

**dr hab. inż. Tomasz Bergel, prof. URK**  
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej  
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji  
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollątaja w Krakowie  
al. A. Mickiewicza 21  
31-120 Kraków

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Żywca  
pt. *Metoda oceny niezawodności operatora  
w systemie zbiorowego zaopatrzenia w wodę*”**

**Promotor: prof. dr hab. inż. Barbara Tchórzewska-Cieślak**

### **1. Podstawa opracowania recenzji rozprawy doktorskiej**

Podstawę formalną przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Żywca pt. *Metoda oceny niezawodności operatora w systemie zbiorowego zaopatrzenia w wodę* stanowi uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza z dn. 19 września 2022 r., oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka prof. dr hab. inż. Daniela Słysia z dn. 19 września 2022 r.

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

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Jakuba Żywca wraz z 2 załącznikami liczy łącznie 185 stron, w tym 13 stron stanowią załączniki. Integralnym elementem rozprawy są streszczenia w języku polskim i angielskim. Praca zawiera elementy graficzne w postaci 45 rysunków i 63 tabel w głównej części dysertacji oraz 8 tabel wchodzących w skład załącznika 2, które powiązane są z prezentowanymi treściami rozprawy. Bibliografia przedmiotowej dysertacji obejmuje 147 pozycji, w tym 9 aktów prawnych i wytycznych oraz 5 tekstów internetowych. Praca posiada w zasadzie tradycyjny, chociaż według mnie zbyt rozbudowany układ. Można w nim wydzielić trzy zasadnicze części.

Część pierwszą, mającą charakter rozważań teoretycznych, obejmującą strony 9-40 stanowią rozdziały: rozdział 1 – *Wprowadzenie*, rozdział 2 – *Sformułowanie problemu*, rozdział 3 – *Cel, zakres, tezy pracy*, rozdział 4 – *Definicje*, rozdział 5 – *Przegląd stanu wiedzy na temat badań niezawodności operatora systemów technicznych*, rozdział 6 – *Analiza roli operatora w funkcjonowaniu systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę*, rozdział 7 – *Przegląd metod stosowanych do oceny niezawodności operatora systemów technicznych*. W mojej ocenie jest to układ zbyt rozbudowany. Wydaje się, że dla lepszej przejrzystości pracy należałoby włączyć do rozdziału 1 – *Wprowadzenie*, treści podane w rozdziale 2 – *Sformułowanie problemu*. Z kolei rozdział 4 – *Definicje* połączyć z *Wykazem ważniejszych oznaczeń i skrótów*

umieszczonym na początku rozprawy po *Spisie treści*, natomiast rozdziały 5, 6 i 7 umieścić jako podpunkty rozdziału, który należałoby zatytułować *Przegląd literatury*.

Część drugą – analityczną, zawierającą się na stronach 41-150 stanowią treści: rozdziału 8 – *Metodyka badań* oraz rozdziału 9 – *Wyniki badań*. Szkoda, że w tej części rozprawy, Autor nie zdecydował się na rozdział – *Dyskusja wyników*, w którym mógłby odnieść swoje wyniki do badań innych autorów zajmujących się analizowaną tematyką.

Część trzecia rozprawy to *Podsumowanie, wnioski i kierunki dalszych badań* stanowiące treść rozdziału 10.

### **3. Zakres i ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej**

#### **3.1. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy**

Literatura przedmiotowej dysertacji obejmuje 147 pozycji, w tym 133 opracowania naukowe w postaci artykułów i monografii (90%). Pozostałe elementy bibliografii stanowią akty prawne i wytyczne (9 pozycji) oraz teksty internetowe (5 pozycji). Wśród opracowań naukowych, opracowania autorów zagranicznych stanowią 72 pozycje (54%), natomiast 62 pozycje (47%) przytoczonej literatury, to opracowania z ostatnich 10 lat.

