

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Olgi Woyciechowskiej
pt. „Analiza wielkości i nierównomierności
zapotrzebowania na wodę w aspekcie obliczania
pojemności użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych”
Promotor: dr hab. inż. Tomasz Bergel, prof. URK

1. Podstawa opracowania recenzji rozprawy doktorskiej

Podstawę formalną przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Olgi Woyciechowskiej pt.: *„Analiza wielkości i nierównomierności zapotrzebowania na wodę w aspekcie obliczania pojemności użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych”* stanowi uchwała nr 11/20022 Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwa i Energetyka Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie z dnia 9 marca 2022 r., oraz pismo nr 3DIŚiG 520-4/2017-2022 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwa i Energetyka prof. dr hab. inż. arch. Piotra Herbuta z dnia 24 marca 2022 r.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy – ocena układu rozprawy doktorskiej wraz z informacją o jej poszczególnych częściach

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Olgi Woyciechowskiej wraz z załącznikami liczy łącznie 155 stron, w tym 31 stron stanowią załączniki. Część przeglądowa pracy to około 19%, a część badawcza z dyskusją otrzymanych wyników wraz z integralnie powiązanymi załącznikami obejmuje 62%. Pozostałą część rozprawy stanowią wstęp; cel, tezy badawcze i zakres pracy; stwierdzenia i wnioski; spis tabel; spis rycin oraz spis treści. Integralnym elementem rozprawy są streszczenia w języku polskim i angielskim. Praca zawiera elementy graficzne w postaci 47 rysunków i 21 tabel w głównej części dysertacji oraz 16 rysunków stanowiących załącznik B i 18 tabel wchodzących w skład załączników A, C i D, które powiązane są z prezentowanymi treściami rozprawy. Bibliografia przedmiotowej dysertacji obejmuje 246 pozycji.

Praca posiada tradycyjny układ, obejmujący 7 podstawowych rozdziałów, w którym można wydzielić trzy zasadnicze części. Część pierwszą, mającą charakter rozważań teoretycznych, obejmującą strony od 6 do 38 stanowią 3 rozdziały: rozdział 1 – *Wstęp*, rozdział 2 – *Cel, tezy badawcze i zakres pracy* oraz rozdział 3 – *Przegląd literatury*. Część drugą - analityczną, zawierającą strony od 39 do 102, stanowią treści rozdziałów: 4 – *Obiekt badań*, 5 – *Materiał i metodyka badań* oraz rozdziału 6 – *Analiza i dyskusja wyników*. Część ta poświęcona jest między innymi prezentacji metodyki badawczej wraz z interpretacją uzyskanych wyników przeprowadzonych analiz. Część trzecia rozprawy to *Stwierdzenia i wnioski* stanowiące treść rozdziału 7.

3. Zakres i ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

3.1 Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Literatura przedmiotowej dysertacji obejmuje 246 pozycji, w tym 213 opracowań naukowych w postaci artykułów i monografii (87%). Pozostałe 23 elementy bibliografii stanowią normy, wytyczne i akty prawne oraz 10 pozycji, obejmujących strony internetowe. Opracowania obcojęzyczne to 77 pozycji (31%), natomiast około 41% (100 pozycji) przytoczonej literatury to opracowania z ostatnich 10 lat.

W dokonanym przeglądzie literatury, stanowiącym treść rozdziału 3, Pani mgr inż. Olga Woyciechowska wydzieliła 4 uzupełniające się obszary tematyczne, poruszające problematykę z zakresu:

- zapotrzebowania na wodę - rozdział 3.1;
- wielkości zapotrzebowania na wodę - rozdział 3.2;
- nierównomierności zapotrzebowania na wodę – rozdział 3.3;
- zbiorników wodociągowych – rozdział 3.4.

Doktorantka przeprowadziła dogłębną analizę stanu wiedzy prezentowanej w światowej i krajowej literaturze w obszarze zagadnień badawczych dotyczących: czynników wpływających na wielkość zapotrzebowania na wodę, zasad i zmian wytycznych określania przeciętnych norm zużycia wody w Polsce, interpretacji zmienności współczynnika nierównomierności zapotrzebowania na wodę w tym współczynnika nierównomierności dobowej, wzorców godzinowych rozbiórów wody, a także obejmujących przegląd stanu wiedzy w odniesieniu do zbiorników wodociągowych z uwzględnieniem ich funkcji, budowy oraz metod wyznaczania pojemności. Rozdział ten ma logiczną strukturę uzupełniających się treści.

Pani mgr inż. Olga Woyciechowska wykazała, iż właściwie zaprojektowany, eksploatowany zbiornik sieciowy jest elementem infrastruktury technicznej gwarantującym stabilizację hydrauliczną pracy sieci wodociągowej, jak i zapewniającym ciągłość dostaw wody do konsumenta w dynamicznie zmieniających się uwarunkowaniach zapotrzebowania na wodę. Podkreśliła, że zbiorniki te istotnie podnoszą niezawodność i bezpieczeństwo funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę, co nabiera szczególnego znaczenia w dobie zmian klimatu, a tym samym przekłada się na racjonalną gospodarkę wodną w skali globalnej w odniesieniu do zasobów wód, jak i w skali systemowej w odniesieniu do infrastruktury wodociągowej, szczególnie obszarów wiejskich. Autorka podkreśliła, iż zasadniczym problemem wymagającym rozwiązania, jest opracowanie metodyki badawczej pozwalającej na określenie wielkości zapotrzebowania na wodę przez różnych jej odbiorców wraz z wyznaczeniem zmienności rozkładów godzinowych poboru wody. Jest to zagadnienie złożone, wymagające bardzo dobrej znajomości warunków eksploatacji sieci wodociągowej w dynamicznie zmieniającym się środowisku funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę. Autorka słusznie zauważyła, iż

