



UNIWERSYTET SZCZECIŃSKI
INSTYTUT ZARZĄDZANIA

Krzysztof Matan

Dysertacja doktorska pt.

**Modelowanie wielokryterialne w ewaluacji narzędzi
do komponowania procesów biznesowych**

Promotor:

dr hab. Radosław Miśkiewicz, prof. US

Promotor pomocniczy:

dr Jakub Dowejko

Szczecin 2024

Spis treści

Wstęp.....	7
Cele rozprawy doktorskiej.....	12
Zakres rozprawy	14
Rozdział 1. Podstawy modelowania procesów biznesowych.....	16
Rozdział 1.1. Wprowadzenie pojęciowe do modelowania procesów biznesowych.....	16
Rozdział 1.1.1. Istota modelowania procesów biznesowych	18
Rozdział 1.2. Rola procesów biznesowych w zarządzaniu przedsiębiorstwem	22
Rozdział 1.3. Etapy w modelowaniu procesów biznesowych.....	26
Rozdział 1.4. Informatyczne systemy zarządzania wykorzystujące modelowanie procesów biznesowych	28
Rozdział 2. Uogólnienie doświadczeń metodycznych i praktycznych w zakresie modelowania procesów biznesowych.....	30
Rozdział 2.1. Podstawowe notacje wykorzystane w modelowaniu procesów biznesowych	31
Rozdział 2.2. Metody modelowania procesów biznesowych.....	37
Rozdział 2.2.1. Istniejące metody zaadaptowane dla potrzeb modelowania procesów biznesowych.....	37
2.2.1.1. Metoda Agile.....	38
2.2.1.2. Metoda BPR	39
2.2.1.3. Metoda ITIL	40
2.2.1.4. Metoda TQM.....	41
2.2.1.5. Metoda Lean Management	41
2.2.1.6. Metody Top down i Bottom up	42
Rozdział 2.2.2. Dedykowane metody modelowania procesów biznesowych	42
2.2.2.1. Metoda BPMN (Business Process Modeling Notation)	42
2.2.2.2. Metoda UML (Unified Modeling Language).....	45
2.2.2.3. Metoda EPC (Event-driven Process Chain)	46
2.2.2.4. Metoda IDEF (Integration DEFinition).....	48
Rozdział 2.3. Techniki modelowania procesów biznesowych	51
2.3.1. Wykres przepływu – Flow chart	52
2.3.2. Sieci Petriego (Petri net).....	54
2.3.3. Diagram przepływu danych (DFD – data flow diagram)	55
2.3.4. Diagram aktywności ról (Role activity diagram - RAD)	56
2.3.5. Przypadki użycia w biznesie (Business Use Cases - BUC).....	58
2.3.6. Diagram interakcji obiektów biznesowych (Business Object Interaction Diagram).....	59
Rozdział 2.4. Analiza dostępnych technik i narzędzi informatycznych wspomagających modelowanie procesów biznesowych	63

Rozdział 2.4.1. Standaryzowane notacje wykorzystywane w narzędziach do modelowania procesów biznesowych	65
Rozdział 2.4.1.1. Podejście rysunkowe, czyli proste schematy	66
2.4.1.2. Podejście symulacyjne czyli symulacja i dokładne modelowanie przepływu czynności.....	66
2.4.1.3. Podejście analityczno-holistyczne – modelowanie wszystkich możliwych perspektyw.....	66
2.4.1.4. Podejście inżynierskie – modelowanie tego co pomaga w tworzeniu oprogramowania	67
2.4.1.5. Podejście standaryzowane – notacja BPMN ukierunkowana na tworzenie systemów zarządzania przepływem procesu	67
Rozdział 2.4.2. Analiza dostępnych narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych	72
Rozdział 2.4.2.1. Bizagi Modeler i Bizagi Studio (Bizagi)	72
Rozdział 2.4.2.2. Adonis (BOC GmbH).....	75
Rozdział 2.4.2.3. Bonita Studio (BonitaSoft).....	78
Rozdział 2.4.2.4. Visual Paradigm (Visual Paradigm).....	81
Rozdział 2.4.2.5. Lucidchart (Lucid Software Inc.)	84
Rozdział 2.4.2.6. Aris express	86
Rozdział 2.4.2.7. Gliffy	89
Rozdział 2.4.2.8. Microsoft Visio (Microsoft)	91
Rozdział 2.4.2.9. iGrafx Process (Corel Corporation)	94
Rozdział 2.4.2.10. diagrams.net (dawniej draw.io).....	96
Rozdział 2.4.2.11. Enterprise Architect Suite	97
Rozdział 2.4.2.12. Enterprise Dynamics	98
Rozdział 2.4.2.13. Accuprocess Modeller.....	100
Rozdział 2.4.2.14. System Architect (Popkin)	102
Rozdział 2.4.2.15. Corporate Modeler (Casewise).....	104
Rozdział 2.4.2.16. WizdomWorks! (Wizdom Systems)	104
Rozdział 2.4.2.17. IBM WebSphere Business Integration Modeler (IBM)	105
Rozdział 2.4.2.18. EnterprisePro (ProVision)	105
Rozdział 2.4.2.19. ProActivity (ProActivity).....	107
Rozdział 3. Analiza porównawcza narzędzi do modelowania procesów biznesowych	110
3.1. Benchmarking narzędzi modelowania procesów biznesowych w studiach literaturowych	111
Rozdział 3.2. Analiza porównawcza metod i technik modelowania procesów biznesowych	116
Rozdział 3.2.1. Kryteria oceny narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych	116
Rozdział 3.2.2. Autorska taksonomia oceny technik modelowania procesów biznesowych.....	134
Rozdział 4. Podstawy metodyczne autorskiego wielokryterialnego modelu oceny technik modelowania procesów biznesowych	140

Rozdział 4.1. Uzasadnienie wyboru metod wielokryterialnych w procesie budowy modeli oceny technik modelowania procesów biznesowych.....	144
Rozdział 4.2. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution).....	147
Rozdział 4.3. VIKOR (VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje).....	149
Rozdział 4.4. AHP (Analytic Hierarchy Process).....	151
Rozdział 4.5. SPOTIS (Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution).....	154
Rozdział 4.6. Metoda wag równych.....	156
Rozdział 4.7. Metoda wyznaczania wag kryteriów techniką entropii.....	156
Rozdział 4.8. Metoda wyznaczania wag kryteriów CRITIC.....	157
Rozdział 4.9. Współczynnik korelacji Pearsona.....	158
Rozdział 5. Badania z wykorzystaniem autorskiego wielokryterialnego modelu oceny technik modelowania procesów biznesowych.....	159
Rozdział 5.1. Badanie obejmujące analizę porównawczą dla równych wag kryteriów.....	159
Rozdział 5.2. Badanie dla wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii.....	164
Rozdział 5.3. Badanie dla wag kryteriów wyznaczonych metodą CRITIC.....	168
Rozdział 5.4. Analiza zbieżności rankingów dostarczonych przez poszczególne metody ważenia kryteriów.....	172
Rozdział 5.5. Analiza zbieżności rankingów dostarczonych przez poszczególne metody MCDA.....	177
Rozdział 5.6. Analiza wrażliwości.....	179
Rozdział 5.7. Dyskusja.....	191
Zakończenie.....	195
Bibliografia.....	197
Załącznik A. Wyniki pośrednie obliczeń.....	235
Rozdział A.1. Obliczenia dla równych wag kryteriów dla metod MCDA: TOPSIS, VIKOR, AHP i SPOTIS.....	235
Rozdział A.1.1. TOPSIS.....	235
Rozdział A.1.2. VIKOR.....	237
Rozdział A.1.3. AHP.....	239
Rozdział A.1.4. SPOTIS.....	240
Rozdział A.2. Obliczenia dla wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii dla metod MCDA: TOPSIS, VIKOR, AHP i SPOTIS.....	241
Rozdział A.2.1. TOPSIS.....	241
Rozdział A.2.2. VIKOR.....	243
Rozdział A.2.3. AHP.....	244
Rozdział A.2.4. SPOTIS.....	245
Rozdział A.3. Obliczenia dla wag kryteriów wyznaczonych metodą CRITIC dla metod MCDA: TOPSIS, VIKOR, AHP i SPOTIS.....	246
Rozdział A.3.1. TOPSIS.....	246

Rozdział 1.3.2. VIKOR	247
Rozdział A.3.3. AHP	249
Rozdział A.3.4. SPOTIS.....	249

OŚWIADCZENIE 1

Oświadczam, że przedkładaną rozprawę doktorską napisałem samodzielnie. Oznacza to, że przy pisaniu rozprawy pt. „Modelowanie wielokryterialne w ewaluacji narzędzi do komponowania procesów biznesowych” poza niezbędnymi konsultacjami, nie korzystałem z pomocy innych osób, a w szczególności nie zlecałem opracowania rozprawy lub jej części innym osobom, ani nie odpisywałem rozprawy lub jej części od innych osób. Jednocześnie przyjmuję do wiadomości, że gdyby powyższe oświadczenie okazało się nieprawdziwe, uchwała o nadaniu mi stopnia doktora zostanie cofnięta.

....., dnia

miejsowość

.....

podpis

Abstract

Keywords: multi-criteria modeling; business process tools; composing business processes

Abstract

This doctoral thesis focuses on the problem of evaluating techniques and tools used in business process modeling. This is an important issue, widely discussed by researchers in the relevant literature. The multiplicity and diversity of business process modeling techniques and tools, their various functionality, and their methodological basis justify the need to develop their appropriate taxonomy and objectify the process of their evaluation and selection. For this purpose, the author attempted to develop a formal model that, in addition to its scientific value, would have significant utilitarian value - allowing decision-makers to systematize their domain knowledge of business process modeling techniques and tools, as well as to support and objectify the process of selecting the indicated techniques and tools.

On the methodological level, the aim of the work was to develop a multi-criteria model to support the evaluation and selection of techniques and tools used in business process modeling. It required the author to systematize the domain knowledge for the area of business process modeling methods and techniques and to structure this knowledge in the form of a taxonomy. The developed knowledge model powered the author's multi-criteria evaluation model and the selection of business process modeling methods and techniques. The dissertation additionally demonstrated that additional benefits of the developed model are both its potential for benchmarking the evaluated set of solutions and its potential for sensitivity analysis. From a methodological point of view, the model was constructed taking into account reference evaluation criteria for business process modeling tools and techniques, which were defined based on a review of the relevant scientific literature. The model developed is based on four multi-criteria decision analysis (MCDA) methods: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR), Analytic Hierarchy Process (AHP) and Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution (SPOTIS). The significance values of the criteria proposed in the model are determined using three criteria weighting methods: equal, entropy, and CRITIC weights. The results of the evaluation performed by the proposed model are the rankings of alternatives built individually by each method. A detailed comparative analysis of the results was conducted to assess the methodological correctness and accuracy of the results obtained using each multi-criteria method and weighting technique. The results demonstrate slight differences in the rankings generated by each method, which is justified by the different algorithms of each method. However, the research has shown that particularly favorable alternatives remain

at the top of the rankings of most of the methods used, which, from a methodological point of view, confirms the robust position of these alternatives and, in practical terms, shows the leading solutions in the market.

The thesis presented here opens up several new research directions, among which the creation of compromise rankings based on the rankings obtained by the various multi-criteria methods are undoubtedly interesting, as well as the deepening of research in the field of modeling the decision-makers' preferences in the process of building evaluation models. Undoubtedly, an important practical aspect of future work is to follow and track available scientific and practical solutions and, based on them, update the author's taxonomy of business process modeling methods and techniques.

Wstęp

Uzasadnienie wyboru tematu

Teoria i praktyka zarządzania od zawsze poświęca dużo miejsca poszukiwaniu mechanizmów skutecznego zarządzania przedsiębiorstwem. W obecnym dynamicznym i konkurencyjnym środowisku biznesowym skuteczne zarządzanie przedsiębiorstwem jest kluczowym czynnikiem sukcesu (Erasmus i in., 2020). W tym kontekście nowe metody, narzędzia i techniki wspomagające zarządzanie odgrywają rolę fundamentalną, stanowiąc podstawę zarówno funkcjonowania jak i doskonalenia organizacji. Wiele lat badań wykształciło szereg dedykowanych podejść wspomagających menadżerów w odmiennych obszarach funkcjonalnych przedsiębiorstw. Przytoczyć tutaj można także popularne metody, techniki i narzędzia wykorzystywane na różnych poziomach zarządzania, a dotyczące przykładowo: zarządzania projektami, zarządzania jakością, zarządzania zasobami ludzkimi, zarządzania finansami przedsiębiorstwa czy zarządzania marketingiem. Praktycy zarządzania jak i relewantna naukowa literatura światowa ostatnio poświęca szczególnie dużo miejsca obszarom zarządzania innowacjami, zarządzania wiedzą w organizacji, zrównoważonego zarządzania, zarządzania zielonym czy zrównoważonym łańcuchem dostaw jak też modelowaniu i zarządzaniu procesami biznesowymi.

Ostatni ze wskazanych obszarów - modelowanie procesów biznesowych - pełni rolę szczególną. Rozwój technologii informatycznej spowodował, że studia teoretyczne przeniesiono na grunt szeregu rozwiązań praktycznych, dając decydującym gotowe narzędzia do efektywnego zarządzania procesami biznesowymi w przedsiębiorstwie. Warto tutaj zaznaczyć, że stosując najbardziej podstawowy podział w przedsiębiorstwie wyodrębnić można dwa podsystemy: podsystem zarządzania i podsystem produkcji. W przypadku podsystemu produkcji literatura przedmiotu oraz rynek i praktycy dostarczają od lat szeregu metod i narzędzi wspomagających efektywne zarządzanie (Jaskó i in., 2020; Y. Zhang i in., 2022). Nie bez znaczenia pozostają wsparcie technologiczne i szerzej, inżynierskie podsystemu produkcji oraz rozwijane od lat 70-tych ubiegłego wieku zintegrowane systemy informatyczne zarządzania produkcją klasy MRP (ang. Material/Manufacturing Resource Planning) (Chofreh i in., 2020; Ferrari i in., 2021). W przypadku podsystemu zarządzania wraz z rozwojem wsparcia informatycznego i wyjścia narzędzi informatycznych poza proste dziedzinowe systemy ewidencyjne (typu ewidencja księgową, sprzedaż /zakup czy kadry / płace) dostrzeżono również możliwość przeniesienia na grunt praktyczny i szerszego wykorzystania teoretycznych rozwiązań modelowych (Ahmadini i in., 2021; Kohtamäki i in., 2022). Do

niedawna formalne metody naukowe jak przykładowo sieci Petriego, modele optymalizacji stanowiły domenę naukowców. Dzisiaj są niedołączaną częścią zarówno specjalistycznych metod modelowania procesów biznesowych jak i dedykowanych dla praktyków technik i zintegrowanych narzędzi informatycznych (Bag i in., 2020; Fischer i in., 2020). Powoduje to naturalną potrzebę pogłębionej analizy tego obszaru nauki i praktyki, jak też wypracowania naukowej oceny aktualnego stanu wiedzy w tym obszarze.

Ważność problematyki modelowania procesów biznesowych porusza literatura przedmiotu (Erasmus i in., 2020; Reijers, 2021). Naukowcy dostrzegli, że prawidłowo zidentyfikowane i zamodelowane procesy biznesowe są w stanie znacząco wpływać na redukcję kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa (Bag i in., 2020; Sohns i in., 2023). W opracowaniach (Kir & Erdogan, 2021) oraz (Lamine i in., 2020) wskazuje się na znaczącą poprawę efektywności funkcjonowania systemu informacyjnego organizacji jako rezultat wykorzystania metod i technik modelowania procesów biznesowych. Dodatkowo, identyfikacja modeli procesów biznesowych przedsiębiorstwa minimalizuje ryzyko niepowodzenia wdrożenia zintegrowanych systemów informatycznych zarządzania przedsiębiorstwa (Brillinger i in., 2020) oraz jest ważnym elementem polityki zarządzania jakością organizacji (Barros i in., 2021). Modelowanie procesów biznesowych znacząco wspiera wprowadzenie w przedsiębiorstwie nowoczesnych narzędzi zarządzania np. system zarządzania relacjami z klientami (ang. Customer Relationship Management - CRM) czy nowoczesne modele kosztów jak rachunek kosztów działań (ang. Activity Based Costing) (Fischer i in., 2020; González Moyano i in., 2022; Lamine i in., 2020).

Należy jednak zaznaczyć, że wskazane rezultaty modelowania procesów biznesowych w przedsiębiorstwie są wynikiem wykorzystania odpowiednich dla organizacji metod i technik modelowania (Reijers, 2021). Dodatkowo, samo modelowanie procesów biznesowych jest wieloetapową czynnością i obejmuje: identyfikację procesów biznesowych (i ich składowych organizacyjnych i funkcjonalnych) oraz ich przebudowę i optymalizację (M. Camargo i in., 2020). Można zauważyć, że uzyskanie pożądaných efektów modelowania procesów biznesowych w przedsiębiorstwie jest warunkowe, a wśród czynników kluczowych wskazuje się przede wszystkim poprawność wykorzystanych metod i technik modelowania (Beerepoot i in., 2023; Kir & Erdogan, 2021; Tomaskova i in., 2023). W tym aspekcie odpowiedni wybór narzędzia modelowania procesów biznesowych pełni dla przedsiębiorstwa rolę kluczową (Erasmus i in., 2020; Fischer i in., 2020; Lamine i in., 2020). Należy zaznaczyć, że odpowiednia identyfikacja narzędzia i metod modelowania procesów biznesowych to czynność złożona,

wymagająca szczegółowej analizy i oceny poszczególnych rozwiązań (González Moyano i in., 2022; Guizani & Ghannouchi, 2021). Potwierdza to relewantna literatura naukowa (Pecchia i in., 2020; Pufahl i in., 2022; Sola i in., 2022), gdzie autorzy wskazują na negatywne konsekwencje wykorzystania nieodpowiednich dla przedsiębiorstwa narzędzi modelowania procesów biznesowych (Battilani i in., 2022; Padró & Carmona, 2022).

Powyższe argumenty skierowały dociekania autora pracy na obszar identyfikacji dostępnych metod i technik modelowania procesów biznesowych, ich szczegółową analizę oraz próbę budowy autorskiego modelu oceny tych rozwiązań.

Cele rozprawy doktorskiej

Autor rozpoznał i postanowił eksplorować następujące **luki badawcze** w omawianej dziedzinie:

1. Heterogeniczny charakter wiedzy na temat dostępnych metod i technik modelowania procesów biznesowych ograniczający teoretyczną i praktyczną możliwość eksploracji tego obszaru.
2. Widoczny brak zobiektywizowanej, szczegółowej analizy porównawczej istniejących metod i technik modelowania procesów biznesowych.
3. W związku z poprzednią luką, brak szczegółowej taksonomii metod i technik modelowania procesów biznesowych.
4. Brak strukturalizacji wiedzy dla obszaru metod i technik modelowania procesów biznesowych.
5. Pomimo wskazań w literaturze przedmiotu co do potrzeby poprawnego doboru metod i technik modelowania procesów biznesowych w organizacji – brak zarówno jednoznacznych wytycznych jak i modeli kompleksowych wspomaganie decyzji w zakresie doboru czy oceny metod i technik modelowania procesów biznesowych.
6. Niezależnie od podnoszonej konieczności poprawnego doboru metod i narzędzi modelowania procesów biznesowych, bardzo ograniczone studia literaturowe w zakresie budowy modeli wielokryterialnych oceny metod i technik modelowania procesów biznesowych.

Wskazane luki badawcze stanowiły podstawę do zdefiniowania zarówno celu jak też zakresu rozprawy doktorskiej. **Celem rozprawy** było opracowanie autorskiego modelu oceny narzędzi modelowania procesów biznesowych, wykorzystującego metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji. W celu obiektywizacji wyników modelowania w pracy wykorzystano

szereg komplementarnych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, w szczególności metody TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), AHP (Analytical Hierarchy Process) i SPOTIS (Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution). Do określenia wag kryteriów wykorzystano dwie metody wyznaczania wag obiektywnych: metody entropii i CRITIC (Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation) (Tuş & Aytac Adalı, 2019b). Ostateczne wyniki modelowania zostały porównane przy pomocy analizy statystycznej.

Aby osiągnąć tak zdefiniowany cel wprowadzono następujący **zbiór celów pośrednich**:

1. Oparta na studiach literaturowych identyfikacja dostępnych metod, technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych.
2. Analiza aktualnego stanu wiedzy w zakresie analiz porównawczych metod, technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych.
3. Budowa autorskiej taksonomii metod i technik modelowania procesów biznesowych.
4. Wykorzystując autorską taksonomię – budowa autorskiego wielokryterialnego modelu oceny narzędzi modelowania procesów biznesowych.
5. Obiektywizacja wyników modelowania poprzez wykorzystanie zestawu komplementarnych metod wielokryterialnych.

Tak zdefiniowane cele dysertacji zawierają zarówno elementy **teoriopoznawcze** (analiza i ocena istniejących metod technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych; analiza dostępnych podejść do oceny metod technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych; analiza obszaru metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji) jak i **metodologiczne** (identyfikacja składowych modelu oceny technik modelowania procesów biznesowych; opracowanie kompleksowego wielokryterialnego modelu oceny technik modelowania procesów biznesowych jak i jego weryfikacja i analiza statystyczna dokładności rezultatów uzyskanych z użyciem odmiennych metod wielokryterialnych). Praca zawiera również elementy **użytkitarne** z których najważniejsze to: dostępna dla praktyków kompletna autorska taksonomia dostępnych narzędzi modelowania procesów biznesowych oraz autorski wielokryterialny model oceny technik modelowania procesów biznesowych, który może być wykorzystany przez praktyków zarówno jako wzorcowe rozwiązanie jak też spersonalizowane zgodnie z systemem preferencji decydenta.

Tak sformułowane problem badawczy oraz cel rozprawy stanowiły punkt wyjścia do sformułowania hipotezy badawczej.

W pracy weryfikuje się hipotezę, że celowe jest opracowanie autorskiego, wielokryterialnego modelu oceny narzędzi modelowania procesów biznesowych.

Metodykę pracy podporządkowano analizie systemowej. Procedura analizy systemowej według Koźmińskiego (Koźmiński, 1979) polega na realizacji następujących etapów procesu badawczego: sformułowanie problemu badawczego, badania, modelowanie, interpretacja wyników. Cele analizy systemowej to badanie proponowanego rozwiązania i jego zachowania się, jego optymalizacja i podjęcie decyzji praktycznej. Czynności te realizowane są iteracyjnie iteracyjne, przy czym synteza jest tu elementem innowacyjnym dającym nam rozwiązanie danego problemu, natomiast analiza jest procesem weryfikującym stan badań i rozwiązań.

Zakres rozprawy

Pracę rozpoczyna wstęp zawierający wprowadzenie do problematyki rozprawy, identyfikacja luki badawczej oraz celu rozprawy. Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do tematyki modelowania procesów biznesowych. Przybliżono w nim istotę modelowania procesów biznesowych oraz ukazano obszary wykorzystania modelowania procesów biznesowych w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Rozdział 2 obejmuje studia literaturowe w zakresie metod, technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych. systematyzujące szczegółowo podstawowe pojęcia z zakresu modelowania procesów biznesowych. W rozdziale tym scharakteryzowano dostępne notacje opisu procesów biznesowych oraz dokonano analizy metod i technik, notacji i narzędzi modelowania procesów biznesowych. Rozdział 3 zawiera uogólnienie doświadczeń metodycznych i praktycznych w zakresie analizy porównawczej narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Rozdział ten kończy identyfikacja kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych oraz ich autorska taksonomia. W Rozdziale 4 przedstawiono podstawy, założenia oraz postać formalną metod wielokryterialnego wspomagania decyzji. W rozdziale tym dokonano justyfikacji zastosowanego aparatu badawczego, w szczególności wykorzystanych metod analizy decyzyjnej (MCDA): TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), AHP (Analytical Hierarchy Process) i SPOTIS (Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution). Przedstawiono również wykorzystane metody wag obiektywnych: metody entropii i CRITIC (Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation) (Tuş & Aytaç Adalı, 2019a). Rozdział 5 jest poświęcony części praktycznej pracy i zawiera szczegółową postać opracowanego autorskiego modelu. W rozdziale tym przedstawiono wyniki badań z użyciem opracowanego modelu oraz wyniki przeprowadzonej analizy porównawczej i rankingi narzędzi modelowania procesów

biznesowych. Dodatkowe możliwości autorskiego modelu ukazano poprzez poszerzone studia analizy wrażliwości rozwiązań. Dodatkowo, wyniki pośrednie przeprowadzonych obliczeń zamieszczono w Załączniku A. Uzyskane wyniki potwierdziły wiarygodność skonstruowanego modelu. Wykazano również komplementarność otrzymanych wyników dla wszystkich wyselekcjonowanych metod wielokryterialnych. Rozdział kończy dyskusja dotycząca zarówno najlepszego zidentyfikowanego rozwiązania jak też różnic występujących w wynikach dostarczonych przez poszczególne metody wykorzystane w modelu. Pracę kończy Zakończenie zawierające potwierdzenie osiągnięcia celu pracy oraz wynik weryfikacji hipotezy badawczej. Zaprezentowano wnioski z przeprowadzonych badań jak ukazano kierunki dalszych prac badawczych.

Rozdział 1. Podstawy modelowania procesów biznesowych

Rozdział 1.1. Wprowadzenie pojęciowe do modelowania procesów biznesowych

Modelowanie procesów biznesowych obejmuje procesy analizowania, projektowania i opisywania różnych etapów oraz działań, które występują w organizacji w celu osiągnięcia określonych celów biznesowych. Jak podaje Moyano i in., dziedzina ta jest związana z tworzeniem graficznych lub opisowych reprezentacji procesów, które ilustrują ich strukturę, sekwencję działań, zasoby i interakcje między nimi (González Moyano i in., 2022). Według Reijers zagadnienia mieszczące się w zakresie modelowania procesów biznesowych mają na celu zrozumienie, optymalizację i usprawnienie procesów w organizacji (Reijers, 2021). Jak w swojej pracy wskazuje Aguilar-Savén, realizacja tych aspektów pozwala na identyfikację problemów, nieefektywności i obszarów wymagających poprawy, a także umożliwia zaprojektowanie nowych procesów lub zmodyfikowanie istniejących w celu zwiększenia wydajności, obniżenia kosztów, podniesienia jakości usług lub zwiększenia zadowolenia klientów (Aguilar-Savén, 2004).