W dokonanym przeglądzie literatury, stanowiącym treść rozdziałów 5, 6 i 7, Pan mgr inż. Jakub Żywiec wydzielił 3 uzupełniające się obszary tematyczne, poruszające tematykę z zakresu:

- badań niezawodności operatora systemów technicznych,
- roli operatora w funkcjonowaniu systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę,
- metod stosowanych do oceny niezawodności operatora systemów technicznych.

Doktorant przeprowadził dogłębną analizę stanu wiedzy prezentowanej w krajowej i światowej literaturze w obszarze zagadnień badawczych dotyczących badań niezawodności systemów technicznych, zwracając uwagę na szczególną rolę czynnika ludzkiego, który może oddziaływać na system już w fazie projektowania, następnie budowy i w końcu podczas jego eksploatacji, stwarzając warunki do powstania awarii. Autor zwraca uwagę, że wpływ czynnika ludzkiego na funkcjonowanie systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) nie jest do końca poznany, co znalazło odzwierciedlenie w małej liczbie prac na ten temat. Podkreśla przy tym konieczność multidyscyplinarnego podejścia do tematyki oceny niezawodności operatora, które powinno obejmować nauki o niezawodności, ergonomii i psychologii. Zwraca przy tym uwagę na szczególne zadania operatora w systemie zbiorowego zaopatrzenia w wodę, które w przeważającej mierze są realizowane z wykorzystaniem narzędzi teleinformatycznych, umożliwiających zdalne zarządzanie poszczególnymi elementami podsystemów.

Doktorant dokonał szczegółowej charakterystyki poszczególnych podsystemów tworzących SZZW ze szczególnym uwzględnieniem zakresu i złożoności działań eksploatacyjnych prowadzonych w tych systemach, obejmując urządzenia, procesy, miejsce i czas prowadzenia tych działań. Zwrócił uwagę na szczególną rolę operatora w tych działaniach oraz ewentualne negatywne skutki nieprawidłowej eksploatacji. Dokonał również klasyfikacji oraz przyczyn błędów operatora, pokazując tym samym złożoność problematyki niezawodności operatora.

Dokonując przeglądu metod stosowanych do oceny niezawodności operatora systemów technicznych zwrócił uwagę na fakt, że na przestrzeni lat i wraz z rozwojem badań nad niezawodnością operatora pojawiło się ok. 70 różnych metod jej oceny, tzw. metod HRA (ang. Human Reliability Assessment), wśród których można wyróżnić metody ilościowe, jakościowe oraz mieszane.

Chociaż tematyka niezawodności operatora systemów technicznych poruszana była na wielu międzynarodowych konferencjach naukowych, a także w badaniach prowadzonych w kilku ośrodkach naukowych w Polsce, to nieliczne publikacje dotyczące wpływu operatora na funkcjonowanie SZZW charakteryzuje duże rozproszenie i brak propozycji kompleksowego rozwiązania analizowanego problemu. W literaturze krajowej i międzynarodowej brak jest kompleksowych badań nad niezawodnością operatora w SZZW. Przedstawione prace identyfikują wpływ czynnika ludzkiego na powstawanie awarii w SZZW i związane z tym ryzyko, natomiast proponowane metody oceny niezawodności operatora SZZW nie zostały zastosowane do przeprowadzenia badań w pełnej skali, obejmującej cały SZZW, a jedynie do oceny niezawodności operatora dla pojedynczego, wybranego scenariusza awarii. Autor podkreślił, iż zasadniczym problemem wymagającym rozwiązania jest opracowanie kompleksowej, uniwersalnej metody oceny niezawodności operatora w SZZW oraz metody oceny niezawodności SZZW uwzględniającej wpływ czynnika ludzkiego, który identyfikuje się jako przyczynę blisko 75% powstających awarii w SZZW. Jest to zagadnienie złożone, wymagające bardzo dobrej znajomości warunków eksploatacji w dynamicznie zmieniającym się środowisku funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę.

