężenia,
- w rozdziale 4 scharakteryzowała metodykę i zakres własnych badań bezprzepływowych dotyczących:
  - kinetyki reakcji zachodzących podczas kontaktu zanieczyszczeń w postaci roztworów modelowych z materiałami reaktywnymi,

- równowagi chemicznej reakcji; współczynnika zatrzymania R różnych rodzajów zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych na materiałach reaktywnych podczas procesu adsorpcji, oraz opracowała i zinterpretowała wyniki tych badań,
- w rozdziale 5 scharakteryzowała metodykę, procedurę i zakres własnych badań filtracyjnych i przepływowych w celu:
  - określenia wyjściowych współczynników filtracji materiałów reaktywnych (oraz ewentualnych ich zmian) w trakcie przepływu wody destylowanej oraz różnych roztworów modelowych,
  - określenia parametrów transportu zanieczyszczeń, stopni zatrzymania zanieczyszczeń oraz współczynników opóźnienia prędkości migracji.
 Z analizy wyników badań opisanych w rozdziale 4 i 5 wynika, że stosowane materiały reaktywne nie zatrzymują zanieczyszczeń w wymaganym stopniu, w związku z czym konieczna jest modyfikacja badanych materiałów reaktywnych polegająca na poprawie ich zdolności sorpcyjnych w celu redukcji stężeń jonów chlorkowych występujących sezonowo (w okresie zimowym) w wodach spływowych z tras komunikacyjnych,
- w rozdziale 6 opisano metodykę i wyniki modyfikacji polegającej na wysyceniu powierzchni materiałów reaktywnych tlenkiem magnezu, stwierdzając w powtórnych badaniach bezprzepływowych i przepływowych znaczącą poprawę właściwości tych materiałów do zatrzymywania chlorków i metali ciężkich,
- w rozdziale 7 Autorka zaproponowała własną oryginalną koncepcję wielowarstwowej przepuszczalnej bariery reaktywnej z czterech i z trzech warstw materiałów reaktywnych uwzględniając optymalizację jej szerokości
  - przedstawiła przykład numerycznych obliczeń stateczności nasypu drogowego dla obwodnicy Żyrardowa w sąsiedztwie którego wykonano taką barierę dla trzech wariantów lokalizacji w podstawie nasypu,
  - przedstawiła zalecenia i metodykę doboru materiałów reaktywnych, ich kolejność oraz grubość,
- w rozdziale 8 przedstawiła cztery grupy syntetycznych wniosków (łącznie 16 wniosków) dotyczących metodyki i interpretacji wyników badań materiałów reaktywnych i zmodyfikowanych materiałów reaktywnych, wyników optymalizacji i kierunków dalszych badań. Wnioski te są wyczerpujące, zwarte, wynikają z przeprowadzonych przez Autorkę badań, obliczeń i analiz. Są także w pełni i szczegółowo udokumentowane w pięciu załącznikach o łącznej objętości 110 stron.

Ta część rozprawy doktorskiej, mająca jednocześnie aspekt naukowo-poznawczy i aspekt aplikacyjny, zawiera szereg elementów oryginalnych decydujących o własnym dorobku naukowym i aplikacyjnym Autorki. Należą do nich:

- wybór, charakterystyka i metodyka oraz wykonanie geotechnicznych badań właściwości fizycznych, wytrzymałościowych i odkształceniowych materiałów reaktywnych oraz właściwości i stężeń roztworów modelowych,

- zakres i metodyka oraz wykonanie obszernych, skomplikowanych i nowoczesnych badań migracji i zatrzymania zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych przez materiały reaktywne wraz z opracowaniem i analizą wyników,
- zakres i metodyka, staranne zaplanowanie i wykonanie oraz opracowanie i przeanalizowanie wyników badań filtracyjnych i przepływowych w kolumnach badawczych w celu określenia współczynników filtracji i stopni zatrzymania zanieczyszczeń na materiałach reaktywnych,
- oryginalny pomysł metodyki modyfikacji materiałów reaktywnych wraz z wykonaniem własnych badań przepływowych, ustaleniem składu i przebadaniem właściwości tzw. kompozytu uwieńczony zgłoszeniem w maju 2014 r. Wniosku do Urzędu Patentowego RP pt. *Sposób wytwarzania kompozytu reaktywnego oraz jego zastosowanie*,
- oryginalna autorska koncepcja wielowarstwowej przepuszczalnej bariery reaktywnej i przeprowadzona optymalizacja jej składu i szerokości przy przyjęciu różnych funkcji celu: minimalizacji kosztów lub efektywnego usuwania zanieczyszczeń,
- aplikacja przedstawionej koncepcji WPBR w postaci inżynierskiego przykładu numerycznych obliczeń stateczności nasypu drogowego z wielowarstwową przepuszczalną barierą reaktywną.

Autorka umiejętnie uwypukliła najistotniejsze wyniki własnych badań środowiskowych i laboratoryjnych wraz z ich analizą, przyjętą metodykę i skuteczność modyfikacji materiałów reaktywnych oraz koncepcję i optymalizację WPBR. W przedstawionych analizach i komentarzach widoczne są:

- cechy naukowej dojrzałości Autorki,
- umiejętność właściwego zaplanowania, realizacji i obiektywnej oceny wyników badań i obliczeń,
- świadomość ważności i aktualności podjętej tematyki badawczej pod względem poznawczym i aplikacyjnym,

Uważam, że postawiona teza rozprawy została potwierdzona i w pełni udokumentowana wynikami własnych oryginalnych i nowoczesnych badań oraz obliczeń numerycznych, co oznacza że cel rozprawy został osiągnięty.

