

Recenzja rozprawy mgr Selmy Gütmen
pt. „Nowatorskie ramy podejmowania decyzji zapewniające
niezawodność zagregowanego problemu planowania produkcji”

1 Podstawa prawna i ocena spełnienia wymagań formalnych

Bezpośrednią podstawą prawną przygotowania recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej, dr hab. inż. Marcina Butlewskiego, prof. uczelni. Pismo to informuje o powołaniu mnie, na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Nauk o Zarządzaniu i Jakości Politechniki Poznańskiej, na recenzenta rozprawy Pani mgr Selmy Gütmen pt. „*A Novel Decision-Making Framework for Robust-Reliable Aggregate Production Planning Problem*”, przygotowanej pod opieką promotora dra hab. Gerharda-Wilhelma Webera, prof. uczelni oraz promotora pomocniczego prof. Erfana Babaee Tirkolaee. Postępowanie będzie przeprowadzone w dziedzinie nauki społeczne, dyscyplinie nauki o zarządzaniu i jakości.

Wymagania dotyczące rozpraw doktorskich, które stanowią podstawę niniejszej recenzji, zostały określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami, dalej: Ustawa). Zgodnie z art. 187 Ustawy, rozprawa doktorska musi spełniać określone kryteria formalne. W szczególności ust. 3 wskazuje, że rozprawa doktorska może przyjąć formę pracy pisemnej. Wraz z powiadomieniem o powołaniu mnie na recenzenta, otrzymałem wydrukowany maszynopis w języku angielskim, co potwierdza spełnienie tego wymogu. Ponadto, ust. 4 art. 187 wymaga, aby praca doktorska przygotowana w języku obcym zawierała streszczenie w języku polskim. Autorka zamieściła takie streszczenie na stronie 9 swojej dysertacji, spełniając również ten wymóg formalny. W związku z tym mogę stwierdzić, że Pani mgr inż. Selma Gütmen przygotowała rozprawę zgodnie z wymogami formalnymi określonymi w Ustawie, a dostarczona dokumentacja jest wystarczająca do sporządzenia recenzji.

Ustępy 1 i 2 artykułu 187 Ustawy wskazują również czym powinna charakteryzować się pod względem merytorycznym przedłożona praca pisemna, żeby można było uznać ją za rozprawę doktorską. Stosownie do tych zapisów, zasadniczym celem dalszych rozważań będzie odpowiedź na następujące pytania:

- Czy przedłożony maszynopis prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydatki w dyscyplinie nauki o zarządzaniu i jakości oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?
- Czy przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej.

Szczegółowa ocena przedłożonej rozprawy Pani mgr Selmy Gütmen znajduje się w kolejnych częściach tego opracowania.

2 Ocena trafności wyboru problemu badawczego, jego znaczenia i oryginalności

Doktorantka skupiła się na obszarze zagregowanego planowania produkcji (ang. *Aggregate Production Planning*, APP), a w szczególności na równowadze między optymalizacją kosztową, niezawodnością a dobrostanem siły roboczej w dynamicznym i złożonym środowisku produkcyjnym. Jest to odpowiedź na aktualne wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem i rosnącym znaczeniem czynników ludzkich w przemyśle. Wykorzystanie swoich rozważań w rzeczywistym środowisku produkcyjnym w sektorze motoryzacyjnym dodatkowo pokazuje jego znaczenie praktyczne.

Oryginalność rozprawy jest znaczna, głównie dzięki kompleksowej integracji czynników ludzkich (takich jak wskaźniki uczenia się, zmęczenie i niezawodność pracowników) z procesami optymalizacji APP. Innowacyjne jest również połączenie zaawansowanych podejść, w tym *wielozmiennej regresji adaptacyjnej z użyciem funkcji sklepanych* (ang. *Multivariate Adaptive Regression Splines*, MARS), *programowanie celowe ważone* (ang. *Weighted Goal Programming*, WGP), zbiorów rozmytych (ang. *fuzzy sets*) i *mieszanego całkowitoliczbowego programowania nieliniowego* (ang. *Mixed-Integer Non-Linear Programming*, MINLP), co tworzy nowatorskie ramy przeprowadzonych badań. Ponadto Autorka opracowała oryginalne, praktyczne narzędzia w postaci kwestionariuszy, ujmujących kryteria zorientowane na człowieka, które wkomponowane zostały w obszar planowania produkcji.

Na poziomie teoretycznym, rozprawa wypełnia lukę badawczą, łącząc cele operacyjne z kwestiami zorientowanymi na człowieka, co wzbogaca wiedzę w obszarze zrównoważonego planowania produkcji. Praktycznie, proponowane ramy decyzyjne oferują menedżerom narzędzia do poprawy wydajności operacyjnej i niezawodności pracowników, a analizy wrażliwości dostarczają cennych wskazówek w zarządzaniu niepewnością. Co więcej, skalowalność i adaptowalność modelu sprawiają, że może on znaleźć zastosowanie w wielu sektorach przemysłu, torując drogę dla przyszłych postępów w integracji czynników ludzkich z zaawansowaną analityką.