znajomość funkcji losowej rozbioru wody jest konieczna nie tylko dla prawidłowego zaprojektowania poszczególnych elementów infrastruktury wodociągowej, ale również dla prawidłowego ich wykonania i eksploatacji. Wykazała tym samym, że norma PN-EN1508 jak i obowiązujące w wielu krajach wytyczne branżowe, zakładające przyjmowanie pojemności użytkowej zbiornika zwykle jako 150%-200% wielkości przeciętnego dobowego zużycia wody, prowadzą do wyznaczenia pojemności zbiornika sieciowego zbliżonej do maksymalnego dobowego zużycia wody. Słusznie podkreśliła, iż w obecnych uwarunkowaniach eksploatacyjnych systemów zaopatrzenia, zwłaszcza na terenach wiejskich, dynamika zmienności zapotrzebowania na wodę wymaga, dla poszczególnych systemów wodociągowych, indywidualnych i systematycznych analiz trendów tych zmian. Uzyskane rezultaty badań pozwalają na optymalizację warunków eksploatacji systemów zaopatrzenia wodę, co w konsekwencji przekłada się nie tylko na podnoszenie bezpieczeństwa dostaw wody do konsumenta, ale także na warunki funkcjonowania systemu kanalizacyjnego wraz z oczyszczalnią ścieków, a w ten sposób na racjonalną gospodarkę wodną regionu.

Dokonany przegląd literatury pozwolił Pani mgr inż. Oldze Woyciechowskiej na precyzyjne zdefiniowanie zakresu podjętych prac badawczych, jakimi są ocena wielkości wraz z analizą nierównomierności zapotrzebowania na wodę w kontekście wyznaczania objętości użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych.

3.2 Celowość podjęcia tematu – wskazanie oraz ocena celu i tez badawczych

Uwarunkowania wewnętrzne jak i zewnętrzne eksploatacji systemów wodociągowych, a w szczególności racjonalizacja zużycia wody, generuje liczne niepożądane zdarzenia losowe które determinują zakłócenia w ich prawidłowym funkcjonowaniu, zwłaszcza w odniesieniu do małych systemów zaopatrzenia w wodę - wiejski i podmiejskich. Wpływ wielu czynników na wielkość i dynamikę zmienności zapotrzebowania na wodę, przekładającą się na problemy hydrauliczne pracy poszczególnych elementów infrastruktury wodociągowej, powoduje iż dobór właściwej objętości użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych jest zagadnieniem złożonym i trudnym, wymagającym interdyscyplinarnego podejścia do jego rozwiązania. Pomimo obowiązywania od 2002 roku europejskich wytycznych w zakresie zaopatrzenia w wodę obejmujących wymagania dotyczące systemów zewnętrznych i ich składowych (norma PN-EN 805) oraz infrastruktury wodociągowej dotyczącej magazynowania wody (norma PN-EN 1508) ciągle brak jest szczegółowych danych pozwalających na wyznaczenie pojemności użytkowej zbiornika wyrównawczego, gwarantującej zarówno ciągłość jak i bezpieczeństwo dostaw wody do konsumenta, przy jednoczesnym uwzględnieniu optymalizacji zarówno kosztów inwestycyjnych, jak i eksploatacyjnych. Należy także podkreślić, iż ciągły rozwój metod analitycznych oraz innowacji technologicznych skutkuje powstaniem wielu systemów i rozwiązań technicznych pomiaru rozbioru wody w sieci wodociągowej. Pomimo to, nadal istotne znaczenie zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia, stanowi opracowanie metod lokalizacji reprezentatywnych punktów pomiaru, pozwalających na wyznaczenie uniwersalnych wzorców rozkładów godzinowych rozbiorów wody charakterystycznych dla małych systemów wodociągowych. Zatem, opracowanie uniwersalnej metody wyznaczania miarodajnych wartości zapotrzebowania na wodę wraz z krzywymi godzinowych rozkładów poboru wody, stanowi nie tylko profesjonalny system bieżącego nadzoru jakości świadczonych usług wodociągowych, ale również pozwoli na uzyskanie niezbędnych danych do projektowania wielkości pojemności użytkowej zbiorników wyrównawczych. Podkreślenia wymaga fakt, iż opracowanie takiej metody, zweryfikowanej

w warunkach rzeczywistych eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę, wymaga wykonywanie licznych badań terenowych, co znacznie utrudnia organizację warsztatu badawczego. Powyższe okoliczności podkreślają wysiłek i czasochłonność prac badawczych podjętych przez Doktorantkę, zrealizowanych w czterech systemach wodociągowych reprezentatywnych dla obszarów wiejskich i podmiejskich.

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Olgi Woyciechowskiej, której główny cel naukowy to aktualizacja dotychczasowych metod wyznaczania objętości użytkowej zbiorników wodociągowych na podstawie opracowanych krzywych nierównomierności rozbiórów godzinowych wody, uwzględniających w różnych sezonach roku zarówno rozbiory weekendowe jak i rozbiory w dni powszednie, trafnie wpisuje się we współczesny nurt złożonych badań eksploatacyjnych małych systemów zaopatrzenia w wodę. Ponadto zdefiniowane cele szczegółowe odpowiadają aktualnej tematyce naukowo-badawczej z zakresu rozwijania nowoczesnych technik i metod analizy wielkości i nierównomierności zapotrzebowania na wodę będących podstawą obliczania racjonalnej pojemności użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych.

3.3 Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Uważam, że podjęte problemy badawcze prezentowane w ocenianej pracy są istotne i aktualne. Praca została podzielona na rozdziały, wzajemnie ze sobą korespondujące. Obszar rozważań przedstawiony w rozdziałach pierwszym i drugim oraz dokonany kompleksowy przegląd literatury pozwolił Doktorantce podkreślić istotę podjętego problemu badawczego, którego główny cel naukowy oraz cel praktyczny sformułowała w rozdziale drugim. Dla prawidłowej realizacji celu badawczego i opracowania odpowiednich metod analitycznych Pani mgr inż. Olga Woyciechowska postawiła 3 tezy badawcze:

1. W małych wodociągach w ciągu doby występują dwa szczyty zapotrzebowania na wodę: poranny i wieczorny, a nie trzy;
2. Typ rozbioru wody różni się w dniach wolnych od pracy i w dniach powszednich;
3. Wykorzystanie zaktualizowanych typów rozbioru wody, skutkuje znacznie mniejszą pojemnością użytkową zbiornika sieciowego niż w przypadku uwzględnienie stosowanych obecnie wytycznych do obliczania elementów systemu wodociągowego przeznaczonych do magazynowania wody.

