

Dr hab. inż. Jadwiga KRÓLIKOWSKA, prof. PK
Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki
Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej **Pani mgr Moniki ZDEB** pt. „, Jakość wód deszczowych w aspekcie ich gospodarczego wykorzystania”

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzję opracowano w związku z pismem Dziekana Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej z dnia 01.12.2017 roku oraz na podstawie umowy o dzieło z dnia 01.12.2017 roku o Nr OK-N/1319/2017.

2. Krótka charakterystyka rozprawy

Praca ma charakter badawczy i składa się z trzech części: części wprowadzającej (rozd., rozdz.1, 2), części literaturowej (rozd. 3) oraz części badawczej (rozd., rozdz. 4, 5 i 6) a także literatury, spisu tabel, rysunków załączników. Całość rozprawy obejmuje łącznie 6 rozdziałów, 185 stron, w tym 45 tabel, 44 rysunków, 4 załączniki, bibliografia zawiera 220 pozycji.

3. Ocena celowości podjęcia tematu

Tematyka pracy dotyczy ważnego i aktualnego problemu oceny możliwości wykorzystania gospodarczego wód opadowych. Kwestie związane z zagospodarowaniem wód opadowych nie należą do prostych. Istotne jest bowiem, ile jest tej wody, skąd spływa, na jaką trafia powierzchnię, a przede wszystkim dokąd ostatecznie trafia. Bardzo często daną sytuację należy traktować w sposób indywidualny.

Galopująca urbanizacja i zmieniający się klimat oraz jego niekorzystny wpływ na globalne zasoby wodne wymuszają konieczność poszukiwania i stosowania alternatywnych źródeł wody. Polska jest jednym z najuboższych pod względem zasobów wodnych krajów w Europie. Choć niedobór wody w naszym kraju nie jest jeszcze bardzo odczuwalny to prognozy w tym zakresie nie są zbyt optymistyczne. Wody opadowe są podstawową częścią zasobów wodnych zapewniających odnawialność zarówno wód powierzchniowych, jak i podziemnych stąd potrzeba świadomego i zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi.

W sytuacjach, gdzie nie jest wymagana jakość wody pitnej, rozsądne wydaje się wykorzystanie wody deszczowej, którą można zebrać z powierzchni dachów i tarasów, a

następnie gromadzić w podziemnych zbiornikach w celu późniejszego jej wykorzystania. Takie ekologiczne rozwiązania pozwalają zaoszczędzić ogromne ilości deficytowej wody pitnej. Analizując strukturę zużycia wody w gospodarstwie domowym od 35% do 60% zapotrzebowania na wodę może być zastąpione wodą pochodzącą z opadów atmosferycznych, a równocześnie pozwala ograniczyć ilość ścieków deszczowych odprowadzanych do systemów kanalizacyjnych.

Zainteresowanie zagospodarowaniem wód opadowych i ich wykorzystaniem w gospodarstwach domowych w ostatnich latach ciągle wzrasta nie tylko w Polsce, ale i na całym świecie. Na proces ten wpływa coraz powszechniejsza orientacja proekologiczna oraz stale rosnąca cena wody pitnej. Dodatkowo obowiązujące od roku 2018 Prawo Wodne wprowadza obowiązkową opłatę za odprowadzanie wód/ścieków opadowych, której wysokość uzależniona jest od objętości urządzeń retencyjnych zlokalizowanych na zlewni.

Prace badawcze nad wykorzystaniem wód opadowych mają ścisły związek ze zrównoważonym rozwojem i znalazły wyraz w Dyrektywie Wodnej Unii Europejskiej. Zasadnym więc jest podjęcie badań w zakresie oceny jakości wód opadowych i możliwości ich wykorzystania w indywidualnych gospodarstwach domowych.