Na podstawie dokonanego przeglądu literatury Pan mgr inż. Jakub Żywiec stwierdził, że obszar badań nad niezawodnością operatora w SZZW jest w początkowej fazie rozwoju oraz wymaga prowadzenia pogłębionych, szczegółowych badań. Podjęcie problemu badawczego pozwoli na poznanie wpływu wewnętrznego czynnika ludzkiego na niezawodność i bezpieczeństwo funkcjonowania SZZW. Jest to nowe, oryginalne podejście w ocenie niezawodności SZZW i przyczyni się do rozwoju wiedzy z tego zakresu.

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

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę jest przykładem systemu antropotechnicznego, czyli układu człowiek – obiekt techniczny – otoczenie. Liczne publikacje naukowe wskazują na duży związek między działaniem człowieka i funkcjonowaniem systemów technicznych, który w tym układzie może okazać się tzw. najsłabszym ogniwem.

W ramach zwiększania poziomu niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonowania SZZW właściwą wydaje się automatyzacja procesów produkcji i dystrybucji wody, bowiem jak zapewniają producenci takich rozwiązań dla branży wodociągowej, zastosowanie automatycznych systemów monitoringu i sterowania zwiększa niezawodność dostaw wody oraz efektywność procesów technologicznych. Proces ten przebiegał będzie zapewne przy wykorzystaniu nowoczesnych narzędzi opartych o wykorzystanie sztucznej inteligencji, sieci neuronowych, uczenia maszynowego, algorytmów genetycznych, sieci Bayesa czy logiki rozmytej. Doktorant stawia w tym miejscu jednak zasadnicze pytanie: czy całkowite wyeliminowanie człowieka z procesu zaopatrzenia w wodę jest działaniem właściwym? Słusznie zauważa, że całkowite wyeliminowanie czynnika ludzkiego w obrębie procesów eksploatacyjnych w SZZW niesie ze sobą spore ryzyko, bowiem systemy automatyczne mimo stosowania szeregu zabezpieczeń mogą cechować się wrażliwością na zdarzenia niepożądane np. blackout energetyczny, cyberterrorizm, których skutki mogą być katastrofalne. Podczas wystąpienia sytuacji kryzysowej o nieprzewidywalnym przebiegu lub w przypadku uszkodzenia systemów automatycznych, to człowiek – operator SZZW powinien mieć możliwość podejmowania decyzji eksploatacyjnych.

Bardzo ważnym jest fakt, że bazując na swoim doświadczeniu, wiedzy i znajomości specyfiki danego systemu zaopatrzenia w wodę, operator ma szansę przywrócić go do stanu sprawności. Ze względu na zadanie SZZW, jakim jest dostarczenie do konsumentów wody w odpowiedniej jakości i ilości, pod wymaganym ciśnieniem, w dowolnej chwili czasu i po akceptowalnej cenie, wpływ czynnika ludzkiego w ocenie niezawodności SZZW nie może zostać pominięty.

Uwzględniając powyższe należy stwierdzić, iż rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jakuba Żywca, której głównym celem naukowym było zbadanie wpływu wewnętrznego czynnika ludzkiego na niezawodność systemu antropotechnicznego na przykładzie działania operatora w SZZW, trafnie wpisuje się we współczesny nurt złożonych badań eksploatacyjnych systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Ponadto zdefiniowane cele szczegółowe, tzn.:

- cel poznawczy – analiza wpływu działania operatora na niezawodność SZZW, przez wyznaczenie wskaźnika gotowości operatora dla procesów eksploatacyjnych w poszczególnych podsystemach SZZW,
- cel praktyczny – opracowanie metody oceny niezawodności operatora na potrzeby zwiększenia poziomu niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonowania SZZW, przez uwzględnienie wpływu wewnętrznego czynnika ludzkiego w analizach niezawodnościowych dla dowolnego SZZW,

odpowiadają aktualnym potrzebom i tematyce naukowo-badawczej z zakresu niezawodności takich systemów.