Zgodnie z definicją podaną przez Zuhaira i Ahmad, dziedzina modelowania procesów biznesowych stanowi holistyczne podejście do zarządzania przedsiębiorstwem (Zuhaira & Ahmad, 2021). Moyano i in. podają, że metodologie, techniki lub narzędzia, działają poprzez projektowanie, zatwierdzanie, kontrolę, jak również analizę procesów biznesowych obejmujących organizację, ludzi, aplikacje, dokumenty i inne źródła informacji (González Moyano i in., 2022). Jest to ciągły, ustrukturyzowany, analityczny i wielosektorowy proces przedstawiający kilka krytycznych czynników, uwzględniający kilka metod umożliwiających przedsiębiorstwom wysoką orientację na procesy biznesowe. Procesy biznesowe scalają organizację, co umożliwia harmonizację zasobów takich jak procesy, ludzie i systemy. Według Becker i in. modelowanie procesów biznesowych opiera się na zaprojektowaniu modelu, który spełnia zestaw kryteriów jakościowych (Becker i in., 2000).

Erasmus i in. wyjaśniają w swojej pracy, że procedury wchodzące w skład modelowania procesów biznesowych polegają na dokumentowaniu procesów biznesowych z wykorzystaniem połączenia tekstu i notacji graficznej (Erasmus i in., 2020). Bandara i in. wyjaśniają, że aby z sukcesem modelować procesy biznesowe w organizacji niezbędne jest

zaangażowanie dużej liczby pracowników z uwzględnieniem menedżerów, pracowników szeregowych, zewnętrznych konsultantów (Bandara i in., 2005). Z tego powodu ważne jest by wszyscy korzystali z tych samych zrozumiałych technik służących do modelowania procesów. Farshidi i in. informują w swojej pracy, że w przypadku celu i zakresu modelowania kluczowa jest selekcja notacji umożliwiającej opis wymaganych elementów określających proces na poszczególnych poziomach szczegółowości (Farshidi i in., 2023). Zgodnie z definicją Erasmus i in. notacja obejmuje symbole graficzne i powiązane z nimi reguły semantyczne, które rozumieją wszystkie osoby zaangażowane w procedury modelowania procesów (Erasmus i in., 2020). Praktyczny wymiar jakości modelu jest wyrażany poprzez jego zrozumiałość i łatwość interpretacji przez użytkowników. Jak podaje Gabryelczyk i in., określa to dopasowanie modelu do potrzeb jego odbiorców i możliwości uzyskania oczekiwanego efektu modelowania (Gabryelczyk i in., 2016).

Według Fischer i in. podejście do zarządzania procesami biznesowymi (BPM) z wykorzystaniem zestawu zorganizowanych działań zapewnia dużą kontrolę, elastyczność i możliwość dostosowania procesów do strategii organizacji (Fischer i in., 2020). Jednym z działań zapewniających to jest modelowanie procesów biznesowych, które ma zdolność do definiowania i zmiany procesów organizacyjnych w logiczny i skonfigurowany sposób. Jak podają Nagm-Aldeen i in. jest to ustrukturyzowane podejście do działań takich jak identyfikacja, realizacja, pomiar, monitorowanie i kontrola procesów biznesowych, niezależnie od tego, czy są one zautomatyzowane lub nie, w celu osiągnięcia spójnych i ukierunkowanych wyników, dostosowania procesów biznesowych do strategicznych celów organizacji, tworzenia wartości oraz umożliwienie organizacji szybszego i sprawniejszego osiągania celów biznesowych (Nagm-Aldeen i in., 2015). Według Gonzalez-Lopez i in. aby skutecznie stosować modelowanie procesów biznesowych w organizacji konieczne jest przejście z zarządzania funkcjonalnego na styl zarządzania zorientowany na procesy (Gonzalez-Lopez i in., 2023). Jak podają Lamine i in. modelowanie procesów biznesowych stanowi środowisko, a nie tylko prosty zestaw narzędzi informatycznych (Lamine i in., 2020). Dla sprawnego działania potrzebny jest dobrze zorganizowany zespół, wiedza o procesach w indywidualnej lub zbiorowej formie i odpowiednia selekcja kluczowych procesów. Trzeba również zrozumieć działanie procesów, poznać ich rodzaje i posiadać wiedzę o tym jak nimi zarządzać w sposób prowadzący do uzyskania najkorzystniejszych wyników. Tym samym, zgodnie z Vasilecas i in. aby odtworzyć strukturę organizacyjną z wykorzystaniem procesów, konieczne jest posiadanie zdefiniowanego scenariusza działania przedsiębiorstwa poprzez odwzorowanie działań, zasad

i relacji, które obejmują procesy, a także właściwą metodykę modelowania procesów biznesowych (Vasilecas i in., 2016).

Jak definiują Erasmus i in., modelowanie procesów to czynność polegająca na reprezentowaniu procesów organizacji, która pozwala na analizę jej obecnej formy, tak aby w przyszłości można było ją udoskonalić (Erasmus i in., 2020). Zgodnie z T. Entringer i in. modelowanie jest użyteczne do opisanie i przedstawienia na wykresie ważnych aspektów danego procesu, ze wskazaniem ludzi, działów i powiązań między nimi, w celu ich przedstawienia lub reprezentowania ich odpowiednio, z wyszczególnieniem aspektów, które muszą być wyrażane i używane (T. Entringer i in., 2019).

Generalnie, zgodnie z Reijers, dziedzina modelowania procesów biznesowych ma na celu opisanie charakterystyki tych procesów, pokazując jego strukturę, kolejność działań i ich relacje oraz wykorzystywane zasoby (Reijers, 2021). Jest to istotne narzędzie pomocne w zrozumieniu i analizie procesów. Organizacje szeroko stosują to narzędzie w celu dokumentowania i doskonalenia swoich działań. Proces modelowania to technologia, która powinna czynić modelowanie procesów zrozumiałym i rozwijanym z przejrzystością. Jak podają T. C. Entringer i in, dzięki takiemu podejściu do modelowania możliwe jest planowanie, tworzenie procedur i dokumentowanie ich w spójny sposób, umożliwiając pokazanie rzeczywistości firmy i wprowadzanie zmian zgodnie z pożądaną sytuacją (T. C. Entringer i in., 2021).

Rozdział 1.1.1. Istota modelowania procesów biznesowych

Według Reijers skuteczne zarządzanie modelami procesów biznesowych ma fundamentalne znaczenie dla utrzymania wydajności i konkurencyjności organizacji (Reijers, 2021). Zgodnie z definicją podaną przez Erasmus i in. proces biznesowy może być zdefiniowany jako zbiór działań, których ostatecznym celem jest wytworzenie określonego produktu, który ma wartość dla klienta (Erasmus i in., 2020). Jak podają Papademetriou i Karras, z analizy tych definicji można wyodrębnić te elementy, które są powszechnie i ogólnie akceptowane przez społeczność zajmującą się modelowaniem biznesowym charakteryzującym proces biznesowy (Papademetriou & Karras, 2016). Do elementów tych należą:

- Proces, czyli jak definiują Fischer i in. zestaw obejmujący między innymi działania, zdarzenia, które razem i spójnie dostarczają usługę i/lub produkt (Fischer i in., 2020).
- Działanie określone przez Fischer i in. jako konkretne zachowanie realizowane w organizacji (Erasmus i in., 2020).

- Usługa i Produkt, które według Schäffer i in. reprezentują zauważalny wynik wartości procesu. Klasyczne podejście do rozróżnienia między usługą a produktem polega na tym, że pierwsza z nich jest niematerialna podczas gdy druga ma wymiar materialny (Schäffer i in., 2021).
- Role z uwzględnieniem rodzajów aktorów lub agentów, którzy biorą udział w procesach, jak podaje López-Pintado i in. (López-Pintado i in., 2022).
- Cel do którego dąży dany proces, jak definiuje Lamine i in. (Lamine i in., 2020).
- Zdarzenie, które według M. Camargo i in. występuje w określonym punkcie czasu i które jest w stanie spowodować pewne obserwowalne zachowanie (czynność lub proces) (M. Camargo i in., 2020).
- Reguła, czyli pojęcie określone przez Sola i in. jako ograniczenie zdefiniowane dla dowolnej części organizacji i jej procesów (Sola i in., 2022).

Z analizy omówionych powyżej na podstawie przytoczonej literatury elementów modelowania procesów biznesowych wynika, że modelowanie procesów biznesowych jest tą działalnością, która ma na celu reprezentację wszystkich lub tylko niektórych z powyższych elementów w celu stworzenia spójnego modelu zachowań wymaganych do dostarczenia usługi i/lub produktu do klienta lub innej części organizacji. Jak wskazują Recker i in., techniki modelowania procesów biznesowych mogą modelować wszystkie lub niektóre z powyższych elementów w zależności od tego, na czym dana technika się skupia (Recker i in., 2006). Koncentracja może zależeć od różnych czynników, takich jak paradygmat, z którym technika została pierwotnie stworzona lub domena, dla której została opracowana (np. rozwój oprogramowania, inżynieria systemów, itp.). Jednak jak podają Aldin i De Cesare, niektóre techniki mogą nie modelować jawnie żadnego z powyższych elementów, ale zamiast tego dostarczają konstrukcje, które można wykorzystać do ich niejawnej reprezentacji (Aldin & De Cesare, 2009).

Lamine i in. definiują proces biznesowy jako kompilację zbioru czynności w przedsiębiorstwie ze strukturą opisującą ich logikę, porządek i zależności, których celem jest uzyskanie pożądanego rezultatu (Lamine i in., 2020). Modelowanie procesów biznesowych umożliwia wspólne zrozumienie i analizę procesu biznesowego. Jak podaje Aguilar-Savén, przedsiębiorstwo może być analizowane i integrowane przez pryzmat swoich procesów biznesowych. Użycie właściwego modelu wymaga uwzględnienia celu analizy oraz znajomości dostępnych technik i narzędzi modelowania procesów (Aguilar-Savén, 2004).

Według Fischer i in. modelowanie procesów biznesowych jest niezbędną i początkową częścią dziedziny określanej jako Business Process Management (BPM) oraz kluczowym elementem w procesowym rozwoju organizacji (Fischer i in., 2020). Zgodnie z rekomendacjami opublikowanymi w pracy naukowej przez Tangkawarow i Waworuntu dokumentacja i standaryzacja procesów w postaci modeli graficznych wymaga zaangażowania pracowników z różnych działów i poziomów zarządzania, o różnych kompetencjach, a także konsultantów zewnętrznych (Tangkawarow & Waworuntu, 2016). Ważne jest zatem, aby wszyscy oni używali tej samej i zrozumiałej notacji modelowania, która określana jest również przez González Moyano i in. jako Business Process Modelling Technique (BPMT) (González Moyano i in., 2022). Według Gabryelczyk i Jurczuk definiowanie procesów, ich dokumentowanie w postaci map i modeli oraz ich zrozumiałość stabilizuje początkowy etap wdrożenia BPM i umożliwia organizacji przejście na wyższy poziom dojrzałości i osiągnięcie wyższej efektywności. Modelowanie z wykorzystaniem odpowiednich technik i narzędzi należy do podstawowych usług, które oferują centra doskonałości BPM w organizacjach, które świadomie projektują własne strategie wdrażania i rozwoju BPM (Gabryelczyk & Jurczuk, 2017).

Zgodnie z Ami i Sommer modelowanie procesów biznesowych stanowi graficzną reprezentację procesów biznesowych w organizacji w sposób przystępny do analizowania, poprawy i automatyzacji. Modele te są prezentowane w formie diagramów lub schematów blokowych. Poprzez modelowanie istnieje możliwość zrozumienia procesów od początku do końca co zapewnia lepsze zrozumienie poszczególnych kroków (Ami & Sommer, 2007). Jak podają Lipski i Lipski, główną intencją modelowania procesów jest ich doskonalenie, przykładowo przez wzrost tempa wykonywania procesów lub redukcję kosztów, generowanych przez poszczególne procesy. W tym celu dostępnych jest wiele technik modelowania procesów biznesowych. Wśród najpopularniejszych z nich znajdują się: BPMN (Business Process Model and Notation), schematy blokowe, diagramy przepływu danych DFD (Lipski & Lipski, 2022).

Według Curtis i in. oraz Gill, modelowanie procesów to podejście do wizualnego przedstawiania tego, jak przedsiębiorstwa prowadzą swoje działania: definiowanie i przedstawianie podmiotów, działań i relacji między nimi (Curtis i in., 1992; Gill, 1999, p 5). Jest ona szeroko stosowana w organizacjach jako metoda zwiększania świadomości i wiedzy na temat procesów biznesowych oraz do dekonstrukcji złożoności organizacyjnej (Davenport, 1993; Hammer & Champy, 1993; Smith & Fingar, 2003). W niniejszym opracowaniu termin „modelowanie procesów biznesowych” obejmuje wszystkie graficzne reprezentacje procesów

biznesowych i związanych z nimi elementów, takich jak dane, zasoby, itp. celów, takich jak dokumentacja procesów, doskonalenie procesów, zgodność wykorzystywane do różnych celów, m.in. dokumentacji procesów, doskonalenia procesów, zgodności z przepisami, wdrażania oprogramowania czy certyfikacji jakości. Jak podają Bandara i in., inicjatywy modelowania procesów biznesowych stają się coraz większe i bardziej złożone, niektóre organizacje prowadzą modelowanie procesów w skali całego przedsiębiorstwa, a nawet globalnie. Jednocześnie, związane z tym inwestycje w narzędzia do modelowania procesów, metodologie, szkolenia i działania związane z modelowaniem stały się dla tych organizacji stały się na tyle duże, że skupiają uwagę (Bandara i in., 2005).

W literaturze często stosowane jest określenie model BPM (Business Process Modeling) (Erasmus i in., 2020). Zdaniem Guizani i Ghannouchi jest to iteracyjne podejście do tworzenia i dostarczania usług. Polega na utworzeniu zwizualizowanego przebiegu procesu i umożliwia kontrolę biznesowego przebiegu procesu. Cel stanowi dostarczenie ustalonego celu biznesowego w drodze wykonania następujących po sobie etapów procesu (Guizani & Ghannouchi, 2021).

Modelowanie procesów biznesowych składa się z kilku elementów, wśród których należy wymienić planowanie strategiczne, architekturę oprogramowania, przepływ pracy, zarządzanie jakością, modelowanie danych, symulację produkcji oraz bazę informacji. Globocnik i in. definiują planowanie strategiczne jako określanie procesów kluczowych dla organizacji (Globocnik i in., 2020). Jak twierdzą Schäffer i in., architektura oprogramowania określa narzędzia niezbędne do dostarczenia procesu (Schäffer i in., 2021). Guizani i Ghannouchi definiują przepływ pracy jako przepływ procesu z uwzględnieniem kluczowych elementów, określenie uczestników (Guizani & Ghannouchi, 2021). Przepływ BPM obejmuje etapy takie jak strategia, planowanie operacyjne, cele i założenia, łańcuch wartości procesu oraz wynik procesu. Według Fauzi i Andreswari pojęcie zarządzania jakością obejmuje pomiar, monitoring, analiza procesu, w celu podnoszenia jakości procesu (Fauzi & Andreswari, 2022). Zgodnie z definicją Schäffer i in. modelowanie danych oznacza zbieranie informacji o procesie i wykorzystywanie ich, odpowiada zarządzaniu wiedzą w ITIL (Schäffer i in., 2021). M. Camargo i in. określają symulację produkcji jako symulację procesu, weryfikację i analizę. Jak podają Erasmus i in., baza informacji zawiera zebrane i ustrukturyzowane informacje, umożliwia budowę pełnego modelu procesu (Erasmus i in., 2020).

Zdaniem Abbad Andaloussi i in. BPM dostarcza ramy niezbędne do identyfikowania podstawowych procesów biznesowych, umożliwia tworzenie graficznej reprezentacji procesów biznesowych oraz powiązań i zależności występujących między nimi. Definiuje jak poszczególne czynności są przeprowadzane w danej organizacji. Pokazuje w jaki sposób kluczowe funkcje organizacyjne przeprowadzają procesy biznesowe oraz współzależności między funkcjami. Dostarcza informacje odnośnie koniecznych pomiarów, umożliwia optymalne wykorzystanie technologii wspomagania po wykonaniu poprzednich zadań (Abbad Andaloussi i in., 2020a).

Jak twierdzi Schmiedel i in., BPM jest zorientowany na klienta, a procesy są cały czas optymalizowane, mierzone i kontrolowane (Schmiedel i in., 2020). Cykl zarządzania procesem biznesowym składa się zaś z następujących etapów: jak analiza, projekt, budowa, wdrożenie, zarządzanie i usprawnianie. Procedury te tworzą cykl zamknięty i są wykonywane cyklicznie. Pierwszy etap stanowi analiza.

Jak podają Fischer i in., procesy biznesowe wymagają mapowania. Elementy składowe mapowania procesu obejmują określenie wartości procesu, zrozumienie celów, zrozumienie kompleksowości procesu, dekompozycja procesu, modelowanie procesu, wizualizację, normalizację i strukturyzację (Fischer i in., 2020):

Zdaniem Polančič w BPM podobnie jak w przypadku ITIL używana jest struktura procesowa i ról istotnych z punktu widzenia dostarczenia procesu: właściciel procesu, kierownik procesu i pracownik. W odróżnieniu od ITIL BPM wyznacza rolę architektów i inżynierów procesu którzy go dokładnie projektują, tworzą, budują z uwzględnieniem szczegółów, najmniejszych możliwych komponentów. Te role są wpisane w proces, nie są zewnętrzną funkcją (Polančič, 2020).

Podsumowując, BPM jest sposobem na zarządzanie procesem biznesowym, sposobem na mapowanie procesu. Składa się z kluczowych elementów wielu metodologii, uwzględnia wiele narzędzi, zapewnia łatwą implementację nowych procesów i jest skoncentrowany na nieustannej ich poprawie (Revina & Aksu, 2023).

Rozdział 1.2. Rola procesów biznesowych w zarządzaniu przedsiębiorstwem

Jak twierdzą Erasmus i in., w obecnym dynamicznym i konkurencyjnym środowisku biznesowym skuteczne zarządzanie przedsiębiorstwem jest kluczowym czynnikiem sukcesu

(Erasmus i in., 2020). W tym kontekście według Medoh i Telukdarie procesy biznesowe odgrywają ważną rolę, stanowiąc podstawę funkcjonowania i doskonalenia organizacji. Rola procesów biznesowych w zarządzaniu przedsiębiorstwem jest wieloaspektowa (Medoh & Telukdarie, 2017).

Zgodnie z wnioskami wynikającymi z badania naukowego przeprowadzonego przez Z. Wang i in. dzięki technikom modelowania procesów biznesowych możliwe jest podniesienie efektywności pracy w zarządzaniu przedsiębiorstwem (Z. Wang i in., 2020). Jest to uzasadnione faktem, że modelowanie procesów biznesowych pomaga określić i zrozumieć, jakie rodzaje procesów są obecne w organizacji, sposób działania procesów oraz wzajemne relacje i oddziaływania między nimi. Jak twierdzą Beerepoot i in., umożliwia to analizę i identyfikację obszarów wymagających poprawy oraz wykrywanie potencjalnych problemów i nieefektywności (Beerepoot i in., 2023). Zdaniem González Moyano i in. wizualna reprezentacja kroków, zadań, decyzji i zasobów w procesie w znacznym stopniu ułatwia i przyspiesza identyfikację obszarów wymagających ulepszeń. Wizualne modele procesów są łatwiejsze do zrozumienia dla różnych zespołów i interesariuszy (González Moyano i in., 2022). Umożliwiają lepsze porozumienie, wymianę informacji i współpracę przy definiowaniu, ulepszaniu i wdrażaniu procesów. Według Lamine i in. narzędzia te umożliwiają również udostępnianie, komentowanie i wspólną pracę nad modelami, co przyczynia się do zwiększenia zaangażowania i wydajności zespołów (Lamine i in., 2020). Zgodnie z Tomaskova i in. kolejną istotną rolę, którą pełnią w zarządzaniu przedsiębiorstwem techniki modelowania procesów biznesowych to zapewnianie dokładnej analizy procesów w celu zidentyfikowania obszarów wymagających poprawy i optymalizacji (Tomaskova i in., 2023). Wynika to z faktu, że tworząc modele procesów, organizacja ma możliwość lepszego zrozumienia i określenia, jakie zadania, kroki i zasoby są zaangażowane w proces, co z kolei pozwala na identyfikację nieefektywności, opóźnień, nadmiarowości czyli redundancji działań i innych problemów, a to umożliwia podjęcie świadomych działań mających na celu ich poprawę. Na podstawie tych analiz można wprowadzić zmiany w celu usprawnienia procesów i zwiększenia wydajności. W oparciu o modele procesów można przeprowadzać symulacje, analizy wydajności i kosztów oraz identyfikować obszary wymagające automatyzacji. Według Kir i Erdogan optymalizacja procesów za pomocą narzędzi do modelowania przyczynia się do skrócenia czasu realizacji, obniżenia kosztów, podniesienia jakości i zwiększenia zadowolenia klientów (Kir & Erdogan, 2021).

Jak podają Fischer i in., techniki modelowania procesów biznesowych służą też jako narzędzie komunikacji i współpracy w organizacji (Fischer i in., 2020). Wynika to z właściwości modeli procesów biznesowych, które mogą być zrozumiałe dla różnych interesariuszy, takich jak menedżerowie, pracownicy, klienci czy dostawcy. Modele te służą wyjaśnianiu przepływu pracy, obowiązków, interakcji i celów procesów. Wymienione działania ułatwiają porozumienie, wymianę informacji i efektywną współpracę między zespołami. Według Brauner i Ziefle modele procesów biznesowych są użyteczne w szkoleniu pracowników, szczególnie tych nowo zatrudnionych lub tych, którzy mają być zaangażowani w nowe procesy (Brauner & Ziefle, 2022). Szczególnie pomocną właściwością w tym procesie jest procedura modelowania, która przedstawia reprezentację krok po kroku i pokazuje sposób w jaki proces powinien zostać przeprowadzony, co ułatwia szkolenie i naukę. Poza tym jak podaje Reijers, modele procesów biznesowych są wykorzystywane do automatyzacji procesów przy użyciu systemów zarządzania procesami biznesowymi (BPM) (Reijers, 2021). Zgodnie z Fischer i in. modelowanie w tym przypadku identyfikuje zadania i decyzje, które można zautomatyzować, poprawiając spójność zarządzania przedsiębiorstwem (Fischer i in., 2020). Jak określają Erasmus i in., modele procesów biznesowych stanowią podstawę do konfigurowania i wdrażania zautomatyzowanych reguł, przepływów pracy i integracji systemów IT. Automatyzacja procesów zwiększa wydajność, eliminuje błędy, skraca czas realizacji, zwiększa spójność i wydajność operacji i usprawnia monitorowanie procesów. Narzędzia do modelowania procesów biznesowych umożliwiają ciągłe monitorowanie i doskonalenie procesów. Po wdrożeniu modelu procesu można gromadzić dane dotyczące jego wydajności, takie jak czasy realizacji, wskaźniki błędów i koszty. Dane te są wykorzystywane do monitorowania kluczowych wskaźników wydajności procesu, identyfikowania obszarów wymagających poprawy i podejmowania działań naprawczych (Erasmus i in., 2020). Techniki modelowania procesów biznesowych odgrywają ważną rolę przy wdrażaniu zmian w organizacji. Modele procesów mogą służyć jako podstawa do planowania i zarządzania zmianami. Umożliwiają wizualizację i komunikację tego, jak procesy będą wyglądać po wdrożeniu zmian i jak wpłyną one na inne obszary działalności. Kolejnymi przydatnymi cechami modelowania procesów biznesowych wskazywanymi przez Fischer i in. są przydatność w przewidywaniu wpływu zmian oraz minimalizacji ryzyka, a także zapewnianiu spójności i przejrzystości w zrozumieniu nowych procesów przez pracowników (Fischer i in., 2020). Poza tym według Lamine i in. techniki modelowania procesów biznesowych są również wykorzystywane do projektowania nowych procesów. W oparciu o modele możliwe jest zdefiniowanie kroków, zadań, interakcji między nimi i zasobów potrzebnych do osiągnięcia

określonych celów biznesowych (Lamine i in., 2020). Jak stwierdzają AbdEllatif i in. projektowanie procesów pozwala na lepsze zrozumienie przepływu pracy i organizacji w firmie, co przyczynia się do pomyślnego wdrożenia nowych inicjatyw (AbdEllatif i in., 2018).

Omówione właściwości będące także właściwościami technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych powodują, że narzędzia służące do modelowania procesów biznesowych są popularne i znajdują zastosowanie w różnorodnych branżach. Wśród niektórych z głównych branż, w których szeroko stosowane są techniki modelowania procesów biznesowych (Paschek i in., 2018) należy wskazać:

1. Bankowość i finanse. Jak podają Erasmus i in., w sektorze bankowości i finansów techniki modelowania procesów biznesowych są wykorzystywane do opracowywania i optymalizacji procesów związanych z obsługą klienta, zarządzaniem ryzykiem, analizą kredytową, rozliczeniami i wieloma innymi aspektami operacyjnymi (Erasmus i in., 2020).
2. Przemysł. Według Erasmus i in. w przemyśle modelowanie procesów biznesowych jest wykorzystywane do optymalizacji procesów produkcyjnych, zarządzania łańcuchem dostaw, logistyki, zarządzania jakością i utrzymania ruchu (Erasmus i in., 2020).
3. Opieka zdrowotna. Zgodnie z Pufahl i in. w sektorze opieki zdrowotnej techniki modelowania procesów biznesowych są stosowane w celu usprawnienia procesów opieki nad pacjentem, zarządzania dokumentacją medyczną, usprawnienia procesów administracyjnych i logistycznych oraz poprawy wydajności świadczenia opieki zdrowotnej (Pufahl i in., 2022).
4. Usługi profesjonalne. Jak twierdzi Reijers, w branżach takich jak konsulting, audyt, zarządzanie projektami i doradztwo biznesowe techniki modelowania procesów biznesowych są wykorzystywane do analizowania i ulepszania procesów usługowych i zarządzania projektami (Reijers, 2021).
5. Handel detaliczny. Zgodnie z M. Camargo i in. w sektorze detalicznym modelowanie procesów biznesowych jest wykorzystywane do optymalizacji procesów zakupowych, zarządzania zapasami, obsługi klienta, zarządzania sklepem internetowym i logistyki dostaw (M. Camargo i in., 2020).
6. Telekomunikacja. Powołując się na Kecht i in., w branży telekomunikacyjnej techniki modelowania procesów biznesowych są wykorzystywane do usprawniania procesów

obsługi klienta, zarządzania zamówieniami, zarządzania siecią telekomunikacyjną i wdrażania usług (Kecht i in., 2023).