Słuszność zdefiniowanych tez wykazała poprzez weryfikację uzyskanych wyników badań w rzeczywistych systemach zaopatrzenia w wodę (SZW) obejmujących trzy gminne systemy wodociągowe na terenie powiatu krakowskiego oraz podmiejski system wodociągowy zlokalizowany w północno-zachodniej dzielnicy Krakowa.

Treści rozdziałów części analitycznej wprowadzają czytelnika w problematykę, która stanowi opis obiektów badań i przyjętych metod badawczych, prezentowaną w czwartym i piątym rozdziale dysertacji. Rozdział 4 obejmuje 5 części podzielonych na podrozdziały prezentujące przyjęte kryteria doboru obiektów badań (4.1 *Wybór obiektów badań*) oraz zwięzłą charakterystykę tych obiektów (4.2 *Wodociąg „Nowa Góra”*, 4.3 *Wodociąg „Bęble”*, 4.4 *Wodociąg „Wola Zachariaszowska”*, 4.5 *Wodociąg „Olszanica”*). Natomiast rozdział 5 stanowi zwięzły opis metodyki badań (5. *Materiał i metodyka badań*). Pani mgr inż. Olga Woyciechowska przedstawia tu koncepcję opracowanej metodyki badań składającej się z siedmiu integralnie powiązanych etapów obejmujących:

- określenie średniego zapotrzebowania na wodę - Etap I;
- określenie maksymalnego dobowego zapotrzebowania na wodę – Etap II;

- wyznaczenie typów rozbioru wody na podstawie analizy skupień i metody k-średnich – Etap III,
- obliczenie procentowej pojemności użytkowej zbiornika – Etap IV,
- wybór miarodajnego typu rozbioru oraz pojemności użytkowej zbiornika dla różnych czasów dostawy wody do ujęcia – Etap V,
- porównanie procentowej pojemności użytkowej zbiornika obliczanej na podstawie opracowanego typu rozbioru i Zarządzenia (1966) – Etap VI,
- wpływ niepewności liczby mieszkańców na pojemność użytkową zbiornika - Etap VII.

Wykorzystane w poszczególnych etapach badań narzędzia analityczne, stanowiące warsztat badawczych zostały zaprezentowane w tej części dysertacji.

Doktorantka podkreśliła fakt, iż prezentowane w rozprawie rezultaty badań zostały oparte na pozyskanych godzinowych rozbiorach wody z czteroletniego okresu pomiarów, obejmujących lata 2016-2019. Zbiory zmiennych losowych godzinowych rozbiorów wody, dla każdego z 4 obiektów badań, stanowiły ciągi danych obejmujących ponad 35 tys. zmiennych. Tak duży zbiór zmiennych został poddany weryfikacji w celu usunięcia wielkości odstających. Jako narzędzie analityczne weryfikacji zmiennych odstających, obarczonych grubym błędem, Doktorantka wykorzystowała test statystyczny Grubbsa, którego istotę zaprezentowała w rozdziale 5.

W celu wyznaczenia wzorców godzinowych rozkładów rozbioru wody Pani mgr inż. Olga Woyciechowska poddała procesowi standaryzacji chwilowe rozbiory wody, uzyskując macierz procentowych wielkości zapotrzebowania na wodę w poszczególnych godzinach doby, a następnie otrzymany zbiór standaryzowanych zmiennych losowych poddała analizie skupień z wykorzystaniem narzędzi programu Statistica. W procesie aglomeracji wykorzystowała metodę Warda opartą na analizie wariancji do oszacowania odległości między skupieniami. Efektem końcowym analizy skupień są dendrogramy rozbiorów godzinowych wody, ilustrujące zróżnicowanie zapotrzebowania na wodę w poszczególnych dniach tygodnia w całym okresie badań. Następnie, wykorzystując metodę k-średnich Doktorantka opracowała godzinowe rozkłady zapotrzebowania na wodę dla dni powszednich i dni wolnych od pracy.

Zgodnie z opracowaną metodyką badawczą, w kolejnym, IV etapie badań w oparciu o uzyskane rozkłady godzinowego zapotrzebowania na wodę, wyznacza się pojemność użytkową zbiornika wodociągowego z wykorzystaniem analitycznej metody bilansowania dopływów i odpływów do zbiornika w poszczególnych godzinach doby. Przedmiotowe badania Doktorantka przeprowadziła dla 160 scenariuszy analitycznych uwzględniających zróżnicowany czas pracy pompowni tj. 24 i 22 godziny, 20, 18 i 16 godzin w odniesieniu do dni powszednich i wolnych od pracy (weekendy i święta) w poszczególnych porach roku oraz zbiorczo dla całego roku. Ostatecznie badania te pozwoliły Doktorantce dla każdego scenariusza analitycznego i dla każdego z 4 obiektów badań wyznaczyć maksymalną pojemność użytkową sieciowego zbiornik wyrównawczego.

Na bazie uzyskanych autorski wzorców rozbioru wody, charakteryzujących wiejskie, małe systemy wodociągowe, Pani mgr inż. Olga Woyciechowska wyznaczyła pojemność użytkowa zbiornika wodociągowego dla jednostki osadniczej o liczbie mieszkańców 500 osób i porównała uzyskaną pojemność z pojemnością wyznaczoną wg Zarządzenia z 1966 r. Kluczowym elementem opracowanej metody badawczej VII etapu była analiza wpływu niepewności liczby mieszkańców na pojemność użytkową zbiornika. W analizach tych, Doktorantka przyjęła rozkład jednostajny i niepewność liczby mieszkańców na poziomie 5%, dla których opracowała model probabilistyczny pojemności użytkowej zbiornika wyrównawczego, dla każdego z 4 obiektów badań.