### **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 pierwszej – teoretycznej części pracy, pozwolił Doktorantowi podkreślić istotę podjętego tematu badawczego, którego główny cel naukowy i praktyczny sformułował w rozdziale 3. Dla prawidłowej realizacji celu badawczego, Pan mgr inż. Jakub Żywiec postawił dwie tezy badawcze:

- działanie operatora SZZW ma znaczący wpływ na poziom niezawodności i bezpieczeństwa dostaw wody do konsumenta,
- zastosowanie rozmyto-bayesowskiej wersji metody CREAM (ang. Cognitive Reliability and Error Analysis Method), ze względu na niepewność pozyskanych danych oraz fakt, że SZZW jest systemem antropotechnicznym, może stanowić oryginalne uzupełnienie i poszerzenie, klasycznego, technicznego podejścia do analiz niezawodnościowych SZZW.

Słuszność zdefiniowanych tez wykazał poprzez weryfikację uzyskanych wyników badań w rzeczywistych przedsiębiorstwach wodociągowych obejmujących 8 przedsiębiorstw zlokalizowanych na terenie woj. podkarpackiego. Wykorzystując badania ankietowe przeprowadzone od czerwca do listopada 2021 r. z uwagi na pandemię koronawirusa SARS-CoV-2 w sposób zdalny, przebadano 42 operatorów, z których 38 pracowało w ZUW korzystających z wód powierzchniowych, natomiast 4 w ZUW pobierających wody podziemne. Zarówno kryteria wyboru obiektów badawczych (przedsiębiorstw), jak i ankietowanych operatorów uważam za jasne, prawidłowe i umożliwiające osiągnięcie założonego celu.

Poza opisem obiektu badań, treść rozdziału 8 – *Metodyka badań* wprowadza czytelnika w problematykę, która stanowi opis przyjętych metod badawczych zaprezentowanych szczegółowo w rozdziałach 8.3. – 8.7. Analizę wyników badań oparto na pięciu etapach mających logiczne następstwo i prowadzących do osiągnięcia zarówno celu poznawczego jak i praktycznego.

W mojej ocenie opracowana procedura analityczna stanowi istotny wkład w rozwój oceny niezawodności operatora SZZW, a wykorzystanie takich metod jak: FSAW, CREAM, teorii zbiorów rozmytych oraz sieci Bayesa, pozwoli na lepsze poznanie wpływu wewnętrznego czynnika ludzkiego na niezawodność SZZW. Potencjalne wdrożenie wyników pracy przez przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne, może przyczynić się do wzrostu poziomu niezawodności i bezpieczeństwa dostaw wody do konsumentów.

### **3.4. Ocena omówienia wyników badań**

Integralnym elementem części analitycznej przedmiotowej dysertacji jest rozdział 9 – *Wyniki badań*. Jest to kluczowy rozdział pracy, w którym Pan mgr inż. Jakub Żywiec prezentuje uzyskane wyniki zgodnie z przyjętymi etapami opracowanej metodyki badawczej.

W zakresie oceny wpływu zdarzeń awaryjnych z udziałem operatora na niezawodność SZZW przeprowadzonej z wykorzystaniem metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji – FSAW (ang. Fuzzy Simple Additive Weighting) będącej pierwszym etapem badań Autor stwierdza, że spośród awarii związanych z działaniem operatora, największy wpływ na niezawodność SZZW mają awarie urządzeń i obiektów uzdatniania wody, następnie awarie pompowni II stopnia oraz uzbrojenia zbiorników wodociągowych, z kolei najmniejszy wpływ na niezawodność SZZW mają awarie uzbrojenia na ujęciach wody oraz awarie pompowni I stopnia.

W drugim etapie badań, wykorzystując metodę CREAM zmodyfikowaną przez zastosowanie teorii liczb rozmytych oraz sieci bayesowskich, dokonano oceny niezawodności operatora poszczególnych podsystemów, tj. ujmowania, uzdatniania (w rozbiciu na stosowane procesy tzn.: utleniania wstępnego, napowietrzania, koagulacji, filtracji, dezynfekcji), pompowania i magazynowania wody. Oceny tej dokonano podając dla każdego podsystemu zakres, wartość średnią oraz medianę wskaźnika gotowości operatora  $K_g$  oraz prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez operatora (HEP). Następnie porównano wyniki badań niezawodności operatorów poszczególnych podsystemów systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę wykorzystując w tym celu wartości wskaźnika gotowości operatora  $K_g$ .

