

Rzeszów, 2 czerwca 2023 r.

dr hab. inż. Bernardeta Dębska, prof. PRz
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Katedra Budownictwa Ogólnego
al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów



Recenzja

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Wioletty Dobaczewskiej

pt. „Wielokryterialne wspomaganie decyzji EIPICI umożliwiające wybór zrównoważonej receptury mieszanki betonowej”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowią:

- uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 04.04.2023 r.,
- pismo Przewodniczącego Rady, Pana dr hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni, z dnia 14.04.2023 r. wraz z dołączoną rozprawą doktorską,
- ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. 2018 poz. 1668) z późniejszymi zmianami.

2. Przedmiot oceny

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska zatytułowana „Wielokryterialne wspomaganie decyzji EIPICI umożliwiające wybór zrównoważonej receptury mieszanki betonowej”, której autorką jest Pani mgr inż. Wioletta Dobaczewska. Promotorem pracy jest Pan dr hab. inż. Karol Prałat, prof. uczelni, a promotorem pomocniczym Pan dr inż. Wojciech Kubissa. Tytuł rozprawy jest zgodny z treścią dysertacji.

2.1. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny z aspektami praktycznej realizacji, co warunkuje jej podział na trzy główne części: analiza stanu wiedzy, badania własne, opracowanie metody dedykowanej do wspomagania procesu

decyzyjnego podczas wyboru receptury mieszanki betonowej. Przyjęty przez Doktorantkę układ jest czytelny i logiczny. Treść rozprawy doktorskiej zajmuje 169 stron, w tym 42 tabele oraz 35 rysunków. Dysertację podzielono na 10 numerowanych rozdziałów, które uzupełniają: wykaz najczęściej stosowanych skrótów i oznaczeń, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis literatury, spis tabel i rysunków oraz 7 załączników zawierających m.in. szczegółowe wyniki badań betonów, dane niezbędne do wyznaczenia śladów węglowych i kosztów wyprodukowania mieszanki oraz wartości zużycia surowców naturalnych. Praca dotyczy problemu wielokryterialnego wspomaganie decyzji wyboru zrównoważonej mieszanki betonowej, stąd w rozdziale 1 Doktorantka nawiązała do idei zrównoważonego rozwoju w budownictwie oraz realizacji tej zasady przez przemysł cementowy. Autorka wskazała także działania wymagające rozważenia w kontekście możliwości otrzymywania betonów zrównoważonych m.in. poprzez zwiększenie udziału wybranych dodatków mineralnych w składzie betonu, czy stosowanie kruszywa pochodzącego z recyklingu w procesie produkcji betonu. Omówiła kierunki rozwoju tego kompozytu, szczególną uwagę poświęcając betonom: wysokowartościowym, z proszków reaktywnych, polimerowym, o wysokiej zawartości popiołów HVFAC, ze zbrojeniem strukturalnym. Następnie kilka stron pracy Autorka poświęciła wybranym systemom certyfikacji budynków. W ostatnim (8) podrozdziale rozdziału 1 Autorka podniosła problem stosowania wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji i wymieniła najważniejsze z nich. Tematyka ta, choć stanowi sedno dysertacji została opisana na zaledwie dwóch stronach pracy. Część ta powinna zostać zdecydowanie rozbudowana. Należało w niej dokonać oceny wymienionych metod oraz przedstawić wnioski, które stanowiły podstawę opracowania własnej metodologii. Rozdział 1 skupia w zasadzie całą część teoretyczną pracy. W rozdziale 2 znalazły się już informacje odnośnie celu i zakresu rozprawy. W rozdziale 3 Autorka opisała badania własne, w tym zastosowane materiały i receptury oraz metody i wyniki badań laboratoryjnych. Kolejnych 5 rozdziałów dotyczy kwestii rozwiązywania problemów decyzyjnych zgodnie z metodami zaproponowanymi przez Panią mgr inż. Dobaczewską: rozdział 4 - metody EIPI, rozdział 5 - metody EIPICI, rozdział 6 - metody EIPICI z uwzględnieniem pięciu kryteriów technicznych, rozdziały 7 i 8 – metody EIPICI w kontekście odpowiednio budownictwa mostowego i drogowego. W rozdziale 9 Doktorantka przedstawiła możliwości kalkulatora EIPICI - aplikacji dedykowanej do wykonywania obliczeń zgodnie z algorytmem zdefiniowanym w metodzie EIPICI. Podsumowanie i wnioski końcowe znalazły się w rozdziale 10.

