



**dr hab. inż. Marek Zawilski**

emerytowany profesor nadzwyczajny Politechniki Łódzkiej  
ul. Julianowska 5/7 m.322  
91-473 Łódź  
tel. dom. (42) 659 59 74  
tel. kom. 600 817 639

**Politechnika Łódźka**  
**Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska**  
**Katedra Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych**

al. Politechniki 6  
90-924 Łódź  
tel. (42) 631 39 49; tel./fax. (42) 631 35 17  
e-mail: [marek.zawilski@p.lodz.pl](mailto:marek.zawilski@p.lodz.pl)

## **R E C E N Z J A**

rozprawy doktorskiej  
**mgr inż. Adama Krajewskiego**

pt.: „**Wpływ małego zbiornika wodnego na redukcję ładunku rumowiska unoszonego**”

Promotor pracy: prof. dr.hab.inż. Kazimierz Banasik

Promotor pomocniczy: dr inż. Leszek Hejduk

### **1. Formalna podstawa opracowania recenzji**

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie z dnia 27 września 2017 r. i pisma Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska w tej sprawie z dnia 9 października 2017 r.

### **2. Charakterystyka ogólna rozprawy doktorskiej i jej zawartości**

Przedstawiona rozprawa dotyczy modelowania jakości wód w odbiornikach ścieków opadowych, a więc problematyki bardzo aktualnej i ważnej dla rozwoju i właściwego funkcjonowania współczesnych terenów zurbanizowanych. Niesie przy tym duży ładunek wiedzy, mogącej być bezpośrednio wykorzystanej w praktyce inżynierskiej, co zresztą zostało w pracy wykazane bezpośrednio.

Jest wreszcie ściśle związana z tematyką prac naukowych, wykonywanych w zespole naukowym Promotora pracy – na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Rozprawa została podzielona na 6 zasadniczych rozdziałów, poprzedzonych streszczeniem pracy w jęz.polskim i angielskim, po których następują i spis literatury przedmiotu, rysunków i tabel oraz załączniki.

Całość rozprawy liczy 93 strony numerowane.

**Rozdział 1** jest wprowadzeniem. Zawarto w nim uzasadnienie podjęcia tematu oraz sformułowanie celu, hipotezy naukowej i zakresu rozprawy.

Celem pracy było opracowanie procedury wyznaczania redukcji ładunku rumowiska unoszonego, kierowanego przez płynący odbiornik ścieków opadowych do małego zbiornika przepływowego. Jednocześnie w uzasadnieniu podjęcia tematu wykazano wagę omawianych badań dla środowiska wodnego, a także niewystarczający stan wiedzy, która umożliwiłaby wpływanie na stopień zatrzymywania rumowiska w obiektach rzeczywistych, zlokalizowanych na ciekach, które są odbiornikami ścieków opadowych. Pozwoliło to właśnie na sformułowanie tezy pracy, że „poprzez odpowiedni dobór charakterystyki budowli upustowej można zwiększyć ilość zatrzymywanych unosin i tym samym poprawić jakość odpływu”.

Zakres badań także został w tym rozdziale przedstawiony szczegółowo. Obejmuje on przegląd literatury, przeprowadzenie serii badań terenowych na obiekcie rzeczywistym w Warszawie, opracowanie tych badań, analizy modelowe, w tym opracowanie modelu matematycznego i procedury określania redukcji ładunku unosin wraz z jej weryfikacją, omówienie wyników badań wraz z przykładem zastosowania opracowanej procedury, podsumowanie pracy i wnioski końcowe,

### **3. Ocena merytoryczna dalszych rozdziałów rozprawy**

Zasadnicza część analiz merytorycznych rozpoczyna się od **rozdziału 2**. Dotyczy on zjawiska zatrzymywania rumowiska unoszonego w zbiornikach i zmiany jakości odpływu. Przegląd stanu wiedzy na ten właśnie temat jest wyczerpujący i oparty o dobrze dobrany zestaw źródeł literaturowych, aczkolwiek Doktorant nie miał możliwości skorzystania z bardzo obszernej liczby źródeł, adekwatnych do tematu pracy. Uważam, że akurat stało się dobrze, iż przeanalizowane zostały tylko najistotniejsze pozycje dostępnej literatury, ściśle związane z tematyką rozprawy, a nie rozbudowywano omawianego przeglądu ponad miarę.

Szkoda tylko, że bardziej nie zostało wyeksponowane zagadnienie wyboru odpowiedniego modelu matematycznego, a w szczególności nie przedyskutowano dokładniej modeli hydrodynamicznych, które jako w założeniu bardzo dokładne nie przyniosły dotąd wymiernych i wiarygodnych wyników aplikacyjnych.