W etapie trzecim dokonano statystycznej analizy wyników badań wykorzystującej test Kruskala-Wallisa do zbadania zależności między otrzymanymi wynikami a cechami społeczno-demograficznymi badanej grupy operatorów takimi jak: wiek, wykształcenie, doświadczenie zawodowe oraz wielkość obsługiwanego SZZW. Na podstawie przeprowadzonej analizy Doktorant stwierdził, że dla wszystkich przebadanych cech socjodemograficznych grupy operatorów, można zaobserwować wpływ na zmianę poziomu niezawodności operatora w oparciu o wartość wskaźnika gotowości  $K_g$  tylko w odniesieniu do cech: doświadczenie zawodowe, wielkość obsługiwanego systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę.

W odniesieniu do wieku badanych operatorów wyższe wartości wskaźników gotowości Doktorant zaobserwował w grupie wiekowej 18-35 lat, które następnie wraz ze wzrostem wieku operatora malały. Doktorant słusznie zauważył, że prawdopodobnie ma to związek z rosnącym znaczeniem systemów teleinformatycznych (SCADA, GIS) wykorzystywanych w dyspozytorniach, które mogą być dla osób starszych trudne w obsłudze oraz ze spadkiem

zdolności psychomotorycznych wraz ze wzrostem wieku operatora. Na podstawie przeprowadzonej analizy nie wykazano jednak istotności statystycznej przedstawionych zależności.

Biorąc pod uwagę wykształcenie badanych operatorów, zaobserwowano wyższe wartości wskaźnika gotowości dla osób z wyższym lub średnim wykształceniem. Osoby, które poświęciły więcej czasu na zdobywanie wiedzy i podnoszenie kwalifikacji zawodowych charakteryzują się z reguły bardziej rozwiniętymi umiejętnościami miękkimi takimi jak np. organizacja pracy, zarządzanie czasem, samodzielność, odpowiedzialność, kreatywność czy praca zespołowa co może przekładać się na lepsze wyniki uzyskiwane w pracy zawodowej, a co za tym idzie mniejsze prawdopodobieństwo popełnienia błędu. Jednak w tym przypadku nie wykazano również istotności statystycznej analizowanej zależności.

Doświadczenie zawodowe jest jednym z kluczowych czynników socjogeograficznych wpływających na poziom niezawodności operatora. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem doświadczenia zawodowego rośnie również poziom wartości wskaźników gotowości badanych operatorów. Wykazano istnienie bardzo wysoce istotnych zależności statycznych dla większości podsystemów. Rosnąca liczba lat pracy z jednym systemem zbiorowego zaopatrzenia w wodę skutkuje nabyciem odpowiednich doświadczeń, które mogą być specyficzne i niepowtarzalne dla danego systemu, co zwiększa zrozumienie systemu przez operatora oraz umożliwia mu właściwe, intuicyjne współdziałanie z nim, minimalizując możliwość błędnego działania.

W dużej mierze poziom niezawodności operatora zależy też od wielkości obsługiwanego systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Zaobserwowano wyższe wartości wskaźnika gotowości operatora dla systemów zaopatrzenia w wodę obsługujących powyżej 100 000 odbiorców. Dla wszystkich podsystemów wykazano istotność statystyczną przedstawionych zależności. Operatorzy dużych systemów częściej mają do dyspozycji dedykowane rozwiązania w sferze sterowania podsystemami SZZW z wykorzystaniem nowoczesnych systemów wspomaganie decyzji czy monitoringu parametrów pracy, przez co ich obsługa jest łatwiejsza i sprzyja niepopelnianiu błędów przez operatora.

