

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Kuczewski  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Katarzyny Górskiej**  
**pt. „Zmienność ładunków zanieczyszczeń w ściekach deszczowych**  
**na przykładzie wybranej zlewni”**

### **Podstawa opracowania**

Podstawą opracowania recenzji było zlecenie prof. dr. hab. inż. Jerzego Piotrowskiego Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach z dnia 12.06.2012 roku.

### **Dane ogólne o rozprawie doktorskiej**

Przedstawiona do recenzji rozprawa jest zwartym opracowaniem składającym się z 261 stron, w skład którego wchodzi 127 rysunków, 9 fotografii, 45 tabel. Wykaz piśmiennictwa, na który Autorka powołuje się w rozprawie doktorskiej, obejmuje 166 pozycji, w tym 5 na strony internetowe, 116 w języku polskim oraz 45 w językach obcych (głównie w angielskim ale także w niemieckim i rosyjskim). Zdecydowana przewaga piśmiennictwa, na którą powołuje się Autorka, pochodzi z ostatnich kilku lat.

Rozprawa składa się z ośmiu głównych rozdziałów:

1. Wstęp.
2. Cel i zakres zadania badawczego oraz hipotezy badawcze.
3. Przegląd literatury naukowej i technicznej oraz materiałów źródłowych dotyczących wód deszczowych.
4. Przegląd wybranych metod obliczeniowych dotyczących ilości wód deszczowych odprowadzanych ze zlewni oraz stężeń i ładunków zanieczyszczeń w ściekach deszczowych.
5. Ogólna charakterystyka zlewni deszczowych w Kielcach.
6. Metodyka badań własnych.
7. Analiza i dyskusja wyników badań terenowych i prac laboratoryjnych.

## 8. Wnioski i stwierdzenia.

W krótkim „Wstępie” (dwu stronicowym) Autorka zasygnalizowała, że wody deszczowe do niedawna traktowane były jako nie budzące zastrzeżeń pod względem sanitarnym oraz innych zanieczyszczeń. Natomiast badania pochodzące z ostatnich lat wskazują, że wody odpływające kanalizacją deszczową charakteryzują się znacznym zanieczyszczeniem.

W rozdziale drugim Autorka przedstawiła cel badawczy, którym było rozpoznanie i ustalenie rzeczywistych odpływów ścieków deszczowych oraz charakterystyki ilościowej odprowadzanych zanieczyszczeń.

Wybrana zlewnia, z której odprowadzane były ścieki deszczowe, znajdowała się na terenie miasta Kielce. Głównym celem badań było:

- 1) ustalenie zależności pomiędzy wielkością odpływu wód deszczowych a dynamiką zmian badanych wskaźników zanieczyszczeń,
- 2) określenie ładunków zanieczyszczeń w odpływie ścieków deszczowych i ich rozkładu w czasie trwania wezbrania

Określając zanieczyszczenie ścieków deszczowych odpływających kanalizacją deszczową oparła się na następujących wskaźnikach zanieczyszczeń: zawiesinie ogólnej, chlorkach i metalach ciężkich (Ni, Cu, Cr, Zn, Pb, Cd). Postawiła też sześć hipotez badawczych, na które starała się dać odpowiedzi prowadząc badania na wytypowanej zlewni kanalizacji deszczowej w Kielcach (skala obiektu naturalna).

W rozdziale trzecim dotyczącym przeglądu literatury problemowej szczegółowo przeanalizowała chemizm opadów oraz ich wielkość, w szczególności na obszarze woj. świętokrzyskiego. Określając strukturę oraz wielkość emisji w woj. świętokrzyskim oparła się na Raportach Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Kielcach. Oceniając charakterystykę jakościową ścieków deszczowych na obszarach zurbanizowanych odniosła się do aktualnych badań prowadzonych przez badaczy polskich i zagranicznych. Analiza literaturowa dotyczyła wód deszczowych i roztopowych. Autorka w przeglądzie literatury problemowej wykazała, że często uzyskane wyniki badań prowadzone przez różnych badaczy dają sprzeczne wyniki co pozwala na stwierdzenie, że wiele różnych czynników wpływa na charakterystykę jakościową odprowadzanych ścieków deszczowych i można popełnić znaczny błąd uogólniając ją.