Wybrany przez autorkę problem badawczy jest nie tylko aktualny i trafny, ale także wyróżnia się wysoką oryginalnością. Ponadto przedstawione modele i narzędzia oferują znaczące możliwości praktycznego zastosowania.

3 Ocena określenia celu, zadań i pytań badawczych

Pomiędzy problemem badawczym, pytaniami badawczymi, celami a hipotezami badawczymi istnieje logiczna i hierarchiczna zależność, która stanowi szkielet każdego naukowego badania. Struktura zależności zazwyczaj wygląda następująco: problem badawczy jest punktem wyjścia, obszarem do zbadania określonym dość szeroko, często nazywanym luką badawczą. Cele badawcze (ogólne, szczegółowe) precyzują, co dokładnie chcemy osiągnąć w ramach rozwiązania problemu. Pytania badawcze doprecyzowują cele, zamieniając je w konkretne zapytania, na które chcemy znaleźć odpowiedzi. Natomiast hipotezy badawcze to przewidywane odpowiedzi na pytania badawcze, które zazwyczaj weryfikuje się formalnie przez odpowiednie podejścia matematyczno-statystyczne w toku analizy konkretnych danych.

W ocenianej dysertacji pojęcia te są używane w sposób niekoniecznie spójny z opisaną wyżej strukturą znaczeniową. Przykładowo, wydaje się, że „*Research hypothesis*” i „*H0*” odnoszą się raczej do problemu badawczego a nie do hipotez rozumianych

w typowy sposób. Autorka przedstawiła ogólny problem badawczy jako hipotezę, choć niekoniecznie należy rozpatrywać to w kategoriach błędu, jednak nie jest to typowe dla prac doktorskich.

Pomimo tych formalnych i pojęciowych niedociągnięć zaprezentowane w dalszej części osiem pytań badawczych jest trafnie sformułowanych i dobrze dostosowanych do problemu badawczego i celów dysertacji.

4 Ocena opisu podstaw teoretycznych i przeglądu literatury

Część teoretyczna dysertacji, obejmująca podrozdziały 2.1 i 2.2, solidnie i kompleksowo przedstawia podstawowe pojęcia związane z tematyką badawczą Doktorantki. Następnie, w podrozdziałach 2.3 i 2.4, Pani mgr Selma Gütmen oferuje szczegółowy i wnikliwy przegląd literatury dotyczącej badań w obszarze APP. Na blisko dwudziestu stronach Autorka rzetelnie omawia kluczowe międzynarodowe trendy badawcze w tym kontekście. Koncentruje się na modelach matematycznych i metodach ich zastosowania (2.3) zwłaszcza na podejściach statystycznych i narzędziach opartych na sztucznej inteligencji, w tym uczeniu maszynowym (2.4).

Przegląd literatury historycznej został przeprowadzony gruntownie i świadczy o głębokiej znajomości tematu. Szczególnie cennym elementem jest przedstawienie kluczowych informacji o badaniach w zwartej formie tabelarycznej (Tabela 1). To rozwiązanie doskonale porządkuje i systematyzuje zgromadzoną literaturę, znacząco ułatwiając czytelnikowi orientację w omawianych zagadnieniach oraz wspierając zrozumienie kolejnych rozdziałów dysertacji.

Opis włączania czynników ludzkich do analizy APP jest również wartościowy i aktualny. Podkreślenie ewolucji od traktowania pracownika jako zmiennej numerycznej do uwzględniania zmęczenia, morale, elastyczności, innowacyjności oraz współpracy człowiek-maszyna (w kontekście Przemysłu 4.0 i Przemysłu 5.0) świadczy o nowoczesnym i holistycznym podejściu do zagadnienia.

Niemniej jednak, można zauważyć, że miejscami tekst wydaje się nieco fragmentaryczny, zwłaszcza w sekcjach historycznych, gdzie poszczególne akapity stanowią krótkie zbiory informacji. Warto byłoby popracować nad płynniejszymi przejściami między omawianymi koncepcjami i badaniami, co pozwoliłoby stworzyć bardziej spójną narrację. Chociaż przegląd jest obszerny, korzystne byłoby jaśniejsze zasygnalizowanie w sekcji wprowadzającej (2.1) lub na końcu części teoretycznej, w jaki sposób ta szeroka wiedza teoretyczna zostanie konkretnie wykorzystana do rozwiązania problemu badawczego niniejszej pracy. Co prawda, Doktorantka przedstawia krótki opis niszy badawczej, lecz jej rozwinięcie byłoby wskazane.