Oczywiście zgodnie z definicją podaną przez Stein Dani i in., techniki modelowania procesów biznesowych mają zastosowanie jeszcze w wielu innych branżach i dziedzinach, ponieważ każda organizacja może odnieść korzyści z analizy, modelowania i optymalizacji swoich procesów w celu zwiększenia wydajności, poprawy jakości usług i osiągnięcia przewagi konkurencyjnej (Stein Dani i in., 2019).

Podsumowując, modelowanie procesów biznesowych stanowi kluczowe narzędzie do zrozumienia, analizowania, ulepszania i zarządzania procesami organizacji. Wszystkie wymienione role technik modelowania procesów biznesowych przyczyniają się do zwiększenia wydajności, jakości, kontroli i innowacyjności w przedsiębiorstwie. Jak zauważa Van Looy, pozwalają one organizacjom lepiej zrozumieć, analizować i ulepszać swoje procesy, prowadząc do lepszych wyników biznesowych (Van Looy, 2021). Dzięki wymienionym na podstawie przeglądu literatury aspektom narzędzia do modelowania procesów biznesowych przyczyniają się do usprawnienia procesów, zwiększenia wydajności, kontroli i innowacyjności w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Pozwalają na lepsze wykorzystanie zasobów, skrócenie czasu realizacji, redukcję kosztów, poprawę jakości i dostosowanie do zmieniających się warunków rynkowych. Procesy biznesowe odgrywają więc kluczową rolę w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Zapewniają spójność, wydajność, optymalizację, standaryzację i usprawnienie działań organizacji. Powołując się na Aysolmaz i in. można stwierdzić, że modelując, analizując i automatyzując procesy, przedsiębiorstwo może osiągnąć lepszą wydajność, konkurencyjność i dostosowanie do zmieniających się warunków rynkowych (Aysolmaz i in., 2018).

Rozdział 1.3. Etapy w modelowaniu procesów biznesowych

Procedura modelowania procesów biznesowych obejmuje kilka etapów, które są kluczowe dla efektywnego opracowania i analizy modeli procesów. Kir i Erdogan identyfikują główne etapy modelowania procesów biznesowych, z których każdy posiada charakterystyczne cechy (Kir & Erdogan, 2021).

Erasmus i in. definiują cykl życia modelu procesu jako sekwencję kroków, przez które przechodzi model procesu od jego początkowego utworzenia do zakończenia użytkowania lub aktualizacji (Erasmus i in., 2020). Według Haj Ayeche i in. cykl życia modelu procesu obejmuje różne fazy, wśród których można wymienić cztery podstawowe kroki (Haj Ayeche i in., 2021):

1. Analiza – projektowanie, definiowanie celów, pomysłu.
2. Modelowanie – tworzenie modelu.
3. Implementacja – wdrożenie.
4. Monitorowanie – pomiar, kontrola, weryfikacja, upewnianie się o prawidłowym działaniu.

Guizani & Ghannouchi wśród celów modelowania procesu określają następujące etapy (Guizani & Ghannouchi, 2021):

1. Walidacja.
2. Weryfikacja.
3. Analiza.
4. Implementacja.

Winter i in. podkreślają istotność mapowania procesów oraz podają następujące etapy tej procedury (Winter i in., 2023):

1. Monitorowanie procesów w celu umożliwienia działań w przypadku stwierdzenia dysfunkcji.
2. Dążenie do osiągnięcia prawidłowego przebiegu procesu.
3. Rejestrowanie wystąpień procesów w celu umożliwienia wykonania.
4. Analiza faktycznego przebiegu procesów.
5. Umożliwienie współpracy wykonawców w ramach procesu.
6. Częściowe albo całkowite zautomatyzowanie procesów.

Jak opisują M. Camargo i in., do elementów mapowania procesów zaliczane są narzędzia takie, jak schemat procesu, mapa procesu, matryca procesu i model procesu. Schemat procesu pokazuje krok po kroku co jest wykonywane oraz stanowi najprostszą i najszybszą metodę stworzenia mapy procesu. Mapa procesu stanowi narzędzie rozbudowane, poza krokami zawiera opisy, dokumenty, instrukcje, łączniki, bramki, podprocesy. Kluczowe zadanie matrycy procesu to opisanie aspektu relacyjnego procesu, definiowanie relacje w procesie oraz określanie zespołów, z którymi należy się kontaktować. Matryca procesu może zawierać listę kontaktów dla danego procesu. Ostatnim z narzędzi omawianych w zakresie mapowania procesów jest model procesu, który zawiera konkretne instrukcje dla danego procesu (M. Camargo i in., 2020).

Zgodnie z Haj Ayech i in. cykl życia modelu procesu jest dynamiczny i może obejmować iteracyjne etapy aktualizacji, monitorowania i optymalizacji w celu ciągłego doskonalenia procesów biznesowych. Ważne jest, aby proces modelowania był elastyczny i odpowiadał na zmieniające się potrzeby organizacji, umożliwiając ciągłe doskonalenie i innowacje (Haj Ayech i in., 2021).

Podsumowując, etapy modelowania procesów biznesowych obejmują identyfikację celów, określenie zakresu, analizę istniejącego procesu, projektowanie, optymalizację, testowanie, wdrażanie oraz monitorowanie i doskonalenie. Każdy z tych etapów odgrywa ważną rolę w tworzeniu efektywnych i zoptymalizowanych modeli procesów biznesowych.

Rozdział 1.4. Informatyczne systemy zarządzania wykorzystujące modelowanie procesów biznesowych

Jak podaje Waszkowski, techniki modelowania procesów biznesowych odgrywają istotną rolę w zarządzaniu procesami biznesowymi w przedsiębiorstwach. Motywacją do ich intensywnego wykorzystywania w różnorodnych branżach jest fakt, że w dzisiejszym dynamicznym i złożonym środowisku biznesowym firmy muszą skutecznie zarządzać swoimi procesami biznesowymi, aby osiągnąć sukces i przewagę konkurencyjną. W tym kontekście narzędzia i systemy IT odgrywają kluczową rolę w modelowaniu, analizowaniu, optymalizacji i zarządzaniu procesami biznesowymi. Techniki modelowania procesów biznesowych są wykorzystywane w różnych systemach informacji zarządczej (Waszkowski, 2019). Wśród nich Reijers wymienia systemy zarządzania procesami biznesowymi (BPM). Obejmują one kompleksowe oprogramowanie umożliwiające modelowanie, automatyzację, monitorowanie i optymalizację procesów biznesowych. Systemy BPM integrują zarządzanie procesami, reguły biznesowe, przepływy pracy i systemy informacyjne, zapewniając centralne miejsce do zarządzania i śledzenia procesów w organizacji (Reijers, 2021).

Jak podają Artamonov i in. wśród systemów informacji zarządczej wykorzystujących techniki modelowania procesów biznesowych są także systemy zarządzania jakością (QMS). W systemach QMS techniki modelowania procesów biznesowych są wykorzystywane do dokumentowania i zarządzania procesami zapewniania jakości w organizacji. Modele procesów są wykorzystywane do opisywania kroków, zadań, kontroli jakości i procedur, umożliwiając skuteczne zarządzanie jakością produktów i usług (Artamonov i in., 2022).

González Moyano i in. zwracają również uwagę na systemy zarządzania projektami (PMS), które warto wymienić podczas omawiania systemów informacji zarządczej wykorzystujących techniki modelowania procesów biznesowych. W systemach zarządzania projektami techniki modelowania procesów biznesowych mogą być wykorzystywane do opisywania procesów projektowych i zarządzania nimi. Modele procesów pomagają identyfikować zadania, przepływy informacji, obowiązki i zależności w celu ułatwienia planowania, realizacji i monitorowania projektów (González Moyano i in., 2022).

Kolejny rodzaj systemów informacji zarządczej bazujących na technikach modelowania procesów biznesowych, który wymieniają Hanaysha i Al-Shaikh to systemy zarządzania relacjami z klientami (CRM). W systemach CRM techniki modelowania procesów biznesowych mogą być wykorzystywane do modelowania procesów obsługi klienta, takich jak zarządzanie biletami, obsługa reklamacji, procesy sprzedaży itp. Modele procesów pomagają usprawnić komunikację z klientami i zapewnić doskonałą obsługę (Hanaysha & Al-Shaikh, 2022).

Wibowo Putro i in. w dokonanym przeglądzie literatury wymieniają systemy zarządzania łańcuchem dostaw (SCM) jako warte uwagi spośród systemów informacji zarządczej korzystających z technik modelowania procesów biznesowych. W systemach SCM techniki modelowania procesów biznesowych są wykorzystywane do modelowania i zarządzania procesami łańcucha dostaw. Modele procesów obejmują działania związane z zaopatrzeniem, dostawami, magazynowaniem, transportem i zarządzaniem zapasami (Wibowo Putro i in., 2022).

Jak podają Votto i in., istotne miejsce w grupie systemów informacji zarządczej wykorzystujących techniki modelowania procesów biznesowych zajmują systemy zarządzania zasobami ludzkimi (HRMS). W systemach HRMS techniki modelowania procesów biznesowych mogą być wykorzystywane do modelowania procesów związanych z rekrutacją, szkoleniami, oceną pracowników, zarządzaniem wynagrodzeniami itp. Modele procesów pomagają usprawnić procesy HR i zapewnić spójność operacji (Votto i in., 2021).

Rozdział 2. Uogólnienie doświadczeń metodycznych i praktycznych w zakresie modelowania procesów biznesowych

Procesy biznesowe stanowią główny czynnik sukcesu organizacji. Zarządzanie procesami biznesowymi (BPM) z wykorzystaniem zorganizowanych działań daje kontrolę, elastyczność i możliwość dopasowania procesów do strategii przedsiębiorstwa. Znaczenie modelowania procesów biznesowych dla przedsiębiorstw wynika z konieczności dostosowywania procesów do zmian spowodowanych czynnikami wewnętrznymi i zewnętrznymi. Modelowanie procesów biznesowych należy do wymienionych działań, służy do przedstawiania procesów organizacyjnych w logiczny i uporządkowany sposób (Reijers, 2021).

Jak podają Erasmus i in., proces to zbiór działań prowadzący do osiągnięcia określonego celu z uzyskaniem mierzalnych efektów przy zoptymalizowanym wykorzystaniu zasobów (Erasmus i in., 2020). Proces biznesowy jest natomiast aktywnością lub zbiorem aktywności, którego celem jest wyprodukowanie dóbr lub usług dla klienta oraz dostarczenie wartości. Proces stanowi strukturę, która może zostać podzielona na kroki i aktywności (González Moyano i in., 2022). Typy procesów są określane przez ich rolę. Wyróżnia się procesy główne, które skupiają się na produkcji i wyniku procesu oraz procesy wspierające, które wspomagają funkcjonowanie procesów głównych. Zagregowane grupy procesów tworzą obszary procesowe stanowiące ramy definiujące naturę grup procesowych. Obszary procesowe określają procesy potrzebne do osiągnięcia celów biznesowych (Sola i in., 2022). Grupa procesowa składa się z zestawu procesów i definiuje zdolności przedsiębiorstwa do obsługi infrastruktury przedsiębiorstwa. Proces razem z innymi procesami przyczynia się do tworzenia wartości w ramach cyklu życia procesu, co jest niezbędne do realizacji celów biznesowych grupy procesowej (Haj Ayeche i in., 2021).

Według Reijers proces dzieli się na poszczególne kroki procesowe, które są jednostką roboczą związaną z dokładnie jednym obiektem i są wykonywane przez jedną rolę (Reijers, 2021). Pięć głównych kroków procesów to: odpowiedź na żądanie, udostępnianie lub publikacja danych wyjściowych, dostarczenie lub publikacja danych wyjściowych i potwierdzenie ich otrzymania, współpraca z innymi krokami w celu wytworzenia wspólnego

produktu. Monitorowanie i odpowiedź. Praca procesów jest opisywana przez działania. Aktywności procesowe są źródłem informacji o pełnym zestawie działań niezbędnych do utworzenia wyjścia z procesu. Procesy zarządzania obejmują strategię i planowanie, budżet oraz zgodność ze standardami. Procesy główne uwzględniają natomiast projektowanie i budowanie, przetwarzanie i dostarczanie. Procesy wspierające mogą być związane z księgowością, usługami IT oraz działem kadr (W. Wang i in., 2022).

Jak twierdzą Tsagkani i Tsalgaidou, modelowanie procesów biznesowych obejmuje identyfikację, analizę, opis procesów oraz zarządzanie. Notację opisującą procesy biznesowe powinny charakteryzować cechy takie jak jednoznaczność, mierzalność, dysponowanie własną gramatyką, możliwość tworzenia połączeń, użyteczność biznesowa, dostarczanie produktu, dysponowanie własną semantyką oraz unikalność symboli (Tsagkani & Tsalgaidou, 2022).

Rozdział 2.1. Podstawowe notacje wykorzystane w modelowaniu procesów biznesowych

Jak podają Erasmus i in., notacja opisu procesów biznesowych jest kluczowym narzędziem w modelowaniu i dokumentowaniu procesów biznesowych (Erasmus i in., 2020). Do atutów notacji należy jednoznaczność. Dzięki temu notacja stanowi zuniifikowany język czytelny dla większości użytkowników. Aby w pełni wykorzystać możliwości notacji potrzebne jest użycie innych narzędzi. W środowisku biznesowym, w którym złożone procesy są powszechne, konieczne jest stosowanie standardowych notacji, które pozwalają na jasne przedstawienie i zrozumienie procesów przez różnych interesariuszy. Notacja opisu procesów biznesowych to zestaw symboli, reguł i konwencji graficznych, które umożliwiają reprezentację procesów biznesowych w zrozumiałym i jednoznacznym sposób. Popularne notacje, takie jak Business Process Model and Notation (BPMN) (González Moyano i in., 2022) i Unified Modeling Language (UML) (Schäffer i in., 2021), zapewniają standardowy sposób reprezentowania procesów biznesowych. Jak zauważają J. M. Valderas i in., rola notacji opisu procesów biznesowych jest podwójna. Po pierwsze, pozwala ona na graficzne i intuicyjne modelowanie procesów biznesowych (J. M. Valderas i in., 2019). Za pomocą symboli, takich jak prostokąty (reprezentujące zadania), strzałki (reprezentujące przepływ informacji) i bramki decyzyjne (reprezentujące decyzje), można przedstawić kolejne kroki, interakcje i zależności w procesie biznesowym. Ułatwia to zrozumienie procesu różnym interesariuszom, zarówno biznesowym, jak i technicznym. W praktyce notacja opisu procesów biznesowych jest szeroko stosowana w różnych dziedzinach i branżach. Jak podają Silva Rosa i in., przedsiębiorstwa wykorzystują

notację do modelowania swoich procesów biznesowych, dokumentowania ich, komunikacji wewnątrz organizacji i współpracy z innymi partnerami biznesowymi. Systemy informatyczne do zarządzania procesami biznesowymi (BPM) często obsługują notację opisu procesów biznesowych, umożliwiając tworzenie, edycję i automatyzację procesów. Zrozumienie i umiejętność korzystania z notacji opisu procesów biznesowych są niezbędne dla profesjonalistów zajmujących się zarządzaniem procesami biznesowymi, analizą procesów i doskonaleniem operacyjnym w firmach (Silva Rosa i in., 2022).

Według Schäffer i in., notacja oznacza zbiór dopuszczalnych elementów graficznych występujących na diagramach procesów biznesowych razem z regułami łączenia tych elementów. Wśród nich można wymienić notację BPMN, która została dokładnie zdefiniowana, notację obrazkową MS Visio oraz notację IDEF0 (Schäffer i in., 2021). W Tabeli 1 zamieszczono wybrane przykłady notacji wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych wraz z ich charakterystyką oraz autorami.

Tabela 1. Przykłady notacji wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych.

Notacja	Opis	Autorzy
Schemat blokowy (Flow charting)	Metoda wizualizacji uporządkowanej kolejności kroków tworzących algorytm lub proces. Nie uwzględnia interakcji.	IBM (1969) ISO (1985)
Diagram przepływu danych (DFD)	Konwencjonalne ujęcie strukturalnego podejścia do modelowania systemów informatycznych. Ze względu na prostotę stosowania wykorzystywany także do modelowania procesów biznesowych.	Myers i Constantine (1974) Yourdon (1996)
Diagram przepływu sterowania	Pochodna notacji DFD. Różnica obejmuje koncentrację na zdarzeniach zamiast na przepływie danych.	Dufresne i Martin (2003)
Blokowy diagram strumieni funkcjonalnych	Diagram, który opisuje funkcjonalny przebieg systemu wykorzystywany zwykle do definiowania logicznej sekwencji wykonywania funkcji.	Chestnut (1967)
Diagram czynności realizowany przez role	Ta notacja wspomaga pierwotne modelowanie zwłaszcza z uwzględnieniem interakcji.	Ould (1995)
ARIS (Architektura zintegrowanych systemów informacyjnych)	Platforma metodologiczno-narzędziowa dająca możliwość modelowania, standaryzowania i usprawniania procesów biznesowych.	Scheer (1992)

Notacja BPMN (Business process modeling notation)	Standard, który łączy dokumentację procesu z wizualnymi metodami prezentacji procesu.	OMG (2011)
Symulacja procesów IDEF3	Standard opracowany z myślą o modelowaniu ukierunkowanym na generowanie dokumentacji, scenariuszy, przebiegu procesu i transformacji obiektów.	Mayer (1995)
Pragmatyka zarządzania procesami biznesowymi (BPMS)	Zbiór technik do modelowania dla potrzeb mapowania i specyfikacji procesów i komplementarnych obiektów biznesowych.	Karaginannis, Jugninger i Strobl (1996)
Schemat LOVC (line of visibility charts)	Wizualny element inżynierii i reinżynierii procesów biznesowych. Został zaprojektowany z myślą o ułatwieniu konsultantom prezentacji biznesowych.	IBM (1995)
Rozszerzony język modelowania przedsiębiorstwa EEML	Język integrujący modelowanie procesów na zasadzie sekwencji dekomponowalnych czynności z hierarchicznie ustrukturyzowanymi celami biznesowymi.	Krogstie (2008)
Diagram Gantta	Narzędzie prezentujące listę czynności na skali czasowej. Stosowane we wdrażaniu projektów biznesowych, istnieje możliwość wykorzystywania go w celu graficznej prezentacji procesu biznesowego.	Gant (1910)
Sieć Petriego	Technika, która łączy modelowanie procesów z podstawami matematycznymi. Najczęściej w procesach biznesowych wykorzystywana jest Kolorowa Sieć Petriego.	Petri (1962)
Język modelowania procesów biznesowych GRAPES-BM	Jest akademicką inicjatywą wśród technik modelowania środowisk biznesowych. Korzysta z probabilistycznych teorii stanowiąc podstawę rozbudowanej analizy statystycznej.	Kalnis Kalnina i Kalis (1998)
Profil biznesowy Rational UML	Dedykowany do modelowania procesów biznesowych profil UML (Unified Modeling Language). Jest uniwersalnym narzędziem stanowiącym łącznik między systemem informatycznym a procesem biznesowym.	OMG

Źródło: opracowanie własne.

Według Nandakumar i in. jednym z narzędzi przydatnych do modelowania procesów jest diagram SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer). Diagram ten służy do definiowania wszystkich elementów procesu przed przejściem do jego realizacji w zgodności z określonymi zasadami i uzgodnionymi kryteriami. Narzędzie to obrazowo prezentuje projekt całościowo. Pełni rolę narzędzia pomiarowego dla metody DMAIC Six Sigma na etapie mierzenia (Nandakumar i in., 2020). W przypadku tego diagramu Supplier oznacza dostawcę, czyli jednostkę wprowadzającą każdy element do procesu. Może stanowić wewnętrzną lub zewnętrzną jednostkę organizacyjną. Input reprezentuje wkład czyli element wsadowy do procesu. Jest to informacja albo materiał, który w trakcie realizacji procesu zostaje obiektem zainteresowania. Proces stanowi główną aktywność z którą związane są wszystkie działania podejmowane w celu zmiany tego co jest elementem wejściowym w element wyjścia i dostarczenie konkretnej wartości. Output, czyli wynik stanowi rezultat procesu który zostaje przekazany klientowi jako produkt, usługa lub informacja. Klienci korzystają z rezultatów procesu. Klientami określane są zarówno osoby czyli na przykład partnerzy biznesowi jak również subprocessy oraz elementy procesu uruchamiające kolejny proces. Kolejne etapy budowania diagramu SIPOC obejmują według Guleria i in. utworzenie odpowiedniego środowiska, budowę mapy procesu z ukazaniem całego przepływu, budowę efektu końcowego, identyfikację klienta, identyfikację wkładu oraz identyfikacja dostawców (Guleria i in., 2021):

Zdaniem Häußler i in. BPMN (Business Process Modeling Notation) to notacja umożliwiająca definiowanie i poznanie wewnętrznych i zewnętrznych procedur obecnych w biznesie przy pomocy diagramu procesów biznesowych, który umożliwia komunikację bazującą na przyjętych standardach. BPMN jest charakteryzowany przez międzynarodowy standard tworzenia procesów biznesowych, łączy procesy biznesowe z ich implementacjami i udostępnia zrozumiały dla wszystkich użytkowników język procesów i ich struktury (Häußler i in., 2021).

Jak twierdzą Guizani i Ghannouchi, BPMN jest popularną notacją opisu procesów biznesowych, która umożliwia graficzne przedstawienie procesów biznesowych w sposób zrozumiały dla różnych interesariuszy. BPMN jest standardem opracowanym przez Object Management Group (OMG) i jest szeroko stosowany w dziedzinie zarządzania procesami biznesowymi (Guizani & Ghannouchi, 2021).

Zgodnie z P. Valderas i in. notacja BPMN składa się z zestawu symboli, które reprezentują różne elementy procesu biznesowego, takie jak zadania, zdarzenia, bramki

decyzyjne, przepływy, artefakty itp. Symbolika BPMN jest intuicyjna i ma hierarchiczną strukturę, która pozwala na precyzyjny opis sekwencji i relacji między elementami procesu (P. Valderas i in., 2022).

Głównymi elementami notacji BPMN są:

1. Zadania (Tasks) reprezentowane jako prostokąty i oznaczają konkretne działania, które muszą zostać wykonane w procesie (P. Valderas i in., 2022).
2. Zdarzenia (Events) reprezentowane jako okręgi i oznaczają momenty lub sytuacje, które inicjują lub kończą proces, takie jak rozpoczęcie, zakończenie, błędy, sygnały (Erasmus i in., 2020).
3. Przepływy (Flows) reprezentowane jako strzałki i wskazują kolejność i kierunek przepływu pracy w procesie (Fauzi & Andreswari, 2022).
4. Bramki decyzyjne (Gateways) reprezentowane jako romby i służą do określania decyzji i różnych ścieżek w procesie (Marin-Castro & Tello-Leal, 2021).
5. Artefakty (Artifacts) reprezentowane jako dodatkowe elementy, takie jak adnotacje, dokumenty, komentarze, które uzupełniają opis procesu (Erasmus i in., 2020).

Według (Corradini, Marcelletti, i in. notacja BPMN umożliwia modelowanie zarówno prostych, sekwencyjnych procesów, jak i bardziej złożonych, równoległych i warunkowych procesów biznesowych (Corradini, Marcelletti, i in., 2021). Za pomocą symboli i struktur BPMN można wizualnie przedstawić logikę, przepływ informacji, decyzje i interakcje między różnymi elementami procesu. W praktyce notacja BPMN jest szeroko wykorzystywana w przedsiębiorstwach do modelowania, dokumentowania, analizowania i automatyzacji procesów biznesowych. Dostępne na rynku narzędzia BPMN umożliwiają tworzenie graficznych modeli BPMN, a także generowanie kodu, symulację procesów, raportowanie i zarządzanie cyklem życia procesów. Istotne jest zdobycie wiedzy i umiejętności z zakresu notacji BPMN, ponieważ umożliwia ona skuteczną komunikację i współpracę między zespołami, usprawnia analizę procesów i wspiera automatyzację procesów biznesowych (Corradini, Fornari, i in., 2021).

Jak twierdzą Czvetkó i in., narzędzia BPMN obejmują BPD (Business Process Diagram) zawierający elementy przepływu, połączenia, miejsca realizacji i artefakty (Czvetkó i in., 2022). Wśród elementów przepływu można wyróżnić zdarzenia, aktywności i bramki. Zdarzenia przedstawiają opis tego, co dzieje się w danym momencie procesu biznesowego. Wywierają wpływ na przepływ procesu i zazwyczaj posiadają przyczynę i rezultat. Aktywności

to konkretne działania podejmowane w ramach procesu. Prezentują pracę wykonywaną jako element procesu biznesowego. Bramki są elementami decyzyjnymi. Reprezentują możliwość wyboru w określonej sytuacji. Są elementami procesu odpowiadającymi za kontrolę rozbieżności i zbieżności przepływu. Wyróżnia się bramkę XOR, OR, AND. Wśród połączeń można wymienić przepływ sekwencji, przepływ komunikatów i asocjacje. Przepływ sekwencji pokazuje kolejność wykonywania czynności w ramach procesu. Przepływ komunikatów prezentuje wymianę komunikatów między osobnymi uczestnikami procesu. Asocjacje są używane w celu dołączenia dodatkowych informacji do elementów przepływu. Kierunek powiązania pokazuje strzałka na końcu Asocjacji (Schäffer i in., 2021).

Miejsce realizacji mieści elementy które umożliwiają grupowanie obiektów procesu biznesowego według ich przynależności. Jednostki (Pools) reprezentują uczestników procesu (Köpke i in., 2023). Jednostki i tory mogą być przedstawiane poziomo (horyzontalnie) albo pionowo (wertykalnie). Tory (Lanes) są umieszczane w środku Jednostek. Ich celem jest organizowanie czynności wewnątrz jednostki (Tsagakani & Tsalgatidou, 2022).

Artefakty obejmują obiekty danych, grupy i adnotacje (González Moyano i in., 2022). Obiekty danych to elementy które można dołączyć do przepływów, jednak nie wpływają na ich przebieg. Mogą one posiadać informacje o wymaganiach dotyczących warunków danej czynności albo co jest rezultatem danej czynności. Grupy mają za zadanie łączyć elementy diagramu i pokazywać ich związek. Grupa nie wpływa na przepływy między czynnościami. Adnotacje to komentarze, które umożliwiają modelującemu dodanie do elementów diagramu dodatkowych informacji przydatnych odbiorcy (Awiti i in., 2020).