W czwartym etapie Doktorant skupił się na analizie przykładu aplikacyjnego oceny niezawodności w SZZW uwzględniającego wpływ działania operatora. W tym celu opracował schemat niezawodnościowy dla Zakładu Uzdatniania Wody w Rzeszowie, w którego strukturach uwzględniono dodatkowy element odpowiadający operatorowi. W analizowanym przykładzie Autor wykorzystał wartości wskaźników gotowości operatora dla poszczególnych podsystemów, wyznaczone w drodze badań przeprowadzonych w przedmiotowej rozprawie doktorskiej. W przeprowadzonej analizie Doktorant dowiódł, że przypadek obliczeniowy zakładający pracę jednego operatora połączonego z obiektem sterowanym szeregowo, stwarza realne zagrożenia dla niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonowania ZUW, bowiem obliczeniowy wskaźnik gotowości badanego ZUW spada o ok. 10% w stosunku do wartości wskaźnika gotowości ZUW bez uwzględnienia wpływu operatora. Autor słusznie tłumaczy to wzrostem liczby struktur szeregowych par antropotechnicznych operator-obiekt obniżających wskaźnik gotowości całego badanego systemu. Na tej podstawie Autor sformułował zalecenie, że dla najważniejszych procesów technologicznych decyzje operatorskie powinny być podejmowane w oparciu o decyzje minimum dwóch operatorów, dzięki czemu zmniejsza się prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka. Operatorzy w takiej sytuacji stworzą z obiektem sterowanym parę antropotechniczną o strukturze niezawodnościowej szeregowo-równoległej. Przeprowadzona przez Doktoranta ponowna analiza dowiodła, że wskaźnik gotowości badanego ZUW z uwzględnieniem wpływu pary operatorów wynoszący  $K_g = 0,9972$  w odniesieniu do

przedstawionych wymaganych wartości  $K_g$  dla miast o liczbie mieszkańców 50 000 – 500 000 pozwala stwierdzić, że obiekt spełnia stawiane mu wymagania.

W ostatnim – piątym etapie analizy, Pan mgr inż. Jakub Żywiec dokonał oceny możliwości zwiększenia niezawodności przebadanych operatorów, na podstawie odpowiedzi jakich udzielili na pytania dotyczące organizacji pracy, środowiska pracy i procesu pracy w danym przedsiębiorstwie wodociagowym. Wyniki przeprowadzonych badań zamieścił w tabeli 9.42. Nie podał jednak kryteriów, na podstawie których ocenił możliwości zwiększenia niezawodności operatora jako: bardzo niskie, niskie, znaczne czy bardzo wysokie.

Uzyskane rezultaty badań oraz przeprowadzona ich analiza upoważniły Doktoranta do sformułowania wniosków końcowych stanowiących treść rozdziału 10.2, które wynikają z treści pracy, wskazują na oryginalność przeprowadzonych badań i wykazują słusność postawionych dwóch tez badawczych. Na podkreślenie zasługuje wskazanie przez Doktoranta głównych kierunków dalszych badań naukowych związanych z podjętą tematyką, które mają zmierzać do adaptacji proponowanej metody oceny niezawodności operatora do innych systemów w sektorze gospodarki komunalnej, wykorzystania komputerowych metod symulacyjnych do modelowania i oceny niezawodności operatora SZZW oraz rozwoju metod redukcji błędów ludzkich w tych systemach.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy pragnę wskazać, iż w mojej opinii zaproponowana przez Pana mgr inż. Jakuba Żywca metoda oceny niezawodności operatora w systemie zbiorowego zaopatrzenia w wodę stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Tematyka badawcza rozprawy wpisuje się w szeroki obszar badań związanych z analizą niezawodności oraz bezpieczeństwa funkcjonowania SZZW będącego przykładem systemu antropotechnicznego. Ponadto pragnę podkreślić, iż rezultaty zadania badawczego, którego realizacji podjął się Doktorant mają potencjał aplikacyjny. Doktorant udowodnił bowiem, że działanie operatora SZZW ma znaczący wpływ na poziom niezawodności i bezpieczeństwa dostaw wody do konsumenta i z tego względu analiza niezawodności SZZW powinna obejmować wpływ operatora systemu, a jej wyniki powinny stanowić podstawę dla racjonalnych decyzji eksploatacyjnych podejmowanych przez przedsiębiorstwa wodociagowo-kanalizacyjne.