Ponadto, pomimo wysokiej oceny tej części pracy, Doktorantka mogłaby rozważyć wykorzystanie którejś z metodyk systematycznego przeglądu literatury, związanego z wybraną tematyką badawczą. Przykładowo zastosowanie powszechnie stosowanej metodyki PRISMA jeszcze lepiej uporządkowałoby i uwiarygodniło proces selekcji i analizy źródeł, zwiększając transparentność i replikowalność przeglądu.

Mimo zasygnalizowanych drobnych sugestii, ta część pracy stanowi mocny i solidny fundament dla dalszych rozważań Autorki.

5 Ocena zaproponowanych modeli i wykorzystania metod

Metodyka badawcza zastosowana w pracy jest dość złożona. W związku z tym, zaprezentowanie jej w formie spójnego diagramu pokazującego wszystkie kolejne kroki procesu badawczego, znacząco ułatwiłoby czytelnikowi zrozumienie całości. Istniejący Rysunek 8, pojawiający się dopiero w rozdziale 4.4, mógłby stanowić część takiego kompleksowego diagramu.

Sekcje metodologiczne pracy są solidne, szczegółowe i dobrze uargumentowane. Doktorantka demonstruje głębokie zrozumienie zarówno teoretycznych podstaw zastosowanych narzędzi (*Fuzzy Logic*, WGP, MARS, ...), jak i praktycznych aspektów ich implementacji, w tym wyzwań związanych z gromadzeniem danych w rzeczywistym środowisku przemysłowym.

Doktorantka klarownie definiuje problem APP, jako problem wielookresowy i wielokryterialny, uwzględniający aspekty zrównoważonego rozwoju i niezawodności. W podrozdziale 3.1.2. Autorka przedstawia metodę WGP, którą następnie wykorzysta do modelowania i rozwiązywania złożonego zagadnienia APP. Zgodnie z opisem, model jest wielokryterialny i dotyczy wielu produktów, a jego celem jest odzwierciedlenie warunków rzeczywistych.

WGP jest takim rozszerzeniem GP, które przypisuje wagi każdemu celowi różnicując ich znaczenie w kontekście wyznaczenia optymalnego rozwiązania. Idea minimalizacji całkowitego odchylenia od idealnych poziomów funkcji celu jest dobrze wyjaśniona. Wskazanie trzech głównych elementów GP (ograniczenia systemowe, ograniczenia celów, funkcja celu minimalizująca odchylenia) oraz dwóch zasad modelowania funkcji celu (zmienne odchylenia i czynniki priorytetowe) jest metodologicznie poprawne.

Definicje funkcji celu są precyzyjne i obejmują dwa kryteria. Pierwszy to minimalizacja całkowitych kosztów, obejmujących produkcję wewnętrzną, outsourcing, koszty siły roboczej, magazynowania, niedoborów oraz zatrudnienia/bezrobocia. Drugi cel odnosi się do minimalizacji absolutnej względnej różnicy między produkcją a popytem, co jest równoważne maksymalizacji niezawodności lub stabilności systemu APP, zgodnie z wymaganiami podejścia *just in time*.

Omówienie założeń modelu jest wyczerpujące i logiczne, obejmujące horyzont planowania, wiele produktów, zmienność popytu, pewność parametrów kosztowych, dopuszczalność niedoborów, możliwość nadgodzin i outsourcingu itd. Jasno zdefiniowano również niezawodność/stabilność systemu. Analiza funkcji celu i związanych z nimi ograniczeń (od (1) do (35)) jest bardzo szczegółowa, co świadczy o głębokim zrozumieniu problemu i dbałości o precyzję modelowania.

Doktorantka proponuje i stosuje oddolne zbieranie danych na potrzeby budowanego modelu WGP poprzez kwestionariusze matrycowe (MQ1 i MQ2). Jest to oryginalny i innowacyjny element pracy. Tworzenie kwestionariuszy opierało się na uznanych zasadach (stopniowe przechodzenie od ogółu do szczegółu, wyczerpanie tematu, wzbudzanie zainteresowania, jasne instrukcje, ...), a także na zasadach dobrej praktyki (prosty język, unikanie sugerowania odpowiedzi, brak zbyt osobistych pytań, ...). Uznanie konieczności kompromisów przy tworzeniu kwestionariuszy w złożonych warunkach zadania jest realistyczne i świadczy o dojrzałości Autorki. Ogólnie, proces tworzenia i stosowania kwestionariuszy jest opisany z dużą dbałością o szczegóły, co zwiększa wiarygodność zebranych danych.

Skutkiem kompleksowego i szczegółowego podejścia Autorki do gromadzenia danych za pomocą ankiet była duża liczba zmiennych. Wykorzystanie ich wszystkich w WGP byłoby technicznie kłopotliwe i utrudniałoby interpretację całego modelu. W celu ograniczenia liczby zmiennych, Autorka wykorzystwała podejście MARS. Sekcja poświęcona tej metodyce jest szczegółowa i technicznie poprawna. Autorka podkreśliła jej przydatność w wysoce wymiarowych przestrzeniach i zdolność do modelowania nieliniowych i wielowymiarowych funkcji. Kluczową zaletą MARS jest jej potencjał do oceny wkładu funkcji bazowych modelu, co pozwala na reprezentowanie addytywnych i interaktywnych efektów predyktorów. Odwołania do literatury potwierdzające te zalety są także odpowiednie.