2.2. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Wykaz przywołanej w rozprawie literatury obejmuje 140 pozycji bibliograficznych, w tym: podręczniki, artykuły, rozporządzenia i ustawy, normy oraz strony internetowe. Wszystkie znajdują odniesienie w tekście, są w większości aktualne i odpowiednio dobrane do charakteru pracy. W bibliografii dysertacji wymieniono 3 pozycje współautorskie Doktorantki, w tym: jeden anglojęzyczny rozdział w monografii pokonferencyjnej (13th International Conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques", 16–17 May, 2019, Vilnius, Lithuania),

w którym Doktorantka jest pierwszym autorem, 1 artykuł w czasopiśmie *Drogi i Mosty* (2021 r.) i 1 artykuł anglojęzyczny w czasopiśmie *Architecture Civil Engineering Environment*, (2019 r.). Przedstawiony w rozprawie przegląd literatury świadczy o dobrym rozeznaniu dziedziny, w której badania prowadzi Doktorantka.

3. Ogólna ocena rozprawy

Globalny problem ochrony klimatu jest i w najbliższym czasie będzie tematem wielu analiz, badań, dyskusji i regulacji prawnych. Szczególnie istotne jest sprostanie idei zrównoważonego rozwoju przez sektor budowlany, w tym przemysł betonowy, który cechuje ogromna materiało- i energochłonność, i niestety znaczna emisja dwutlenku węgla. W tym kontekście jednym z najważniejszych wyzwań jest propagowanie procesu projektowania i produkcji betonów, które można będzie uznać za zrównoważone. Taki kompozyt powinien cechować się optymalnie dobranymi składnikami zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym, przy minimalizacji zużycia zasobów naturalnych i degradacji środowiska, a maksymalizacji oszczędności energii i kosztów oraz zastosowania materiałów odpadowych i/lub dostępnych lokalnie. Tematyka podjęta w recenzowanej pracy doktorskiej wpisuje się w ten trend, jest aktualna i ma aspekt zarówno naukowy, jak i aplikacyjny.

3.1. Wskazanie oraz ocena celu pracy kandydatki

Jako główny cel pracy Autorka wskazuje: „opracowanie metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji opartej na aparacie matematycznym, która ze względu na zdefiniowane obszary formułowania celów: ekologiczny, ekonomiczny i techniczny, pozwoli na wybór optymalnego wariantu receptury mieszanki betonowej.” Wśród celów szczegółowych Doktorantka wymienia m.in. wykonanie badań betonów o zróżnicowanym składzie, zawierających m.in. materiały odpadowe oraz implementację komputerową opracowanej metody EIPICI.

Optymalizacja wielokryterialna stanowi warunek konieczny w przypadku projektowania betonu na zasadzie użyteczności w odniesieniu do warunków użytkowania, gdyż takie podejście wymaga wyznaczenia zbioru cech i ich wartości decydujących o przydatności w danym zastosowaniu. Ta szeroko rozumiana użyteczność oprócz wytrzymałości na ściskanie obejmuje m.in. takie cechy jak: szczelność, odporność na ścieranie, odporność na korozję mrozową i chemiczną. Cechy te decydują o trwałości elementów betonowych i zostały w większości uwzględnione w badaniach doktorantki.