W mojej ocenie opracowane procedury analityczne stanowią istotny przełom w dotychczasowym podejściu do wyznaczania pojemności użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych. W podsumowaniu opracowanej przez Panią mgr inż. Olgę Woyciechowską wieloetapową metodykę analizy i oceny wielkości oraz godzinowej nierównomierności zapotrzebowania na wodę w małych systemach wodociągowych jak i objętości użytkowej zbiorników sieciowych pragnę podkreślić jej wielowątkowość, jak również użyteczny charakter. Niewątpliwa trudność podjętych przez Doktorantkę prac wynika z konieczności prowadzenia żmudnych badań terenowych oraz badań analitycznych wymagających bieżącej weryfikacji wyników prac badawczych w rzeczywistych warunkach eksploatacji SZW.

3.4 Ocena omówienia wyników badań

Integralnymi elementami części analitycznej przedmiotowej dysertacji jest rozdział 6 pt. *Analiza i dyskusja wyników*. Jest to kluczowy rozdział pracy, w którym Doktorantka prezentuje uzyskane wyniki zgodnie z przyjętymi etapami opracowanej metodyki badawczej. Rezultatem badań trzech pierwszych etapów są autorskie wzorce godzinowych rozkładów wody, reprezentujące zmienność zapotrzebowania na wodę w dni powszednie i w dni wolne od pracy dla poszczególnych pór roku. Autorka zwięźle omówiła uzyskane wielkości średniego i maksymalnego dobowego zapotrzebowania na wodę w poszczególnych obiektach badań, prezentując zbiorczo uzyskane wyniki w tabeli 9 oraz na wykresach nr 27-30. Ponadto przedstawiła rezultaty analizy średniodobowego zapotrzebowania na wodę w odniesieniu do przeliczeniowego mieszkańca i przyłącza wodociągowego. Doktorantka podkreśliła, iż w odniesieniu do mieszkańca największą wartość wskaźnik średniodobowego zapotrzebowania na wodę osiągnął w SZW Wola Zachariaszowska - $188,9 \text{ dm}^3 \text{ d}^{-1} \text{ PM}^{-1}$, który znacznie przewyższa uzyskane wartości dla pozostałych obiektów badań, jak również jest większy aż o 51,5% w odniesieniu do wielkości podawanej przez GUS w 2019 r. dla gminy Zielonki wynoszącej $124,7 \text{ dm}^3 \text{ d}^{-1} \text{ PM}^{-1}$, oraz dla województwa małopolskiego osiągającej zaledwie $77 \text{ dm}^3 \text{ d}^{-1} \text{ PM}^{-1}$. Uważam, iż prezentowane rozbieżności uzasadniają konieczność dokładniejszego omówienia uzyskanych wyników przeprowadzonych analiz, tym bardziej, że Autorka w metodyce badań prezentuje test statystyczny Grubbsa dedykowany szczegółowej analizie danych celem odrzucenia wartości pomiarów obarczonych grubym błędem. W tej części dysertacji, poświęconej dyskusji wyników, Doktorantka zupełnie pominęła omówienie weryfikacji zbiorów danych wejściowych, będących podstawą dalszych analiz. W mojej opinii uzasadnionym byłoby rozszerzenie dyskusji wyników o podstawowe analizy statystyczne zbioru danych obejmujące statystyki opisowe oraz analizy struktury zbioru danych w postaci rozkładów empirycznych zmiennej losowej. Ponadto celowe również byłyby analizy przedmiotowych dobowych zapotrzebowań na wodę (średnich i maksymalnych) w poszczególnych latach z uwzględnieniem pór roku, tym bardziej że Autorka w dalszej części dysertacji prezentuje krzywe godzinowych rozbiórów wody w poszczególnych sezonach: wiosna, lato, jesień i zima (ryc. 40-47, zał. C).

Komplementarnym elementem dyskusji wyników jest prezentacja rezultatów prac wyznaczania dobowych współczynników nierównomierności poboru wody, które przedstawione zostały zbiorczo w tabeli 10. Doktorantka słusznie zauważyła, że w odniesieniu do rekomendowanych w wytycznych z lat 70-tych wartości uzyskanych współczynników są większe o 30,1% (SZW Nowa Góra) do 58,5% (SZW Wola Zachariaszowska), podczas gdy w odniesieniu do wartości $N_d=2$ zalecanej normą PN-EN 805 dla jednostek osadniczych o liczbie mieszkańców poniżej 2 tysięcy przyjmują wartości niższe. Integralnym elementem tych prac było również wyznaczenie współczynnika nierównomierności dobowej zgodnie z niemieckimi wytycznym DVGW,

w których współczynnik N_d wyrażony jest funkcją potęgową zmiennej niezależnej jaką jest liczba mieszkańców. Uzyskane rezultaty analiz porównała także z zalecanymi wartościami N_d wytycznych kanadyjskich i niemieckich oraz prezentowanych w literaturze zagranicznej, podkreślając tym samym uzyskane rozbieżności. Przeprowadzona dyskusja wyników pozwoliła Doktorantce sformułować zasadną rekomendację, iż w przypadku baraku reprezentatywnych danych do wyznaczenia maksymalnego dobowego zapotrzebowania na wodę należy przyjmować wartość N_d wg normy PN-EN 805 na poziomie 2.