Również na potrzeby WGP, Doktorantka rzetelnie omawia koncepcję logiki rozmytej jako matematycznej ramy do przetwarzania niepewnych informacji. Kluczowa idea reprezentowania niepewności za pomocą funkcji przynależności i zmiennych lingwistycznych, które przyjmują wartości między 0 a 1, jest jasno wyjaśniona. Zastosowanie logiki rozmytej w kontekście pracy jest ogólnie poprawnie uargumentowane. Doktorantka wskazuje, że takie podejście pozwala na modelowanie wahań parametrów problemu, co czyni rozwiązania bardziej niezawodnymi i odpornymi na zmienność parametrów niż modele deterministyczne. W pracy logika rozmyta jest wykorzystywana do zarządzania niepewnościami związanymi z popytem.

Przedstawione podejście jest kompleksowe i interdyscyplinarne, wykorzystuje i łączy modele matematyczne APP z czynnikami ludzkimi, niezawodnością i zrównoważonym rozwojem. Wykorzystanie kwestionariuszy matrycowych i oceny ważonej do zbierania danych jakościowych, ich konwersji na dane ilościowe, które stanowią wejście do modelu WGP, ma charakter w znacznym stopniu innowacyjny. Na uwagę zasługuje też utrzymany na wysokim poziomie rygor matematyczny wyrażający się precyzyjnym formułowaniem funkcji celów, ograniczeń pozwalających na zastosowanie zaawansowanych technik analitycznych i modelujących (MARS, WGP, ...).

Zasadność wykorzystania zaawansowanych technik jest ogólnie dobrze uargumentowana, a Doktorantka jest generalnie świadoma ograniczeń zastosowanych podejść, co świadczy o wiarygodności pracy. Całość stanowi mocny fundament dla przedstawionych wyników i wniosków dysertacji, świadcząc o wysokiej jakości naukowej opracowanych modeli i przeprowadzonych badań.

Pomimo jednoznacznie pozytywnej oceny dokonań autorki przedstawionych w zasadniczych częściach pracy doktorskiej można wskazać obszary, których poprawienie mogłoby podnieść ocenianą dysertację na jeszcze wyższy poziom jakości naukowej. Opis kilku takich kwestii znajduje się w kolejnych podrozdziałach.

5.1 Kwestionariusze macierzowe

Autorka wykorzystuje w badaniu kwestionariusze macierzowe (ang. „*Matrix Questionnaire*”), co stanowi dość nietypowe podejście w porównaniu do klasycznych kwestionariuszy. Brak szerszego uzasadnienia wyboru tej specyficznej metody jest zauważalny. Zazwyczaj w psychometrii stosuje się podejścia oparte na konstruktach i pytaniach ankietowych w skali Likerta (np. 1-7). W przypadku kwestionariusza macierzowego oczekiwałbym od Doktorantki szerszego uzasadnienia wyboru tej metody, popartego większą liczbą adekwatnych cytowań, zwłaszcza że powołuje się ona wyłącznie na jedną pracę.

Ponadto, w odniesieniu do kwestionariusza MQ1, sposób jego wypełniania jest niejasny. Przykładowo, w pytaniu „*Importance of Gender: Male Female*” nie jest oczywiste, czy oceny mają być dokonywane oddzielnie, czy też obie płcie oceniane są w jednej komórce. Równie niejasne jest zastosowanie skali 0-10 w kwestionariuszu MQ2 (str. 92).

Autorka wykorzystuje w pracy wariant z oceną ważoną. Jednak istnieje wiele metod wykorzystujących takie podejście, stąd uzasadnienie wyboru tego konkretnego byłoby wskazane. Osobiście uważam wykorzystanie kwestionariusza macierzowego za ciekawy pomysł, który zyskałby na wartości poprzez bardziej rozbudowane wyjaśnienie jego teoretycznych podstaw i zasadności zastosowania w przeprowadzonych badaniach.

5.2 Modelowanie MARS

Doktorantka zaznaczyła, że ze względu na liczbę i charakter zgromadzonych danych, wykorzystywany system wspierający zastosowanie MARS nie był w stanie automatycznie dobrać tzw. funkcji bazowych dla poszczególnych części składanej regresji, co wymusiło ich arbitralne ustalenie. Nasuwa się tutaj pytanie o uzasadnienie wyboru tych funkcji, a także o to, czy i w jaki sposób mogłoby to wpłynąć na uzyskane rezultaty. Wydaje się, że adekwatne symulacje w tym zakresie, a przynajmniej dogłębna dyskusja nad ich potencjalnym wpływem, znacząco zwiększyłyby jakość naukową prezentowanych rozwiązań.