4. Merytoryczna ocena rozprawy

W części wprowadzającej (**rozd. 1**) zarysowana została relacja pomiędzy dyspozycyjnymi zasobami wodnymi a potrzebami w zakresie zapotrzebowania na wodę ludzi zarówno w skali kraju jak i świata. Wskazano na potrzebę oszczędzania zasobów wód między innymi poprzez ponowne wykorzystanie wody zużytej czy gospodarcze wykorzystanie wód deszczowych. Analiza dotychczasowych badań z zakresu zagospodarowania wód opadowych, zwłaszcza pod względem ich jakości była inspiracją do wyboru przez Doktorantkę tematyki badawczej.

Cel, zakres oraz teza pracy przedstawione zostały w **rozd. 2**. Za cel pracy Doktorantka postawiła sobie ocenę przydatności wód deszczowych do wykorzystania gospodarczego formułując następującą tezę:

Mikrobiologiczna i fizyczno–chemiczna jakość wód deszczowych, zbieranych z powierzchni dachowych w dzielnicach mieszkaniowych i magazynowanych w zbiornikach zamkniętych, pozwala na ich wykorzystanie do celów gospodarczych. Wody deszczowe podczas magazynowania podlegają procesom samooczyszczania, ale w stopniu nie zapewniającym bezpieczeństwa higieniczno-sanitarnego. Dopiero poddane procesom standardowej dezynfekcji nie stanowią zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi, a po zastosowaniu konwencjonalnych metod uzdatniania mogą stanowić alternatywne źródło zaopatrzenia w wodę do spożycia przez ludzi w warunkach kryzysowych.

Aby zrealizować cel i udowodnić postawioną tezę Doktorantka dokonała przeglądu literatury oraz zrealizowała badania terenowe i laboratoryjne.

Przegląd literatury stanowiący tło do podjętych badań przez Doktorantkę zawiera **rozd. 3**, obejmuje 30 stron, Przeglądu dokonano w wielu obszarach min.: charakterystyki opadów deszczu w Polsce (**rozd. 3.1**), retencjonowania wód deszczowych (**rozd. 3.2**), możliwości wykorzystywania wód opadowych w gospodarce (**rozd. 3.3**), aspektów

prawnych dotyczących wód deszczowych (**rozdz. 3.4**) oraz jakości wód deszczowych (**rozdz. 3.5**). **rozdz. 3.6** stanowi podsumowanie tej części pracy. Doktorantka konkluduje, że brak jest kompleksowych badań jakości wód deszczowych w Polsce i to skłoniło Ją do zajęcia się tą tematyką.

W **rozdz. 4** Doktorantka przedstawia szczegółowo metodykę zrealizowanych badań terenowych oraz laboratoryjnych w cyklu 2-letnim (2015–2016). Próbki deszczu były pobierane do analizy jakościowej z terenu o zabudowie jednorodzinnej, niskiej emisji zanieczyszczeń pyłowych i organicznych (**rozdz. 4.1**). Wody deszczowe zbierano bezpośrednio z powietrza atmosferycznego oraz z dachów budynków pokrytych: dachówką betonową, dachówką ceramiczną, blachą ocynkowaną oraz z tarasu pokrytego żywicą epoksydową określając intensywność opadu oraz czas pierwszego spłukania (**rozdz. 4.2**). W ocenie jakości wód deszczowych posłużono się wskaźnikami fizykochemicznymi, którymi były: mętność, odczyn, utlenialność, ilość tlenu rozpuszczonego, stężenia związków biogennych (jon amonowy, azotyny, azotany, fosforany), przewodnictwo właściwe, twardość, siarczany i chlorki, stężenia wybranych metali ciężkich i półmetali oraz mikrobiologicznymi tj. liczbą bakterii wskaźnikowych coli i Enterokoków kałowych i ogólną liczbą bakterii mezofilnych i psychofilnych. Metody badania jakości wód deszczowych oparto głównie na istniejących już procedurach i normach dotyczących badania wód powierzchniowych i podziemnych właściwie dokonując wyboru badanych parametrów (**rozdz. 4.3**). Badania uwzględniały wpływ pokrycia dachowego, sezonowość opadów na jakość wód deszczowych, możliwości samooczyszczania wód deszczowych, skuteczność dezynfekcji chemicznej wód deszczowych oraz ocenę korozyjności wód deszczowych (**rozdz. 4.4, rozdz. 4.5, rozdz. 4.6**). Otrzymane wyniki poddano obróbce statystycznej w programie statystycznym STATISTICA 12. Opisują one parametr w sposób kompleksowy, przedstawiając nie tylko wartości środkowe zakresu danych, ale również ich zakres oraz zdarzenia odstające i ekstremalnie odstające (**rozdz. 4.7**).