Notacja UML jest szczególnie użyteczna w aspekcie projektowania oprogramowania i aplikacji (Schäffer i in., 2021). BPMN jest natomiast użyteczny przy projektowaniu procesów biznesowych (Erasmus i in., 2020). Wśród atutów BPMN warto wymienić udostępnianie predefiniowanych typów zdarzeń, większy wybór różnorodnych bramek niż w innych notacjach, obecność predefiniowanych typów zadań, możliwość obsługi wyjątków, mniej ograniczeń dla topologii przepływów pracy w procesach, możliwość skorzystania z dodatkowych niegraficznych atrybutów wszystkich elementów notacji (Mejhed Mkhinini i in., 2020).

Według Munoz-Gama i in. procesy można podzielić na prywatne, publiczne i globalne (Munoz-Gama i in., 2022). Proces Prywatny jest wykonywany wewnątrz jednostki organizacji. Dla niego typowe jest pomijanie wykonawców zadań. Proces Publiczny przedstawia interakcję

procesu prywatnego z innym procesem lub podwykonawcą. W Procesie Publicznym widoczne są tylko komunikaty dotyczące interakcji z procesem prywatnym. W modelowaniu drugiego procesu lub wykonawcy szczegóły elementów są pomijane. Proces Globalny demonstruje współdziałanie pomiędzy procesami. Pokazuje aktywności i role w obu procesach oraz wszystkie połączenia między nimi.

Rozdział 2.2. Metody modelowania procesów biznesowych

Rozdział 2.2.1. Istniejące metody zaadaptowane dla potrzeb modelowania procesów biznesowych

W niniejszym podrozdziale przedstawiono metody i metodologie zaadaptowane w celu projektowania procesów biznesowych. Metody i metodologie to podstawowe podejścia i narzędzia stosowane w projektowaniu procesów biznesowych. Jak twierdzą Erasmus i in., metody to zestaw technik, narzędzi i podejść wykorzystywanych do analizy, projektowania i optymalizacji procesów biznesowych (Erasmus i in., 2020). Są to konkretne kroki i techniki, które można wykorzystać do przeprowadzenia analizy procesu, zidentyfikowania obszarów wymagających poprawy i opracowania efektywnego modelu procesu. Przykłady metod obejmują analizę SWOT (Oktari i in., 2023), analizę ryzyka (Hariyanti i in., 2021), analizę kosztów i korzyści (W. Wang i in., 2022), analizę przepływu pracy (Fauzi & Andreswari, 2022) i symulacje (M. Camargo i in., 2020). Metodologie to według Kir i Erdogan kompleksowe ramy i podejścia, które definiują zestaw zasad, wytycznych i procedur, których należy przestrzegać podczas projektowania procesów biznesowych (Kir & Erdogan, 2021).

Jak podają Schröer i in., metody i metodologie stanowią podstawę projektowania procesów biznesowych, umożliwiając systematyczne podejście do analizy, projektowania i optymalizacji procesów. Pomagają organizacjom identyfikować obszary wymagające poprawy, usprawniać przepływy pracy, zwiększać wydajność operacyjną i osiągać strategiczne cele biznesowe. Dobór odpowiednich metod i metodyk zależy od specyfiki organizacji, rodzaju procesów, ich złożoności oraz celów, jakie chce się osiągnąć (Schröer i in., 2021). Metodologie zapewniają strukturę i ramy pracy, które pomagają kierować kompleksowym projektowaniem procesu biznesowego. Mogą obejmować określone kroki, modele, zapisy, zasady projektowania i zalecenia dotyczące wdrażania (Reijers, 2021). Przykłady metodologii obejmują model i notację procesów biznesowych (BPMN) (Schäffer i in., 2021), reorganizację procesów biznesowych (BPR) (Hariyanti i in., 2021), Six Sigma, Lean Management (Fischer i in., 2020) i Agile (González Moyano i in., 2022).

2.2.1.1. Metoda Agile

Zgodnie z González Moyano i in. metoda ta zmierza to standaryzowania, upraszczania i optymalizacji. Podwaliną Agile jest Scrum. Metoda ta jest charakteryzowana przez charakterystyki, wartości, zasady i praktyki (González Moyano i in., 2022). Charakterystyki obejmują elementy takie jak reakcja/reaktywność, elastyczność, optymalizacja i uczenie się. Jak podaje Kir i Erdogan, reakcja/reaktywność określa zdolność podmiotu do detekcji wewnętrznych i zewnętrznych możliwości i wygenerowania reakcji odpowiedniej do sytuacji (Kir & Erdogan, 2021). Elastyczność to według González Moyano i in. umiejętność szybkiej reakcji na zmiany zarówno oczekiwane jak i niespodziewane (González Moyano i in., 2022). Zgodnie z Schäffer i in. optymalizacja to zdolność obiektu lub podmiotu do błyskawicznej reakcji z zachowaniem optymalnych lub minimalnych zasobów i dobrej jakości (Schäffer i in., 2021). Ghezzi definiuje uczenie się jako zdolność obiektu lub jednostki do uczenia się poprzez stałe zarządzanie i wykorzystywanie aktualnej wiedzy i doświadczenia (Ghezzi, 2019).

Manifest Agile zawiera wartości mówiące o ważności ludzi i interakcji, działającego oprogramowania, dobrej współpracy z klientem i reakcja na zmiany (Kir & Erdogan, 2021). Wśród zasad metody Agile Kir i Erdogan wymieniają postulaty takie, jak satysfakcja klienta, elastyczność w stosunku do zmian następujących w otoczeniu, krótki okres dostarczenia produktu lub procesu, łączenie funkcji zarządzających i produkcyjnych w zespołach, kształtowanie odpowiednich zespołów, otwartość w komunikacji, demonstracja regularnych postępów, utrzymanie stałego tempa prac, stała troska o jakość, upraszczanie wszystkiego, samoorganizacja i samozarządzanie w zespołach oraz stałe szukanie możliwości ulepszeń.

Jak podają Schäffer i in., w Agile rozwój jest wspomagany przez stosowanie pakietu konkretnych praktyk które obejmują obszary z pełnym zakresem rozwoju produktu zaczynając od wymagań poprzez projektowanie, kodowanie, testowanie, zarządzanie projektem itp. Oznacza to, że nie istnieje jedna niezawodna metoda lub praktyka, która mogłaby być użyta do wszystkiego (Schäffer i in., 2021). Można natomiast połączyć najlepsze praktyki pochodzące z różnych metod po to by stworzyć dedykowaną metodę dla danej sytuacji. Klucz do wykorzystywania metodyk zwinnych to zdolność wykorzystania właściwego narzędzia lub metody w odpowiednim czasie (Saragih i in., 2021).

Przez lata wykształciło się wiele narzędzi Agile, wśród których warto wymienić następujące:

- Kontrakt (Social Contract), który zgodnie z definicją Dutta i in. oznacza spotkanie się zespołu, mobilizowanie, tworzenie, ustalanie współpracy w zespole

projektowym/procesowym, definiowanie pojęć niezbędnych do efektywnego działania i współpracy. Ten kontrakt tworzy sam zespół. Sam ustala zasady pracy, cele do zrealizowania. Wszystkie zasady powinny zostać spisane i zaakceptowane przez każdego członka zespołu (Dutta i in., 2020).

- Retrospektywa, czyli według Bellalouna analiza działań wykonanych poprawnie i źle, wskazanie akcji umożliwiających dalsze poprawianie procesu (Bellalouna, 2021).
- Daily stand up, który jak podają Morandini i in. wywodzi się z metod programistycznych, polega na spotkaniu przy tablicy i wypowiedaniu się co zostało zrobione poprzedniego dnia i co jest w planach do zrobienia tego dnia. Jest to raportowanie liderom przez pracowników jaki jest poziom obecnego zaawansowania prac. Dzięki temu narzędziu istnieje możliwość wczesnej identyfikacji problemów (Morandini i in., 2021).
- Kanban, czyli zgodnie z definicją podaną przez Weflen i in. tablica z poszczególnymi etapami pracy, obrazuje cały przepływ pracy, zawiera elementy w fazie projektowania, budowania i zakończone (Weflen i in., 2022).
- Mapowanie strumienia wartości, które według Ferreira i in. nie wywodzi się z metodologii Agile ani Scrum. Pokazuje w którym momencie proces dostarcza odpowiednią usługę, gdzie są elementy które mogą zostać poprawione (Ferreira i in., 2022).
- User stories, czyli jak twierdzą González Moyano i in. postawienie się w roli użytkownika, programisty, szefa firmy, opisanie celów do uzyskania. Ich celem jest określenie co aplikacja ma robić według użytkownika. Opowieść o tym jaki cel przyświeca użytkownikowi podczas korzystania z danej aplikacji (González Moyano i in., 2022).
- Zarządzanie strumieniem pracy, czyli jak podają Tomaskova i in. mierzenie tego co jest wykonywane, kontrolowanie, upewnianie się, koordynowanie przepływu pracy, kontrola płynności pracy (Tomaskova i in., 2023).

2.2.1.2. Metoda BPR

BPR (Business Process Reengineering), czyli restrukturyzacja procesów, to zgodnie z definicją podaną przez Battilani i in. podejście które mówi o tym, że proces biznesowy to aktywność albo zespół aktywności mający na celu dostarczyć wartości w formie wyprodukowanych dóbr albo usług dla klienta. Kluczowe elementy BPR to Procesy, ludzie i IT (technologia) (Battilani i in., 2022). Autorzy ci wskazują, że wśród celów BPR znajdują się upraszczanie nowych

procesów, podział ról, zdefiniowanie przepływu pracy, zarządzanie odpowiedzialnością, analiza procesów z wykorzystaniem IT, kierowanie zespołem procesowym oraz wdrażanie procesów w strukturze organizacyjnej.

Model działania BPR obejmuje cykl funkcjonowania zawierający etapy podawane przez Czvetkó i in., wśród których można wymienić strategię, inicjalizację, diagnozę, przeprojektowanie, przebudowanie oraz ewaluację (Czvetkó i in., 2022). Podział BPR na kroki według Czvetkó i in., Hariyanti i in. oraz Tomaskova i in. obejmuje przygotowanie i koordynację, diagnozę i procesy pomiarowe, wybór procesów do zmiany i modelowanie, przygotowanie projektu technicznego rozwiązania, przygotowanie personelu, przeprowadzenie szkoleń, zarządzanie zmianą, wspieranie pracowników oraz implementację procesów (Czvetkó i in., 2022; Hariyanti i in., 2021; Tomaskova i in., 2023).

Wśród zalet BPR Ćncekara wymienia możliwość łączenia ról, samodecyzyjność pracowników i samoorganizacja, równoległość podejmowanych działań, powstawanie kilku wersji jednego procesu, przygotowanie do masowej produkcji i możliwość dostosowania do klienta dzięki standaryzacji, koncentracja na pracy tam, gdzie przynosi najwięcej wartości, możliwość odrzucenia nieefektywnych elementów, minimalizacja nieproduktywnych czynności, SPOC (Single Point of Contact) – osoba kontrolująca przebieg całego procesu, dzięki czemu możliwa jest redukcja dokonywania regularnych przeglądów, budowa relacji biznesowej, hybrydowe podejście do centralizacji i decentralizacji (Ćncekara, 2022).

2.2.1.3. Metoda ITIL

ITIL (IT Infrastructure Library) jak podają Partee i in. jest zbudowany z kilku faz. Pierwsza, wewnętrzna faza to budowanie strategii, Druga faza obejmuje projektowanie, trzecia to wdrożenie oraz ciągła próba poprawiania produktów i usług. ITIL to metodologia zbudowana na procesach. Procesy są narzędziem dostarczania usług w danej fazie. Podobnie jak w BPR, trzy podstawowe parametry dostarczania ITIL stanowią ludzie, procesy i technologia (Partee i in., 2022). Zgodnie z Iden i in. w ITIL zdefiniowane są role Właściciel usługi (odpowiada za relację z klientem i całościowe dostarczenie usługi), Właściciel procesu (odpowiada za całościowy przebieg procesu, nadzór nad procesem, definiowanie go, uzgadnianie z klientem), Kierownik procesu (odpowiada za operacyjne dostarczenie procesu na odpowiednim poziomie) i Pracownik (osoba wykonująca proces) (Iden i in., 2020)

Jak podają MacLean i Titah ITIL charakteryzuje zawartość opisu pełnego cyklu życia usługi. W ITIL wartość jest zdefiniowana jako kluczowy element, najważniejsze jest

dostarczenie wartości klientowi. Procesy stanowią najważniejsze narzędzie dostarczania usług. Zbiór najlepszych praktyk pokazujących różne narzędzia potrzebne do realizacji wartości. Jest on adoptowalny, czyli można wykorzystywać to co w danej sytuacji wydaje się najlepsze i najbardziej praktyczne (MacLean & Titah, 2023).

Można wywnioskować, że dwa podstawowe narzędzia, najbardziej kompleksowe w ITIL to schemat przepływu i mapa procesu. Schemat przepływu stanowi pierwowzór mapy, stanowi pierwszy mechanizm, który w pełni obrazuje przebieg procesu, nie jest jasny ani łatwy do naśladowania, wymaga więcej przestrzeni, ogranicza proces do diagramu, nie pozwala zidentyfikować problemów, może stanowić podstawę do takiej identyfikacji, wymagającej jednak dodatkowej analizy. Mapa procesu jest natomiast prostsza i bardziej czytelna, daje pełen obraz procesu, skonsolidowany opis, daje możliwość zastosowania wielu rozwiązań wynikających z wejścia i wyjścia do procesu. Większość użytkowników jest w stanie zrozumieć mapę procesu. Pozwala identyfikować problemy w procesie. Mapa umożliwia określenie interesariuszy i osoby odpowiedzialne za proces (Dalmer & Mitrovica, 2022).

2.2.1.4. Metoda TQM

Total Quality Management (TQM) według Akhmatova i in. oznacza metodę służącą do zarządzania jakością. Jest to model zarządzania organizacją, skupiony na jakości, uwzględnia uczestnictwo wszystkich członków, miarą osiągnięcia długoterminowego sukcesu jest satysfakcja klientów, zapewnia korzyści dla wszystkich członków organizacji. TQM obejmuje stałe poprawianie jakości, wspieranie pracowników, dokonywanie analiz i porównań, dostarczanie produktów wtedy gdy są potrzebne oraz wymaga znajomości narzędzi TQM. TQM zapewnia zwiększenie produktywności, zmniejszenie strat, redukcję kosztów, poprawę reputacji (Akhmatova i in., 2022).

2.2.1.5. Metoda Lean Management

Lean Management jak podają Agyabeng-Mensah i in. obejmuje istotne ograniczenie zasobów niezbędnych dla produkcji. Dotyczy to liczby pracowników, inwestowanych środków finansowych, powierzchni, czasu. Oprócz tego należy skoncentrować się na jak najbardziej efektywnym wykorzystaniu środków (Agyabeng-Mensah i in., 2021).

Zgodnie z Erasmus i in. zasady Lean manufacturing składa się z elementów takich jak przeciwdziałanie marnotrawieniu środków w trakcie produkcji, utrzymanie niskiego poziomu gromadzonych zasobów, dostarczanie materiałów lub półproduktów zależne od zapotrzebowania (just in time), optymalizacja prac, a także ograniczony do minimum czas

postoiu (Erasmus i in., 2020). Etapy wdrażania Lean według Erasmus i in. to wybór obszaru wdrożeniowego, analiza strat, budowa świadomości u pracowników, mapowanie strumienia wartości, wybór narzędzi i technik oraz proces nieustannej poprawy.

Kolejne narzędzie zarządzania jakością, które dobrze obrazuje przepływ procesu jak podają Ferreira i in. to VSM (Value Stream Mapping), czyli Mapowanie Strumienia Wartości. Jego celem jest gromadzenie danych dotyczących rzeczywistego przepływu elementów i informacji. Mapowanie strumienia wartości polega na wykorzystaniu mapy procesu, schematu procesu w celu zobrazowania wszystkich poszczególnych kroków, wyciągnięcia z nich wniosków i zoptymalizowania procesu (Ferreira i in., 2022).

2.2.1.6. Metody Top down i Bottom up

Jak podają Schlüter i in., w przypadku metody Top down analiza jest rozpoczynana od efektu procesu, następnie przeprowadzana jest analiza funkcji procesu (sposobu dostarczenia efektu), kolejno analiza ogólnych celów procesu i identyfikacja jak zmieniać funkcje i cele. Z kolei dla metody Bottom up rozpoczęcie następuje od ogólnych celów procesu, następnie określone są elementy składowe procesu i na koniec przedstawienie otrzymanego wyniku (Schlüter i in., 2021).

Rozdział 2.2.2. Dedykowane metody modelowania procesów biznesowych

Praktycy i naukowcy od lat pracują nad dedykowanymi metodami i technikami, których celem jest wspomaganie analizy, projektowania i optymalizacji procesów biznesowych. Wieloletnie prace doprowadziły do wykształcenia szeregu metod takich jak na przykład BPMN, UML, EPC, które zostaną szczegółowo scharakteryzowane w tym podrozdziale na podstawie przeglądu literatury.

2.2.2.1. Metoda BPMN (Business Process Modeling Notation)

Jak podają Erasmus i in. notacja BPMN stanowi największą i najpopularniejszą metodę modelowania procesów biznesowych. Ta notacja składa się z elementów graficznych służących do demonstracji etapów procesów i zamieszczania komunikatów (Erasmus i in., 2020). BPMN demonstruje procesy w sposób ustandaryzowany, upraszcza zrozumienie przez interesariuszy i pracowników przedsiębiorstwa. Notacja ta jest prosta w użyciu dla analityków, programistów i menadżerów. Umożliwia użycie tylko jednego diagramu procesu bez konieczności dzielenia problemu na fragmenty tak jak to ma miejsce w przypadku na przykład notacji UML. Notacja BPMN umożliwia modelowanie aktualnego stanu procesów (AS-IS) oraz stanu z planowanymi ulepszeniami (TO-BE). Notacja BPMN wykorzystuje cztery agregaty zawierające elementy

symboliczne reprezentujące procesy: połączenia, przepływy, swimlanes (wykresy pływające) i artefakty (Schäffer i in., 2021).

Ta notacja jest bogatsza semantycznie od pozostałych notacji. Obejmuje jeden typ modelu o nazwie Diagram Procesów Biznesowych (BPD). BPMN jest oparty na technikach specjalistycznych dla procesów biznesowych, na przykład flowcharting. BPMN to najnowszy dodatek do istniejącego zestawu języków modelowania procesów biznesowych (BPML), który został opracowany przez Business Process Management Initiative i wydany w roku 2004 (González Moyano i in., 2022). W Tabeli 2 scharakteryzowano notację modelowania procesów biznesowych (BPMN) względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych.

Tabela 2. Charakterystyka notacji modelowania procesów biznesowych względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych.

Kryterium	Cechy
Elastyczność	Technika ta ma ogromny potencjał do wykorzystania w projektowaniu procesów biznesowych, ma odpowiednią strukturę dzięki której technika ta może być użyta w modelowaniu różnych aspektów procesów w organizacji. Znajduje zastosowanie zarówno do opisowego modelowania na wysokim poziomie do szczegółowego modelowania przeznaczonego do wykonywania procesów. W technice BPMN można stosować dekompozycję, co daje możliwość wprowadzania elastycznych zmian i usprawnień dowolnych procesów w rozszerzonym modelu bez konieczności ingerencji w oryginalny model. Stanowi pomost pomiędzy projektem a implementacją procesu. BPMN jest przeznaczony do zastosowania zarówno wewnątrz organizacji jak i do reprezentacji interakcji procesów pomiędzy organizacjami.
Łatwość użycia	Technikę BPMN opracowano z intencją by była łatwa w użyciu i zrozumiała zarówno dla użytkowników biznesowych jak i technologicznych. W zakres BPMN wchodzi duży zakres różnych typów przepływy, kontroli i sekwencji, co oznacza, że technikę BPMN można określić jako dobrze zdefiniowaną i stanowiącą łatwe do wykorzystania podejście dla interesariuszy nieposiadających doświadczenia. Mimo, że w skład BPMN wchodzi również specjalistyczne notacje, co czyni ją skomplikowaną techniką diagramowania, nie ma potrzeby znać całej specjalistycznej notacji w celu stworzenia kompletnego i użytecznego diagramu BPMN. Technika BPMN jest więc przystępna i przydatna zarówno dla nowych użytkowników jak i dla ekspertów.

Zrozumiałość	Sposób modelowania z wykorzystaniem BPMN jest łatwo zrozumiały dla użytkowników biznesowych i analityków. Jest to półformalny język modelowania, który dostarcza notacje zrozumiałe dla wszystkich interesariuszy, w tym biznesowych. Notacja BPMN łatwo jest zrozumiała dla wszystkich użytkowników biznesowych czyli analityków tworzących wstępne projekty, programistów implementujących procesy, i osoby zarządzające nadzorujące procesy.
Symulacja	Technika BPMN wspiera budowę modeli symulacyjnych. Istnieje możliwość testowania i wizualizacji procesów przed wdrożeniem, co zwiększa ich zrozumiałość dla odbiorców.
Zakres	Elementy modelowania BPMN obejmują obiekty przepływu, obiekty łączące, swimlany i artefakty. BPMN obsługuje wszystkie elementów modelowania procesów biznesowych. Może służyć do dokumentowania – przygotowania dokumentacji, BPMN może być użyty dla wielu celów od modelowania opisowego na wysokim poziomie do szczegółowego modelowania przeznaczonego do wykonywania procesów. Jest to jedna z najnowszych i najbardziej kompletnych notacji. Może być wykorzystywany do wysokopoziomowego szczegółowego modelowania opisowego. BPMN 2.0 stanowi notację bardziej techniczną i zorientowaną na IT, dostarcza graficzną notację i obejmuje poziom szczegółowości w zakresie konstrukcji modelowania co umożliwia generowanie kodu BPEL. BPMN posiada bogatą semantycznie notację graficzną. BPMN oferuje również obsługę błędów, eskalacji i kompensacji. Wspiera też przepływ danych i zapewnia zachowanie interakcji. BPMN nadaje się do zastosowania zarówno wewnątrz firmy jak i do reprezentacji interakcji procesów pomiędzy organizacjami.

Źródło: González Moyano i in., 2022; Aldin & De Cesare, 2009.

Jak podają P. Valderas i in., BPMN umożliwia łatwą komunikację w procesie, są zrozumiałe dla interesariuszy i łatwe do nauczenia. Jasno określa czynności, role, przepływ wiadomości, dokumentacja i wymagania są czytelne. Przedstawia jasny zarys struktury organizacji. Większość dostępnych pakietów oprogramowania do modelowania wykorzystuje notację BPMN (P. Valderas i in., 2022).

BPMN (Business Process Model and Notation) to standard opracowany przez organizację Object Management Group), którego podstawowym celem jest dostarczenie notacji do opisu procesów biznesowych czytelnej i zrozumiałej dla użytkowników biznesowych, analityków i programistów. Specyfikacja standardu BPMN 2.0 została opublikowana przez

OMG na stronie internetowej tej organizacji¹. Specyfikacja ta jest otwarta i dostępna nieodpłatnie (Pufahl i in., 2022).

Powołując się na Schäffer i in. w modelu w notacji BPMN można wyróżnić trzy poziomy szczegółowości modelu (Schäffer i in., 2021). Wśród nich można wyróżnić model poglądowy przedstawiający ogólny przebieg procesu biznesowego. Następnie należy wskazać model analityczny służący do oceny rozmiaru prac potrzebnych do opracowania i wdrożenia procesu w formie wykonywalnej oraz model wykonywalny wykorzystywany do precyzyjnego opisu procesu wykonywalnego czyli zdefiniowane wszystkie czynności składowe, typy zadań i zdarzeń, parametry bramek w procesie.

2.2.2.2. Metoda UML (Unified Modeling Language)

Metoda UML zgodnie z Bork i in. jest odpowiednia do demonstrowania elementów systemu niezwiązanych z oprogramowaniem takich jak przepływ pracy, struktura, działanie sprzętu, systemów i projektów. UML umożliwia przekazywanie informacji między użytkownikami, programistami, projektantami i menadżerami, co zwiększa poziom współpracy i rozwoju technicznego projektów których celem jest rozwój oprogramowania (Bork i in., 2020).

Jak podają Zhang i in., Unified Modeling Language (UML) to standardowa notacja graficzna opracowana przez Object Management Group (OMG) do modelowania systemów informatycznych. UML jest szeroko stosowany w dziedzinie inżynierii oprogramowania i jest przydatny zarówno do modelowania architektury systemu, jak i procesów biznesowych. UML oferuje zestaw różnych diagramów do reprezentowania różnych aspektów systemu. Najważniejsze typy diagramów UML to według Zhang i in. (L. Zhang i in., 2022):

1. Diagram klas (Class Diagram): Pokazuje statyczną strukturę systemu, w tym klasy, relacje między klasami, atrybuty i metody.
2. Diagram przypadków użycia (Use Case Diagram): Opisuje funkcjonalność systemu z perspektywy aktorów i przypadków użycia.
3. Diagram sekwencji (Sequence Diagram): Pokazuje interakcje między obiektami w czasie, przedstawiając kolejność wywoływania metod i przepływ komunikacji.
4. Diagram stanów (State Diagram): Pokazuje różne stany, w jakich może znajdować się obiekt systemu i przejścia między nimi.

¹ www.omg.org

5. Diagram aktywności (Activity Diagram): Opisuje sekwencję działań i przepływ sterowania w procesie biznesowym lub w ramach obiektu.
6. Diagram komponentów (Component Diagram): Przedstawia strukturę komponentów systemu i relacje między nimi.

Notacja UML zgodnie z Varga i Csukas umożliwia tworzenie precyzyjnych modeli, które ułatwiają zrozumienie i komunikację między różnymi interesariuszami projektu. Może być wykorzystywana do analizy, projektowania, dokumentowania i wdrażania systemów informatycznych. UML jest wszechstronny i elastyczny, umożliwiając dostosowanie notacji do różnych kontekstów i wymagań projektu. Narzędzia do modelowania oparte na języku UML oferują funkcje generowania kodu, analizy statycznej, walidacji modelu i współpracy zespołowej. Korzystanie z notacji UML może przyspieszyć proces projektowania systemu, poprawić komunikację między członkami zespołu projektowego oraz zapewnić większą przejrzystość i precyzję dokumentacji projektowej. Zdobycie podstawowej wiedzy na temat notacji UML jest niezbędne, aby efektywnie korzystać z narzędzi i wykorzystywać modelowanie w rozwoju systemów informatycznych (Varga & Csukas, 2022).