W podejściu MARS stosuje się krokowe metody doboru zmiennych w celu uzyskania jak najlepszego dopasowania do danych przy jednoczesnym minimalizowaniu ryzyka przeuczenia modelu. Procedura ta pozwoliła Autorce skutecznie ograniczyć liczbę kilkudziesięciu zmiennych z ankiet do tych najważniejszych, które po dalszej weryfikacji i zagregowaniu, zostały wykorzystane w modelu. Podobne metody krokowego doboru odpowiednich zmiennych do modelu są dostępne w ramach klasycznej regresji wielu zmiennych, w licznych, szeroko dostępnych pakietach statystycznych. Interesujące byłoby porównanie wyników uzyskanych z wykorzystaniem MARS z tymi klasycznymi podejściami, co mogłoby dodatkowo wzmocnić wnioski.

5.3 Prezentacja wyników badań ankietowych

Wyniki badań ankietowych dla MQ1 i MQ2 mogłyby być znacznie lepiej przedstawione i opisane. Zazwyczaj standardem jest podanie szczegółowych danych demograficznych dotyczących badanych osób (wiek, płeć, stanowisko, zawód, doświadczenie zawodowe itp.) w postaci klasycznych parametrów statystyki opisowej (częstości, procenty, średnie, mediany, odchylenia standardowe itp.).

W części 3.2.1 (str. 55), w zdaniu: „*For each of the 5 criteria, gentle weighting factors have been assigned in advance for the orientation and orientation of the respondent ...*”, stwierdzenie „łagodne wagi/czynniki ważące” (ang. „*gentle weighting factors*”) jest niejasne, podobnie jak sposób ich wyznaczenia. Ponieważ takie wstępne przypisanie wartości może znacząco wpływać na wyniki badań ankietowych, podanie i uzasadnienie dokonanych wyborów byłoby tutaj wskazane.

5.4 Uzasadnienie parametrów i wag dla modelu WGP

W odniesieniu do modelu WGP określono dwie funkcje celu i zestaw ograniczeń przedstawionych w postaci formuł od (1) do (35). Na stronie 52 Autorka wspomina, że „*Here We_g , shows the positive weight representing the significance of the goals. It must be taken into account that these weights are assigned based on experience and experts' opinions and they should add up to 1.*” Jednak, nie wskazano w modelu, jakie wagi zostały ostatecznie przydzielone dla tych dwóch funkcji celu i dlaczego akurat takie. Z kodu źródłowego GAMS zamieszczonego w Załączniku C (str. 101) można domniemywać, że wagi w postaci parametrów $we1$ i $we2$ miały przypisane wartości 0,5. Ze względu na brak opisu i komentarzy w kodzie, nie ma pewności, czy wartości te odpowiadają oznaczeniom matematycznym (41) oznaczonym jako e_1 i e_2 .

W odniesieniu do równań (37) i (38) oraz parametru $\gamma \in [0,1]$ (stopień optyizmu decydenta, przypisana wartość 0,3) oraz parametru $\alpha \in [0,1]$ (stopień wykonalności ograniczenia, przypisana wartość 0,8), brak jest uzasadnienia dla wyboru tych konkretnych wartości. Wydaje się, że parametry te mogą istotnie wpływać na cały model. Zbadanie wrażliwości modelu na zmiany tych parametrów z pewnością byłoby bardzo interesujące i zwiększyłoby poziom naukowy pracy. Ponadto, w pracy to samo oznaczenie α jest również wykorzystane w modelowaniu MARS jako parametr do oceny braku dopasowania przy procedurze wstecznego doboru zmiennych do modelu. Unikanie ponownego używania identycznych symboli dla różnych zmiennych jest ważne dla zachowania precyzji naukowej i eliminuje potencjalne nieporozumienia dla czytelnika.

5.5 Zastosowanie logiki rozmytej w WGP

Na stronie 49 Autorka stwierdza, że logika rozmyta może być zastosowana do modelowania niepewności związanej z popytem, zdolnościami produkcyjnymi i czasami realizacji („*In this work, fuzzy logic can be employed in production planning (PP) to manage uncertainties related to demand, production capacity, and lead times ...*”). Jednakże w dalszej części pracy podejście rozmyte jest stosowane wyłącznie do modelowania niepewności w odniesieniu do popytu. Oczywiście logikę zbiorów rozmytych, można zastosować w przypadku znacznie większej liczby parametrów wykorzystywanych w zaproponowanym modelu, niż tylko dla tych wyróżnionych. Brak dokładniejszego wyjaśnienia, dlaczego Autorka zastosowała podejście rozmyte tylko do zapotrzebowania na produkt, podczas gdy analogiczne podejście można by wykorzystać do innych zmiennych modelu wymagałby szerszego komentarza.