W rozdziale czwartym Autorka przedstawiła stosowane metody obliczeniowe dotyczące prognozowania ilości wód deszczowych odprowadzanych ze zlewni kanalizacji deszczowej oraz stosowane metody określenia stężeń i ładunków zanieczyszczeń w spływach pochodzących ze zlewni deszczowych. W przeprowadzonej analizie literatury krajowej i zagranicznej wykazała, że

prognozowanie ilości i jakości wód deszczowych jest procesem niezwykle złożonym, zależnym od wielu czynników i dającym różne wyniki.

Rozdział piąty poświęcony jest opisowi zlewni wód deszczowych w Kielcach oraz układzie sieci kanalizacyjnej deszczowej wraz z istniejącymi oczyszczalniami wód deszczowych.

W rozdziale szóstym scharakteryzowała wybraną zlewnię wód deszczowych z której kolektorem Si9 odprowadzane były wody opadowe do rzeki Sinicy. Powierzchnia wytypowanej zlewni wynosiła 62 ha i posiadała różne rodzaje powierzchni z których odprowadzane były wody opadowe a mianowicie: dachy stanowiły 14,3% powierzchni, chodniki 8,4%, jezdnie asfaltowe 17,66%, parkingi o różnym rodzaju nawierzchni 11,2%, boiska szkolne asfaltowe 1,2% oraz zieleń 47,17%. Wytypowaną zlewnie można więc uważać za reprezentacyjną dla terenów miejskich. Przy wyborze tej zlewni kierowano się także możliwością bezpiecznego zainstalowania aparatury badawczej.

Stanowisko badawcze zostało wyposażone w automatyczne urządzenie do pomiaru próbek ścieków (SAMPLER 6712), przepływomierz typu „2150” firmy Teledyne ISCO oraz deszczomierz do ciągłego rejestrowania opadów deszczowych typ RG50 firmy SEBA Hydrometrie GmbH. Dane z odczytów zbierane były do paneli LB-724R oraz od czerwca 2009 r. do LB-487. Zastosowany Sammler posiadał w zestawie 24 butelki do poboru prób. Częstotliwość poboru prób możliwa była do zaprojektowania przez badacza (a częstotliwość poboru mieściła się w przedziale od 1 minuty do 100 godzin). W tym miejscu chciałbym zaznaczyć, że stanowisko badawcze przygotowane było profesjonalnie na światowym poziomie.

Rozdział siódmy jest jądrem rozprawy doktorskiej, jest niezwykle obszerny i zawiera się na 149 stronach. Badania terenowe prowadzone były w okresie od maja 2009 r. do czerwca 2010 r. Polegały na analizie wezbrań wód opadowych odprowadzanych kolektorem Si9 i określeniu zmian stężeń zanieczyszczeń podczas występującego wezbrania. W ww. okresie badawczym wystąpiło 17 wezbrań w tym 13 deszczowych i 4 wód roztopowych. Praktycznie każde wezbranie różniło się od siebie ze względu na czas jego trwania, kształt fali wezbraniowej, wielkości opadu, czas trwania pogody bezopadowej przed wezbraniem. Czynniki te miały bezpośredni wpływ na kształtowanie się wielkości stężenia badanych wskaźników zanieczyszczeń w odprowadzanych wodach opadowych. Ponieważ wezbranie jest zjawiskiem losowym następowały trudności obiektywne z ustawieniem Samplera co do ilości pobranych próbek ścieków opadowych oraz odstępu czasowego między poborem prób. Dla każdego występującego wezbrania w okresie badawczym określiła stężenia i ładunki rzeczywiste chlorków oraz zawiesiny ogólnej i wartości pH, a wyniki końcowe zamieściła w tabelach rozprawy doktorskiej. Wizualny obraz kształtu wezbrania oraz stężeń zawiesiny ogólnej uchwycony przez Sampler przedstawiła na rysunkach obrazujących każde występujące wezbranie.

Ponieważ próbki ścieków wód opadowych nie obejmowały całego zakresu hydrogramu dopływu (w szczególności fazy opadania wezbrania) wyrównała wyniki analiz pobranych prób równaniem w ogólnej postaci  $s = f(e^{-t})$  co umożliwiło ekstrapolację tego związku poza przedziały czasu pobrania prób do analiz. Znając hydrogram dopływu oraz aproksymowane stężenie zawiesiny mogła wyznaczyć dla każdego wezbrania krzywą sumową ładunku zawiesiny ogólnej. Dalszym etapem Jej prac badawczych było wyznaczenie pętli histerezy zmian ładunku zawiesiny ogólnej w funkcji przepływu  $Q$  dla każdego wezbrania. Wyniki badań dotyczące tego zagadnienia przedstawiła graficznie na rysunkach. Badania wykazały, że kształt pętli histerezy zmian ładunku zawiesiny ogólnej przybierał różne kształty co oznacza, że zależał od fali wezbrania a ta była zależna od wielu zmiennych.