#### **4. Ważniejsze uwagi dyskusyjne i redakcyjne**

W mojej ocenie przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest obszerna pod względem zdefiniowanego zakresu prac badawczych. Uzyskane wyniki badań pozwoliły Doktorantowi w pełni na osiągnięcie założonego celu badawczego. W pracy pojawiły się pewne „potknięcia” rodzące wątpliwości lub/i pytania niemające jednak istotnego wpływu na końcową ocenę rozprawy doktorskiej. Ważniejsze z nich, o charakterze dyskusyjnym przedstawiam poniżej.

1. Na str. 61 Autor pisze: *„W celu oceny niezawodności operatora SZZW przeprowadzono badania ankietowe na grupie operatorów pracujących w 8 przedsiębiorstwach wodociagowych w regionie południowo-wschodniej Polski. Wykorzystano również opinie ekspertów w zakresie bezpieczeństwa dostaw wody i niezawodności SZZW”*. Następnie na str. 87 czytamy, że: *„Według ekspertów spośród proponowanych kryteriów oceny najważniejszym z nich w aspekcie zapewnienia odpowiedniego poziomu niezawodności SZZW jest dostarczenie do konsumenta wody o odpowiedniej jakości, następnie dostarczenie do konsumenta wody w odpowiedniej ilości, najmniejszą wagę przypisano do kryterium dostarczenia do konsumenta wody pod odpowiednim ciśnieniem”*. Podobne stwierdzenie można znaleźć w drugim wniosku podanym w rozdziale 10.2. na str. 152. W tym miejscu pojawia się pytanie: kim są Ci „tajemniczy” eksperci, których nie wymieniono

z imienia i nazwiska, a których uwiarygodnienie jest konieczne z uwagi na rolę jaką pełnią w analizie wyników badań. Wydaje się ona być bardzo ważna z uwagi na fakt, że ich opinie były podstawą do wskazania elementów systemu najbardziej narażonych na awarię wynikającą z błędnego działania operatora tj. podsystemu uzdatniania wody, dla którego w dalszym etapie badań przeprowadzono szczegółową ocenę niezawodności operatora.