W modelu zapotrzebowanie na produkt $n1$, $n2$, $n3$ w czasie $t1$, $t2$, $t3$, $t4$ było identyczne (3600, 4000, 4500) (*Table B9. Demand of product n in period t*). Wskazane byłoby tutaj wyjaśnienie, w jaki sposób uzyskano te wartości i jak ich wykorzystanie wpływa na ostateczne rezultaty. Wartości te wydają się mało realistyczne, a przy tak spójnych danych zalety wykorzystania liczb rozmytych nie są w pełni wykorzystane. Dodatkowo, ciekawe byłoby przeprowadzenie symulacji dla wartości funkcji uczestnictwa w postaci trójkątów o jakościowo różnych właściwościach (np. równoramienny, z maksimum bliżej lewego ograniczenia) lub charakteryzujących popyt o zróżnicowanej niepewności (np. małej, dużej, co przejawiałoby się różnymi podstawami trójkątów). Takie analizy mogłyby jeszcze bardziej wzbogacić przedstawioną pracę.

5.6 Analiza wrażliwości modelu WGP

Analiza wrażliwości została przeprowadzona jedynie dla parametrów R , TRC i m . Warto uzasadnić, dlaczego tylko te parametry zostały wzięte pod uwagę. Dodatkowo, ciekawe byłoby przeprowadzenie analizy wrażliwości również dla parametrów związanych z logiką rozmytą, w zależności np. od różnych kształtów funkcji przynależności, co pozwoliłoby na głębsze zrozumienie wpływu niepewności na wyniki modelu.

5.7 Weryfikacja i walidacja modeli

W pracy brakuje niestety szerszej dyskusji na temat różnych aspektów jakości przedstawionych modeli, pomimo że pewne komponenty walidacji są w niej obecne. Jak sama Doktorantka słusznie zauważa w abstrakcie, model WAG został częściowo zweryfikowany poprzez analizę wrażliwości na zmiany niektórych jego parametrów („*Sensitivity analyses further validate the robustness the proposed model...*”). Dodatkowo, zastosowanie przedstawionych modeli w konkretnej firmie również wnosi elementy oceny jakości zastosowanych rozwiązań w realnym kontekście. Trafność wszystkich przedstawionych modeli jest niewątpliwie zapewniona w znacznym stopniu poprzez szczegółową analizę adekwatnej literatury, która stanowi solidne podstawy teoretyczne.

Mimo tych pozytywnych aspektów, odczuwam znaczący niedosyt w kwestii pogłębionej analizy i dyskusji na temat samej jakości opracowanych modeli. Doktorantka mogłaby w bardziej uporządkowany sposób omówić konkretne kryteria walidacji, np. skuteczność, trafność, spójność, stabilność, generalizowalność czy efektywność obliczeniową. Oprócz analizy wrażliwości, szersze porównanie opracowanych modeli z już istniejącymi w literaturze byłoby ciekawe - tym bardziej, że Doktorantka odwołuje się do bardzo dobrych prac publikowanych w renomowanych periodykach. Sama walidacja mogłaby też objąć przeprowadzenie dodatkowych symulacji wyników dla różnych bogatszego zestawu scenariuszy.

Włączenie takiej pogłębionej dyskusji nie tylko podniosłoby naukową wartość pracy, ale również ułatwiłoby czytelnikowi pełne zrozumienie potencjału i ograniczeń proponowanych modeli, umieszczając je w szerszym kontekście metodologicznym.

Podsumowując, metody badawcze, podejścia i modele wykorzystane i opracowane w ocenianej dysertacji są złożone i wymagały od Doktorantki znacznej wiedzy z różnych obszarów. Zostały dobrze dobrane i odpowiednio zastosowane w kontekście przedstawionych pytań badawczych i celów rozprawy. Szczegółowe wyjaśnienia dotyczące niektórych wyborów metodologicznych, uzasadnienia wartości parametrów oraz bardziej rozbudowana analiza wrażliwości i prezentacja danych ankietowych znacząco podniosłyby jakość, czytelność i transparentność przedstawionych badań.

6 Ocena dyskusji i podsumowania

W końcowej części dysertacji, Autorka w sposób klarowny i uporządkowany przedstawia najważniejsze praktyczne implikacje oraz wnioski zarządcze płynące z przeprowadzonych badań. Wnioski te są jasno sformułowane i stanowią praktyczną mapę dla menedżerów, ilustrując aplikacyjną wartość pracy.

Doktorantka następnie szczegółowo opisała ograniczenia przedstawionych modeli i zastosowanych podejść. Sekcja ta prezentuje realistyczne i krytyczne podejście do ograniczeń własnego badania, co jest cechą dobrej pracy naukowej. Wśród omówionych ograniczeń wymieniono między innymi: dostępność i jakość danych, złożoność modelu matematycznego, uproszczone założenia oraz ograniczoną eksplorację współzależności między czynnikami ludzkimi a technicznymi.