Komplementarną częścią dyskusji wyników jest przedstawienie rezultatów prac wyznaczania wzorców poboru wody tj. rozkładów godzinowych zapotrzebowania na wodę dla wydzielonych obiektów badań. Zaprezentowane zostały tu dendrogramy rozbiorów godzinowych wody będące efektem przeprowadzonych badań z wykorzystaniem analiz skupień. Na podstawie przeprowadzonych analiz Doktorantka jedynie podkreśliła odnotowane zróżnicowanie dynamiki zapotrzebowania na wodę pomiędzy dniami wolnymi od pracy (dni weekendowe i świąteczne) a dniami powszednimi. W mojej opinii, zasadnym jest w tej części dysertacji przeprowadzenie dogłębnej interpretacji dla poszczególnych obiektów badań uzyskanych dendrogramów (ryc. 32 -35) uwzględniającej między innymi omówienie uzyskanych odległości wiązań, czy też obejmującej interpretację struktur powstałych skupień. Niewątpliwie wartość przeprowadzonej dyskusji wzbogaciłaby analiza wykresów przebiegu aglomeracji uzasadniająca prezentowane na rycinach 32-35 punkty odcięcia. Elementem prezentowanych treści było także grupowanie zmiennych metodą k-średnich, w której Doktorantka przyjęła liczbę skupień równą 2, odwzorowującą zmienność dobowego zapotrzebowania na wodę w dni powszednie oraz weekendowe. Uważam, iż wskazanym byłoby poparcie wyboru liczby skupień szczegółową analizą wariancji, pozwalającą na ocenę zmienności wewnątrz skupień ze zmiennością między skupieniami. W dalszej części dyskusji wyników, na podstawie uzyskanych rezultatów analizy k-średnich Pani mgr inż. Olga Woyciechowska wykazała występowanie w każdym z badanych SZW dwóch maksimum zapotrzebowania na wodę (poranne i wieczorne) niezależnie od dnia tygodnia. Oprócz tego trafnie zauważyła, iż w dni powszednie poranny szczyt zapotrzebowania na wodę jest mniejszy od wieczornego, podczas gdy w dni wolne od pracy relacje między rozbiorami wody są odwrotne. Prawidłowością tą charakteryzowały się wszystkie obiekty badań niezależnie od pory roku.

Przeprowadzone w etapie IV prace badawcze obejmujące wyznaczenie metodą analityczną procentowych pojemności użytkowych zbiornika wyrównawczego ($\%Q_{dmax}$) dla 5 wariantów zasilania zbiornika, z różnym rozkładem przerw w pracy pompowni na ujęciu, uwzględniających zmienność sezonową jak i dobową rozbioru wody pozwoliły uzyskać imponujący zbiór wyników końcowych pojemności dla 160 różnych scenariuszy analitycznych. Prezentowane rezultaty badań zostały zaprezentowane zbiorczo dla SZW Nowa Góra w tabeli 16 oraz dla pozostałych obiektów badań tj. SZW Bębło, SZW Wola Zachariaszowska i SZW Olszanica odpowiednio w tabelach C.1, C.2 i C.3 stanowiących treść załącznika C. Integralnym elementem tych badań był wybór miarodajnego typu rozbioru wody oraz pojemności użytkowej sieciowego zbiornika wyrównawczego dla różnych czasów dostaw wody z ujęcia. Doktorantka wykazała iż dla obiektów badań reprezentujących małe systemy wiejskie najmniejszą objętość użytkową (tabela 17), odpowiednio dla SZW Nowa Góra $12,23\%Q_{dmax}$, SZW Bębło $13,23\%Q_{dmax}$, SZW Wola Zachariaszowska $16,11\%Q_{dmax}$, uzyskuje się dla 20-godzinnego czasu dostaw wody do zbiornika, podczas gdy dla systemu podmiejskiego SZW Olszanica przedmiotowa objętość osiągnęła minimalną wartość $14,27\%Q_{dmax}$ dla 18-godzinowego czasu pracy pompowni. Tak dogłębne analizy pozwoliły także dowiedzieć, iż zarówno charakter zużycia wody w miesiącach jesienno-

zimowych jak i 20-gdzinny czas dostaw wody do zbiornika są miarodajne dla ustalania pojemności użytkowej wyrównawczych zbiorników sieciowych. Efektem końcowym tych prac jest zbiorcze zestawienie (tabela 18) uwzględniające trzy wielkości jednostek osadniczych (poniżej 1000, 1001-2000 oraz 2001-3000 mieszkańców) miarodajnych typów rozbioru wody wraz z procentową pojemnością użytkowa zbiornika, która przyjmowała wartości z zakresu $12,23\%Q_{dmax}$ (SZW Nowa Góra z 20-godzinnym zasilaniem zbiornika) do $24,42\%Q_{dmax}$ (SZW Wola Zachariaszowska z 16-godzinnym zasilaniem). Doktorantka odniosła uzyskane rezultaty swoich badań do prezentowanych w literaturze wielkości, stwierdzając jednocześnie iż lokują się one w dolnych granicach maksymalnego dobowego zapotrzebowania na wodę. Ostatecznie analizy te pozwoliły na rekomendację wielkości pojemności użytkowej zbiornika na poziomie 20% wielkości maksymalnego dobowego zapotrzebowania na wodę. Zatem należy, podkreślić iż uzyskane w tej części badań wnioski mają charakter użytkowy, co dodatkowo podnosi wartość uzyskanych rezultatów przeprowadzonych przez Panią Olę Woyciechowską prac badawczych. W końcowej części dyskusji Doktorantka zaprezentowała rezultaty analizy wpływu niepewności liczby mieszkańców na pojemność użytkową zbiornika wyrównawczego, przy założeniu jednostajnego rozkładu liczby mieszkańców, wykazując iż niepewność ta jest istotna przy wyznaczaniu przedmiotowej pojemności.