2.2.2.3. Metoda EPC (Event-driven Process Chain)

EPC (Event-driven Process Chain) to notacja i język modelowania procesów biznesowych, który koncentruje się na zdarzeniach jako podstawowych jednostkach procesu (Lamine i in., 2020). EPC został opracowany przez profesora Augusta-Wilhelma Scheera w celu modelowania procesów biznesowych z perspektywy kontrolowania zdarzeń (Guizani & Ghannouchi, 2021). W strukturze EPC dominują diagramy przepływu reprezentujące zależności logiczne i czasowe występujące pomiędzy czynnościami w procesach biznesowych. Głównym celem tej notacji jest udostępnienie użytkownikom elementów do graficznej reprezentacji procesów organizacyjnych, które działają intuicyjnie, są zrozumiałe dla analityków i przedsiębiorców (Men i in., 2022). EPC to główny język reprezentujący procesy biznesowe w metodyce ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) agregujący zasoby powiązane z biznesem i zapewniający rozwój sekwencji działań i zadań których celem jest dostarczenie wartości (Guizani & Ghannouchi, 2021). Jest to metodyka prosta i łatwa do zrozumienia, przypominająca schematy blokowe. Dodatkowo EPC wykorzystuje operatory logiczne (Lamine i in., 2020).

EPC jest notacją starszą od BPMN. Jest to półformalny i graficzny język służący do modelowania, analizy i projektowania. Stanowi ona część metody ARIS. EPC opisuje procesy

na poziomie ich logiki biznesowej, może być więc łatwo zrozumiany i używany przez ludzi związanych z biznesem (Men i in., 2022). Główną zaletą EPC to prostota i łatwość zrozumienia. Modele procesów EPC są sterowane zdarzeniami. Oznacza to, że są oparte na stanach, czyli głównym celem modelu jest reprezentacja stanów procesów. EPC opiera się na koncepcjach sieci Petriego i sieci stochastycznych. Podstawowe elementy EPC obejmują konstrukty takie, jak funkcja, zdarzenie, złącze OR, XOR, AND, przepływ sterowania. Podstawowa wersja EPC jest skupiona na perspektywie operacyjnej, funkcjonalnej i kontrolnej niż perspektywie transakcji danych (Y. Wang i in., 2021). Istnieje również rozszerzona wersja EPC, czyli eEPC poszerzona o inne konstrukty takie, jak jednostka organizacyjna, stanowisko, dane, system, powiązanie procesu, relacja. Opisana rozbudowa ma na celu uzupełnienie modeli procesów o strukturę organizacyjną i przepływ danych. eEPC zawiera elementy służące do reprezentowania ról, osób, informacji, obiektów, zasobów, które mogą być traktowane jako wejście lub wyjście do funkcji i stanowić ścieżkę procesową do opisu hierarchii procesów EPC (Drost i in., 2022). Wszystko, co można opisać w EPC, można również opisać w BPMN. Wśród różnic można wymienić fakt, że BPMN posiada zdefiniowany formalnie metamodel. Dzięki temu jeśli posiadamy narzędzia do transformacji modeli takie jak na przykład MOLA, możliwa jest transformacja modeli BPMN na inne modele (notacje) albo na gotowe fragmenty oprogramowania. W przypadku EPC konieczne byłoby zdefiniowanie metamodelu transformacji przed jej opracowaniem. Drugą różnicą jest fakt, że BPMN służy do specyfikowania procesów wykonywalnych. To umożliwia uruchomienie prawidłowo zdefiniowanego procesu biznesowego w standardzie BPMN 2.0. Notacja BPEL także została opracowana w celu opisywania wykonywalnych procesów biznesowych (Hammal i in., 2020).

Jak podają Abbad Andaloussi i in., Schäffer i in. oraz P. Valderas i in. głównymi elementami EPC są (Abbad Andaloussi i in., 2020b; Schäffer i in., 2021; P. Valderas i in., 2022):

1. Zdarzenia, które są reprezentowane jako owale i oznaczają momenty rozpoczęcia lub zakończenia procesu lub etapu procesu.
2. Funkcje (Functions) reprezentowane jako prostokąty i oznaczają konkretne działania, które muszą być wykonane w procesie.
3. Łączniki (Connectors) używane do tworzenia logicznych połączeń między elementami procesu.
4. Reguły kontroli (Control Rules), które oznaczają warunki, które muszą być spełnione, aby przejść z jednego elementu procesu do drugiego.

EPC opiera się na koncepcji kontroli sterowanej zdarzeniami, w której przejście między elementami procesu zależy od wystąpienia lub niewystąpienia określonych zdarzeń (Guizani & Ghannouchi, 2021). EPC umożliwia opisywanie zarówno sekwencyjnych, jak i równoległych procesów biznesowych (Lamine i in., 2020). Notacja EPC jest używana w różnych dyscyplinach i branżach oraz w różnych kontekstach, takich jak modelowanie procesów biznesowych, analiza procesów, audyt procesów i usprawnienia operacyjne (Sultan i in., 2021). Narzędzia do modelowania procesów biznesowych często oferują wsparcie dla notacji EPC, umożliwiając tworzenie, edycję i analizę diagramów EPC. Korzyści ze stosowania EPC obejmują łatwość zrozumienia procesu przez różnych interesariuszy, możliwość identyfikacji potencjalnych obszarów optymalizacji, skupienie się na kluczowych zdarzeniach procesowych oraz wykorzystanie logiki sterowania sterowanej zdarzeniami w modelowaniu procesu. Wiedza na temat notacji EPC i jej zrozumienie ma zastosowanie w kontekście modelowania procesów biznesowych, i pozwala skutecznie wykorzystać tę metodologię do analizy i doskonalenia procesów biznesowych (Kundgol i in., 2021).

2.2.2.4. Metoda IDEF (Integration DEfinition)

IDEF (Integration DEfinition) jak podają Albelda Marco i Estellés Arguedas, to seria metodologii analizy procesów biznesowych, które zostały opracowane przez Siły Powietrzne Stanów Zjednoczonych w celu modelowania, analizowania i dokumentowania różnych aspektów działalności organizacji. Metodologie IDEF mają na celu zapewnienie ujednoliconego podejścia do analizy i opisu procesów biznesowych, a także ułatwienie komunikacji i zrozumienia między różnymi zainteresowanymi stronami (Albelda Marco & Estellés Arguedas, 2021).

Według Pohl i in. ta metoda umożliwia analizę procesów w drodze budowy modeli reprezentujących bieżącą funkcjonalność tak aby zaprojektować idealny model funkcjonowania przedsiębiorstwa. Metodologia ta obejmuje 16 technik do modelowania i analizy systemów, każda ukierunkowana na inną dziedzinę zastosowań. Metodologia IDEF umożliwia integrację planowania procesu i produkcji w zespole (Pohl i in., 2021).

Wśród najbardziej znanych metodologie IDEF Romero i in., Sladić i in., Uskenbayeva i in. wymieniają następujące metodologie (Romero i in., 2022; Sladić i in., 2020; Uskenbayeva i in., 2020):

1. IDEF0 czyli metoda graficzna, która opisuje funkcje i przepływ danych procesów biznesowych. Wykorzystuje hierarchiczną strukturę do reprezentowania procesów na

różnych poziomach szczegółowości. Diagramy IDEF0 koncentrują się na opisie tego, co robi system, a nie jak to robi.

2. IDEF1X jest nazwą metody, która służy do modelowania struktur danych w kontekście systemów informatycznych. Wykorzystuje notację graficzną do reprezentowania encji, atrybutów, relacji i zależności między nimi. IDEF1X umożliwia dokładne opisanie struktury danych, ułatwiając projektowanie i zarządzanie bazami danych.
3. IDEF3 to metoda koncentrująca się na modelowaniu procesów przepływu danych. IDEF3 opisuje, w jaki sposób informacje są przetwarzane, przechowywane, przesyłane i wykorzystywane w procesach biznesowych. Wykorzystuje diagramy przepływu danych i diagramy struktury danych.
4. IDEF4 to metoda, która służy do modelowania organizacji, struktury organizacyjnej i relacji między jednostkami organizacyjnymi. IDEF4 pozwala opisać hierarchię, obowiązki, relacje i funkcje w organizacji.

Według Shahzad i in. metodologie IDEF mają na celu zapewnienie dokładnej i jednoznacznej reprezentacji procesów biznesowych, danych, struktur organizacyjnych i innych elementów związanych z działalnością organizacji. Oferują one narzędzia i techniki pomagające analizować, projektować, optymalizować i dokumentować procesy biznesowe (Shahzad i in., 2021).

Jak podają Arasi i in., metodologie IDEF są szeroko stosowane w różnych sektorach, w tym w przemyśle, administracji i inżynierii systemów. Korzystanie z metodologii IDEF może przynieść korzyści, takie jak lepsze zrozumienie procesów biznesowych, identyfikacja obszarów wymagających poprawy, usystematyzowanie danych i struktur organizacyjnych oraz ułatwienie komunikacji między zespołami projektowymi (Arasi i in., 2021).

Przedstawione powyżej cztery metody IDEF posiadają różne cechy, zalety i wady. Wyzwaniem jest więc porównanie ich z uwzględnieniem podobieństw i różnic. Cechy według których można dokonywać analizy porównawczej, stanowiące kryteria oceny dla poszczególnych notacji podają Elfeky i in. (Elfeky i in., 2020):

- Ekspresyjność umożliwiająca ocenę zdolności języka do reprezentacji. Jest skupiona na elementach notacji w celu sprawdzenia czy te elementy służą wszystkim celom i potrzebom różnych modeli.

- Formalizm dotyczy opisu i formalnej definicji każdej notacji. Oceniane jest czy notacja posiada formalną definicję wszystkich elementów, które obejmuje i przejrzyste reguły dotyczące ich użycia.
- Użyteczność, celem której jest pomiar trudności zrozumienia i wykorzystania notacji modelowania procesów dla analityków i osób modelujących. Ocenia łatwość użycia notacji.
- Przyjazność, która dotyczy aspektu graficznego w notacji, promuje notację nieskomplikowaną uwzględniając elementy i występujące między nimi relacje.
- Czytelność oznacza łatwość interpretacji procesów przez wszystkich interesariuszy z uwzględnieniem analityków, użytkowników technicznych i kierowników.
- Elastyczność zapewnia elementów graficznych dających dużą elastyczność i wiele alternatyw modelowania.
- Narzędzia wspomagające umożliwiają ocenę tego, czy notacja zapewnia różne rozwiązania wspierające jej implementację.
- Uniwersalność oznacza analizę czy dana notacja jest wystarczająco znana. Wysoka rozpoznawalność zapewnia korzyści takie jak wsparcie ze strony społeczności aktywnych użytkowników, większą dostępność twórcy.
- Cel weryfikuje czy notacja daje możliwość automatyzacji i przeprowadzenia pełnego wykonania procesów czy tylko analizy i działania na procesach.

Przykładowa analiza porównawcza wymienionych metod z uwzględnieniem przedstawionych kryteriów oceny sporządzona na podstawie (T. C. Entringer i in., 2021) jest zamieszczona w Tabeli 3.

Tabela 3. Analiza porównawcza wybranych metod modelowania procesów biznesowych.

Cechy	BPMN	UML	EPC	IDEF
Ekspresyjność	x	x	x	x
Formalizm	x	x	x	x
Użyteczność	x	x	x	x
Przyjazność	x			
Czytelność	x	x	x	x
Elastyczność	x			
Narzędzia wspomagające	x	x	x	

Uniwersalność	x	x	x	
Cel	x	x	x	x

Źródło: T. C. Entringer i in., 2021.

Jak twierdzą T. C. Entringer i in., BPMN jest jedyną metodyką, która uwzględnia kryteria przyjazności i elastyczności. Na podstawie tego można wywnioskować, że metoda ta udostępnia przyjazną graficznie notację, która jest w stanie wesprzeć pracę użytkowników, wskazując w prosty sposób elementów niezbędnych oraz przydatnych w celu uzyskania spodziewanego rezultatu dla finalnego modelu. BPMN oferuje wysoki poziom elastyczności i udostępnia użytkownikom różnorodne alternatywy modelowania (T. C. Entringer i in., 2021). Analiza pokazuje, że notacja BPMN jest najbardziej zrozumiała dla szerokiego grona użytkowników w porównaniu z pozostałymi notacjami, wszechstronna. Umożliwia modelowanie dużego zakresu modeli pod względem różnorodności, zarówno ogólne jak i specyficzne. Może być wykorzystywana przez wszystkie zaangażowane osoby w modelowanie procesów biznesowych. Można również zaobserwować, że notacje BPMN, UML i EPC uwzględniają kryteria: Narzędzia wspierające i Uniwersalność. Te trzy metodyki udostępniają więc duży wybór rozwiązań wspomagających implementację i są związane z kilkoma szeroko dostępnymi pakietami oprogramowania umożliwiając analitykowi procesów biznesowych korzystanie z profesjonalnych i sprawdzonych narzędzi, rozpoznawalnych w środowisku biznesowym i akademickim. Jak widać, cel porównywanych metod jest taki sam, natomiast posiadają one specyficzne cechy, które są odmienne (T. Entringer i in., 2019).

Rozdział 2.3. Techniki modelowania procesów biznesowych

Oprócz dedykowanych metod wykorzystywanych w dziedzinie modelowaniu procesów biznesowych zainteresowanie modelowaniem procesów biznesowych spowodowało wykształcenie szeregu podejść praktycznych zwanych technikami modelowania procesów biznesowych. Autorzy tacy jak Marnada i in. oraz Thesing i in. wspominają także o metodykach prowadzenia projektów, wśród których wyróżniają Prince 2, Agile i Scrum (Marnada i in., 2022; Thesing i in., 2021). Warto wskazać, że zrozumienie praktycznych różnic pomiędzy poszczególnymi technikami modelowania jest kluczowe w wyborze techniki najbardziej odpowiedniej do wykonania danego zadania. W niniejszym podrozdziale scharakteryzowano wybrane na podstawie przeglądu literatury techniki modelowania procesów biznesowych.

Jak podają Aldin i De Cesare, celem modelowania procesów biznesowych jest reprezentowanie poszczególnych elementów w spójnym modelu zachowań potrzebnych do

wyprodukowania usługi (Aldin & De Cesare, 2009). Przykładowe kryteria oceny wybranych technik modelowania procesów biznesowych analizowanych w niniejszej pracy oraz ich charakterystykę na podstawie przeanalizowanej literatury zawiera Tabela 4 (Aldin & De Cesare, 2009; T. Entringer i in., 2019). Wśród ocenianych technik znalazły się wykres przepływu (diagram przepływu), sieci Petriego, diagramy przepływu danych, diagramy aktywności ról, diagramy notacji modelowania procesów biznesowych oraz diagramy użycia biznesowego.

Tabela 4. Przykładowe kryteria oceny technik modelowania procesów biznesowych.

Kryterium	Opis
Elastyczność	Zakres możliwości implementacji zmian w typach i instancjach procesów biznesowych poprzez modyfikowanie tych elementów które takich zmian wymagają, z pozostawieniem reszty stabilnych. Elastyczność modelu oznacza możliwość jego zmiany bez wymiany wszystkich jego elementów.
Łatwość użycia	Zakres łatwości zastosowania techniki przez użytkowników obejmujących interesariuszy bez specjalistycznej wiedzy dotyczącej techniki
Zrozumiałość	Stopień zrozumiałości techniki dla interesariuszy bez specjalistycznej wiedzy technicznej dotyczącej techniki
Wsparcie symulacji	Stopień w jakim technika jest zdolna do dynamicznej symulacji modelu
Zakres	Zakres w jakim elementy modelu procesu są reprezentowane przez struktury zawarte w technice

Źródło: T. C. Entringer i in., 2021; Aldin & De Cesare, 2009.

2.3.1. Wykres przepływu – Flow chart

Jak podaje Aguilar-Savén, flow chart jest prawdopodobnie pierwszą notacją procesową. Metoda modelowania wykorzystuje schematy blokowe do reprezentowania procesów. Wykorzystuje ona sekwencyjny przepływ działań i nie wspiera podziału czynności (Aguilar-Savén, 2004). Pokazuje graficznie przepływ kontroli w całym procesie, demonstruje co się dzieje w każdym kroku w danej sytuacji. Według Russo i in. flow chart jest przeważnie używany w inżynierii oprogramowania. Dzięki prostocie i łatwości użycia są przydatne również dla menadżerów i właścicieli przedsiębiorstw (Russo i in., 2021). W Tabeli 5 przedstawiono charakterystykę metody flow chart względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych (Erasmus i in., 2020).

Tabela 5. Charakterystyka metody flow chart względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych.

Kryterium	Cechy
Elastyczność	Prostota aktualizacji, łatwe w aktualizacji. Graficzna reprezentacja pomaga w identyfikacji wąskich gardeł lub niskiej efektywności, wskazując możliwości poprawy lub usprawnienia procesu. Są proste, łatwo modyfikowalne. Dzięki wykresom przepływu proces może być opisany na wiele różnorodnych sposobów. Elastyczność oraz możliwość komunikacji jest główną zaletą wykresów przepływu. Jednak brak wyrafinowanego mechanizmu modularyzacji lub pakowania diagramów, dlatego wywoływanie innych procesów z diagramów przepływu może powodować problem.
Łatwość użycia	W porównaniu do innych technik są łatwe do poznania przez interesariuszy nie posiadających doświadczenia, ponieważ mają ograniczony zestaw symboli. Wykresy przepływu są bardzo łatwe w użyciu.
Zrozumiałość	Prostota diagramów przepływu umożliwia wykorzystywanie ich w komunikacji pomiędzy interesariuszami i analitykami. Notacja jest łatwa do zrozumienia dzięki łatwej semantyce struktur. Prostota cechuje schematy blokowe.
Symulacja	wykresy przepływu są elementem który może zostać przekazany do narzędzi symulacyjnych, które przyjmują je jako bazową technikę. Przykładem może być iGrafx umożliwiające tworzenie aktywnych wykresów przepływu. Jednak samodzielnie nie umożliwia dokonania symulacji.
Zakres	Elementy modelowania wykresy przepływu obejmują: początek, koniec, czynność, wejście, wyjście, decyzję i proces. Dzięki temu diagram przepływu może być używany jako technika modelowania procesów, a kroki reprezentują czynności w danej sytuacji. Jednak technika ta nie dysponuje narzędziami do jednoznacznego reprezentowania usług, zdarzeń i reguł. Zakres jest więc ograniczony.

Źródło: Erasmus i in., 2020; Aldin & De Cesare, 2009.

Wśród zalet Kler i in. wymieniają to, że flowcharty dysponują kilkoma standardowymi symbolami które pomagają projektantowi w dokładnej komunikacji. Flowchart jest pomocny w wykrywaniu, lokalizowaniu i usuwaniu błędów (bugów) w programie na drodze systemowej (Kler i in., 2020). Główną wadą flowchartów według Abid i in. jest fakt, że osiągają one znaczne rozmiary w modelowaniu złożonych procesów, są czasochłonne i spowalniają proces rozwoju oprogramowania. Nie wspierają również podziału na działania (Abid i in., 2022).

2.3.2. Sieci Petriego (Petri net)

Jak podają Lacheheub i in. sieć Petriego to graficzna notacja, która jest odpowiednia do modelowania systemów ze współbieżnością i ich wizualnej reprezentacji. Sieci Petriego znajdują zastosowanie w modelowaniu oprogramowania komputerowego, sprzętu, przepływu sterowania i procesów biznesowych (Lacheheub i in., 2020). W Tabeli 6 przedstawiono charakterystykę sieci Petriego względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych (Aldin & De Cesare, 2009; Lacheheub i in., 2020).

Tabela 6. Charakterystyka sieci Petriego względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych.

Kryterium	Cechy
Elastyczność	Sieci Petriego to notacja graficzna i jednocześnie matematyczna więc są użyteczne do analizy i edycji modeli procesów biznesowych. Umożliwiają analizę i wprowadzanie zmian bez utraty tożsamości modelu.
Łatwość użycia	Stosowanie jest utrudnione ze względu na mały wybór elementów modelowania i ograniczoną ekspresyjność. Nie jest to technika zorientowana na użytkownika, więc jej adaptacja do BPM jest utrudniona, szczególnie dla interesariuszy nie posiadających doświadczenia.
Zrozumiałość	Ze względu na niewiele typów elementów służących do budowy modeli stanowią dobrą podstawę do zrozumienia modelu Sieci Petriego i nauki języka modelowania. Jednak mimo intuicyjnej logiki zastosowanie dla modelu złożonych procesów biznesowych może wymagać pewnej wiedzy.
Symulacja	Sieci Petriego mogą wspomagać budowę modeli symulacyjnych. Polega to na przekształceniu statycznych modeli procesów w dynamiczne modele symulacyjne. To ukazuje realizację procesów. Przykładem narzędzia opartego o Sieci Petriego jest PNS. Zachowanie modelu reprezentowanego przez sieci Petriego może więc być analizowane z wykorzystaniem symulacji równoważnej wykonaniu programu albo przy pomocy bardziej formalnych metod analizy równoznacznymi z weryfikacją.
Zakres	Procesy mogą być reprezentowane z wykorzystaniem matematycznych i graficznych reprezentacji. Przepływ czynności reprezentują węzły przejściowe i łuki łączące miejsca z przejściami. Przejścia reprezentują zdarzenia, reguły są modelowane przez warunki, jednak pojęcia usługi, celu i roli nie są jawnie obsługiwane.

Źródło: Lacheheub i in., 2020; Aldin & De Cesare, 2009.

Jyotish i in. jako ich zalety podają fakt, że stanowią kombinację pomiędzy dobrze zdefiniowanymi formułami matematycznymi i graficzną reprezentacją dynamicznego

zachowania systemu. Mogą być analizowane matematycznie w celu wydobycia wiedzy i są odpowiednie do przeprowadzania analizy ilościowej i doskonalenia procesów (Jyotish i in., 2022).

Jak twierdzą Hu i in., modele te mają jednak tendencję do osiągnięcia dużych rozmiarów. Nie wspierają strukturyzacji dużych modeli. Nie są łatwo zrozumiałe dla użytkowników, którzy nie są ekspertami w dziedzinie modelowania procesów. Nie są odpowiednie do modelowania złożonych konstruktów, które nie są oparte na diagramowej reprezentacji procesu z punktami decyzyjnymi. Reprezentacja matematyczna może być bardziej złożona niż diagramowa – duża złożoność (Hu i in., 2020).

2.3.3. Diagram przepływu danych (DFD – data flow diagram)

DFD według Seifermann i in. jest graficzną reprezentacją przy pomocy której można pokazać funkcjonalność systemu wraz z procesami i przepływem danych. Umożliwia przygotowanie reprezentacji wielopoziomowej (dekompozycji funkcjonalnej) z wykorzystaniem diagramów potomnych dla każdej czynności (Seifermann i in., 2022). W Tabeli 7 zamieszczono charakterystykę diagramu przepływu danych względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych (Aldin & De Cesare, 2009; Seifermann i in., 2022).

Tabela 7. Charakterystyka diagramu przepływu danych względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych.

Kryterium	Cechy
Elastyczność	Możliwość reprezentacji wielopoziomowej z zastosowaniem diagramów potomnych dla każdej czynności ułatwia wprowadzanie zmian i uaktualnianie oraz doskonalenie systemu. Obecna dekompozycja funkcjonalna daje możliwość dzielenia procesów na podprocesy, które można kolejno dalej dzielić. Dekompozycja funkcjonalna pozwala na modułową reprezentację procesu, co zwiększa elastyczność techniki.
Łatwość użycia	DFD to technika łatwa w użyciu dzięki małej liczbie elementów potrzebnych do zbudowania modelu. Elementy modelowania są ekspresyjne, czyli dobrze wyrażają to co reprezentują. Dzięki temu budowa modelu jest łatwa nawet dla niedoświadczonych użytkowników. W tym aspekcie DFD są podobne do sieci Petriego, ponieważ obie notacje składają się z niewielkiej liczby elementów niezbędnych do budowy modeli. DFD mają jednak przewagę nad sieciami Petriego ze względu na większe bogactwo semantyczne.
Zrozumiałość	Technika DFD jest łatwa do zrozumienia zarówno jako koncepcja jak również pod względem prezentacyjnym. Funkcjonalna dekompozycja umożliwia przedstawienie

	diagramów abstrakcyjnie oraz szczegółowo. Diagramy DFD mogą być wykorzystywane w komunikacji i dyskusji między analitykami i pracownikami modelującymi, gdyż są proste, łatwe do zrozumienia i narysowania, wprowadzenia poprawek i zmian.
Symulacja	Technika DFD nie jest techniką z wykorzystaniem której można by było łatwo wspierać symulację. Jest to technika przeznaczona do statycznego modelowania procesów biznesowych.
Zakres	Technika DFD używa czterech podstawowych elementów do modelowania procesów biznesowych, wśród których są proces, magazyn danych, terminatory i przepływ. Umożliwiają one śledzenie i obrazowanie ruchu informacji. Przepływ reprezentuje ruch informacji z jednego punktu do drugiego. Proces pokazuje transformację danych z jednego stanu do drugiego. Terminatory reprezentują aktorów wchodzących w interakcję z różnymi procesami systemowymi. Magazyn danych reprezentuje repozytorium informacji.

Źródło: Seifermann i in., 2022; Aldin & De Cesare, 2009.

Spośród zalet diagramu przepływu danych Abu-elezz i in. wskazują fakt, że dzięki funkcjonalnej dekompozycji czyli istnieniu wielu poziomów reprezentacji DFD umożliwiają przeprojektowywanie procesów biznesowych, poprawki i zapewniają szczegółowy opis procesy dla analityków systemowych i użytkowników (Abu-elezz i in., 2020). Do wad Chong & Diamantopoulos zaliczają to, że dla dużych systemów DFD bywają trudne do przetłumaczenia i odczytania, ich konstruowanie jest czasochłonne, a ich przepływ informacji może być bardzo złożony (Chong & Diamantopoulos, 2020).

2.3.4. Diagram aktywności ról (Role activity diagram - RAD)

RAD to graficzna reprezentacja procesów z uwzględnieniem ról występujących w ramach tych procesów, występujących w ramach ich działań, interakcji, zdarzeń zewnętrznych, logiki określającej kolejność tych działań. Proces może być modelowany diagramowo z wykorzystaniem tej techniki z użyciem ról, celów, działań, interakcji i reguł biznesowych. Arora i Naithani uważają tą technikę za najpełniejszą do reprezentowania większości cech procesów (H. Arora & Naithani, 2022). W Tabeli 8 przedstawiono charakterystykę diagramu aktywności ról względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych (Aldin & De Cesare, 2009; V. Arora i in., 2020).

Tabela 8. Charakterystyka diagramu aktywności ról względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych.