Ponadto celowe było odnoszenie się w tej części rozprawy do warunków, w jakich funkcjonuje wybrany do badań obiekt rzeczywisty, czyli „Staw Wyścigi” w Warszawie. Po analizie danych literaturowych na tytułowy temat Doktorant doszedł do wniosku, że najbardziej odpowiednią propozycją rozwiązania problemu będzie model koncepcyjny. W modelu tym założono pełne wymieszanie objętości zbiornika oraz współczynnik sedimentacji stały dla całego zjawiska. Taki model zwalnia badającego z konieczności poznawania wielu skomplikowanych i powiązanych procesów jednostkowych, a jednocześnie pozwala na

uwzględnienie zasadniczych parametrów hydrologicznych, zrozumiałych dla specjalistów-naukowców, projektantów i eksploatorów. Prawdopodobna jest także opcja łatwego przystosowania takiego modelu do innych obiektów rzeczywistych (zbiorników przepływowych).

W **rozdziale 3** Doktorant omówił przeprowadzone badania terenowe. Badany obiekt „Staw Wyścigi” jest zlokalizowany na Potoku Służewieckim w Warszawie, który to ciek zbiera ścieki opadowe również z terenów zurbanizowanych (o całkowitej powierzchni zlewni w przekroju badawczym równej 29 km<sup>2</sup>). Sam obiekt można uznać za dość typowy staw, piętrzący wodę cieką i zmniejszający w ten sposób ładunki niesionych zanieczyszczeń, głównie mineralnych, w wyniku zjawiska sedymentacji cząstek unoszonych wobec radykalnego zmniejszenia się prędkości przepływu wody. Ponieważ miał być zastosowany model koncepcyjny, przeto za wystraszający należy uznać okres prowadzenia badań (3 lata – 2014-2016) i ilość serii pomiarowych dla wezbrań – 9, jak też pomiary ograniczone jedynie do dwóch przekrojów – wlotowego i wylotowego.

Za poprawne trzeba także uznać wybór zastosowanego opomiarowania. Do tego fragmentu rozprawy mam jedynie dwa pytania:

- czy nie było możliwości użycia automatów do poboru prób (i czy zastosowanie tego typu urządzeń nie poprawiłoby wyników badań)?
- dlaczego zastosowano dwie różne techniki pomiaru natężenia przepływu, a mianowicie jednej dla wezbrań i drugiej dla okresów bezopadowych (s.31)?

Z kolei do przedstawionej w p.3.2 metodyki badań laboratoryjnych nasuwają się następujące uwagi:

- czy przyrząd do oznaczania składu granulometrycznego unosin był kalibrowany w czasie trwania badań, czy może wystarczyła jego kalibracja fabryczna?
- czemu odpowiada wynikowa wielkość ziarna w [µm] – czy jest to równoważna średnica cząstki kulistej i czy jest uwzględniany w jakikolwiek sposób niekulisty kształt cząstek?

Co do warstwy słownej z kolei niefortunne wydaje się używanie (w całej pracy zresztą) terminu „koncentracja” zamiast „stężenie”.

Do kolejnych analiz, aż do s. 34 nie wnoszę uwag, są one poprawne i czytelnie przedstawione.

Odnosnie krzywych natężenia przepływu (wzór (9) s.35), mam zastrzeżenia do załącznika Z2. O ile poprawne są wartości i jednostki na osiach, to niepoprawny jest wykładnik we podanym wzorze na Q: powinien on wynosić 10<sup>-4</sup> dla dopływu i 10<sup>-3</sup> dla odpływu (a więc 10 razy mniej, niż jest to na wydruku).

Na s.36-37 jest z kolei zanalizowane pojęcie czasu detencji, rozumianego jako czas przetrzymania wody w stawie, czyli „średni czas pozostawania wód wezbraniowych w zbiorniku”. Jak należy z tego wnosić, czas przetrzymania utożsamiono dalej z czasem opóźnienia fali odpływu w stosunku do fali dopływu do zbiornika (patrz wz.11 i rys.16). Parametr ten zastosowano następnie do dalszych modeli matematycznych i regresyjnych, a więc jest to parametr bardzo istotny. Jest oczywiste, że ubywanie unosin w drodze ich sedymentacji w zbiorniku musi taki parametr uwzględniać. Jednak tak podana definicja

pozostawia pewien niedosyt. Opiera się ona bowiem wyłącznie na analizie obu krzywych - dopływu i odpływu, a pomija całkowicie wielkość chwilowej pojemności czynnej zbiornika. Zazwyczaj czas przetrzymania wylicza się bowiem jako iloraz pojemności czynnej i natężenia przepływu (oczywiście w danym przypadku okolicznością utrudniającą obliczenia byłaby zmienność tych dwóch wielkości w czasie). Jeśliby przyjąć zaproponowaną w rozprawie definicję czasu detencji za miarodajną, należało ją poprzedzić wyjaśnieniami i porównaniem do innych definicji, a co więcej, dopisać, że może ona być stosowana jedynie dla podobnych obiektów, wyposażonych w odpływ korytem. Często bowiem spotykamy stawy piętrzące na ciekach, wyposażone jedynie w przelew powierzchniowy, czyli są to zbiorniki o stałym piętrzeniu, w przypadku których czas przetrzymania kształtuje się zupełnie inaczej. Zatem definicja czasu detencji, użyta w rozprawie, jest równoważnikiem faktycznego czasu przetrzymania, ale nie jest z nim tożsama. Co nie oznacza, że tak zdefiniowany parametr nie może być używany w modelach matematycznych.