Uzyskane rezultaty badań oraz przeprowadzona dyskusja wyników, upoważniły Doktorantkę do sformułowania zwięzłego i przejrzystego podsumowania pracy oraz wyciągnięcia wniosków końcowych stanowiących treść rozdziału 7, a tym samym wykazać słuszność postawionych 3 hipotez badawczych.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy pragnę wskazać, iż w mojej opinii zaproponowana przez Panią mgr inż. Olę Woyciechowską metoda badań wyznaczania wielkości i nierównomierności zapotrzebowania na wodę w małych wodociągach o charakterze wiejskim i podmiejskim, której efektem są nowe wzorce rozbioru wody oraz weryfikacja obowiązujących założeń wyznaczania pojemności użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Ponadto pragnę podkreślić, iż Doktorantka podjął się trudnego zadania, którego rezultaty mają potencjał aplikacyjnych w wyznaczaniu użytkowej pojemności sieciowego zbiornika wyrównawczego dla małych systemów wodociągowych wiejskich i podmiejskich o liczbie mieszkańców do 3000.

4. Ważniejsze uwagi dyskusyjne i redakcyjne

W mojej ocenie przedstawiona do recenzji rozprawa jest obszerna po względem zdefiniowanego zakresu prac badawczych, co w konsekwencji przyczyniło się, iż niektóre zagadnienia zostały jedynie zasygnalizowane i ogólnikowo opisane. Pomimo tego uzyskane wyniki badań i przeprowadzona dyskusja, pozwoliły Doktorantce w pełni na osiągnięcie założonego głównego celu badawczego. W pracy pojawiły się drobne „potknięcia” niemające istotnego wpływu na końcową ocenę rozprawy doktorskiej. Ważniejsze z nich, o charakterze dyskusyjnym, przedstawiam poniżej.

1. Na stronach 32-33 Pani mgr inż. Olga Woyciechowska prezentuje metodę graficzną wyznaczania pojemności użytkowej wyrównawczego zbiornika sieciowego. Niestety prezentowany opis nie odpowiada treściom przedstawionym na ryc. 10. Doktorantka pisze: *„Krzywa sumowa zależna od pracy pomp o stałej wydajności jest prostą rozpoczynającą się w punkcie (0h, 0%) i kończącą się w punkcie 24h, 100%)... Następnie wyrysowywana jest prosta równoległa do krzywej sumowej dostaw wody, styczna do najbardziej odchylonych punktów na*

krzywej. Odległość między nimi stanowi pozostałość wody w zbiorniku ($\%Q_{dmax}$). W celu obliczenia pojemności użytkowej wartość tę należy podstawić do wzoru(8).” Po pierwsze wyjaśnienia wymaga fakt czy prezentowana na ryc.10 krzywa 2 to rzeczywiście krzywa sumowa dostarczania wody przy założonym 24-godzinnym pompowaniu wody? Po drugie oś rzędnych nie jest wyrażona w $\%Q_{dmax}$, zatem krzywa sumowa dostaw wody nie może przebiegać przez punkty o współrzędnych (0h, 0%) i (24h, 100%). W konsekwencji tych niezgodności Doktorantka nie jest w stanie odczytać z wykresu wartości wskaźnika pozostałości objętości wody w zbiorniku wyrażonego w $\%Q_{dmax}$. Ponadto wzór nr 8 błędnie wyraża zależność objętości użytkowej zbiornika. Zatem nasuwa się pytanie jaka jest właściwa procedura wyznaczania pojemności użytkowej zbiornika wyrównawczego metodą sumową? Jaki powinien być prawidłowy zapis równania 8, wraz z odpowiednią interpretacją zmiennych w nim występujących? Co Autorka miała na myśli używając określenia „wartość bezwzględna” dla parametru $\%Q_{dmax}$?

2. Na stronie 59 Autorka przedstawia wzór na statystykę Grubbsa, zapis tego wzoru również jest niepoprawny. W mianowniku widnieje iloczyn, czy rzeczywiście jest to iloczyn? Zatem nasuwa się pytanie jaka jest właściwa postać i interpretacja statystykami Grubbsa?

3. Na wstępie rozdziału 5 Doktorantka pisze „Praca została oparta na badaniach prowadzonych w 4 wodociągach zaopatrujących w wodę miejscowości o różnej charakterystyce. ... Ciąg danych liczył 35 064 wartości w każdym analizowanym obiekcie.”, i dalej „Na wstępie ciągi danych obejmujące rozbiory wody były weryfikowane i w razie konieczności usuwano z nich pojedyncze wartości lub pełne okresy 24-godzinne” oraz „Do wyeliminowania takich wartości zapotrzebowania na wodę wykorzystano test Grubbsa”. W konsekwencji do tych informacji w dalszej części rozdziału prezentuje istotę testu parametrycznego Grubbsa jak również stawia dwie hipotezy badawcze: zerową H_0 – nie ma wartości odstających w zbiorze danych oraz alternatywną H – istnieje co najmniej jedna wartość odstająca w badanym zbiorze danych. Niestety czytelnik nie może zweryfikować tych treści, bowiem brak w pracy jakichkolwiek omówienia wyników weryfikacji zbiorów danych będących podstawą późniejszych badań. W tabeli 9 Doktorantka przedstawia średnie dobowe zapotrzebowania na wodę w analizowanych obiektach badań oraz na stronach 71-72 wykresy ramka-wąsy prezentując charakterystyki dobowego zapotrzebowania na wodę, niemniej jednak czytelnik nie wie czy prezentowane wielkości przedstawiają zweryfikowane zbiory zmiennych losowych, czy zostały opracowane na surowym zbiorze danych. Zatem nasuwa się pytanie czy Doktorantka poddała weryfikacji pozyskane dane? Jakie były rezultaty weryfikacji tych danych z wykorzystaniem testu Grubbsa? Jaki procent danych został odrzucony? Czy obserwuje się w tych obiektach zmienność rozbioru wody w poszczególnych porach roku? W mojej opinii czytelnik oczekiwałby takich informacji w dyskusji wyników (rozdział 6), tym bardziej że celem pracy jest między innymi opracowanie wzorców zmienności godzinowej rozbioru wody w małych systemach wodociągowych o charakterze wiejskim i podmiejskim. Niewątpliwie korzystnym w interpretacji danych byłoby zestawienie tabelaryczne podstawowych statystyk opisowych (liczebność próby, średnia, mediana, dominanta, wariancja, odchylenie standardowe, skośność, współczynnik asymetrii, kurtoza i kwartyle), tym bardziej, że Doktorantka w swoich badaniach korzystała ze standardowego pakietu programu Statistica.