3.2. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Na potrzeby realizacji głównego celu pracy opracowano zbiór 27 receptur mieszanek betonowych różniących się m.in. rodzajem cementu, zastosowanym kruszywem grubym (m.in. kruszywo z recyklingu), rodzajem domieszek i dodatków (m.in. mikrosfery pozyskiwane w trakcie spalania węgla kamiennego). Doktorantka przebadła łącznie 288 próbek 9 serii betonów oznaczonych jako CC1-CC9. Pani mgr inż. W. Dobaczewska deklaruje również, że w badaniach pozostałych serii betonów

(M1C-M9C oraz CF1-CF9) brała czynny udział. Należy przyznać, że podczas doboru składu mieszanek Doktorantka kierowała się celami założonymi w pracy, tak aby możliwe było zdefiniowanie kryteriów: ekologicznego, technicznego i ekonomicznego. W tym samym kontekście przeprowadziła trafną selekcję i przemyślany dobór różnych metod badawczych. W oparciu o znane normy lub wytyczne wykonano standardowe badania wytrzymałościowe: wytrzymałość na ściskanie po 28 i 90 dniach dojrzewania, wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu oraz badania: sorpcyjności, nasiąkliwości i mrozoodporności betonu, a także badanie głębokości wnikania chlorków i ścieralności na tarczy Boehmego.

3.3. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Do pracy dołączono 19 tabel zawierających szczegółowe wyniki badań betonów. Dodatkowo w tabelach 30 i 36 zestawiono wyniki oznaczeń wybranych cech betonów dedykowanych do zastosowania odpowiednio w budownictwie mostowym i drogowym. Jednak kwestia omówienia wyników badań otrzymanych przez Doktorantkę próbek betonowych pozostawia pewien niedosyt. Na str. 59 Autorka tłumaczy: „Z uwagi na główny cel pracy doktorskiej związany z zaproponowaniem metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji EIPICI nie przeprowadzono głębszej analizy otrzymanych wyników badań betonu. Jak zaznaczono już wcześniej, obszerne wyniki badań posłużyły za dane wejściowe do prowadzonej metody.”

Doktorantka powinna jednak pamiętać, że budowanie wiarygodnego rozumowania w oparciu o uzyskane wyniki zawsze powinno wiązać się ze wcześniejszym wykonaniem podstawowych analiz statystycznych, które mają na celu sprawdzenie jednorodności zbioru danych eksperymentalnych, weryfikację możliwości wystąpienia błędów, a także usunięcie zakłóconych wyników pomiarów. Tylko dokładnie zweryfikowane dane mogą być wykorzystane do oceny zaproponowanej nowej metody pozyskiwania wiedzy (tutaj wiedzy decyzyjnej) z bazy danych eksperymentalnych. Takie podejście zresztą częściowo stosuje Doktorantka, wyłączając receptury M3C, M4C, M5C, M6C, M8C, M9C ze zbioru wariantów decyzyjnych, ze względu na brak wymaganej odporności na cykliczne zamrażanie-rozmrażanie. Jednocześnie uzyskane w tym samym teście znaczne rozbieżności w zmianie masy (m.in. dla receptur M3C i M4C) (zestawione w tabeli 16, str. 135) pozostawia bez oceny i komentarza.

Doktorantka zbudowała bazę danych wykorzystując wyniki badań betonów uzyskane nie tylko w trakcie prac związanych bezpośrednio z rozprawą doktorską, ale także te otrzymane w ramach wskazanych dwóch prac: inżynierskiej i magisterskiej (obie prace z roku 2019, pozycje [124, 125]). Postępowanie to można uznać za poprawne z uwagi na fakt, że prowadzone badania mają charakter niszczący i wymagają znacznych nakładów materiałowych, czasowych i finansowych. Analiza prac współautorstwa Doktorantki cytowanych w bibliografii pozwala wnioskować, że na potrzeby tamtych opracowań analiza wyników była bardziej szczegółowa. Dziwi więc fakt, że zrezygnowano z nich dla danych w oparciu o które dokonano weryfikacji metody EIPICI.

3.4. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Pani mgr inż. Wioletta Dobaczewska wykonała badania różnych cech technicznych betonów o zróżnicowanym składzie. Powstała w ten sposób baza danych stanowiła punkt wyjścia do zaproponowania autorskiej metody podejmowania decyzji o wyborze receptury mieszanki betonowej (EIPICI) w zależności od efektu preferowanego przez decydenta, z uwzględnieniem kryteriów: ekologicznego, technicznego i ekonomicznego. W oparciu o środowisko Java Doktorantka opracowała aplikację dedykowaną do wykonywania obliczeń za pomocą metody EIPICI. Stworzony kalkulator umożliwia wykonanie obliczeń zgodnie z zaplanowanym przez doktorantkę algorytmem EIPICI i w opinii Doktorantki może być w praktyce wykorzystany przez przedsiębiorców branży budowlanej m.in. wytwórców betonu, czy wykonawców robót budowlanych. Aby tak się mogło stać, aplikacja ta wymaga jednak dopracowania o którym mówi się w dalszej części recenzji.