Bardzo istotną rzeczą, z punktu naukowego, było też uchwycenie wezbrań roztopowych pochodzących z tajania śniegu. Oprócz kształtowania się zawiesiny w wodach roztopowych uchwyciono kształtowanie się stężenia chlorków pochodzących głównie z posypywania solą jezdni i chodników w okresie zimowym.

Doktorantka analizując uzyskane wyniki badań w szczególności dla zawiesiny ogólnej zauważyła, że stosując kryteria opisujące zjawiska pierwszej fali zanieczyszczeń wg danych literaturowych (które wymienia w rozprawie), że wykreślone przez Nią polutogramy praktycznie wykazują jego występowanie ale wg nowej zaprezentowanej przez Autorkę definicji 50:60 (co oznacza, że przy 50% objętości wezbrania fala niesie 60% zanieczyszczeń). Na 17 przebadanych fal wezbraniowych w 12 przypadkach takie zjawisko wystąpiło przy zaprezentowanej nowej definicji.

Doktorantka badając zmiany stężeń metali ciężkich w trakcie przejścia fali wezbraniowej stwierdziła, że stężenia ich cechowały się znaczną nieregularnością co uniemożliwiło aproksymowanie pomierzonych wartości poza przedziały czasowe poboru prób. Uniemożliwiło to także obliczenie miarodajnych ładunków oraz analizę występowania zjawiska pierwszej fali dla metali ciężkich. Zakres zmienności oraz średnie stężenie metali ciężkich dla wezbrań deszczowych oraz roztopowych przedstawiła w tabeli zbiorczej. Podjęła też próbę określenia częstości i częstotliwości występowania metali ciężkich w wezbraniach deszczowych i roztopowych przy określonych przez Nią przedziałach stężeń. Występowanie metali ciężkich w wodach wezbraniowych tłumaczy tym, że główną przyczyną występowania ich w badanej zlewni są samochody (ścieranie się lakieru, warstw ochronnych pojazdów samochodowych).

W części końcowej tego rozdziału Doktorantka pokusiła się na znalezienie zależności korelacyjnych między badanymi wskaźnikami zanieczyszczeń w rozbiciu na wezbrania deszczowe i roztopowe. Dla wezbrań deszczowych przy założonym  $p = 0,05$  silny związek uzyskano tylko pomiędzy zawiesiną i chromem a dla wezbrań roztopowych bardzo silny związek stwierdzono pomiędzy

chlorkami a niklem i silny pomiędzy chlorkami a chromem oraz niklem a chromem a także miedzią i chromem.

W końcowej części tego obszernego punktu Doktorantka podejmuje dyskusję uzyskanych wyników badań w kontekście wyników, które uzyskali inni badacze. Słusznie stwierdza, że wiele różnorodnych czynników ma wpływ na parametry charakteryzujące pierwszą falę zanieczyszczeń i każde wezbranie powinno być analizowane indywidualnie. Ostrożna jest przy uogólnieniu uzyskanych wyników badań i stwierdzeniu, że takie same wyniki można uzyskać na innych zlewniach w Kielcach i w innych miastach.

W rozdziale ostatnim o nazwie „Wnioski i stwierdzenia” Doktorantka przedstawia 14 rozbudowanych wniosków, które wynikają z treści pracy i są potwierdzeniem przyjętych hipotez badawczych.

Słusznie Autorka uważa, że badania, które przeprowadziła powinny być kontynuowane na innych zlewniach kanalizacyjnych i innych terenach zurbanizowanych o odmiennej charakterystyce, tym bardziej, że niektóre wyniki, które uzyskała różnią się często od podawanych w literaturze. Wybór obiektu badawczego oraz jego przygotowanie do badań tego typu należy zaliczyć do wzorcowych. Aparatura pomiarowa, która została zainstalowana na obiekcie badawczym została właściwie dobrana a uzyskane wartości pomiarowe należy uznać za w pełni wiarygodne i nie budzące zastrzeżeń. Niewątpliwym oryginalnym osiągnięciem Autorki było wykazanie (udokumentowane w sposób naukowy) kształtowanie się pętli histerezy zmian ładunku zawiesiny ogólnej w funkcji przepływu  $Q$  w różnych wezbraniach.