Część dotycząca przyszłych kierunków badawczych jest bogata i inspirująca. Wskazuje na szeroki wachlarz możliwości rozwoju tej tematyki, obejmując potencjalne zastosowania w innych branżach, integrację z nowymi technologiami (IoT, cyfrowe bliźniaki, AI, ...), badanie nieliniowych i dynamicznych interakcji, ulepszone modelowanie niepewności popytu oraz szersze uwzględnienie czynników psychologicznych i społecznych pracowników. Aktualne jest również uwzględnienie aspektów zrównoważonego rozwoju środowiskowego i zasad gospodarki o obiegu zamkniętym.

W ramach podsumowania Autorka przedstawia też syntezę uzyskanych wyników. Doktorantka odniosła się wyczerpująco i metodycznie do wszystkich pytań badawczych zaprezentowanych na początku pracy. Na każde z ośmiu pytań badawczych (RQ1-RQ8), dostarcza zwięzłe odpowiedzi, które konkretnie odnoszą się do opracowanych modeli i wyników przeprowadzonych badań.

7 Ocena aspektów formalnych dysertacji

7.1 Ocena układu rozprawy

Dysertacja Pani mgr Selmy Gütmen liczy 173 strony maszynopisu i obejmuje klasyczne elementy, takie jak streszczenia, cztery zasadnicze rozdziały, bibliografię oraz załączniki.

Struktura pracy jest generalnie logiczna, choć wydaje się, że drobne modyfikacje mogłyby zwiększyć jej czytelność. Przykładowo, Rozdział 4, zatytułowany „*Methodology*”, zawiera również wyniki badań. Być może lepszym rozwiązaniem (zazwyczaj stosowanym w pracach naukowych) byłoby rozdzielenie opisu metodyki od prezentacji wyników badań. Również struktura samego rozdziału 4 mogłaby być bardziej przejrzysta – nie do końca zrozumiały jest zastosowany podział treści na „*Methodology*”, „*Research model*” i „*Research methodology*”.

Ponadto, w tak obszernej pracy doktorskiej zasadne byłoby rozdzielenie dyskusji od konkluzji i podsumowania, umieszczając je w oddzielnych rozdziałach. Załączniki natomiast warto byłoby umieścić po referencjach, co jest standardową praktyką wydawniczą.

7.2 Ocena poprawności redakcyjnej

Rozprawa doktorska została przygotowana poprawnie pod względem redakcyjnym. Doktorantka wykazała się znajomością zasad edytorskich, co jest widoczne m.in. w poprawnym opisie tabel i rysunków, konsekwentnym numerowaniu wzorów oraz adekwatnym odwoływaniu się do nich w tekście.

Mimo ogólnie dobrej oceny poprawności redakcyjnej, można zauważyć pewne niedociągnięcia. Na przykład, w niektórych miejscach występuje niepotrzebne podawanie zbyt wielu cyfr po przecinku. W większości przypadków, dokładność do dwóch, trzech miejsc znaczących byłaby wystarczająca. Dodatkowo, występują niespójności w formatowaniu literatury – niektóre pozycje, w odróżnieniu od większości, mają tytuły pisane wersalikami, np.

“Więcek-Janka, E. (2016). THE DIRECTION OF THE ALLOCATION OF PROFIT ASA DETERMINANT OF THE BUSINESS OF FAMILY RESPONSIBILITY (RESEARCH RESULTS), 75-93.”

W pracy brakuje cytowania dla *Figure 1* ze strony 12, który wydaje się być identyczny z Fig. 2 na stronie 3 artykułu.

Aydin, N. S., Erfan, ; Tirkolae, B., Aydin, N. S., & Tirkolae, E. B. (2022). A systematic review of aggregate production planning literature with an outlook for sustainability and circularity. Environment, Development and Sustainability 2022, 1–42.
<https://doi.org/10.1007/S10668-022-02304-8>

Załączniki E, F i G są obecnie dostępne jedynie w postaci linków do prywatnego dysku Google. Lepszym rozwiązaniem byłoby załączenie do pracy fizycznego nośnika (np. płyty CD/DVD/pendrive) z tymi danymi lub umieszczenie ich w darmowym, ogólnodostępnym serwisie z nadanym identyfikatorem DOI. Obecnie, aby pobrać te załączniki, Doktorantka musi każdorazowo nadawać czytelnikowi odpowiednie uprawnienia, co jest niepraktyczne i ogranicza dostęp.

7.3 Ocena języka i stylu

Język i styl pracy są generalnie poprawne i zrozumiałe, z marginalnymi niedociągnięciami, które w niewielkim stopniu wpływają na klarowność przekazu.

Miejscami zdania są za długie, co może negatywnie wpłynąć na ich klarowność. Przykładem jest pierwsze zdanie na stronie 57, które rozciąga się na pięć linii. Zbyt długie zdania mogą utrudniać szybkie przyswojenie informacji i wymagają od czytelnika większego wysiłku.