4. Uwagi szczegółowe do pracy

4.1. Uwagi dotyczące języka rozprawy i redakcji tekstu

W tekście zdarzają się błędy językowe i redakcyjne. W pracy użyto kilkakrotnie pojęcia "aparatury matematycznej", które zasadniczo stosuje się w przypadku, gdy wykorzystywany obszar matematyki nie jest precyzyjnie zdefiniowany i należy go rozwinąć na potrzeby innych nauk, w szczególności np. konkretnej dziedziny techniki czy informatyki. W pracy należało by raczej skorzystać z pojęcia „algorytm”, którego podstawowa definicja brzmi, że jest to "skończony, uporządkowany ciąg czynności koniecznych do przekształcenia danych wejściowych w żądany rezultat". To właśnie ma miejsce w recenzowanej pracy, a doktorantka korzysta głównie ze znanych pojęć statystyki matematycznej, takich jak średnia ważona i nie odwołuje się do innych działów matematyki. Wybór średniej ważonej umożliwia mieszanie metod algorytmicznych i heurystycznych podczas rozwiązywania problemu co jest realizowane nie tylko przez możliwość właściwego doboru wag, ale również na etapie przypisania rang uzyskanym wynikom. Ocenę końcową interpretuje się jako globalną użyteczność danego wariantu. Definicja algorytmu obliczeniowego jest tutaj szczególnie użyteczna również z tego względu, że algorytm - sposób przetwarzania danych - jest w pracy poprzedzany schematem blokowym stosowanych metod (np. EIPI – rys. 8, EIPICI – rys. 11). Tak się dzieje zawsze, gdy do obliczeń wykorzystujemy programy komputerowe.

Str. 5: Znajduje się tutaj następujące zdanie: „...tezę rozprawy sformułowano następująco: metoda wielokryterialna wspomaganie decyzji, która ze względu na zdefiniowane obszary formułowania celu: ekologiczny, techniczny i ekonomiczny, umożliwi wybór optymalnego wariantu receptury mieszanki betonowej. W moim odczuciu początek tezy powinien brzmieć: „**opracowanie** metody...” .

Str. 5: W streszczeniu znajduje się odnośnik do literatury – w tym miejscu nie jest to jednak wskazane.

Str. 6: „Ostatnie dwa rozdziały poświęcono rozwiązaniu problemów decyzyjnych, polegających na wyborze receptury mieszanki betonowej do zastosowania w budownictwie infrastrukturalnym.” Te zagadnienia obejmują rozdziały 7 i 8. W rozdziale 9 Autorka przedstawia opracowaną aplikację – kalkulator EIPICI. Ostatni, 10 rozdział to podsumowanie i wnioski końcowe.

Str. 13: Przy oznaczeniu *Sn56* brakuje dopisku: „z udziałem soli odladzających” i dalej „n ilość próbek [szt.]” – **liczba** próbek.

Str. 13: W wykazie najczęściej stosowanych skrótów i oznaczeń brak jest wyjaśnień skrótów w języku angielskim, np. EI – Ecological Index, PI – Performance Index, GEPI - Gross Ecological and Performance Indicator. Nie wiadomo skąd powstał skrót EIPICI?? Brak jest wyjaśnienia skrótu nazwy tej definicji i można się tylko domyślać, że jest to połączenie trzech Indeksów EI, PI oraz CI. Wg Doktorantki skrót EIPICI odnosi się zarówno do metody jak i do wskaźnika (wartości wynikowej oceny EIPICI).