4. Na stronie 60 został zaprezentowany wzór na wartość średniego dobowego zapotrzebowania na wodę, wyrażoną w $[m^3/d]$. Czy rzeczywiście objaśnienia zmiennych i ich jednostki są poprawne? Przyjmując prezentowany przez Doktorantkę zapis średniodobowe zapotrzebowanie na wodę wyrażone byłoby w $[m^3]$.

5. Na stronie 63 Pani mgr inż. Olga Wojciechowska pisze „...*Etap czwarty obejmował wyznaczenie pojemności użytkowej zbiornika wodociągowego metodą analityczną z wykorzystaniem rozkładów godzinowych zapotrzebowania na wodę. ...W przypadku wybranych obiektów badań, źródła zasilają nie tylko analizowane wodociągi, ale również pozostałe części systemów. Stąd prezentowane obliczenia stanowią jedynie przykład, a nie mogą zostać wykorzystane do zaprojektowania zbiornika wodociągowego bez wcześniejszego ustalenia możliwej do uzyskania wydajności źródła dla konkretnego obiektu.*” Nasuwa się więc pytanie, skoro opomiarowanie przepływu było dokonywane na przewodach dopływających do hydroforni (SZW Nowa Góra pkt 4.2.3; SZW Bębło pkt 4.3.3, SZW Wola Zachariaszowska pkt 4.4.3; SZW Olszanica pkt 4.5.3), zatem jak należy interpretować stwierdzenia, iż obliczenia „*nie mogą zostać wykorzystane do zaprojektowania zbiornika wodociągowego bez wcześniejszego ustalenia możliwej do uzyskania wydajności źródła*”. W jaki sposób w prezentowanym algorytmie wyznaczania V_u należy prowadzić analizy dla SZW z ograniczoną wydajnością ujęcia?
6. Na stronie 64 Pani mgr inż. Olga Wojciechowska prezentuje wzór na maksymalne dobowe zapotrzebowanie na wodę. W jaki sposób (wg jakich źródeł) przyjmowana jest wartość Q_{PM} we wzorze 19? We wzorze 19 i 16 występuje zmienna N_d , przy czym we wzorze 16 jest to współczynnik nierównomierności dobowej, a we wzorze 19 jest to klasyczny współczynnik nierównomierności dobowej. Czym te współczynniki się różnią? Jaka jest ich interpretacja?
7. Doktorantka w określaniu liczby mieszkańców wykorzystowała metodę MC. Na jakiej podstawie przyjęła jednostajny rozkład dystrybuanty liczby mieszkańców? W jaki sposób badała rozkład zmiennej losowej?
8. Wskazane w tabeli 9 (str. 67) średnie dobowe zapotrzebowanie na wodę wskazuje stały wzrost tego wskaźnika w 3 obiektach badań od 17% SZW Wola Zachariaszowska, poprzez 26% SZW Olszanica do 45% SZW Bębło, który nie jest jednakowy w poszczególnych latach. Czy Doktorantka analizowała przyczynę tego wzrostu i jego zmienność? Czym to zjawisko mogło być spowodowane? Jak tak duża dynamika wzrostu zapotrzebowania na wodę ma wpływ na prawidłowy dobór objętości użytkowej zbiornika? Przykładowo w SZW Wola Zachariaszowska odnotowany wzrost jednostkowego zapotrzebowania na wodę z 183,6 [dm³/M·d] w 2016 r. (liczba mieszkańców 860) do 201,85 [dm³/M·d] w 2019 r. (liczba mieszkańców 917) wyniósł 10%. Analizując te wielkości rodzi się pytanie, czym ten stan jest powodowany? Doktorantka w tej części dyskusji, w każdym obszarze badań przeprowadza szczegółową analizę jednostkowego, dobowego wskaźnika zapotrzebowania na wodę na mieszkańca w odniesieniu do danych GUS za 2020 r., zaleceń normy PN- EN805, Zarządzenia z 1966 r. oraz Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 2002 r. W mojej opinii ciekawą część dyskusji stanowiłaby analiza zmienności tego wskaźnika w poszczególnych latach okresu 4-letniego kresu badań, jak również w odniesieniu do zmienności sezonowej w wydzielonych obiektach badań.
9. W pracy w rozdziale 6.3 przedstawione zostały rezultaty szczegółowych badań godzinowego zapotrzebowania na wodę. Autorka w swoich rozważaniach dokonała dogłębnej analizy godzinowych rozbiórów wody uwzględniając zarówno dni weekendowe i świąteczne, jak i dni powszednie z uwzględnieniem zmienności sezonowej. W dysertacji brak jest jednak istotnej informacji czy interpretacja uzyskanych rezultatów analiz opierała się na badaniach ankietowych zachowań mieszkańców, wywiadach z eksploatatorami SZW, czy jest opinią autorską Doktorantki. Przykładowo na str. 80 Doktorantka stwierdza dla SZW Nowa Góra, że „*mieszkańcy wsi kładą się wcześniej spać*” – takie stwierdzenie nie jest precyzyjne i właściwe. Niestety ja ze swoich obserwacji mam inne spostrzeżenia. Kontynuując dyskusję Doktorantka stwierdza, iż w godzinach popołudniowych odnotowano spadek zużycia wody, co argumentuje