### 3. Uwagi krytyczne

Analizując treść rozprawy doktorskiej nasunęły mi się pewne uwagi krytyczne i dyskusyjne o charakterze merytorycznym oraz redakcyjnym, wymagające skomentowania w ramach autoreferatu lub odpowiedzi na pytania w ramach dyskusji:

#### A. Uwagi merytoryczne

1. Z wyników przeprowadzonych badań własnych materiałów reaktywnych, Autorka utworzyła tzw. *bank informacji* dotyczący między innymi wartości współczynnika zatrzymania R różnych zanieczyszczeń w funkcji czasu niezbędny do przeprowadzenia modyfikacji materiałów reaktywnych, co przedstawiła na rysunkach w rozdziałach IV i VI. Jak można zinterpretować i czym wyjaśnić występowanie nieregularnych zmian współczynnika zatrzymania zanieczyszczeń R w funkcji czasu dla obu grup badań ?

2. W podsumowaniu pracy sformułowano wnioski (które uważam jako uzasadnione i słuszne) dotyczące między innymi kierunków dalszych badań (grupa IV). Jaka jest opinia Autorki na temat:

- celowości ściślejszego matematycznie analizowania skuteczności wielowarstwowej przepuszczalnej bariery reaktywnej traktowanej jako ośrodek o podwójnej porowatości (np. ze względu na obecność w WPBR warstwy węgla aktywnego),
- metodyki i zakresu pomiarów w stosowaniu nowoczesnych systemów monitoringu których wyniki będzie można wykorzystać do analizy ryzyka spowodowanego możliwością zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego wzdłuż tras komunikacyjnych.

3. W praktyce budownictwa komunikacyjnego może wystąpić konieczność wykonania wielowarstwowych przepuszczalnych barier reaktywnych zlokalizowanych pionowo lub poziomo. Na jakie zagadnienia budowlano-geotechniczne oraz sozotechniczne należy zwrócić uwagę, przeanalizować je i zastosować w takich przypadkach.

#### B. Uwagi redakcyjne

Drobne błędy stylistyczne i edytorskie zaznaczyłem w maszynopisie rozprawy. Poniżej przytaczam niektóre z nich:

- częste używanie zwrotu *została przedstawiona w tabeli, na rys. itd.* zamiast *przedstawiono w tabeli, na rys. itd.*,
- Rysunek 1.1, Tabela 1.1 zamiast Rys. 1.1 , Tabl. 1.1,
- na str. 77 rys. 2.13 opis oznaczeń 1 i 2 na schemacie,
- na str. 77 i 78 dwukrotna numeracja, Rysunek 3.13 o różnej treści,
- na stronie 91 i str. 104 brak opisu godzin na Rys. 4.5 i 4.22.

Zgłoszone uwagi proponuję uwzględnić przy publikowaniu fragmentów rozprawy.

#### 4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter doświadczalno-analityczny. Autorka podjęła się przeanalizowania i rozwiązania istotnego i aktualnego zagadnienia naukowego o charakterze głównie poznawczym lecz mającego jednocześnie w dużym stopniu charakter aplikacyjny, istotny dla praktyki inżynierskiej z zakresu dyscypliny naukowej budownictwo w specjalności budownictwo komunikacyjne.

Precyzyjnie sformułowaną hipotezę naukowo-badawczą rozprawy potwierdziła bardzo starannie oraz w pełni udokumentowała.

Również postawiony cel rozprawy osiągnęła w pełni i z powodzeniem, co uwypukliłem w punkcie 2 niniejszej recenzji.

Z treści rozprawy doktorskiej jednoznacznie wynika, że Autorka:


- jasno i precyzyjnie sformułowała hipotezę i cel pracy oraz przyjęte założenia, poprawnie i wyczerpująco zrealizowała całość prac przedstawiając nie tylko własne oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego, lecz także możliwość praktycznego inżynierskiego wykorzystania tego rozwiązania o czym świadczy dodatkowo zgłoszony w maju 2014 r. wniosek do Urzędu Patentowego RP pt. *Sposób wytwarzania kompozytu reaktywnego oraz jego zastosowanie*,

- wykazała się wyróżniającą znajomością i realizacją (od strony doświadczalnej, teoretycznej i inżynierskiej) ogółu zagadnień analizowanych w rozprawie oraz dobrą wiedzą w zakresie budownictwa komunikacyjnego,
- właściwie dobrała metody badawcze (rozpoznanie i analiza istniejących rozwiązań, zaplanowanie metodyki i zakresu obszernych badań własnych, interpretacja wyników eksperymentów wraz z analizą wyników, symulacyjne obliczenia numeryczne z wykorzystaniem optymalizacji) i poprawnie oraz z powodzeniem je zastosowała,
- zawarła w rozprawie szereg elementów oryginalnych wzbogacających i rozszerzających aktualny stan wiedzy o analizowanych zagadnieniach z zakresu budownictwa, sozologii i sozotechniki,
- wykazuje dobry stopień przygotowania naukowego, umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz wnikliwego i poprawnego wnioskowania.

Przedstawione fakty oznaczają, że rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Pawluk pt. *Wielowarstwowe przepuszczalne bariery reaktywne w zabezpieczeniu środowiska gruntowo-wodnego wzdłuż tras komunikacyjnych* spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym.

Stawiam wniosek o dopuszczenie Autorki rozprawy do publicznej obrony rozprawy doktorskiej przed Radą Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Gdańsk  
26.01.2015

  
Prof. dr hab. inż. Bohdan Zadroga  
prof. zw. PG