Str. 16: „Istotnym instrumentem do osiągnięcia ww. celów ma być raportowanie wiarygodnych informacji na temat realizacji idei zrównoważonego rozwoju, a jednym z podstawowych narzędzi będzie wartość śladu węglowego.” – czy ślad węglowy może być narzędziem? Może ...”jednym z podstawowych **parametrów** (lub **wskaźników**) będzie wartość śladu węglowego”. Zresztą dalej na stronie 41 Autorka stosuje już słowo „parametr”. I dalej: „Ślad węglowy jest jedną z metod...” – raczej **miarą** wielkości emisji CO₂...

Str. 26: Kwestie interpunkcyjne, literówki np. koniczności.

Str. 39 Jest [221, 122] - powinno być [121, 122].

Str. 43 Baza wiedzy – czy baza danych?

Str. 44 Jest rankinowanie wariantów, powinno być – rankingowanie wariantów.

Str. 48 „przygotowano łącznie 864 próbek sześciennych” – próbki sześcienne.

Str. 65 Jest „najkorzystniejszym właściwościami”, powinno być najkorzystniejszymi właściwościami.

Str. 69 Pojawia się sformułowanie „**sekwencja** CO₂ w procesie karbonatyzacji” – czy nie powinno być „**sekwestracja** CO₂ w procesie karbonatyzacji”?

Str. 70. Akapit 4. Pewna sprzeczność powstaje w stwierdzeniu, że **koszty robocizny** uwzględniane są w kosztach wyprodukowania 1m³ mieszanki betonowej, natomiast **płace** nie wchodzą w skład kosztów?

Str. 70. Akapit 5. Zamiast frazy „**zespołów informacji o wariantach decyzyjnych**” lepiej użyć zdania „**zbiór danych wynikowych metody EIPICI** umożliwiający ranking i ocenę wariantów decyzyjnych”.

Str. 112: Jest zaproponował – powinno być zaproponowała.

Str. 115–124: Kwestie formatowania np. kreska między stronami mała/duża, spacja/bez spacji, w niektórych skrót nazwy czasopisma (np. [52], [62]) a w większości cała nazwa.

Str. 117: Poz. [34] W. Krudowski – powinno być W. Kurdowski.

Str. 117: Poz. [38] jest Characterisation and use of biomass fly ash in cement – base materials, powinno być Characterisation and use of biomass fly ash in cement-based materials, rok wydania 2009.

4.2. Uwagi o charakterze merytorycznym

1^o

Na stronie 33 przy okazji omawiania betonów polimerowych Autorka odnosi się do artykułu [82] i możliwości wprowadzenia w skład betonów żywicznych (w tym przypadku epoksydowych) odpadów szkła. Nie zrozumiałym jest podanie odnośnika do tylko jednego artykułu – baza danych literaturowych związanych z możliwością modyfikacji składu betonu zarówno żywicznego, jak i cementowego odpadami szkła jest przecież dość obszerna. Podobnie dalej (str. 35) w kontekście dodatku włókien pochodzących z recyklingu – odnośnik do tylko jednej publikacji ([87]).

2^o

Po przeczytaniu tekstu rozpoczynającego się pod punktem 1.7 ze strony 35, trudno zgodzić się z zapisem „...Do tego służą systemy certyfikacji budynków.” **Systemy certyfikacyjne** są ważnym **instrumentem** wspierającym budownictwo zrównoważone, pozwalające ocenić zgodność budynku z zasadami zrównoważonego rozwoju. Wytyczne sformułowane w ramach tych systemów dają konkretne wskazówki, jakie aspekty należy uwzględnić w procesie projektowania i realizacji inwestycji.

Autorka opisuje różne systemy certyfikacji, ale system GBS (Green Building Standard) dopasowany do polskich warunków w opisie tym został praktycznie pominięty.

Cały rozdział 1.7 jest oczywiście powiązany z pojęciem budownictwa zrównoważonego, ale w moim odczuciu w zaprezentowanej formie brakuje mu spójności z głównym tematem pracy. Można było np. opisać w jaki sposób zastosowanie betonu o obniżonej emisji wpływa na proces certyfikacji budynków w najczęściej stosowanych standardach. Autorka poświęciła omówieniu systemów certyfikujących kilka stron pracy, podczas gdy opis możliwości modyfikacji składu betonu materiałami odpadowymi w nawiązaniu do dostępnych danych literaturowych jest bardzo skąpy, a przecież tym właśnie zajmowała się Doktorantka.