Najobszerniejszy **rozdział rozprawy (5)** prezentuje wyniki przeprowadzonych badań i ich dyskusje. Otrzymane z badań wartości parametrów fizykochemicznych oraz wskaźników mikrobiologicznych Doktorantka porównywała z danymi literaturowymi uwzględniając uwarunkowania zewnętrzne i przeprowadziła analizę przyczynowo-skutkową.

W początkowej jego części (**rozdz. 5.1**) przedstawiono charakterystykę cykli badawczych. Badania prowadzono w cyklu dwuletnim tj. w latach 2015 i 2016, obejmujących trzy sezony badawcze (wiosenny, letni i jesienny) zróżnicowanych pod względem wielkości opadów. Sumy opadów w 2016 r. były blisko dwukrotnie wyższe niż w 2015 r., a najdłuższa przerwa między opadami została odnotowana w 2015 r wyniosła 40 dni. Doktorantka poddała analizie wpływ na jakość wód deszczowych czynników zewnętrznych takich jak: rodzaj pokrycia dachowego (**rozdz. 5.2**) oraz sezonowość (**rozdz. 5.3**). Rozkłady wartości parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych przedstawiono na wykresach słupkowych oraz typu ramka-wąsy. (rys. 8-30). Dane statystyczne dla parametrów fizykochemicznych (rys. 8-13) oraz dla wskaźników mikrobiologicznych (rys. 14-18) potwierdzają, że na jakość wód deszczowych w dużej mierze wpływa materiał powierzchni dachowych.

Największą mętnością charakteryzowała się woda zbierana z tarasu pokrytego żywicą epoksydową (maksymalna 14 NTU), a najmniejszą mętność odnotowano w deszczówce zbieranej z dachu pokrytego blachą ocynkowaną (mediany 1,5 NTU i 2,0 NTU odpowiednio dla 2015 r i 2016 r). Wody deszczowe zbierane z różnych pokryć dachowych wykazywały niewielką rozpiętość w zakresie pH (6–8,5), najniższym odczynem charakteryzowała się deszczówka pobrana z dachu pokrytego blachą ocynkowaną. Najniższe stężenia tlenu oznaczono w wodzie zebranej z tarasu, co świadczy o największym spośród badanych wód zanieczyszczeniu. Potwierdza to również parametr chemicznego zapotrzebowania na tlen (ChZT dla tarasu ok. 4 mg O₂/l, a dla blachy ocynkowanej niespełna 3 mg O₂/l). Zawartości związków azotowych w obu cyklach badawczych dla wszystkich badanych wód deszczowych były na podobnym poziomie. Wartości środkowe stężeń amoniaku zamykały się w przedziale 0,20–0,35 mg NH₄⁺/l, odpowiednio dla deszczówki pobranej z blachy ocynkowanej i dla deszczówki zbieranej bezpośrednio z powietrza. Najwyższe wartości środkowe dla azotynów wyznaczono w wodzie deszczowej pobranej z tarasu (4 mgN/l), a najniższe w deszczówce omywającej blachę ocynkowaną (2 mgN/l). Najwyższe stężenia azotanów notowano dla wody z dachu pokrytego dachówką betonową – 1,5 mgN/l oraz 2,5 mgN/l. Najmniejsze ilości fosforanów wykryto w deszczówce zbieranej z blachy ocynkowanej (mediana 0,0015 mg PO₄³⁻/l), a największe w wodzie omywające żywicowy taras (mediana 0,003 mg PO₄³⁻/l). Najwyższe wartości środkowe zawartości OWO, podobnie jak w przypadku parametru ChZT, charakteryzowały deszczówkę pobraną z tarasu (5 mg C/l). Wartości przewodnictwa dla deszczówki zbieranej z różnych pokryć dachowych oraz bezpośrednio z powietrza oscyływały w zakresie od nieco powyżej 1 do 26 µS/cm, a wartości środkowe od 1 do 4 µS/cm. Najniższe wskazania przewodnictwa odnotowano dla wody zbieranej z orynnowania dachu pokrytego blachą ocynkowaną. W każdej z badanych wód odnotowano śladowe ilości niklu, chromu, ołowiu i arsenu w stężeniach nieznacznie przekraczających 1 µg/l, jony miedzi, manganu, bromu i strątu w ilościach bliskich 10 µg/l oraz żelaza, cynku, tytanu i srebra w ilościach często przekraczających 100 µg/l.