brakiem wykorzystania wody do „przygotowywania obiadów oraz na cele związane z chowem zwierząt”. Dlatego nasuw się pytanie, czy w przeprowadzonej analizie uwzględniła Pani charakter zużyci wody – potrzeby gospodarstw rolnych, oraz źródło tej wody? Czy to zapotrzebowanie na wodę na cele gospodarstw rolniczych nie jest pokrywane z ujęć indywidualnych (str. 68 „... większość gospodarstw posiada dodatkowe źródło wody (studnie)...”), czy też nie wynika to z faktu automatyzacji prac w rolnictwie? Ponadto na str. 81 (5-6 wiersz od góry) mamy „...wcześniejsze rozpoczęcie aktywności w dni powszednie i późniejsze w weekendy i święta.” w mojej opinii ten fakt nie jest charakterystyczny dla mieszkańców wsi, raczej charakteryzuje on mieszkańców ośrodków miejskich. Tym bardziej, że na prezentowanych rysunkach (ryc. 36-39) wyraźnie widać przesunięcie tego szczytu aż o 3 godziny dla ośrodków miejskich, a dla ośrodków wiejskich o 2 godziny – zatem, czym można to wytłumaczyć? Zbiorcze zestawienie tej argumentacji np. w postaci tabeli, ujmującej zdefiniowane kryteria odniesienia przeprowadzonej interpretacji uzyskanych wyników, ułatwiłyby czytelnikowi odniesienie się do prezentowanych treści, tym bardziej że Doktorantka podaje nie do końca spójną argumentację np. str. 85, dla obiektu badań SZW Nowa Góra mamy uzasadnienie: „...Późniejsza aktywność mieszkańców latem może wiązać się z okresem wakacyjnym, a zimą z warunkami pogodowymi i późniejszym wschodem słońca. ...”, a na str. 87 dla SZW Bębło, dla którego Pani mgr inż. Olga Woyciechowska słusznie zauważyła że szczyt ten był dłuższy (6:00-8:00), mamy „...Zimowy szczyt można tłumaczyć wcześniejszym wstawaniem mieszkańców w celu wcześniejszego wyjazdu do pracy, co może być spowodowane dojazdem w warunkach zimowych...” – zatem odmienna argumentacja uzasadnia konieczność wyjaśnień przyjętego stanowiska Doktorantki.

10. Prezentowane przez Doktorantkę w rozdziale 6.3 jak i w załączniku B wykresy godzinowych rozbiórów wody są wykresami liniowymi, w mojej opinii w lepszym stopniu zmienną tą odwzorowuje wykres słupkowy.

11. W ramach prac badawczych w zakresie wyznaczania pojemności użytkowej zbiornika wyrównawczego, Doktorantka przyjęła aż 5 wariantów okresów pracy pomp w ciągu doby, dla których przyjęła różny rozkład dobowy czasu pracy pomp, w efekcie dla każdego obiektu badań przeanalizowała aż 16 scenariuszy dostaw wody z ujęcia. W pracy brak jest informacji na podstawie czego zostały przyjęte harmonogramy pracy ujęcia, zatem wyjaśnienia wymaga w jaki sposób zostały przyjęte dobowe rozkłady godzinowe pracy pomp na ujęciu?

12. Przedmiotowa praca została napisana w zwięzły sposób, starannie i poprawnie językowo co znacznie ułatwia lekturę treści dysertacji. Autorka jednak nie ustrzegła się drobnych, błędów literowych i redakcyjnych, które przedstawiam poniżej.

- na str. 43, rys. 14, str. 45 rys. 16 są i w takiej formie nic nie wnoszą do treści dysertacji;

- str. 75, pierwszy wiersz od góry jest „...Wynika to z aktu, że...” powinno być „... Wynika to z faktu, że...”;

- str. 85, 3 akapit od góry jest „...Szczyt poranny wiosną oraz jesienią wystąpił w godzinach...” - powinno być „...Szczyt poranny, w dni powszednie, wiosną oraz jesienią wystąpił w godzinach...” – z kontekstu dopiero późniejszego akapitu można się domyśli, że w tym miejscu chodzi właśnie o dni powszednie;

- str. 87 brak symbolu % przy liczbie 6;

- str.100, 4 linia od dołu strony jest „...„Nowa Góra” podaną w tabeli 18 (tab.20)...” wg mnie powinno być odwołanie do tabeli 17 czyli: „...„Nowa Góra” podaną w tabeli 17 (tab.20)...”.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Olgi Woyciechowskiej oceniam pozytywnie zarówno przeprowadzony przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie poruszanej w doktoracie tematyki, jak i część analityczną odniesioną do badań rzeczywistych, prowadzonych wybranych 4 reprezentatywnych małych systemach wodociągowych. Przytaczając w tym miejscu słowa Antoine de Saint-Exupéry, które trafnie charakteryzują dążenia poznawcze:

... Tylko nieznanne przeraża człowieka.

Ale dla tego, kto mu stawia czoło, ono już nie jest nieznanne

mogę stwierdzić, że Autorka przedmiotowej rozprawy doktorskiej poradził sobie z badaniami prowadzonymi na rzeczywistych obiektach badawczych, osiągając satysfakcjonujące rezultaty o walorach aplikacyjnych.

Opinie zawarte w recenzji pozwalają mi pozytywnie ocenić rozprawę doktorską. W moim przekonaniu, przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Olgi Woyciechowskiej pt.: „*Analiza wielkości i nierównomierności zapotrzebowania na wodę w aspekcie obliczania pojemności użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych*” wykonana pod opieką naukową promotora dr hab. inż. Tomasza Bergel, prof. URK spełnia ustawowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich zawarte w art. 13 Ustawy z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2011 r. Nr 84, poz. 455 z późniejszymi zmianami) w korespondencji z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. 2018, poz. 1668 z późniejszymi zmianami). Stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, o potencjale aplikacyjnym. Treść rozprawy potwierdza wiedzę teoretyczną Doktorantki. Sprecyzowane w pracy: cel, tezy i zakres badań, ich zaplanowanie i opis, a także interpretacja uzyskanych wyników świadczą o dojrzałości naukowej Doktorantki, a tym samym o Jej umiejętności do samodzielnego prowadzenia prac naukowych. Zatem wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie o dopuszczenie mgr inż. Olgi Woyciechowskiej do dalszego postępowania kwalifikacyjnego przewidzianego w procedurze uzyskania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Gliwice, 11 maja 2022 r.