3^o

Ponieważ praca poświęcona jest ”metodzie wielokryterialnego wspomaganie decyzji” doktorantka w części literaturowej wymienia (str. 29) inne tego typu metody. Niestety, nie dokonuje w pracy krytycznej oceny istniejących systemów wielokryterialnego

wspomagania decyzji i nie wyjaśnia na tej podstawie celu podjętej rozprawy doktorskiej. Przykładowo, nie omawia istniejących metod addytywnych (SAW, FSAW, SMART, SMARTER), które w swoim działaniu wykorzystują obliczanie sumy ważonej, podobnie jak to ma miejsce w przypadku wskaźników GEPI i EIPICI opracowanych przez Doktorantkę. Najprostsza z w/w metod metoda SAW (Simple Additive Weighting) jest jedną z metod stosowanych podczas podejmowania decyzji w wieloatrybutowych problemach. Klasyczna jej wersja oparta jest na macierzy decyzyjnej, której elementami są liczby rzeczywiste (pomierzone dane doświadczalne). Użyteczność podstawowej koncepcji metody SAW polega na znalezieniu ważonej oceny decyzyjnej dla każdej alternatywy (przykładu, próbki), dla wszystkich jej atrybutów. SAW wymaga procesu normalizacji macierzy danych ($X=\{x_{ij}\}$), aby można było porównać oceny istniejących alternatyw. Jeśli j jest atrybutem korzyści, zaleca się użycie wzoru:

$$r_{ij} = \left\{ \frac{x_{ij}}{\text{Max}x_{ij}} \right\}$$

Jeśli atrybut j jest kosztem, użyć należy formuły:

$$r_{ij} = \left\{ \frac{\text{Min}x_{ij}}{x_{ij}} \right\}$$

Wartość ważonej oceny decyzyjnej V_i dla każdej i -tej alternatywy wyznacza się z zależności:

$$V_i = \sum_j^n w_j r_{ij}$$

gdzie w_j są wagami j -tego atrybutu.

Alternatywy są następnie sortowane od największej do najmniejszej wartości V_i , aby można było ustalić, która ma wyższy priorytet. Zatem, użycie prostej metody ważenia addytywnego zastosowane w algorytmie SAW skutkuje uzyskaniem rankingu alternatyw decyzyjnych.

Wydaje się, że omówiona powyżej metoda SAW (nota bene opublikowana w 1954 roku) ma wiele wspólnych cech z rozwiązaniem przedstawionym przez mgr inż. Dobaczewską. Porównując metodę SAW z algorytmem zaproponowanym przez Doktorantkę daje się zauważyć zasadniczą różnicę w tym, że wprowadziła ona podział danych pomiarowych na 3 zbiory (dane spełniające założenia ekologiczne, technologiczne i ekonomiczne). Nowością rozwiązania przedstawionego przez autorkę jest więc dwuetapowe zastosowanie procedury obliczania średniej ważonej, najpierw podczas obliczania parametrów EI, PI, CI, a następnie na etapie wyznaczania wartości wskaźnika decyzyjnego EIPICI. Jednakże, doktorantka w swojej pracy nie podjęła próby wyjaśnienia i udowodnienia na zaprezentowanych przykładach, że zaproponowane przez nią algorytmy obliczeniowe dają lepsze wyniki niż metody

opracowane wcześniej (np. opisana powyżej metoda SAW), tzn. poprawiają ranking wariantów decyzyjnych i ułatwiają podjęcie poprawnej decyzji.

4⁰

W pracy, na stronie 62, doktorantka odnosi się do publikacji [132], i cytuje za tą publikacją wzór nr (17, 22) na obliczenie kryterium ekologicznego EI. W tym wzorze liczy się średnią ważoną znormalizowanej wartości śladu węglowego i znormalizowanej wartości zużycia surowców naturalnych, a następnie oblicza się pierwiastek kwadratowy z otrzymanej sumy. W tej publikacji wyjaśnienie definicji kryterium EI zawiera pewną nieścisłość, gdyż zakłada się, że wartości współczynników wagowych zawsze są równe 0,5.