W każdej z badanych wód deszczowych wykryto bakterie *E. coli*. Najmniejszą liczbę *E. coli* (z wyłączeniem wartości ekstremalnie odstających) oznaczono w wodzie pobranej z dachu pokrytego blachą ocynkowaną (poniżej 5 jtk/100ml), a najliczniej bakterie *E. coli* występowały w wodzie zebranej z dachówki betonowej dla sezonów badawczych z 2015 r. i z tarasu w roku 2016. Liczby wykrywanych bakterii z grupy paciorkowców kałowych największe były w wodach deszczowych omywających taras, mediana dla obu cykli badawczych była bliska 50 jtk/100ml. Podobnie rzecz się ma z bakteriami psychrofilnymi oraz mezofilnymi, mediany dla tych wskaźników wynoszą odpowiednio blisko 20 000 jtk/ml (dla 2016 r) oraz około 300 jtk/ml.

Analiza wskaźników fizyczno-chemicznych charakteryzujących wody deszczowe (rys. 21-26) nie pozwala na jednoznaczne wskazanie wpływu pory roku na jakość. W przypadku parametrów mikrobiologicznych (rys. 27-30) najgorszą jakością odznaczały się wody deszczowe pobierane latem (bakterie mezofilne i psychrofilne) i na wiosnę (występowanie bakterii *C. perfringens*).

W celu wykazania zależności pomiędzy właściwościami fizykochemicznymi wód deszczowych a ich stanem mikrobiologicznym Doktorantka przeprowadziła analizę korelacji r Pearsona (**rozdz. 5.4**). Wysokie, bardzo wysokie oraz bliskie pełnych korelacje wykazano

dla mikroorganizmów z wód deszczowych pobieranych z różnych pokryć dachowych ze związkami biogennymi – bakterii E. coli z azotanami (-0,974), bakterii mezofilnych z fosforanami (-0,677), bakterii psychrofilnych z fosforanami (-0,869), oraz dodatnie korelacje paciorkowców kałowych z zawartością ogólnego węgla organicznego (0,578), dla mikroorganizmów z wód deszczowych pobieranych z różnych pokryć dachowych z temperaturą powietrza – z paciorkowcami kałowymi (0,622), psychrofilami (0,537) i ujemne korelacje dla mikroorganizmów z deszczówki pobieranej bezpośrednio z powietrza (-0,684), ilości mikroorganizmów z parametrami tlenowymi – paciorkowce kałowe oraz mezofile z ilością tlenu rozpuszczonego w wodzie (odpowiednio: -0,587; -0,762), bakterie E. coli z ChZT (0,515) oraz psychrofile z ChZT (0,621) oraz zależności we współwystępowaniu oznaczanych mikroorganizmów w badanych wodach deszczowych – psychrofile i bakterie E. coli (0,652), paciorkowce kałowe i bakterii E. coli (0,527) oraz bakterie mezofilne i psychrofilne (0,698). Wyniki analiz korelacji poszczególnych zmiennych dla wód deszczowych zbieranych z różnych pokryć dachowych są niespójne i niepowtarzalne (tab. 21-25).