Uważam, że Autorka rozprawy włożyła ogromny nakład pracy analizując szczegółowo 17 wezbrań. Ilość materiału badawczego zebranego w trakcie badań jest przeogromna i możnaby obdzielić nią dwie prace doktorskie o podobnej tematyce.

#### Uwagi dyskusyjne

- \* Nie używać w tekście określeń „takie jak”.
- \* Nazywanie pH, ChZT, BZT<sub>5</sub>, itp. parametrami ścieków jest nieporozumieniem – to są wskaźniki zanieczyszczeń ścieków.
- \* Rys. 11 i inne. Można mieć wątpliwości czy aproksymowane stężenie zawiesin poniżej opadania fali wezbraniowej będzie w rzeczywistości tak wyglądało, gdy ostatni punkt stężenia zawiesin występował w pobliżu  $Q_{\max}$  przepływu ścieków? Recenzent zdaje sobie sprawę, że trudno przewidzieć jak trudno będzie trwał przepływ fali wezbraniowej ustalając wcześniej automatyczny cykl poboru próbek ścieków.

- \* Str. 92. Opis zjawiska (rys. 12) jest niewłaściwy ponieważ wynika z dobranej skali. Uwaga ta dotyczy też opisu drugiego wezbrania (str. 99).
- \* Str. 208–209. Nieprecyzyjnie opisano liczenie częstotliwości występowania metali ciężkich w wodach wezbraniowych. Czy liczone je dla wartości średnich arytmetycznych dla danego wezbrania?
- \* Brak jest informacji jak wykonano statystykę dla pH (wezbrania deszczowe i roztopowe). Jeśli obliczono wartości średnie pH (i inne miary) dodając wartości pH i dzieląc przez ilość prób to błąd.
- \* Str. 239, wniosek 11. Aby ten wniosek w 100% był prawdziwy należało wcześniej przeprowadzić inwentaryzację potencjalnych źródeł zanieczyszczenia powierzchni zlewni metalami ciężkimi.
- \* Sądzę, że dla celów czysto praktycznych (inżynierskich) warto było pokusić się określając jednostkowe ładunki zanieczyszczeń odprowadzane z opisanej zlewni.

### **Konkluzja recenzji**

Po dokładnym zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr. inż. Katarzyny Górskiej stwierdzam, że stanowi ona samodzielne rozwiązanie zagadnienia naukowego jakie postawiła w celu pracy. Wykazała się też niezbędną wiedzą teoretyczną do rozwiązania założonego celu badawczego, czego dowodem jest część teoretyczna rozprawy oraz dyskusja wyników badań wsparta najnowszą literaturą krajową i zagraniczną. Temat rozprawy został właściwie dobrany do aktualnych problemów związanych z ochroną środowiska. Oprócz zrealizowanego celu poznawczego (naukowego) prezentowana rozprawa może mieć duże znaczenie dla praktyki inżynierskiej związanej z szeroko pojętą inżynierią i ochroną środowiska.

Należy zaznaczyć, że założone przez Autorkę hipotezy badawcze zostały sprawdzone przy pomocy właściwych metod pomiarowych odpowiadających współczesnemu poziomowi nauki. Uważam, że Autorka rozprawy posiada właściwy stopień wiedzy w zakresie dyscypliny naukowej, która była tematem pracy doktorskiej. Uwagi krytyczne natury dyskusyjnej, które nasunęły mnie się podczas dogłębnego studiowania rozprawy, nie umniejszają wartości pracy i sądzą, że będą wykorzystane w przygotowaniu tekstu do publikacji. Praca doktorska – w formie jakiej została przedstawiona do recenzji – nie wymaga uzupełnień i poprawy.

**Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Katarzyny Górskiej pt. „Zmienność ładunków zanieczyszczeń w ściekach deszczowych na przykładzie wybranej zlewni” odpowiada wymogom stawianym pracom doktorskim, które określono w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o**

stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 poz. 595) i wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Katarzynę Górską do publicznej obrony pracy doktorskiej. Uważam także, że rozprawa ta zasługuje na wyróżnienie.

prof. dr hab. inż. Krzysztof Kuczewski