Ani w pracy doktorskiej, ani w cytowanej publikacji, której współautorką jest Doktorantka, nie wyjaśniono sensu użycia pierwiastka podczas obliczania kryterium ekologicznego EI. Zauważono, że w pracy Doktorantka zrezygnowała z wykonywania operacji pierwiastkowania podczas wyznaczania EI. Analizując dane wejściowe (Tabela 20) i wyniki obliczeń (Tabela 21) stwierdzono, że **kryterium EI zostało obliczone jedynie jako średnia ważona i na tej podstawie wyznaczono wskaźnik GEPI** (ang. Gross Ecological and Performance Indicator). Operację pierwiastkowania opuszczono również w kolejnych wzorach na kryterium EI w tych rozdziałach (str. 76 – wzór 25, 26 oraz str. 77 – wzór 30), w których zdefiniowano algorytm wyznaczania wartości kryterium **EIPICI**. Do wzoru 30 Doktorantka odwołuje się wielokrotnie (str. 79, 82, 85, 90, 92, 96, 98, 100), a w kolejnych tabelach (24, 26) wynikowych znalazły się również przekopiowane wartości z drugiej kolumny tabeli 21.

O ile zrezygnowanie z pierwiastkowania podczas obliczania wartości kryterium EI jest zasadne i jest plusem tej pracy, o tyle wydaje się, że wzór na wskaźnik **GEPI (wzór 21)** lepiej oddaje wartość parametru decyzyjnego niż przyjęty w dalszej części **wzór 29** (suma ważona kryterium ekologicznego, technicznego i ekonomicznego) za pomocą którego wyznacza się wartość wynikową oceny **EIPICI**. Punkty o takiej samej wartości GEPI znajdują się w tej samej odległości od początku układu współrzędnych – **na wspólnym okręgu** - (Rys. 10) i technolog może rozważać zamienne użycie mieszanek betonowych które reprezentują. Gdyby tą samą metodologię zastosować do obliczania wartości wskaźnika EIPICI to punkty o takiej samej wartości tego parametru znalazły by się **na sferze której promień wynosiłby właśnie wartość EIPICI**. Poszukiwanie i analiza mieszanek, dla których wartość tego promienia osiąga minimum lub jest niewiele od niego większa, znacznie ułatwi technologowi podjęcie decyzji o wyborze betonu najlepiej spełniającego wszystkie trzy kryteria.

Sugeruje się, aby doktorantka w dalszych swoich pracach skorzystała z tej podpowiedzi recenzenta, co jest szczególnie obiecujące w przypadku, gdy wszystkie obszary formułowania celu są tak samo ważne (wagi kryteriów EI, PI oraz CI są równe 1/3), a więc można skorzystać z wzoru:

$$EIPICI = \sqrt{(EI \cdot W_8)^2 + \left(\frac{1}{PI} \cdot W_9\right)^2 + (CI \cdot W_{10})^2}$$

W pracy doktorantka w większości omawianych przypadków przyjmowała właśnie takie założenie odnośnie współczynników wagowych występujących we wzorze (29).

5⁰

Jako oddzielne zadanie dysertacji doktorantka wymienia implementację komputerową opracowanego algorytmu do wielokryterialnego wspomaganie decyzji EIPICI. Z punktu widzenia możliwości wdrożeniowych zaproponowanej metody oceny alternatywnych rozwiązań technologicznych (kompozyty betonowe), utworzenie aplikacji EIPICI, umożliwiającej wybór najlepszej receptury mieszanki betonowej, jest zadaniem ze wszech miar pozytywnym. Tego rodzaju systemy decyzyjne wspomagające ekspertów wykorzystywane są w wielu dziedzinach wiedzy, m.in. w przemyśle, ekonomii, bankowości, medycynie, farmacji. Najczęściej są to systemy z bazą danych, umożliwiające przyrostowe rozbudowywanie wiedzy o badanym procesie w miarę napływania nowych alternatywnych rozwiązań. Doktorantka wybrała środowisko Java do budowy aplikacji, a stworzony kalkulator umożliwia wykonanie obliczeń zgodnie z zaplanowanym przez doktorantkę algorytmem EIPICI, jest więc oprogramowaniem dedykowanym i **na potrzeby doktoratu rozwiązaniem wystarczającym**.