W **rozdz. 5.5** Doktorantka przedstawia wyniki badań dotyczących zmiany parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych wód deszczowych podczas ich magazynowania (rys. 31-39, tab.26-28). Zmiany jakości wód podczas magazynowania oceniano w kontekście wpływu powierzchni spływu oraz pory roku w jakiej zbierano wody. Dla większości badanych wskaźników fizykochemicznych nie odnotowano znaczących zmian i wahań w trakcie magazynowania wód deszczowych i nie wskazano jednoznacznych zależności pomiędzy zmianami jakości wód deszczowych w trakcie magazynowania, a porą roku w jakiej dokonano napełniania zbiornika. Poziom bakterii ustalił się na poziomie kwalifikującym te wody jako zdatne do picia najwcześniej dopiero po 8-10 tygodniach magazynowania. Jak podkreśla Autorka dysertacji z praktycznego punktu widzenia stosowanie magazynowania jako metody poprawy jakości sanitarnej deszczówki nie jest możliwe przede wszystkim ze względu na zbyt długi czas oczekiwania na ustalenie bezpiecznego poziomu mikroorganizmów wskaźnikowych i potencjalnie chorobotwórczych (mezofile) i psychrofilnych.

Wyniki z kolejnego etapu badań dotyczące oceny skuteczności dezynfekcji wód deszczowych zawiera **rozdz. 5.6**. W badaniach zastosowano chemiczne środki dezynfekcji: chlor oraz ozon. Po zadaniu dezynfektanta przez 4 tygodnie obserwowano odtwarzanie się mikroflory bakteryjnej (stabilność) oznaczając: ilość bakterii coli, Enterokoków kałowych, bakterii Clostridium perfringens, ogólną ilość bakterii mezofilnych i psychrofilnych. Zastosowano również dodatkowe podłoże (agar R2A) wykorzystywane do hodowli mikroorganizmów narażonym na szok środowiskowy (np. środki dezynfekcyjne), aby skuteczniej wykryć ich obecność. Wyniki z przeprowadzonych badań obrazują rys. 40-44. Działanie chloru odnotowano już po pół godzinie od zadania, już w pierwszej godzinie działania chloru zaobserwowano całkowitą redukcję bakterii coli oraz Enterokoków. Dopiero po 14 dobach od zadania środka dezynfekującego wykryto pojedyncze komórki bakterii coli. Znacznie gorzej wypadły próby ozonowania wody deszczowej przeznaczonej do magazynowania, kolonie bakterii chorobotwórczych zaobserwowano już w 5 dobie po dezynfekcji, a po miesiącu ich liczba sięgała kilkuset.

Badania nad jakością wód deszczowych kończy ocena korozyjności wód deszczowych, które ze względu na znikomą twardość, niewielką zasadowość i odczyn kwaśny $\text{pH} < 7$ uważane są za wody o podwyższonej agresywności korozyjnej (**rozd. 5.7**). Doktorantka określiła możliwość wystąpienia korozji równomiernej, wżerowej oraz selektywnej dla miedzi i jej stopów, materiałów żelaznych ocynkowanych, stali odpornych na korozję, żeliwa oraz stali niestopowych i niskostopowych opierając się na aktualnej normie PN-EN 12502 „Ochrona materiałów metalowych przed korozją” (tab. 33-36).