Kryterium	Cechy
Elastyczność	Technika RAD używa notacji reprezentującej działania i wypowiedzi w procesie. Umożliwia reprezentację procesu w następujących kategoriach: ról, zasobów, działań, użytkowników, stanów i interakcji pomiędzy uczestnikami. Role są wyposażone w atrybuty. Elementy te pomagają w wizualizacji procesu biznesowego. Działania są zgrupowane i wykonywane przez grupę, jednostkę lub system. Grupowanie działań jest nazywane rolami a role są przedstawiane jako prostokąty z zaokrąglonymi rogami i otaczają aktywności. Dzięki rolom analityk ma możliwość udoskonalania i zmiany działań bez konieczności ingerencji w cały model. Wadą jest wykluczenie obiektów biznesowych obsługiwanych przez proces takich jak maszyny albo produkty. Proces jest tu przedstawiony jako sekwencja działań, która nie pozwala na dekompozycję procesu, co utrudnia przeprowadzanie przeglądu.
Łatwość użycia	RAD udostępnia zestaw symboli przydatnych w opisie procesów. Podejście to zapewnia łatwe użycie i wsparcie. Notacja charakteryzuje się elastycznością i łatwością zrozumienia. Diagramy aktywności ról są szczególnie użyteczne dla dużych systemów w których obecnych jest wiele uczestników. Są łatwe i intuicyjne do odczytania i zrozumienia.
Zrozumiałość	RAD charakteryzuje intuicyjność użycia i zrozumienia. Graficzny widok procesu jest szczegółowy. Model RAD obejmuje proste notacje i dużą ekspresyjność co zapewnia wiarygodność komunikacji wśród wielu uczestników i jest przydatny dla dużych systemów z wieloma uczestnikami.
Symulacja	RAD wspiera aspekty symulacji umożliwiając szczegółową kontrolę wybranych części procesu. Podejście to jest przydatne w symulacjach dużych procesów systemowych.
Zakres	Elementy modelowania wchodzące w skład RAD opisują proces z wykorzystaniem kategorii ról, zasobów, działań, użytkowników, stanów i interakcji między uczestnikami. Każda rola ma przypisane atrybuty określające jej zachowanie. Technika RAD skutecznie reprezentuje procesy, działania i role. Zdarzenia i reguły są reprezentowane niejawnie, natomiast usługi nie są obsługiwane. RAD przedstawiają szczegółowy obraz procesu i pozwalają na równoległe prowadzenie działań.

Źródło: Arora & Naithani, 2022; Aldin & De Cesare, 2009.

Zdaniem Nejad i in. RAD są łatwe do zrozumienia i prezentują szczegółowy widok na proces z uwzględnieniem sekwencyjnych, równoległych i współpracujących procesów zawierających scenariusze z wieloma interakcjami pomiędzy rolami. Wykorzystanie roli w RAD jest strukturalną koncepcją i jasno pokazuje kto jest za co odpowiedzialny (Nejad i in., 2022). Wśród wad według Planas i Cabot istotny jest fakt, że proces jest prezentowany jako sekwencja czynności, która nie pozwala na dekompozycję procesu, co czyni jego przegląd trudnym (Planas & Cabot, 2020).

2.3.5. Przypadki użycia w biznesie (Business Use Cases - BUC)

Przypadek użycia według Bello i in. jest opisem sekwencji działań z uwzględnieniem ich wariantów wykonywanych przez system, który daje zauważalny rezultat dostarczający wartość dla danego aktora. Biznesowy przypadek użycia to opis zachowania organizacyjnego, którego efektem jest usługa dla aktora, a funkcjonalność opisana jest w kategoriach procesu biznesowego (Bello i in., 2021). Tabela 9 przedstawia charakterystykę techniki biznesowych przypadków użycia względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych (Aldin & De Cesare, 2009; Bello i in., 2021).

Tabela 9. Charakterystyka techniki biznesowych przypadków użycia względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych.

Kryterium	Cechy
Elastyczność	Biznesowe przypadki użycia to w większości tekstowe opisy procesów organizacyjnych, których efektem jest usługa dla uczestnika procesu. To może pozytywnie wpływać na elastyczność, gdyż narrację można dowolnie modyfikować. Z drugiej strony niejednoznaczności i niespójności wynikające z natury języka opisowego w procesach modelowania mogą wprowadzać nieprecyzję i nieścisłości. Rolę odgrywa precyzyjne kryterium czyli obserwowalny wynik mający wartość dla konkretnego aktora. To jest podstawą do modelowania tylko tych procesów, które dostarczają zauważalny wynik.
Łatwość użycia	Są łatwe i szybkie do nauczenia się, bo są w większości tekstowymi narracjami procesów biznesowych. Trzeba trzymać się zasady kryterium określającego, że obserwowalny wynik mający wartość dla konkretnego aktora. Dodatkowo narracje tekstowe można łączyć z dowolną reprezentacją graficzną.
Zrozumiałość	Dzięki opracowaniu w języku naturalnym biznesowe przypadki użycia są łatwe do odczytania nawet przez osobę bez specjalistycznego przygotowania.
Symulacja	Biznesowe przypadki użycia nie dają wsparcia bezpośredniego dla symulacji.

Zakres	Tekstowy opis biznesowych przypadków użycia zawiera cechy takie jak nazwa, cel, warunki wstępne, zdarzenie uruchamiające, podstawowe i alternatywne przepływy procesu, warunki końcowe. BUC wspierają wszystkie elementy modelowania procesów biznesowych, mogą być wykorzystywane do modelowania usług i procesów dostarczających takie usługi.
--------	--

Źródło: Bello i in., 2021; Aldin & De Cesare, 2009.

2.3.6. Diagram interakcji obiektów biznesowych (Business Object Interaction Diagram)

W tej technice modelowania biznesowego jak podają Abbas i in., podjęto próby wprowadzenia paradygmatu orientacji obiektowej. Diagramy interakcji zapewniają obiektową perspektywę dla przypadków użycia w biznesie. W aktualnej wersji UML (Unified Modelling Language) uwzględniono dwa rodzaje diagramów interakcji: komunikacyjne i sekwencyjne (Abbas i in., 2021). W Tabeli 10 zamieszczono charakterystykę techniki biznesowych przypadków użycia względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych (Abbas i in., 2021; Aldin & De Cesare, 2009).

Tabela 10. Charakterystyka diagramu interakcji obiektów biznesowych względem wybranych kryteriów oceny technik modelowania procesów biznesowych.

Kryterium	Cechy
Elastyczność	Technika ta zapewnia pewien poziom modularyzacji i oddzielenia problemów związanych z różnymi zachowaniami organizacyjnymi. Cechy modularności są zauważalne na najniższym poziomie drobnej struktury zawierającej obiekty, która tworzy podstawowe elementy diagramu interakcji. Diagramy sekwencji mogą być wywoływane przez siebie nawzajem nawet przez parametry, co umożliwia różnym diagramom sekwencji skoncentrowanie się na modelowaniu charakterystycznych obowiązków i odpowiadających im przypadków użycia, które realizują. Może być wykorzystywany do reprezentacji sekwencji czynności i przepływów sterowania. Pozwala na stosowanie tekstów związanych z przepływami. Umożliwia modelowanie wielu perspektyw procesów poprzez łączenie się z innymi diagramami UML.
Łatwość użycia	Diagramy sekwencji nie są łatwe do nauczenia się i stosowania ze względu na to, że wymagają opanowania wiedzy z zakresu orientacji obiektowej wykorzystywanej przy modelowaniu procesów biznesowych na bardziej szczegółowych poziomach abstrakcji. Przez to są rzadko stosowane w modelowaniu biznesowym.

Zrozumiałość	Diagramy sekwencji wymagają pewnej wiedzy z zakresu orientacji obiektowej ze względu na to, że obiekty występujące w modelowaniu procesów biznesowych dotyczą ról uczestników albo grup w organizacji. Dla początkującego użytkownika łatwiejsze wydaje się zinterpretowanie diagramu sekwencji niż jego utworzenie. Przez to występują trudności ze zrozumiałością diagramów sekwencji.
Symulacja	Symulacja z wykorzystaniem techniki diagramów sekwencji nie jest szeroko wspierana, mimo istnienia nowoczesnych narzędzi UML CASE które udostępniają wsparcie dla modelowania diagramów sekwencji. Niektóre z tych narzędzi wspierają aktualnie symulację za pomocą diagramów BPMN, które reprezentują procesy w sposób bardziej podobny sposobowi, w jaki interesariusze biznesowi postrzegają procesy organizacyjne.
Zakres	Elementy modelowania procesów biznesowych mogą być reprezentowane z wykorzystaniem BUC, jednak z perspektywy obiektowej a nie perspektywy przypadku użycia. Przykładowo diagramy sekwencji nie wspierają ściśle koncepcji procesu i aktywności w taki sam sposób jak BPMN i BUC. W diagramach interakcji obiektowych, procesy odwzorowywałyby współpracę pomiędzy obiektami, natomiast aktywności mapowałyby do wiadomości wysyłanych pomiędzy obiektami. Zakres elementów wymaganych w modelowaniu procesów biznesowych udostępniony w technice diagramów interakcji obiektów jest więc ograniczony. Umożliwia modelowanie dynamicznego zachowania przepływów w systemach oprogramowania. Udostępnia teksty do zastosowania z przepływami i czynnościami w celu wskazania warunku, obiektu lub wiadomości przekazywanych w procesie.

Źródło: Abbas i in., 2021; Aldin & De Cesare, 2009.

Zaletą zastosowania UML w diagramie interakcji obiektów biznesowych zdaniem Lima i in. to możliwość opisywania równoległego zachowania w więcej niż jednym przypadku użycia. Do wad należy to, że nie opisują, jak zachowują się obiekty, jak współpracują, oraz jakie działania są wykonywane przez poszczególne obiekty (Lima i in., 2020).

Analiza porównawcza technik modelowania procesów biznesowych może opierać się na następujących kryteriach podanych przez Abbas i in. takich jak możliwość przepływu danych, logika i zrozumiałość, specyfikacja ról, możliwość symulacji, elastyczność, łatwość użycia, wsparcie, zakres (Abbas i in., 2021). Kryteria te mają na celu wybór odpowiedniej techniki i narzędzia do modelowania procesów biznesowych po to aby optymalizować i analizować działanie organizacji.

Planowanie strategiczne według Guizani i Ghannouchi uwzględnia główne cele procesu, definiuje jego unikalność i wymagania. Proces główny określa spełniane funkcje, kluczowe czynniki procesu i rezultaty. Procesy wspierające uwzględniają natomiast elementy wymagane do dostarczenia procesu mimo, że nie są jego kluczową częścią. Mogą dotyczyć umów, kontraktów i kontrahentów (Guizani & Ghannouchi, 2021).

Projektowanie organizacyjne zdaniem Garcia i in. odgrywa istotną rolę w funkcjonowaniu przedsiębiorstw. Umożliwia ono tworzenie rozwiązań dedykowanych dla poszczególnych sektorów z uwzględnieniem specyfiki ich wymagań. Decentralizacja systemów informacyjnych i możliwość włączenia ich do zintegrowanych struktur stworzyły nowe możliwości w zakresie projektowania organizacyjnego przedsiębiorstw. Elastyczne struktury skoncentrowane na wewnętrznych procesach pełnią w firmach istotną rolę i decydują o ich konkurencyjności. Jednak tylko całościowe spojrzenie na wszystkie procesy biznesowe umożliwia firmie rozpoznanie, usprawnianie i wspieranie procesów powiązanych ze sobą przez zoptymalizowaną strukturę systemów informacyjnych. Zarządzanie tymi strukturami jest bardziej złożone od zarządzania scentralizowanymi środowiskami biznesowymi. Wymaga ono przejrzystości struktur przedsiębiorstwa, dobrej komunikacji i sprawnej współpracy na jego wszystkich szczeblach i sprawnego zarządzania projektami w oparciu o zdefiniowane cele biznesowe. Środowiska do tworzenia, analizy i oceny procesów biznesowych umożliwiają wygodne rejestrowanie i modelowanie istotnych procesów biznesowych (Garcia i in., 2023).

Jak podają Corradini, Fornari, i in., pierwszym etapem w tworzeniu architektury jest opracowanie modelu procesów biznesowych zawierającego wszystkie podstawowe cechy opisu procesów biznesowych. Efektem jest złożony model który może zostać podzielony na mniejsze elementy, co umożliwia ich indywidualne opisanie. Relacje pomiędzy poszczególnymi elementami są uwzględniane na ostatnim etapie i łączone w całościowy przegląd łańcuchów biznesowych. Innym podejściem zmniejszającym złożoność jest różnicowanie poprzez tworzenie opisów. Metody opisu systemów informacyjnych są stosowane zgodnie z koncepcją cyklu życia produktów (Corradini, Fornari, i in., 2021).

Pierwszą fazą pracy jest według Ozkaya i Erata opisanie aktualnego stanu danego środowiska procesowego. Stan powiązanych obiektów może się zmieniać podczas przetwarzania przepływu pracy. Modele cyklu życia w formie koncepcji poziomów lub faz opisują cykl życia systemów informacyjnych. Po zdefiniowaniu wymagań należy określić tematy związane z biznesem tak, by czysto informatyczne warunki jak na przykład wydajność

systemu informacyjnego, nie miały wpływu na definicję wymagań. Na poziomie implementacji specyfikacja projektu jest przekształcana w funkcjonalne komponenty sprzętowe i programowe. Opisy należy aktualizować cyklicznie. Najniższa częstotliwość aktualizacji jest na poziomie definicji wymagań, a najwyższa na poziomie implementacji. Poziom wdrożenia jest ściśle związany z rozwojem technologii informacyjnej. Poziom definiowania wymagań jest szczególnie istotny, gdyż pełni rolę repozytorium dla długoterminowego podejścia do zarządzania biznesem i jednocześnie stanowi punkt wyjścia dla dalszych kroków w kierunku realizacji technicznej (Ozkaya & Erata, 2020).

Każdy diagram który można spotkać w metodologiach i notacjach procesów biznesowych może być zaliczony według Pufahl i in. do następujących grup (Pufahl i in., 2022):

- Diagramy hierarchii procesów i czynności – cel przedsiębiorstwa może być najwyższym poziomem drzewa procesów i czynności. Na najniższym poziomie drzewa można umieścić elementarne czynności których nie da się podzielić na podczynności. Diagramy zwykle pokazują kody poszczególnych czynności które są węzłami danego drzewa. Takie diagramy są używane w metodzie CASE firmy Oracle w celu dokładnego określenia granic implementowanego systemu. Wymienienie wszystkich czynności na różnych poziomach abstrakcji umożliwia analitykowi precyzyjne określenie które czynności będą wspomagane przez systemy informatyczne a które nie.
- Diagramy zależności między procesami – często nazywane mapami procesów, służą do zaprezentowania informacji o interfejsach między procesami, czyli które procesy współpracują ze sobą. Ich głównym celem jest pokazanie tego, że wyjścia jednego procesu stanowią jednocześnie wejścia kolejnego procesu. Te diagramy ułatwiają zrozumienie przepływu informacji pomiędzy procesami w przedsiębiorstwie.
- Diagramy struktury procesu – jego celem jest prezentacja informacji o procesie bez dostarczania informacji o sposobie realizacji tego procesu. Informacje zamieszczone na diagramie struktury procesu to: wejścia, wyjścia, cele i kontroler procesu. Wejścia i wyjścia zawierają wiedzę, informację i materiały fizyczne. W przypadku celów procesu należy podać jednostki miary i ich wartości. Kontroler procesu to osoba odpowiedzialna za wyniki procesu.
- Diagramy przepływu czynności w procesie – opracowywanie tych diagramów to inaczej modelowanie procesów biznesowych. Ten rodzaj diagramu jest jedynym zawartym w notacji Business Process Modeling Notation. Diagram przepływu czynności demonstruje sposób w jaki osiągnane są cele danego procesu czyli w jaki

sposób wejścia procesu są przekształcane w wyjścia. Diagramy przepływu czynności są oparte na diagramach algorytmów. Ich głównymi elementami są więc punkty decyzyjne, operacje lub czynności. Na tych diagramach typowo przedstawione są tory symbolizujące wykonawcę czynności. W tych diagramach mogą pojawiać się także zdarzenia i obiekty z zarysowanym przepływem na diagramie. Diagramy przepływu czynności są dobrze modelowane z wykorzystaniem notacji UML, szczególnie po rozszerzeniach dodanych w UML 2.0.

Wymienione i opisane powyżej diagramy są wspierane przez różne narzędzia wykorzystywane w modelowaniu procesów biznesowych.

Rozdział 2.4. Analiza dostępnych technik i narzędzi informatycznych wspomagających modelowanie procesów biznesowych

Jak podają Ahmed i in., ze względu na szeroki asortyment narzędzi służących do modelowania procesów biznesowych występują trudności w wyborze narzędzia odpowiedniego do danego przypadku. Najczęściej wykorzystywane i opisywane w literaturze narzędzia bazują na notacjach modelowania procesów biznesowych takich jak BPMN, UML, EPC i IDEF. Wymagany jest więc przegląd umożliwiający analizę porównawczą dostępnych narzędzi mającą na celu porównanie ich specyficznych cech (Ahmed i in., 2019).

Romero i in. definiują narzędzia jako programy komputerowe służące do tworzenia diagramu procesu biznesowego przy pomocy edytora graficznego z zaimplementowanym ograniczeniem wynikającym z gramatyki używanej notacji. Jedno narzędzie umożliwia użycie wielu notacji. Jako przykładowe narzędzia Romero i in. wymieniają CASE (Computer Aided Software Engineering) dedykowany dla użytkowników informatyków, oparty na sformalizowanej notacji oraz CABA (Computer Aided Business Engineering) dedykowany dla specjalistów ds. zarządzania procesami oparty na luźno sformalizowanych notacjach, koncentrują się na funkcjonalnościach związanych z symulacją procesów i generowaniem raportów ze statystykami procesów (Romero i in., 2022).

Jak podają Erasmus i in. metoda (metodologia) nie zawsze jest udostępniona wraz z notacją lub narzędziem. Metoda to algorytm mówiący w jaki sposób podejść do modelowania procesów zachodzących w przedsiębiorstwie. Zawiera specyfikację od jakich kroków zacząć i jakich diagramów używać po kolei do stworzenia dokładnego modelu przedsiębiorstwa (Erasmus i in., 2020). Często z metodą związane są narzędzia od producenta, który metodę

opracował. Jako przykład można wymienić metodę CASE firmy Oracle, która może być zastosowana z narzędziem Oracle Designer (Sun i in., 2021). Metoda modelowania procesów biznesowych RUP może być zastosowana w większości edytorów UML. Rzadko spotykane są metodologie które nie są związane z narzędziem i notacją. Wśród nich można wymienić metodę ARIS. ARIS według producentów jest nie tylko metodą ale też architekturą. ARIS to architektura niezależna od żadnej notacji (Waszkowski & Nowicki, 2020).

Według P. Valderas i in. architektura to koncepcja zbioru modeli które opisują przedsiębiorstwo całościowo. W przypadku architektury może być dostępne wiele metod tworzenia modeli występujących w danej architekturze (P. Valderas i in., 2022). Przykładowe narzędzia wykorzystywane do modelowania procesów biznesowych wymieniane w literaturze to Rational Unified Process - Business Modeling, Eriksson-Penker Unified Modeling Language Business Extensions, Microsoft Visio Stencils, iGrafx Process, Oracle Case Method, ARIS (Architecture of Integrated Information Systems), Business Process Modeling Notation. Szczegóły można znaleźć na stronach internetowych producentów wymienionych narzędzi.

Osoba decyzyjna, która ma za zadanie wyboru narzędzia lub metody w celu modelowania procesów napotyka na problemy, wśród których Erasmus i in. wymieniają (Erasmus i in., 2020):

- Trudności w zdobyciu zwięzłych informacji o metodach. Jest tak ponieważ wiele metod nie posiada formalnego opisu i zaleceń dotyczących ich stosowania. Z kolei inne metody zawierają bardzo obszerne opisy ich stosowania zawierające nierzadko kilka tysięcy stron.
- Konieczność bardzo długiego cyklu uczenia się metod w przypadku chęci empirycznego poznania ich zalet, w celu poznania podstaw notacji metod i nabycia umiejętności obsługi narzędzia.
- Konieczność porównywania narzędzi o różnych funkcjonalnościach lub należących do różnych klas.
- Trudność w uzyskaniu obiektywnego wyniku analiz porównawczych narzędzi, gdyż modele budowane z wykorzystaniem metod w pierwszej kolejności zwykle zostaną subiektywnie uznane za trudniejsze, niezależnie od metodologii i narzędzi.

Kolejno przedstawiono w tabelach charakterystykę wybranych narzędzi i diagramów na podstawie pracy Gola i Sitek (Gola & Sitek, 2005). W literaturze często wskazywana jest potrzeba porównania narzędzi modelowania procesów biznesowych oraz podejść

metodycznych. Przykładowa klasyfikacja narzędzi została przedstawiona w Tabeli 11, w której zaznaczono możliwość utworzenia diagramu danej kategorii z wykorzystaniem poszczególnych aplikacji oraz brak możliwości tworzenia danego diagramu w wybranym narzędziu (Corradini, Fornari, i in., 2021).

Tabela 11. Przykładowa charakterystyka wybranych narzędzi modelowania procesów biznesowych względem wybranych kryteriów oceny.

Narzędzie/diagram	Hierarchia procesów i czynności	Zależności między procesami	Struktura procesu	Przepływ czynności w procesie
iGrafx Process	-	-	-	+
Microsoft Visio	+	+	+	+
Oracle Designer	+	+	-	+
Rational Rose	-	-	-	+
Enterprise Architect	-	-	+	+
System Architect	-	-	-	+
ARIS Toolset	+	+	-	+

Źródło: Gola & Sitek, 2005.

Przedstawione informacje pokazują, że wszechstronną aplikacją jest Microsoft Visio, co oznacza, że może zostać wykorzystany do tworzenia różnych modeli procesów. Z drugiej strony iGrafx to narzędzie, które jest szczególnie przydatne do modelowania przepływów czynności w czasie, chociaż jest to jego jedyna funkcjonalność. Ograniczona liczba narzędzi w tym przykładowym zestawieniu wskazuje kierunki dalszych prac uwzględniające poszerzenie analizy o więcej wariantów narzędzi z uwzględnieniem szerszego zestawu kryteriów oceny. Niestety przedstawiona przykładowa taksonomia nie jest kompletna dlatego autor niniejszej pracy wykorzystał dane dostępne w literaturze w celu rozbudowania modelu oceny narzędzi modelowania procesów biznesowych.

Rozdział 2.4.1. Standaryzowane notacje wykorzystywane w narzędziach do modelowania procesów biznesowych

Istnieją różne podejścia do tworzenia graficznych modeli biznesowych, które pomagają w analizie, projektowaniu i dokumentowaniu procesów biznesowych. W niniejszym rozdziale scharakteryzowano wybrane podejścia do tworzenia graficznych modeli biznesowych.

Rozdział 2.4.1.1. Podejście rysunkowe, czyli proste schematy

Jak podają González Moyano i in., jest to najprostszy rodzaj podejścia do modelowania procesów biznesowych (González Moyano i in., 2022). Polega na tworzeniu rysunków, których głównym celem jest przedstawienie przebiegu czynności lub struktur organizacyjnych w firmie. Do tego podejścia często wykorzystywane są graficzne edytory procesów takie, jak na przykład Microsoft Visio (Kongsat i in., 2021). W opisywanym podejściu celem modelowania jest schematyczna demonstracja tego co się dzieje w firmie. Notacje tych diagramów zwykle nie są formalnie zdefiniowane i osoby przygotowujące diagramy nie muszą ich znać. Notacja jest narzucana przez używane narzędzie. Do stosowania tego podejścia nie jest wymagana żadna metodologia modelowania. Jednak opracowanie takich schematów może stanowić pierwszy etap utworzenia dokładniejszych i precyzyjniejszych diagramów. To podejście jest częściej wykorzystywane w narzędziach typu CABA niż CASE (Rodríguez i in., 2022).

2.4.1.2. Podejście symulacyjne czyli symulacja i dokładne modelowanie przepływu czynności

Jak podają Sulis i in., to podejście pierwotnie było wykorzystywane w narzędziach CABA (np. iGrafx) (Sulis i in., 2022). Jednak zgodnie z (Drieschner i in. aktualnie jest ono już też dostępne w narzędziach CASE które posiadają rozbudowane opcje modelowania procesów biznesowych takie jak Oracle Designer, narzędzia BPMN (Drieschner i in., 2022). Modelowanie procesów biznesowych z uwzględnieniem podejścia symulacyjnego jest skoncentrowane na budowaniu diagramów przepływu czynności w procesie. Podejście to jest odmienne w porównaniu do podejścia rysunkowego należy dokładnie odzwierciedlić na diagramie logikę przepływu czynności w procesie (Sahba i in., 2021). Ważne jest dokładne modelowanie z użyciem bramek logicznych. Główne zastosowania tego podejścia to zarządzanie procesem i tworzenie aplikacji klasy workflow. Notacja tych diagramów nie jest bardzo skomplikowana i często jest typowa dla diagramów algorytmów (Kaasalainen i in., 2020). Jednak kolejne wersje narzędzi CASE i CABA wykorzystują do tego typu diagramów notację BPMN, która jest konkurencyjna dla notacji diagramu czynności UML 2.0.

2.4.1.3. Podejście analityczno-holistyczne – modelowanie wszystkich możliwych perspektyw

Według Fischer i in. są metodologie modelowania procesów biznesowych określane architekturami, które zapewniają holistyczne podejście do modelowania przedsiębiorstwa (Fischer i in., 2020). Można modelować takie aspekty przedsiębiorstwa jak struktura organizacyjna, zasoby przedsiębiorstwa, mapa procesów, strategia i cele firmy, wiedza. Podejście analityczno-holistyczne obejmuje szczegółowe modelowanie procesów. Nie jest ono związane z określonym typem diagramów lub notacją, lecz jest to zbiór wytycznych określający

co trzeba modelować (Taymouri i in., 2021). To podejście jest przydatne szczególnie w sytuacjach gdy celem analityka jest modelowanie całkowicie nowej dziedziny. Wykorzystanie różnych perspektyw zapewnia uwzględnienie wszystkich aspektów modelowanej dziedziny. Jeśli natomiast celem jest modelowanie małego wycinka przedsiębiorstwa to wygodniejsze jest wykorzystanie podejścia symulacyjnego ze skoncentrowaniem się tylko na dynamicznych aspektach jednego procesu (Di Vaio i in., 2020).