2. W rozdziale 3.2. – *Zakres pracy* na str. 14 Autor rozprawy pisze: „*Zakresem przeprowadzonych badań objęto poszczególne podsystemy SZZW (tj. podsystem ujmowania wody, podsystem uzdatniania wody, podsystem pompowania wody oraz podsystem magazynowania wody)*. Dalej na str. 31 wyjaśnia, że: „*Ze względu na charakter pracy operatora w PsDyW tj. praca polegająca głównie na rozdzielaniu przyjętych zgłoszeń, bez wyraźnych zadań technicznych oraz na fakt, że w badanych SZZW (zaliczanych do małych i średnich przedsiębiorstwach wodociągowo – kanalizacyjnych) brak było osoby zatrudnionej w charakterze operatora centralnego, niezawodność operatora w PsDyW nie została poddana badaniom w dalszej części pracy*”. W tym miejscu pojawia się wątpliwość czy jest to właściwe i kompleksowe podejście do oceny niezawodności operatora SZZW? Skoro w tych systemach nie było osoby zatrudnionej na stanowisku operatora centralnego, ktoś musiał być odpowiedzialny za eksploatację tego podsystemu, który jest najbardziej rozległym elementem SZZW. Szeroki i odpowiedzialny zakres obowiązków operatora tego podsystemu, Autor przedmiotowej dysertacji opisał szczegółowo na str. 30.
3. W jaki sposób określono/wyznaczono przeciętnego przedstawiciela badanej grupy operatorów, o którym mowa w pkt. 8.1. na str. 42?
4. Na jakiej zasadzie wyznaczono przedziały wiekowe operatorów? Pytanie jest zasadne z uwagi na fakt, że rozpiętość poszczególnych przedziałów jest różna.
5. Wątpliwości budzi klasyfikacja niezawodności operatorów zamieszczona w tab. 9.31 na str. 115. Autor pisze: „*Na podstawie otrzymanych wyników zaproponowano klasyfikację operatorów ze względu na poziom niezawodności...*”. Za pomocą jakich narzędzi wyznaczono zakresy wartości wskaźnika  $K_g$ , którym przypisano niski, przeciętny i wysoki poziom niezawodności operatora?
6. Czy fakt, że badania prowadzono w okresie pandemii Covid-19 mógł mieć wpływ na wyniki ankietowania?
7. Skoro badania prowadzono na grupie operatorów zatrudnionych w małych i średnich przedsiębiorstwach wodociągowych, czy można zatem szukać możliwości aplikacji oceny niezawodności SZZW z uwzględnieniem wpływu działania operatora w tak dużych systemach jak ten funkcjonujący w Rzeszowie, obsługujący 200 tys. odbiorców?
8. Czy zalecenie podane na str. 142 mówiące, że: „*Dla najważniejszych procesów technologicznych decyzje operatorskie powinny być podejmowane w oparciu o decyzje minimum dwóch operatorów, dzięki czemu zmniejsza się prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka*” jest realne do zastosowania w dobie coraz powszechniejszej automatyzacji procesów realizowanych w zakładach uzdatniania wody?
9. Przedmiotowa praca doktorska została napisana w zwięzły sposób, starannym i poprawnym językiem, który znacznie ułatwia lekturę treści dysertacji. Podczas recenzji zauważono drobne błędy literowe i interpunkcyjne, które nie wpływają na pozytywną ocenę pracy pod względem redakcyjnym.

## 5. Podsumowanie i wnioski końcowe

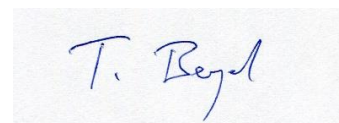
Podsumowując recenzję rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Jakuba Żywca oceniam pozytywnie zarówno przeprowadzony przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie poruszanej w doktoracie tematyki, jak i część analityczną odniesioną do badań rzeczywistych prowadzonych



w wybranych 8 przedsiębiorstwach wodociągowych. Mogę stwierdzić, że Autor przedmiotowej rozprawy doktorskiej poradził sobie z badaniami prowadzonymi na rzeczywistych obiektach badawczych, a następnie wykazał się nowoczesnym warsztatem analitycznym wykorzystując do osiągnięcia założonego celu dyskretną metodę wielokryterialnego wspomaganie decyzji FSAW oraz metodę analizy niezawodności operatora systemów technicznych CREAM, osiągając przy tym rezultaty o walorach aplikacyjnych.

Opinie zawarte w recenzji pozwalają mi pozytywnie ocenić rozprawę doktorską. W moim przekonaniu, przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jakuba Żywca pt. „*Metoda oceny niezawodności operatora w systemie zbiorowego zaopatrzenia w wodę*” wykonana pod opieką naukową Pani promotor – prof. dr hab. inż. Barbary Tchórzewskiej-Cieślak 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 późn. zm.) w korespondencji z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.). Stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego o potencjale aplikacyjnym. Treść rozprawy potwierdza wiedzę teoretyczną Doktoranta. Sprecyzowane w pracy: cel, tezy i zakres badań, ich zaplanowanie i opis, a także interpretacja uzyskanych wyników, świadczą o dojrzałości naukowej Doktoranta, a tym samym o Jego umiejętności do samodzielnego prowadzenia prac naukowych. Wnioskuje zatem do Rady Dyscypliny Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza o dopuszczenie mgr inż. Jakuba Żywca do dalszego postępowania kwalifikacyjnego przewidzianego w procedurze uzyskania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Kraków, 9 grudnia 2022 r.

Handwritten signature in blue ink, reading "T. Bejda".