W końcowej części **rozdziału 5** Doktorantka przedstawia ocenę możliwości stosowania badanych wód deszczowych w gospodarce (**rozd. 5.8**). Stwierdza, że badane wody deszczowe zbierane z różnych pokryć dachowych mogą służyć jedynie do celów nie wymagających wody o dobrej jakości mikrobiologicznej i fizykochemicznej, np. do prac porządkowych w obejściu oraz spłukiwania toalet. Jedynie deszczówka pobrana z blachy ocynkowanej spełniałaby kryterium sanitarne dla wody zdatnej do picia w warunkach kryzysowych. Deszczówka mogłaby być używana również do prania, jednak z zastrzeżeniem stosowania temperatury nie niższej niż 60°C . Pod względem cech fizycznych i chemicznych badane wody deszczowe zbierane z różnych powierzchni dachowych mogą być wykorzystywane do nawadniania bez konieczności oczyszczania. Jedynie woda zbierana z dachu pokrytego blachą ocynkowaną zawierała ponadnormatywne ilości cynku, ponad 3 mg Zn/l. Wykorzystanie deszczówki do pojenia zwierząt jest możliwe tylko po jej dezynfekcji, a do napełniania instalacji CO dopiero po korekcie odczynu.

Charakterystyka wód opadowych w fazie opadów atmosferycznych i spływu z dachów wskazuje na małe umiarkowane zanieczyszczenie wód opadowych. Czas kontaktu opadu ze zlewnią dachu w porównaniu z rozległą zlewnią drogi jest stosunkowo krótki, co niewątpliwie wpływa na stopień zanieczyszczenia ścieków.

Zakończenie rozprawy stanowią wnioski (**rozd. 6**). Doktorantka sformułowała 7 wniosków poznawczych i 8 wniosków praktycznych. Zostały one precyzyjnie zredagowane i są dobrą rekapitulacją przeprowadzonych badań, świadcząca o ich realizacji w pełnym zakresie w stosunku do wcześniej zaplanowanego. Ponadto Doktorantka w 5 punktach wskazuje konieczność podjęcia kolejnych badań.

Spis literatury obejmuje 220 pozycji, na które składają się: publikacje zagraniczne (stanowią ponad połowę pozycji), publikacje krajowe, dyrektywy, normy opracowania statystyczne, strony internetowe. Świadczy to o dobrej znajomości przez Doktorantkę piśmiennictwa dotyczącego tematyki rozprawy, zarówno krajowego jak i zagranicznego, które ze znanostwem cytowała w swojej rozprawie.

Reasumując merytoryczną ocenę rozprawy stwierdzam, że mgr Monika Zdeb zaplanowała i przeprowadziła kompleksowe, pracochłonne i trudne w realizacji badania, które mają zarówno charakter naukowy, poznawczy jak i użytkowy. Na szczególną uwagę zasługuje szeroki warsztat badawczy, pracochłonność oznaczeń, zwłaszcza mikrobiologicznych (jeżeli Doktorantka sama wykonywała wszystkie analizy).

Doktorantka bardzo ładnie graficznie prezentuje cały zakres swoich prac badawczych. Zwraca pozytywną uwagę prezentacja wyników badań bardzo dobrze udokumentowanych licznymi wykresami różnych zależności i zestawieniami tabelarycznymi. Duża ilość i różnorodność wyników przedstawionych w pracy pozwala na ich obróbkę statystyczną oraz wielowątkowe rozpatrywanie możliwości wykorzystania wód deszczowych w różnych gałęziach gospodarki.

Bardzo dobra znajomość tematyki rozprawy literatury, nowoczesnych narzędzi badawczych, a także sposób realizacji zadania naukowego świadczą o bardzo dobrym opanowaniu przez Doktorantkę umiejętności rozwiązywania złożonych problemów naukowych. Zastosowanie niestandardowych metod oznaczania stanu mikrobiologicznego wód deszczowych (cytometria przepływowa oraz pomiar ilości ATP) stanowi odważną próbę w kierunku zmian w określaniu bezpieczeństwa badanych wód nie tylko deszczowych, szybko (szybciej niż w przypadku posiewów mikrobiologicznych) i wiarygodnie (potwierdzają to równoległe badania prowadzone metodami klasycznymi).