2.4.1.4. Podejście inżynieryjne – modelowanie tego co pomaga w tworzeniu oprogramowania

Zdaniem Martin i in. jest to pierwotne podejście do modelowania procesów biznesowych. Uwzględnia elementy przydatne w tworzeniu oprogramowania, czyli na przykład klasy opisujące dziedzinę przedmiotową będące podstawą dla klas projektu programu lub czynności stanowiące bazę dla procedur w systemie informatycznym. To podejście znajduje zastosowanie w przypadku wielu narzędzi CASE umożliwiających generowanie projektów aplikacji na bazie diagramów opisujących dziedzinę przedmiotową. To podejście może obejmować modelowanie procesów przedsiębiorstwa z wykorzystaniem diagramów przepływu danych. Takie podejście umożliwia łatwe i praktyczne przejście z diagramu opisującego dziedzinę przedmiotową do diagramu projektu aplikacji, dlatego nadal jest stosowane, na przykład w narzędziu Oracle Designer. Innym przykładem zastosowania opisywanego podejścia może być stosowanie edytorów UMLa do modelowania elementów przedsiębiorstwa (H. Martin i in., 2020).

2.4.1.5. Podejście standaryzowane – notacja BPMN ukierunkowana na tworzenie systemów zarządzania przepływem procesu

Według González Moyano i in. podejście standaryzowane opiera się na aspektach podejścia inżynieryjnego, symulacyjnego oraz rysunkowego (González Moyano i in., 2022). Jak twierdzą Adams i in., standard modelowania procesów biznesowych opracowany przez konsorcjum Business Process Management Initiative uwzględnia tylko standard diagramu przepływu czynności w procesie. Podejście standaryzowane uwzględnia rozwój modelowania procesów biznesowych w kierunku systemów zarządzania procesami biznesowymi (BPMS – business proces management systems) (Adams i in., 2020). Zdaniem Pecchia i in. to obejmuje rozwój standardów mapowania elementów notacji graficznych do standardu XML, który ma być tożsamy z opisem modelu procesu biznesowego, tak jak model danych jest jednoznacznym opisem danych w systemach zarządzania bazami danych (DBMS) (Pecchia i in., 2020). Według P. Valderas i in. podejście standaryzowane jest oparte na pewnym kompromisie uwzględniającym prostotę opisu procesów kluczową dla specjalistów zarządzania procesami oraz precyzją konieczną do tworzenia systemów informatycznych. Notacja BPMN umożliwia

opisanie procesów biznesowych w prosty sposób a jej precyzyjność umożliwi jednoznaczne mapowanie diagramów do języków BPML, BPEL i BPML4WS stanowiących szkielet działania silników systemów BPMS (P. Valderas i in., 2022).

W Tabeli 12 przedstawiono możliwości realizacji opisanych podejść przez istniejące wybrane narzędzia modelowania procesów biznesowych (Gola & Sitek, 2005).

Tabela 12. Przykładowa charakterystyka wybranych narzędzi modelowania procesów biznesowych względem możliwości realizacji danych podejść.

Metody/podejścia	Rysunkowe	Symulacyjne	Inżynieryjne	Analityczno-holistyczne	Standaryzowane
Microsoft Visio Stencils	++	-	-	-	+
iGrafx Process	+	++	-	-	
ARIS	-		+	++	
BPMN	-	+	-	-	++
Oracle Case	-	+	++	-	-
RUP	-	-	++	-	-
Eriksson-Penker	+	-	-	++	-

Źródło: Gola & Sitek, 2005.

Tabela 12 ukazuje, że trudno jednoznacznie wskazać, że jedna metoda odpowiada tylko jednemu podejściu. Ciemnozielone pole oznacza, że metoda jest związana głównie z danym podejściem. Jasnozielone pole reprezentuje natomiast metodę, którą można użyć w danym podejściu, choć nie jest ona idealna dla takiego zastosowania.



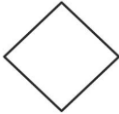







W wyniku przedstawionej analizy można stwierdzić, że nie wszystkie narzędzia są kompatybilne z możliwymi podejściami do modelowania. Wnioski z tej analizy mogą być przydatne dla osoby zastanawiającej się nad wyborem metodologii lub narzędzia do celów powiązanych z inżynierią oprogramowania (Gola & Sitek, 2005).

















Należy zauważyć, że podejścia te mogą być stosowane pojedynczo lub łącznie, w zależności od potrzeb i celów analizy. Wiele narzędzi do modelowania procesów biznesowych oferuje różne funkcje i możliwości, co pozwala na stosowanie różnych podejść do tworzenia graficznych modeli biznesowych.

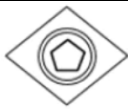










Według Lamine i in. wśród technik modelowania procesów biznesowych można wymienić BPMN (Business Process Model and Notation), schematy blokowe, diagramy przepływu danych (DFD) (Lamine i in., 2020)

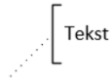
Symbole stosowane w notacji używanej przy tworzeniu diagramów procesu zostały przedstawione w Tabeli 13 (Tangkawarow & Waworuntu, 2016).

Tabela 13. Symbole stosowane w notacji wykorzystywanej przy tworzeniu diagramów procesów biznesowych.

Notacja (znaczenie)	Symbol
Start lub koniec procesu	
Działanie	
Decyzja	
Zdarzenie	
Dokument	
Baza danych lub system IT	
Rozdzielenie lub agregacja	 Rozdzielenie/ agregacja
Uwagi lub komentarz	
Zdarzenia	
Zdarzenie początkowe	
Komunikat	

Notacja (znaczenie)	Symbol
Czasomierz	
Zdarzenie końcowe	
Zdarzenie pośrednie (podwójna cienka linia)	
Zdarzenie pośrednie krawędziowe nie przerywające procesu, wnoszące dodatkowe informacje	
Zdarzenie przerywające proces (podwójna cienka linia)	
Zadania	
Zadanie	
Zadanie usługa	
Zadanie wysyłające komunikat	
Zadanie odbierające komunikat	
Zadanie użytkownika	
Zadanie ręczne	
Łącznik	
Przeływ komunikatów	
Skojarzenie	
Bramki logiczne	
Wykluczająca sterowana danymi	 

Notacja (znaczenie)	Symbol						
Wykluczająca sterowana zdarzeniami							
Wykluczająca sterowana zdarzeniami (wystąpienie)							
Równoległa sterowana danymi (wystąpienie)							
Niewykluczająca							
Równoległa							
Podproces							
Obiekty obrazujące dane							
Dane wejściowe							
Dane wyjściowe							
Magazyn danych							
Kolekcja danych							
Baseny i tory pływackie	<table border="1" data-bbox="770 1671 1270 1827"> <tr> <td data-bbox="770 1671 802 1827" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Firma SunFix</td> <td data-bbox="802 1671 834 1827" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Asystent</td> <td data-bbox="834 1671 1270 1749"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="770 1749 802 1827" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Dyrektor</td> <td data-bbox="802 1749 834 1827"></td> <td data-bbox="834 1749 1270 1827"></td> </tr> </table>	Firma SunFix	Asystent		Dyrektor		
Firma SunFix	Asystent						
Dyrektor							
Grupa							

Notacja (znaczenie)	Symbol
Adnotacja	

Źródło: Tangkawarow & Waworuntu, 2016.

W przygotowaniu niniejszego zestawienia symboli posłużono się informacjami udostępnionymi w źródłach internetowych² oraz opracowaniem (V. Ribeiro i in., 2021).

Rozdział 2.4.2. Analiza dostępnych narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych

Narzędzia wykorzystywane w modelowaniu procesów biznesowych to oprogramowanie lub aplikacje służące do tworzenia, analizowania, dokumentowania i zarządzania modelami biznesowymi (González Moyano i in., 2022). Dostarczają narzędzi i funkcji ułatwiających tworzenie graficznych reprezentacji procesów biznesowych oraz umożliwiających analizę, optymalizację i monitorowanie tych procesów. Przykładami popularnych narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych są Bizagi, ARIS, Bonita, iGrafx, Lucidechart, Microsoft Visio, Visual Paradigm, Enterprise Architect i wiele innych. Każde z tych narzędzi ma swoje unikalne funkcje i możliwości, które można dostosować do konkretnych potrzeb organizacji. W niniejszej sekcji przedstawiono charakterystykę narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych.

Rozdział 2.4.2.1. Bizagi Modeler i Bizagi Studio (Bizagi)

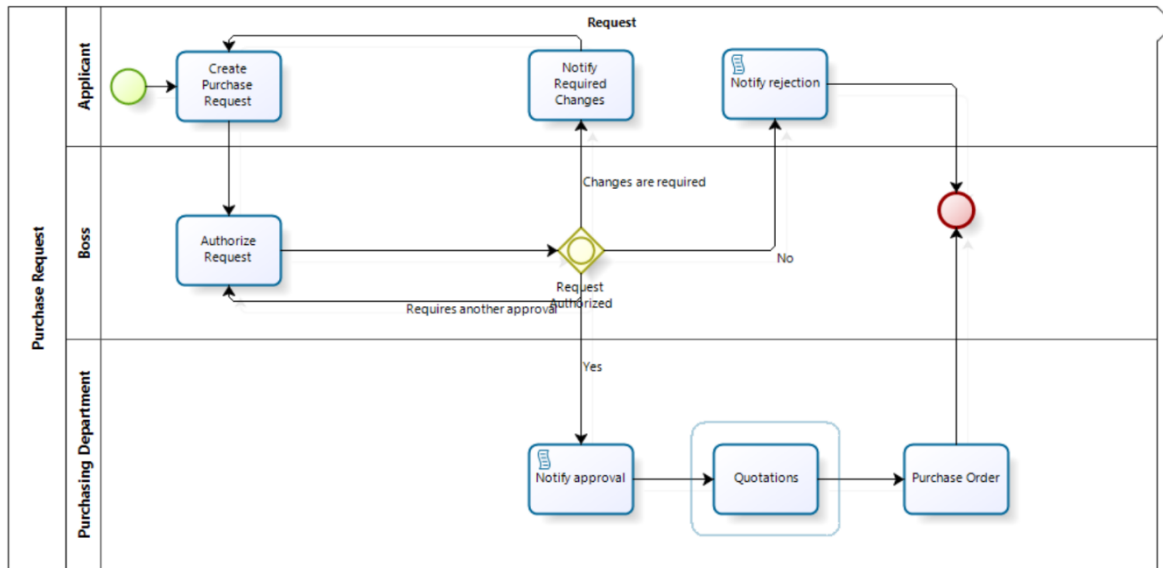
Jak twierdzą Díaz i in., darmowe narzędzia do tworzenia, interpretacji i optymalizacji diagramów przepływu pracy przy użyciu notacji BPMN i symulacji procesów w standardowym formacie BPMN. Dają możliwość publikowania utworzonych diagramów w wielu formatach takich jak Word, PDF, Excel, Wiki i innych oraz ich współdzielenie w grupie (Díaz i in., 2021). Dają możliwość przeprowadzenia symulacji i przechowywania procesów w chmurze, import istniejących diagramów z narzędzi takich jak Microsoft Visio, IBM Blueworks, XPDL, tworzenie dokumentacji w formacie PDF, Microsoft Word, Microsoft Excel, Wiki. Praca w środowisku polega na przeciąganiu i upuszczaniu poszczególnych elementów, dzięki czemu budowanie diagramów jest proste (Yakimov i in., 2017). Narzędzie daje możliwość współpracy z członkami zespołu nad diagramami procesu w chmurze. Podczas instalacji jest dostępnych kilka wersji językowych, jednak brakuje języka polskiego (Janicki & Wójcik, 2021). Bizagi

² <https://consider.pl/modelowanie-procesow-biznesowych-jak-narysowac-diagram-procesu/>
<https://avendi.edu.pl/podstawowe-ksztalty-notacji-bpmn/>

Modeler jest dostępny w wersji płatnej i darmowej. Wersja darmowa udostępnia ograniczone funkcje, jednak są one często wystarczających dla początkujących użytkowników. Wersja darmowa udostępnia: nielimitowane korzystanie z programu przez jednego użytkownika, prosty, intuicyjny interfejs, umożliwiający budowanie diagramów procesów, publikowanie utworzonej dokumentacji procesowej w formatach PDF, Word, Excel, Wiki, import istniejących diagramów z Microsoft Visio, IBM, Blueworks, XPDŁ, repozytorium w chmurze do 10 MB. Wersje płatne oferują rozszerzenie funkcji z wersji nieodpłatnej, na przykład zwiększenie pojemności repozytorium do 1 TB, nowe funkcje w postaci możliwości udostępniania diagramów dla współpracowników i współpraca przy ich tworzeniu, podgląd historii zmian (Lipski & Lipski, 2022). Narzędzie jest proste w użyciu, nie wymaga wstępnych szkoleń aby rozpocząć jego użytkowanie, w katalogu narzędzi znajdują się podpowiedzi dotyczące funkcji poszczególnych symboli (Fadila i in., 2018).

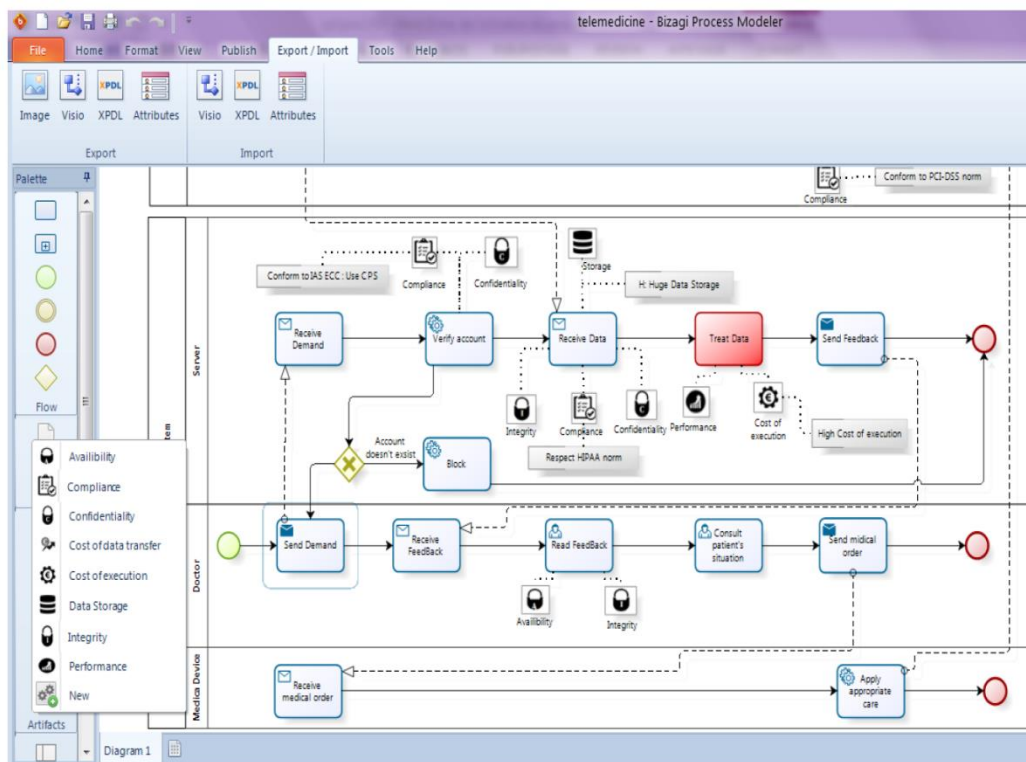
Bizagi BPM Suite obejmuje trzy narzędzia - Process modeller, Studio, oraz Server. Procesy biznesowe są rysowane i dokumentowane w Process Modeller. Aplikacje procesowe są tworzone w Studio i przechowywane w bazie danych. W bazie danych, wykonanie i kontrola zbudowanej aplikacji procesowej jest przeprowadzane w serwerze. Aplikacja zawiera wszystko w jednym pakiecie, dzięki czemu zapewnia graficzne śledzenie w czasie rzeczywistym, symulację i monitorowanie procesów, zarządzanie procesami biznesowymi. Bizagi obsługuje m.in. BPMN, a także jest kompatybilny z XML Definition Process Language (XPDŁ) (J. V. de Camargo, 2021). Przykładowy diagram procesu przygotowany przy pomocy aplikacji Bizagi zamieszczono na Rysunku 1, na podstawie źródeł internetowych³.

³ <https://www.engave.pl/blog/bizagi-modeler-narzedzie-do-mapowania-procesow-biznesowych>
https://help.bizagi.com/bpm-suite/en/index.html?embedded_sub_processes.htm



Rysunek 1. Diagram procesu biznesowego przygotowany z wykorzystaniem aplikacji Bizagi. Źródło: ³

Ilustracja prezentująca modelowanie procesów z wykorzystaniem aplikacji Bizagi została przedstawiona na Rysunku 2 na podstawie (Fadila i in., 2018)



Rysunek 2. Ilustracja modelowania procesów biznesowych z wykorzystaniem aplikacji Bizagi. Źródło: Fadila i in., 2018.

Rozdział 2.4.2.2. Adonis (BOC GmbH)

Adonis NP (Adonis Business Process Management Suite) to zaawansowane narzędzie do modelowania, analizy i optymalizacji procesów biznesowych. Jest to kompleksowe oprogramowanie opracowane przez Grupę BOC, które umożliwia organizacjom zarządzanie i usprawnianie procesów biznesowych (M. Camargo i in., 2020).

Jest to narzędzie darmowe oparte na chmurze, opracowane przez firmę o nazwie BOC Group (BOC Information Technologies Consulting) pochodzącą z Austrii. Po raz pierwszy wydane zostało w 1995 roku. Wspiera zarządzanie procesami biznesowymi bazując na paradygmacie zarządzania procesami BPMS opracowanym na Uniwersytecie Wiedeńskim. Wersja komercyjna została utworzona w roku 2008. Oprócz tego od roku 2011 dostępna jest wersja ADONIS Community Edition Adonis to rozbudowane oprogramowanie typu CASE (Computer Aided System Engineering) (Fischer i in., 2020). Adonis to oprogramowanie darmowe ale o zamkniętym źródle. Wykorzystuje ono narzędzie BPMN, a wersja komercyjna udostępnia funkcję symulacji. Umożliwia tworzenie diagramów BPMN, budowanie procesów biznesowych, ich analizę i optymalizację, eksport do formatów PDF, PNG, Excel (X. Liu i in., 2023). Dzięki narzędziu Adonis możliwa jest budowa zarówno diagramów jak i architektury procesów. Elementy są dodawane poprzez przeciąganie i upuszczanie, co znacznie skraca czas pracy, upraszcza modelowanie i zapewnia poprawność na każdym etapie budowy architektury procesów. Adonis udostępnia wsparcie w postaci asystenta modelowania, który pozwala na bardzo szybkie dodawanie obiektów do diagramu. Asystent generuje podpowiedzi, umożliwia łączenie obiektów automatycznie i pozwala na szybkie i sprawne sprawdzenie poprawności modelu (Lipski & Lipski, 2022). Istnieje możliwość dodawania ról, dokumentów, systemów IT oraz tworzenie relacji między zasobami a procesami. Adonis umożliwia przeprowadzanie procedur zaawansowanej analizy, wizualizację procesów, symulacje, ewaluacje, generowanie szkieletu kodu programistycznego i opracowywanie dokumentacji procesów. Automatyczna walidacja BPMN stanowi ułatwienie dla mniej zaawansowanych osób. Mechanizm automatycznego sprawdzania poprawności pozwala na szybką ocenę jakości procesów, wskazuje błędy i udziela sugestii dotyczących możliwych ulepszeń (Glassey, 2008). Dostępna jest wersja w języku polskim. Inne narzędzia CASE to ARIS Toolset (IDS Scheer), Workflow Analyzer (Meta Softwar) (Kirikova, 2022). Adonis charakteryzuje zdolność dopasowania do różnorodnych biznesowych scenariuszy zarządzania, zaczynając od mapowania procesów, poprzez budowanie architektury procesów, kończąc na mapowaniu doświadczeń klienta. System Adonis to kompleksowe rozwiązanie które działa w oparciu o centralnie zarządzane

repozytorium. Repozytorium systemu Adonis stanowi źródło informacji dotyczących procesów. Zasoby z repozytorium można łączyć z procesami. Możliwe jest przeglądanie zasobów procesów i łatwy dostęp do procesów i dokumentacji. Istnieje możliwość otwierania modeli w widoku tekstowym w celu wglądu do najbardziej istotnych elementów procesu lub zmiana widoku na tabelaryczny w celu łatwiejszej edycji wybranych elementów modelu procesu (Fischer i in., 2020). System Adonis pozwala na aktywną komunikację z członkami zespołu i dzielenie się sugestiami usprawnień dla procesów. W ramach pracy zespołowej istnieje możliwość tworzenia zadań i przydzielania obowiązków. System Adonis daje możliwość generowania raportów w formacie PDF lub RTF prezentujących interesariuszom przydatne informacje o procesach w przejrzysty sposób. Adonis daje dostęp do procesów z poziomu urządzeń mobilnych dzięki aplikacji mobilnej AskAdonis. Można dodawać treści do repozytorium Adonis z wykorzystaniem eksportu i importu danych w różnych formatach plików, jak na przykład XML, CSV, BPMN DI. System Adonis posiada dynamiczny mechanizm wersjonowania, co wspomaga zarządzanie przepływem pracy (Störrle, 2020). To umożliwia współpracę obejmującą angażowanie różnych interesariuszy: analityków, właścicieli procesów biznesowych, w czynności sprawdzania, zatwierdzania i publikowania procesów w organizacji. System Adonis oferuje porównywanie modeli, co pomaga śledzić w sposób graficzny zmiany pomiędzy wersjami procesów AS-IS oraz TO-BE (Rutkowska, 2005).

Poniżej wymieniono główne funkcje i zastosowania narzędzia Adonis:

1. Modelowanie procesów biznesowych: Adonis umożliwia tworzenie graficznych diagramów procesów biznesowych w oparciu o różne notacje, takie jak BPMN (Business Process Model and Notation), EPC (Event-driven Process Chain) i inne. Umożliwia precyzyjne definiowanie kroków, działań, aktorów, zdarzeń i przepływów danych w procesach biznesowych (Lipski & Lipski, 2022).
2. Analiza i optymalizacja procesów: Adonis oferuje funkcje analizy procesów w celu identyfikacji obszarów optymalizacji, wykrywania wąskich gardeł, analizy przepływów danych oraz symulacji i prognozowania wyników procesów. Narzędzie umożliwia tworzenie scenariuszy, symulacji i analiz kosztów w celu usprawnienia procesów biznesowych (Störrle, 2020).
3. Zarządzanie zmianami i wersjonowanie: Adonis zapewnia funkcje zarządzania zmianami w procesach biznesowych. Umożliwia śledzenie i zarządzanie różnymi wersjami procesów, porównywanie różnic między wersjami, archiwizowanie

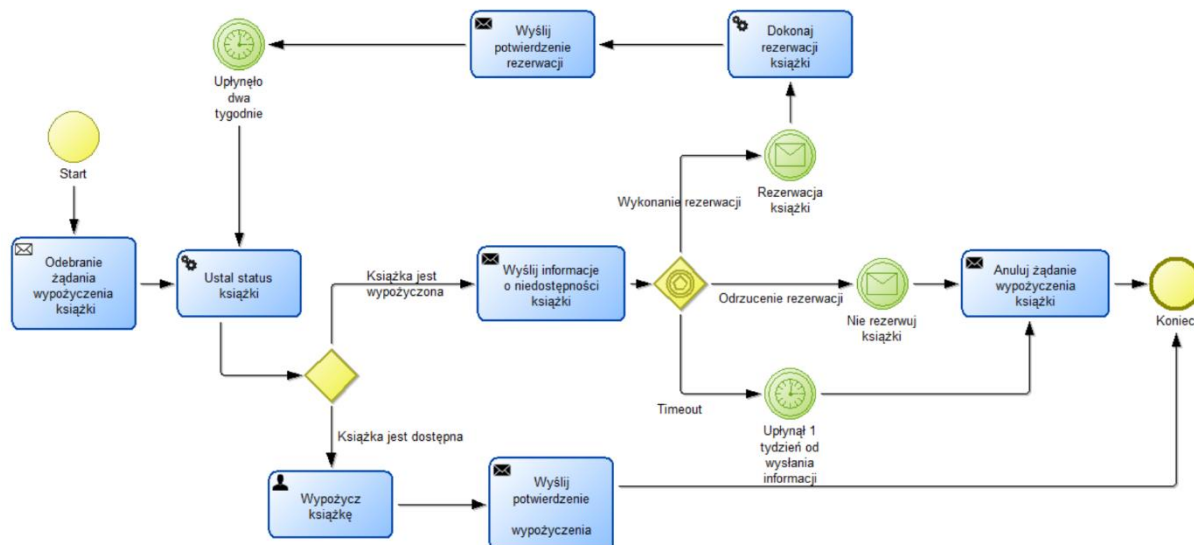
i przywracanie procesów oraz udostępnianie i współpracę zespołową nad projektami (Kirikova, 2022).

4. Dokumentacja procesów: Adonis umożliwia generowanie zautomatyzowanej dokumentacji procesów biznesowych w różnych formatach, takich jak raporty, prezentacje czy wydruki. Narzędzie umożliwia tworzenie spersonalizowanych szablonów dokumentów i łatwe udostępnianie dokumentacji interesariuszom (M. Camargo i in., 2020).
5. Integracja z innymi systemami: Adonis oferuje integrację z innymi systemami IT, takimi jak systemy zarządzania bazami danych, systemy planowania zasobów przedsiębiorstwa (ERP), systemy przepływu pracy i inne. Umożliwia to wymianę i synchronizację danych z innymi systemami w celu zapewnienia spójności i wydajności procesów biznesowych (Fischer i in., 2020).

Adonis jest wykorzystywany w różnych branżach i organizacjach, zarówno w sektorze publicznym, jak i prywatnym. Narzędzie to może być wykorzystywane do modelowania i optymalizacji procesów biznesowych na różnych poziomach organizacji, od operacyjnego do strategicznego. Pomaga w zrozumieniu, dokumentowaniu i usprawnianiu procesów biznesowych, a także poprawia komunikację i współpracę między różnymi zespołami (M. Camargo i in., 2020).

Obsługa narzędzia Adonis jest łatwa, posiada łatwy styl, początkujący użytkownik ma możliwość łatwego poznania i zrozumienia tego narzędzia. Przykładowy diagram procesu przygotowany przy pomocy aplikacji Adonis, na podstawie źródeł internetowych⁴ znajduje się na Rysunku 3.