Należy też dodać, że podobne modele osadników używają także jeszcze innego parametru, a mianowicie hydraulicznego obciążenia powierzchni rzutu poziomego, który to parametr w przeszłości należałoby poddać analizie.

W przypadku identyfikacji współczynnika sedimentacji mowa jest o tym, że w tym celu zastosowano metodę optymalizacji (s.41). Jednak oprócz podania, że wykorzystano w tym celu narzędzie Solver MS Excel, nie ma o tej metodzie żadnej bliższej informacji, chyba, że za taką uznamy rys.17.

Co do równania regresji wielokrotnej (22) to należy uznać jego poprawność i adekwatność. Jednak procedura obliczania redukcji ładunku rumowiska, przedstawiona w punktach na s.43 byłaby bardziej czytelna, gdyby wykonać dla niej schemat blokowy. Dalej Doktorant opisuje zaproponowaną metodę walidacji krzyżowej. W sytuacji, gdy jest niewiele serii pomiarowej, należy ją uznać za zasadną. Konieczny jest jednak komentarz, czy taka metoda może zastąpić całkowicie walidację klasyczną, wykorzystującą dwa niezależne zbiory danych pomierzonych? I podobnie, jak wyżej, opisanie tej metody wyglądałoby lepiej w postaci schematu blokowego, niż opisu w punktach.

Kolejny **rozdział 4** dotyczy omówienia wyników badań.

Należy wyjaśnić w jaki sposób określono czas trwania opadu w przypadku dysponowania danymi z kilku stanowisk pluwiometrycznych (Tabela 5).

Ponieważ w modelu występuje średnia wielkość ziarna, definiowana jako  $d_{50}$ , zachodzi pytanie jak tę wielkość określono (przy czym nie chodzi tu o pomiar laboratoryjny) – a mianowicie, czy jest to wartość średnia arytmetyczna z otrzymanych dla poszczególnych prób wody (Tabela 5), czy może średnia ważona lub jeszcze inna? Czy badano korelację stężenia lub ładunku unosin, jak też natężenia dopływu z tą wielkością?

Ostateczna analiza modelowa redukcji ładunku unosin (w szczególności zestawiona w Tabeli 8 i na rys.Z4 do Z10) stanowi oryginalne osiągnięcie Doktoranta, dające pogląd na dokładność otrzymanych wyników i zastosowanej procedury obliczeniowej. Dokładność ta jest dobra i dobrze udokumentowana, co udowadnia przydatność modelu do celów inżynierskich.

**Rozdział 5** stanowi przykład obliczeniowy. Zaprezentowano w nim możliwości wariantowania badanego obiektu, polegającego na przebudowie odpływu (tj. zaopatrzenie go w budowlę piętrzącą wyposażoną w upust i przelew górny). Wykazano, że możliwe jest

dobranie parametrów budowli w taki sposób, aby zmaksymalizować zatrzymywanie ładunku unosin. W tym miejscu jednak nasuwają się uwagi, przedstawione wcześniej, a dotyczące definicji czasu detencji.

**Rozdział 6** stanowi podsumowanie i wnioski z pracy. Wniosków sformułowano 6 i dobrze oddają one zakres przeprowadzonych badań i analiz.

Ogólnie stwierdzam, że przedstawiona treść rozprawy udowadnia postawione w niej tezy, niezależnie od moich uwag krytycznych, zawartych w recenzji.

### **Inne uwagi**

Praca jest napisana przejrzystym językiem z minimalną ilością błędów edycyjnych i niezręcznych sformułowań (np. oprócz wspomnianego już zastrzeżenia co do słowa „koncentracja” można by wytknąć użycie słów „zmyw zanieczyszczeń (s.56)).

Jednak za spore uchybienie edycyjne należy uznać brak spisu symboli, co utrudnia czytanie pracy.

### **4. Wniosek końcowy**

Po szczegółowym zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama Krajewskiego pt.: „Wpływ małego zbiornika wodnego na redukcję ładunku rumowiska unoszonego” wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab.inż. Kazimierza Banasika oraz w wyniku przedstawionej wyżej recenzji stwierdzam, iż **rozprawa spełnia wymogi Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki**. W szczególności stwierdzam, że rozprawa stanowi samodzielne rozwiązanie zagadnienia naukowego o istotnym znaczeniu praktycznym oraz wskazuje na ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w reprezentowanej dyscyplinie naukowej "ochrona i kształtowanie środowiska". Na podstawie pozytywnej oceny pracy stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Adama Krajewskiego do publicznej obrony rozprawy.

Łódź, dnia 14 listopada 2017 r.