Za istotny walor rozprawy należy uznać jej wymagany poziom naukowy oraz kompleksowy charakter zaprezentowanych rozważań.

Tezę rozprawy można uznać za udowodnioną, cel rozprawy za wypełniony, a jej zakres za zrealizowany. Otrzymane wyniki stanowią podstawę dla dalszych badań nad jakością wód deszczowych, pozwalają określić możliwości wykorzystania wód deszczowych do różnych celów gospodarczych (w tym również do spożycia w warunkach kryzysowych).

5. Uwagi szczegółowe

1. str, 21 *Przeciętnie średnie zużycie wody na jedną osobę wynosi 95 dm³* – brak odniesienia do jednostki czasu.

2. W pracy pojawiły się bardzo nieliczne błędy natury edytorskiej, które w żadnym stopniu nie wpływają na jej poziom.

3. Proszę o odniesienie się do poniższych kwestii.

1. W ściekach deszczowych oznaczane są głównie parametry fizykochemiczne w tym zawiesina ogólna oraz ilość węglowodorów ropopochodnych. **Dlaczego w pracy wybrano taki zakres oznaczeń fizyko-chemicznych nie uwzględniający wspomnianych parametrów?**
2. W pracy w badaniach na jakością wód deszczowych prowadzono kontrolę ilości bakterii wskaźnikowych tj. bakterii *coli* oraz *Escherichia coli*. Natomiast monitoring wód po procesach dezynfekcji uzupełniono o oznaczenia obecności bakterii *Clostridium perfringens*. **Czy nie należało każdorazowo badać zawartości bakterii przetrwalnikowych, jako wskaźnika obecności bakterii chorobotwórczych, odpornych na niekorzystne warunki środowiskowe?**
3. Znaczną część pracy poświęcono monitorowaniu zmian jakości wód deszczowych podczas ich magazynowania w zbiornikach z tworzyw sztucznych. **W jakim stopniu sposób prowadzenia magazynowania wód deszczowych można odnieść do rzeczywistych zbiorników podziemnych? Które z elementów tego doświadczenia są rozwiązaniami uniwersalnymi.**

4. 4 Zmiany jakości mikrobiologicznej wód deszczowych magazynowanych oraz poddanych procesom dezynfekcji monitorowano z pomocą klasycznych posiewów płytkowych oraz metod niestandardowych – luminometrycznego pomiaru ilości ATP oraz cytometrycznego oznaczania ilości cząstek materiału genetycznego żywych komórek mikroorganizmów. **Dlaczego do oznaczania ilości mikroorganizmów w wodach deszczowych magazynowanych, jako niestandardowe metody wybrano pomiar ilości ATP, a dla wód poddanych dezynfekcji cytometrię przepływową?**
5. W jednym z rozdziałów pracy przedstawiono wyniki badań skuteczności procesu dezynfekcji wód deszczowych magazynowanych w zbiornikach. Usuwanie żywych mikroorganizmów nie było jednak natychmiastowe i w 100% skuteczne. **Jakie działania należy podjąć, bądź jakich zmian należy dokonać, aby zagwarantować osiągnięcie bezpiecznego stanu sanitarnego wody deszczowej?**

6. Wniosek końcowy

Przedstawiona przez **Panią mgr Monikę Zdeb** rozprawa doktorska pt. „Jakość wód deszczowych w aspekcie ich gospodarczego wykorzystania” stanowi znaczące, wartościowe osiągnięcia jej Autorki i wnosi oryginalny wkład do rozwoju wiedzy o możliwości monitorowania jakości wód deszczowych i ich wykorzystania jako alternatywne źródło niestabilnych zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym dyspozycyjnych zasobów wodnych.

Rozprawa spełnia w moim przekonaniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawarte w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych, tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki [jedn. tekst Dz. U. Nr 84 poz. 455 (2011)]. Wobec tego wnioskuję o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Kraków, styczeń 2018 roku.