W pracy pojawiają się incydentalnie niekonsekwencje w użyciu skrótów. Przykładowo, ten sam skrót, np. „WGP”, jest używany kilkakrotnie w różnych kontekstach – raz jako skrót od „*Weighted Goal Programming*”, a później, na stronie 52, we wzorze (41), oznacza on ważoną funkcję celu. Podobnie jest z parametrem α .

Występują również miejscami nieprecyzyjne sformułowania, jak na stronie 19, gdzie wymieniono języki programowania "C, C++, ... Python, MATLAB, etc.". Stwierdzenie, że używa się C++, implikuje już użycie języka C, ponieważ C++ jest jego rozszerzeniem, głównie o możliwości programowania obiektowego. Wskazując na użycie samego C, sugerujemy rezygnację z programowania obiektowego. Jeśli Autorka chciała to podkreślić, warto byłoby precyzyjniej określić, do czego wykorzystano sam język C, a do czego C++. Dodatkowo, użycie „etc.” (*i tym podobne*) na końcu listy zawierającej języki programowania o znacznie różniących się charakterystykach (C i C++ to języki kompilowane, natomiast Python i środowisko MATLAB mają charakter interpretowalny) jest niejasne. Nasuwa się pytanie, czy „i tym podobne” odnosi się do języków kompilowanych, czy interpretowalnych, co wymagałoby doprecyzowania.

7.4 Ocena wykazu pozycji literaturowych

Doktorantka zaprezentowała kompleksowy przegląd literatury, opierając się na znacznej liczbie 200 publikacji. Wśród nich wyróżniają się liczne artykuły z renomowanych czasopism naukowych, monografie i materiały konferencyjne. Taki trafny dobór źródeł stanowi solidny fundament teoretyczny dla przedstawianych argumentów, świadcząc o dogłębnej znajomości tematyki badawczej oraz wysokim poziomie przygotowania merytorycznego Autorki.

Niemniej jednak, Doktorantka nie ustrzegła się pewnych niedociągnięć. Zbiory rozmyte zostały wprowadzone przez Zadeha, a nie Goguena, a więc cytowanie ze strony 48 (rozdział 3.1.1) nie odpowiada faktom, choć pewnie wynika ze zwykłego przeoczenia, lub jakiegoś technicznego błędu. Świadczyć o tym może fakt, że następująca pozycja w spisie literatury:

Goguen, J. A. (1973). LA Zadeh. *Fuzzy sets. Information and control*, vol. 8 (1965), 338–353. - Zadeh, L. A. (1971). *Similarity relations and fuzzy orderings*. *Information sciences*, vol. 3, 177–200. *The Journal of Symbolic Logic*, 38(4), 656–657.

wygląda na niepoprawne połączenie trzech różnych prac. Co istotne, praca pioniera zbiorów rozmytych,

Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy sets. Information and Control*. 8(3), 338–353.

została poprawnie zacytowana na stronie 23 (w sekcji dotyczącej „Fuzziness”) i pojawia się również pod koniec spisu literatury.

Dodatkowo, brakuje identyfikatorów DOI (ang. *Digital Object Identifier*) dla wielu cytowanych artykułów, nawet tych opublikowanych stosunkowo niedawno. Ich dodanie znacząco ułatwiłoby weryfikację źródeł przez czytelnika i jest standardową praktyką w publikacjach naukowych.

8 Podsumowanie oceny i konkluzja

Moja ogólna ocena pracy przygotowanej przez Panią mgr Selmę Gütmen jest jednoznacznie pozytywna. Tematyka tej rozprawy bez wątpienia mieści się w dyscyplinie naukowej nauk o zarządzaniu i jakości, ze szczególnym uwzględnieniem klasycznych badań operacyjnych.

Doktorantka poprawnie zidentyfikowała lukę badawczą i sformułowała pytania badawcze. Dzięki adekwatnemu i bogatemu przeglądowi publikacji, wyczerpującej dyskusji, a także opracowaniu modeli i ich zastosowaniu w praktyce, Autorka skutecznie odpowiedziała na postawione pytania badawcze.

Opracowane i zastosowane modele (MARS, WGP, ...), wraz z uwzględnieniem modelowania z wykorzystaniem zbiorów rozmytych, pomimo przedstawionych wcześniej uwag, stanowią wartościowy wkład w obszar badań operacyjnych i mają potencjał zastosowania w praktyce zarządzania produkcją w różnych branżach.

Mimo wskazanych wątpliwości, niedoskonałości czy błędów, recenzowana rozprawa doktorska pozostawiła na mnie pozytywne wrażenie i oceniam ją wysoko.

Na podstawie przeprowadzonej oceny stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr Selmy Gütmen spełnia wszystkie formalne wymagania zawarte w stosownych aktach prawnych niezbędne do nadania stopnia naukowego doktora. Doktorantka wykazała się głęboką znajomością tematu, umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz oryginalnością w podejściu do rozwiązania poruszanego problemu. W związku z powyższym, wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr Selmy Gütmen do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk społecznych, dyscyplinie nauki o zarządzaniu i jakości.

Rafał Michalski