Testując działanie kalkulatora za największy błąd interfejsu uznać należy brak możliwości łatwej poprawy wprowadzonych wcześniej danych. Na kolejnych ekranach wyświetlany jest jedynie klawisz "dalej", a brak jest dostępu do funkcji "wstecz". Również funkcja "usuń składnik" wymaga usuwania wszystkich wprowadzonych składników w kolejności odwrotnej do kolejności ich wprowadzania. Jeśli więc wprowadziliśmy np. 5 składników, a chcemy usunąć drugi składnik, to usunięte zostają składniki 2-5. Nie ma też możliwości zapisania na dysku danych wprowadzonych dla budowanego projektu. W momencie zamknięcia środowiska roboczego program do przyrostowego budowania projektów Java powinien zapisać swój wewnętrzny stan w pliku. Po ponownym otwarciu projektu, program odtwarza swój stan i kontynuuje budowanie projektu. Bez tych dwóch funkcji (możliwości właściwej poprawy wprowadzonych i utrwalenia przetworzonych danych) aplikacja nie może być uznana za "przyjazną dla użytkownika" i wdrożona u potencjalnych klientów. Jeśli doktorantka miała taki zamiar, to powinna nadać swojemu kalkulatorowi cechę "user friendly", co jest zgodne z jednym z celów pracy, którym wg słów doktorantki jest, cytuję (str.43) „łatwość w definiowaniu bazy wiedzy”.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Po dokładnym zapoznaniu się z treścią dysertacji, ważąc przedstawione do niej uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Wioletty Dobaczewskiej zatytułowana „Wielokryterialne wspomaganie decyzji EIPICI umożliwiające wybór zrównoważonej receptury mieszanki betonowej” spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – „Prawo o szkolnictwie

wyższym i nauce” z późniejszymi zmianami. Praca prezentuje i potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki do stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Autorka wystarczająco rozpoznała potrzebny jej obszar wiedzy oraz potwierdziła umiejętność analizy i wykorzystania dostępnych danych literaturowych. Wykazała się dobrą znajomością najważniejszych prac związanych z ideą zrównoważonego rozwoju w budownictwie, szczególnie w aspekcie produkcji betonu, a także ogólną wiedzą teoretyczną oraz praktyczną z zakresu stosowanych w dyscyplinie metod badań doświadczalnych i opracowania ich wyników. Potrafiła z danych eksperymentalnych wyciągnąć nową wiedzę za pomocą zbudowanej aplikacji pozwalającej na wspomaganie podjęcia decyzji podczas wyboru kompozytu najlepiej spełniającego wymagania technologa. Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a także wskazuje na predyspozycje Doktorantki do pracy naukowej i umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Nią badań. Do oryginalnych osiągnięć naukowych Pani mgr inż. Wioletty Dobaczewskiej można zaliczyć:

- Stworzenie obszernej bazy danych dotyczącej cech technicznych betonów o zróżnicowanym składzie, zawierających m.in. materiały odpadowe.
- Zaproponowanie i opracowanie autorskiej metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji wyboru mieszanki betonowej uwzględniającej kryteria: ekologiczne, techniczne i ekonomiczne. Ciekawym podejściem jest dwuetapowe obliczenie wskaźnika decyzyjnego EIPICI pozwalające na zmianę wag najpierw podczas obliczania wartości samych kryteriów: ekologicznego, technicznego i ekonomicznego, a następnie na obliczenie ostatecznej wartości tego wskaźnika jako sumy ważonej parametrów EI, PI i CI. Zadanie to jest skomplikowane szczególnie z tego względu, że istnieją możliwości automatycznego wyznaczenia wartości wag. W tym zakresie konieczne są dalsze badania nad skutecznością opracowanej metody.
- Implementację komputerową opracowanej metody EIPICI.

Na podstawie powyższych stwierdzeń wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Wioletty Dobaczewskiej do kolejnych etapów przewodu doktorskiego oraz do publicznej obrony.

Germandeta Dobaczewska