⁴ <https://www.boc-group.com/pl/adonis/features/>
<http://jjakiela.prz.edu.pl/mb/Projekt/adonis.pdf>



Rysunek 3. Przykładowy diagram procesu biznesowego przygotowany z wykorzystaniem aplikacji Adonis. Źródło: ⁴

Rozdział 2.4.2.3. Bonita Studio (BonitaSoft)

Jak opisują Santos i in., Bonita to narzędzie open source do modelowania, automatyzacji i zarządzania procesami biznesowymi. Jest to kompleksowe oprogramowanie opracowane przez Bonitasoft, które umożliwia organizacjom tworzenie, wdrażanie i monitorowanie procesów biznesowych. Narzędzie to zostało utworzone w 2001 roku przez Bonitasoft S.A. Jest to program do tworzenia graficznych modeli procesów biznesowych z wykorzystaniem standardu BPMN (Santos i in., 2020). To narzędzie jest tworzone przez dwa komponenty: Bonita Studio i Bonita Runtime. Bonita Studio służy do tworzenia procesów, modeli danych lub innych widoków. Bonita Runtime daje możliwość wdrożenia i testowania procesów utworzonych w Bonita Studio (Nafie, 2016). Instalacja jest dostępna w pięciu wersjach językowych do wyboru, jednak wśród nich nie ma polskiej wersji. Bonita Enterprise udostępnia funkcję wyświetlania statystyk i generowanie raportów z danymi. Ta wersja zawiera zintegrowane biblioteki wizualizacji Process Analytics, które dają możliwość wizualnego przeglądu danych procesowych (Corradini i in., 2022). Istnieje możliwość zautomatyzowania procesów biznesowych w Bonita Cloud dzięki bezpiecznym, solidnym aplikacjom dla przedsiębiorstw z gwarancją bezpieczeństwa danych i prywatności. Bonita Cloud posiada certyfikat ISO 27001. Bonita Studio stanowi centralne narzędzie do projektowania procesów, modeli danych i aplikacji. Bonita Studio zawiera Bonita Runtime nadające się do testowania aplikacji w trakcie rozwoju. Proces jest po uruchomieniu automatycznie wdrażany na platformę deweloperską (Dalle, 2011).

Poniżej zaprezentowano główne funkcje i zastosowania narzędzia Bonita:

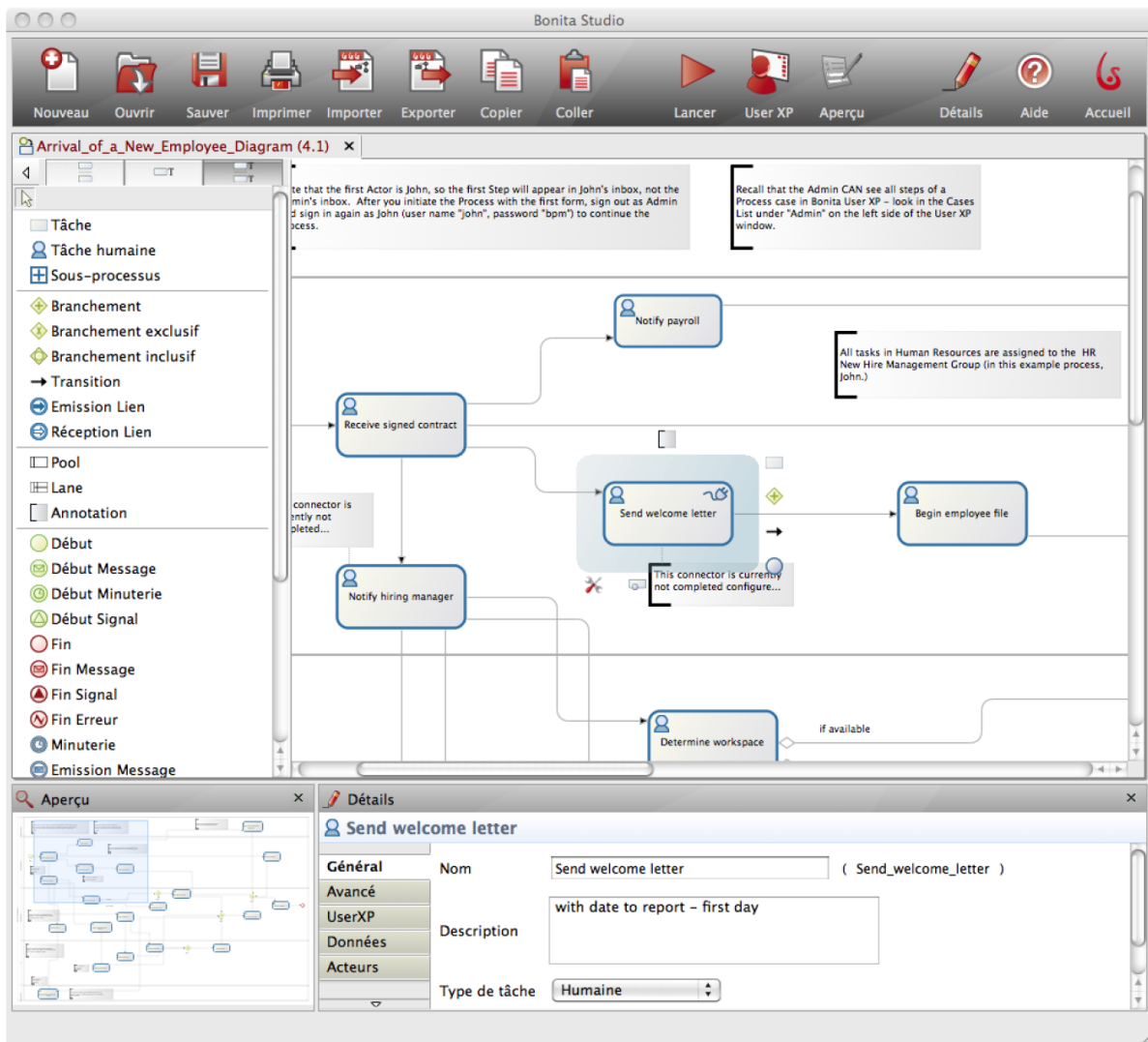
1. Modelowanie procesów biznesowych: Bonita umożliwia tworzenie graficznych diagramów procesów biznesowych w notacji BPMN (Business Process Model and Notation). Narzędzie oferuje obszerną bibliotekę elementów BPMN, takich jak zadania, bramki, zdarzenia, połączenia i inne, które pozwalają precyzyjnie zdefiniować kroki i logikę procesów biznesowych (Lipski & Lipski, 2022).
2. Automatyzacja procesów: Bonita umożliwia automatyzację procesów biznesowych poprzez tworzenie reguł i scenariuszy definiujących przepływ pracy, zależności, warunki i działania wykonywane w ramach procesu. Narzędzie obsługuje automatyczne przypisywanie zadań, śledzenie postępów, kierowanie zadań do odpowiednich osób i inne funkcje automatyzacji procesów (De Masellis i in., 2022).
3. Zarządzanie zasobami i dokumentacją: Bonita umożliwia zarządzanie zasobami, takimi jak dane, dokumenty i formularze, w ramach procesów biznesowych. Narzędzie umożliwia definiowanie i przypisywanie metadanych do zasobów, kontrolę wersji dokumentów, przechowywanie i udostępnianie dokumentów interesariuszom (de Oliveira i in., 2021).
4. Monitorowanie i raportowanie: Bonita oferuje funkcje monitorowania i raportowania w celu śledzenia wydajności procesów, identyfikacji opóźnień i problemów oraz generowania raportów i analiz związanych z procesami biznesowymi. Narzędzie umożliwia wizualizację wskaźników wydajności (KPI) i analizę przepływu pracy w czasie rzeczywistym (Durán i in., 2021).
5. Integracja z innymi systemami: Bonita zapewnia możliwość integracji z innymi systemami informatycznymi, takimi jak systemy zarządzania bazami danych, systemy CRM, systemy ERP i inne. Narzędzie umożliwia wymianę danych, wywoływanie usług zewnętrznych i integrację z istniejącymi aplikacjami w celu ułatwienia przepływu danych i operacji procesów biznesowych (Corradini i in., 2022).

Bonita jest wykorzystywana w różnych sektorach i branżach, w tym w finansach, służbie zdrowia, administracji, produkcji i wielu innych. Narzędzie może być stosowane zarówno do prostych, liniowych procesów, jak i bardziej złożonych procesów biznesowych z wieloma etapami i zaangażowanymi interesariuszami (Chabanoles & Ozil, 2015). Główne funkcje udostępnione w Bonita Studio na podstawie Corradini i in., De Masellis i in., de Oliveira i in., Durán i in. oraz Lipski & Lipski to (Corradini i in., 2022; De Masellis i in., 2022; de Oliveira i in., 2021; Durán i in., 2021; Lipski & Lipski, 2022):

- Możliwość rysowania procesów na tablicy.
- Definiowanie modeli danych biznesowych, zmiennych biznesowych i kontraktów.
- Definiowanie organizacji i aktorów.
- Zarządzanie rozszerzeniami projektów.
- Tworzenie deskryptorów aplikacji.
- Uruchamianie UI Designer w celu tworzenia formularzy procesów oraz stron i układów aplikacji.
- Przetestowanie wykonania procesu dzięki wbudowanemu Tomcat i dostarczonym interfejsom użytkownika Bonita.
- Konfiguracja procesów zgodna z docelowymi środowiskami.
- Budowa procesów do wdrożenia.

Przykładowy diagram procesu przygotowany przy pomocy aplikacji Bonita Studio, na podstawie (Dalle, 2011) oraz źródła internetowego⁵ został przedstawiony na Rysunku 4.

⁵ <https://www.bonitasoft.com/>



Rysunek 4. Przykładowy diagram procesu biznesowego przygotowany z wykorzystaniem aplikacji Bonita Studio. Źródło: Dalle, 2011⁵

Rozdział 2.4.2.4. Visual Paradigm (Visual Paradigm)

Jak twierdzą Rosca i Domingues, Visual Paradigm to kompleksowe narzędzie do modelowania procesów biznesowych, które oferuje szereg funkcji i notacji do tworzenia, analizowania i dokumentowania procesów biznesowych. Jest to oprogramowanie do zarządzania procesami biznesowymi, które umożliwia organizacjom tworzenie i ulepszanie procesów operacyjnych (Rosca & Domingues, 2021).

Aplikacja ta została utworzona w roku 2002 przez Visual Paradigm International Ltd. To narzędzie obsługuje standard UML 2.0 i standardową notację modelowania procesów biznesowych BPMN. Umożliwia generowanie raportów i odtwarzanie diagramów z kodu (Haj Ayech i in., 2021). Udostępnia duży zbiór komponentów do tworzenia procesów oraz

umożliwia tworzenie własnych. Jest dostępne tylko w języku angielskim. Narzędzie to występuje w następujących wersjach: Visual Paradigm Modeller, Standard, Professional, Enterprise. Wersje te różnią się ceną i zakresem funkcjonalności (Field & Moore, 2005).

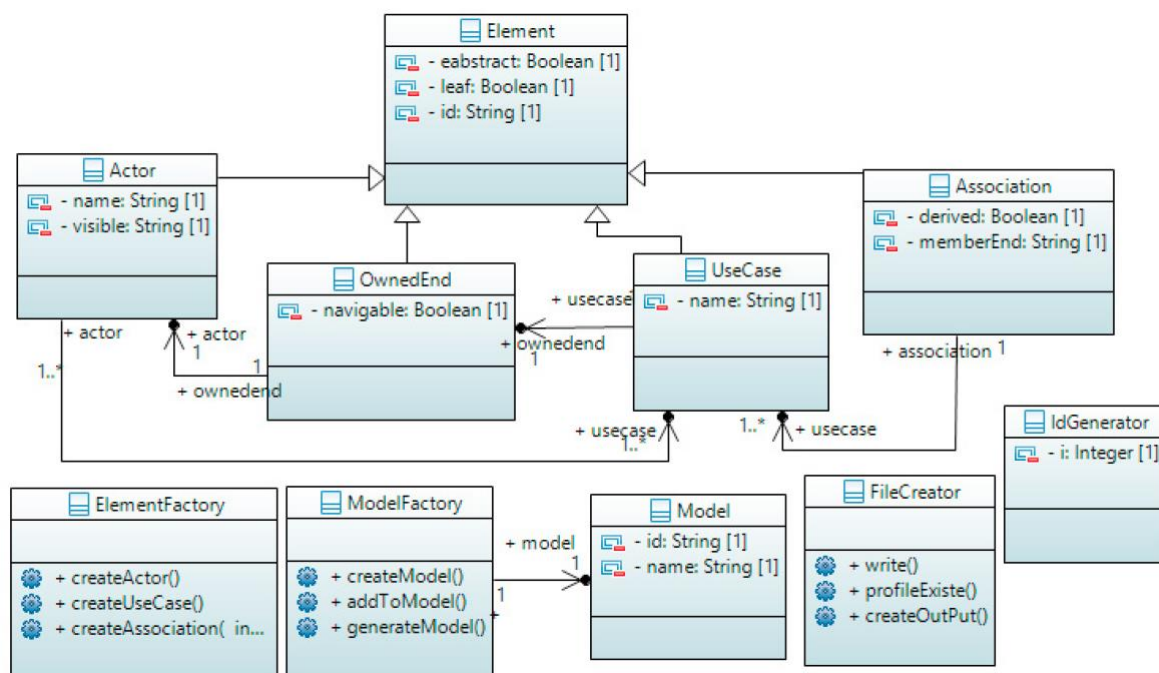
Poniżej zaprezentowano główne cechy i zastosowania narzędzia Visual Paradigm w modelowaniu procesów biznesowych na podstawie Silega i Noguera (Silega & Noguera, 2021):

1. Graficzne modelowanie procesów: Visual Paradigm umożliwia tworzenie diagramów procesów biznesowych przy użyciu różnych notacji, takich jak BPMN (Business Process Model and Notation), EPC (Event-driven Process Chain), DFD (Data Flow Diagram) i innych. Narzędzie oferuje intuicyjny interfejs graficzny, który ułatwia projektowanie i wizualizację procesów biznesowych (Haj Ayech i in., 2021).
2. Analiza i optymalizacja procesów: Narzędzie Visual Paradigm oferuje funkcje analizy procesów w celu identyfikacji obszarów optymalizacji, wykrywania wąskich gardeł, analizy przepływu danych i innych czynników wpływających na wydajność procesów biznesowych. Narzędzie umożliwia również przeprowadzanie symulacji, prognozowanie wyników i eksperymentowanie z różnymi scenariuszami (Lamine i in., 2020).
3. Współpraca i zarządzanie zmianami: Visual Paradigm umożliwia współpracę zespołową nad modelowaniem procesów biznesowych. Pozwala na wieloosobową pracę projektową, udostępnianie, komentowanie i śledzenie zmian. Narzędzie oferuje również funkcje zarządzania zmianami, takie jak wersjonowanie, porównywanie wersji i zarządzanie konfliktami w celu zapewnienia spójności i kontroli nad projektem (Lipski & Lipski, 2022).
4. Generowanie dokumentacji: Visual Paradigm umożliwia generowanie zautomatyzowanej dokumentacji procesów biznesowych w różnych formatach, takich jak raporty, prezentacje, wydruki i inne. Narzędzie umożliwia tworzenie spersonalizowanych szablonów dokumentów i łatwe udostępnianie dokumentacji interesariuszom (Rosca & Domingues, 2021).
5. Integracja z innymi narzędziami: Visual Paradigm umożliwia integrację z innymi narzędziami i systemami, takimi jak systemy zarządzania bazami danych, systemy CRM, systemy ERP i inne. Umożliwia import i eksport danych, udostępnianie informacji i współpracę z innymi narzędziami w ekosystemie organizacji (Silega & Noguera, 2021).

Visual Paradigm znajduje szerokie zastosowanie w różnych sektorach i branżach, zarówno w małych, średnich, jak i dużych organizacjach. Narzędzie to może być wykorzystywane do modelowania, analizowania i dokumentowania procesów biznesowych, zarówno na poziomie operacyjnym, jak i strategicznym. Pomaga organizacjom lepiej zrozumieć, usprawnić i zarządzać procesami biznesowymi, przyczyniając się do poprawy wydajności i konkurencyjności (von Mohr i in., 2020).

Visual Paradigm w powyższych wersjach służy do zarządzania i rozwijania oprogramowania w zespole. Program daje możliwość zarządzania projektami, dostarcza współdzielone i zautomatyzowane środowisko, umożliwia przydzielanie zadań i generowanie raportów (Lamine i in., 2020). Integruje różne standardy, frameworki i procesy. Zawiera całkowicie zautomatyzowany przewodnik, który krok po kroku informuje na jakim etapie znajduje się projekt (Elallaoui i in., 2018).

Różnice pomiędzy poszczególnymi wersjami są szczegółowo udostępnione w źródle internetowym⁶. Przykładowy diagram procesu przygotowany przy pomocy aplikacji Visual Paradigm, na podstawie (Elallaoui i in., 2018) został zaprezentowany na Rysunku 5.



Rysunek 5. Przykładowy diagram procesu biznesowego przygotowany z wykorzystaniem aplikacji Visual Paradigm. Źródło: Elallaoui i in., 2018.

⁶ <https://www.visual-paradigm.com/support/edition-comparison.jsp>

Rozdział 2.4.2.5. Lucidchart (Lucid Software Inc.)

Jak podają Janicki i Wójcik, Lucidchart jest internetową aplikacją opracowaną przez firmę Lucid Software w 2008 roku. Lucidchart to popularne narzędzie do tworzenia diagramów i modelowania procesów biznesowych (Janicki & Wójcik, 2021). Jest to platforma oparta na chmurze, która umożliwia łatwe i intuicyjne tworzenie diagramów wizualnych. Lucidchart oferuje wiele funkcji przydatnych do modelowania procesów biznesowych. Przy pomocy aplikacji Lucidchart można rysować i udostępniać wykresy i diagramy (Nica & Ionescu, 2020). Narzędzie to jest oparte na elementach oprogramowania Microsoft Excel, Adobe Photoshop i Aplikacji Google. Zaimplementowaną ją na bazie technologii HTML5 i JavaScript. Lucidchart umożliwia szybką wizualizację procesów, złożonych systemów i struktury organizacyjnej zespołu. Interfejs użytkownika jest prosty, zawiera funkcję przeciągania i upuszczania, co umożliwia szybkie tworzenie wykresów przepływu online (Faulkner, 2018). Dostępna jest biblioteka kształtów flowchartów (wykresów – diagramów przepływu). Biblioteka jest dynamiczna, zawiera szeroki asortyment kształtów, symboli, kontenerów niezbędnych do tworzenia zarówno prostych jak i złożonych diagramów (Fell i in., 2023). Narzędzie udostępnia zaawansowane funkcje wykresów przepływu. Duże i złożone diagramy są wspierane przez funkcje Lucidchart wśród których można wymienić formatowanie warunkowe, łączenie danych, warstwy pokazujące fazy procesu, przyciski akcji i linki zewnętrzne. Istnieje możliwość importu diagramów z Visio, Gliffy i OmniGraffle. Można tworzyć diagramy w chmurze, co czyni pracę nad diagramami niezależną od urządzenia, przeglądarki i systemu operacyjnego⁷. Lucidchart posiada certyfikaty zgodności takie jak PCI, Privacy Shield i SOC 2, co zapewnia bezpieczeństwo i prywatność (V. Ribeiro i in., 2021). Poniżej przedstawiono główne funkcje i zastosowania narzędzia Lucidchart w modelowaniu procesów biznesowych:

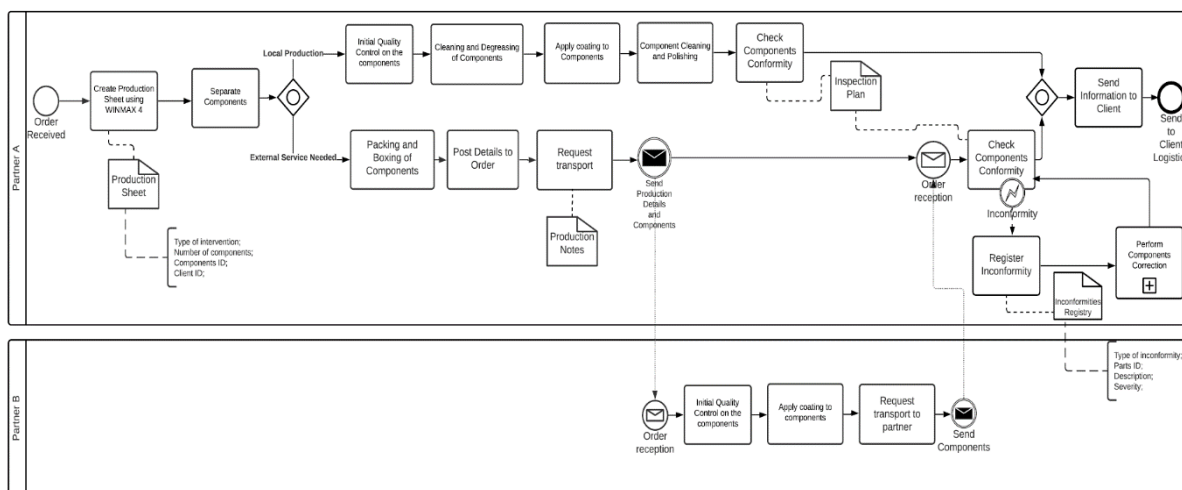
1. Tworzenie diagramów procesów biznesowych: Lucidchart zapewnia szeroką gamę narzędzi i kształtów do tworzenia diagramów procesów biznesowych. Narzędzie obsługuje notacje takie jak BPMN (Business Process Model and Notation), umożliwiając dokładne modelowanie kroków, działań, decyzji, połączeń i innych elementów procesu biznesowego (Khalil i in., 2023).
2. Współpraca i współdziałanie: Lucidchart umożliwia współpracę zespołową przy modelowaniu procesów biznesowych. Użytkownicy mogą zapraszać innych do wspólnego tworzenia i edytowania diagramów, komentowania i przekazywania opinii.

⁷ <https://www.lucidchart.com/pages/>

Narzędzie pozwala użytkownikom synchronizować zmiany i udostępniać diagramy w czasie rzeczywistym, ułatwiając efektywną współpracę (Janicki & Wójcik, 2021).

3. Integracja z innymi narzędziami: Lucidchart oferuje integrację z innymi popularnymi narzędziami, takimi jak G Suite, Microsoft Office, Slack, Jira i wiele innych. Pozwala to na łatwą wymianę danych i integrację z istniejącymi systemami organizacji (Singh i in., 2022).
4. Usprawnianie i analiza procesów: Narzędzie Lucidchart umożliwia analizę i optymalizację procesów biznesowych. Użytkownicy mogą przeprowadzać symulacje, identyfikować obszary optymalizacji i wykrywać wąskie gardła w procesach. Możliwość wizualizacji procesów biznesowych pozwala użytkownikom lepiej zrozumieć i poprawić ich wydajność (de Albuquerque Wheler i in., 2021).
5. Dostępność i przenośność: Lucidchart jest dostępny jako narzędzie internetowe, co oznacza, że użytkownicy mogą z niego korzystać za pośrednictwem przeglądarki internetowej na różnych urządzeniach. Dostępność mobilna umożliwia tworzenie i edytowanie diagramów nawet na urządzeniach przenośnych, zapewniając elastyczność i przenośność pracy (Janicki & Wójcik, 2021).

Lucidchart jest wykorzystywany w różnych sektorach i branżach, od małych firm po korporacje. Narzędzie może być wykorzystywane do modelowania procesów biznesowych, projektowania struktur organizacyjnych, tworzenia diagramów przepływu pracy i wielu innych aplikacji związanych z wizualizacją i komunikacją procesów biznesowych (Dhiman i in., 2022). Przykładowy diagram procesu przygotowany przy pomocy aplikacji Lucidchart, na podstawie (V. Ribeiro i in., 2021) został zamieszczony na Rysunku 6.



Rysunek 6. Przykładowy diagram procesu biznesowego przygotowany z wykorzystaniem aplikacji Lucidchart. Źródło: V. Ribeiro i in., 2021.

Rozdział 2.4.2.6. Aris express

Jak podają Ami i Sommer, Aris Toolset została opracowana przez IDS Scheer GMBH (Niemcy). ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) to kompleksowe narzędzie do modelowania procesów biznesowych opracowane przez Software AG (Ami & Sommer, 2007). ARIS umożliwia organizacjom modelowanie, analizowanie, ulepszanie i zarządzanie procesami biznesowymi. Zestaw narzędzi oferuje możliwość projektowania i optymalizacji procesów biznesowych za pomocą graficznych obiektów. Wykorzystanie repozytoriów stanowiących bazy danych zapewnia przechowywanie procesów biznesowych i pozwala na ponowne wykorzystanie procesów (Polančič, 2020). Aris wspiera wdrażanie standardowego oprogramowania, np. SAP, wspiera użycie języka UML, analizę i ocenę procesów biznesowych oraz raportowanie, przygotowywanie rachunków kosztów działań. Aris Toolset umożliwia wizualizację procesów biznesowych przedsiębiorstwa w czterech widokach: organizacji, funkcji, danych i kontroli, z użyciem notacji graficznych czyli funkcji, zdarzeń, organizacji (Merkoureas i in., 2023). Przedstawione rozdzielanie umożliwia wyraźne zdefiniowanie struktur organizacyjnych i procesów biznesowych. Poszczególne jednostki są przechowywane w centralnym repozytorium i mogą być wykorzystane w innych widokach, co umożliwia efektywne zarządzanie procesami biznesowymi. Finalnym Aris Toolset jest połączenie strategii i procesów organizacyjnych z wymaganiami stawianymi systemom informacyjnym (Fischer i in., 2020). Użyteczną cechą Aris Toolset jest wsparcie dla implementacji oprogramowania standardowego np. SAP, który oferuje dobre praktyki procesów biznesowych dla branż takich, jak motoryzacja, petrochemia, przemysł lotniczy. Z wykorzystaniem Aris można wizualizować

modele referencyjne i mapować procesy biznesowe organizacji do modelu referencyjnego. Narzędzie to jest szeroko stosowane zarówno w sektorze prywatnym jak i publicznym (Scheer & Nüttgens, 2002).

ARIS jest aplikacją służącą do modelowania procesów biznesowych oraz do ich analizy i zarządzania nimi. Została wydana przez Software AG w 2009 roku. Jest to narzędzie dostępne bez opłat, udostępnione na licencji freeware. Oznacza to, że może być dystrybuowane za darmo bez ujawniania kodu źródłowego. Narzędzie to wspiera wiele notacji wśród których można wymienić EPC, ERM i BPMN 2.0 (Gola & Sitek, 2005). W Aris express udostępniona jest funkcjonalność warta szczególnej uwagi obejmująca fragmenty logiki mogące być przechowywane i ponownie używane w kolejnych modelach. Posiada intuicyjny interfejs użytkownika. Darmowa wersja jest użyteczna dla uczelni, szkół i początkujących użytkowników BPM (Guizani & Ghannouchi, 2021). Aris Express to nie ograniczona wersja demonstracyjna lub próbna, lecz darmowy program do modelowania. Umożliwia tworzenie modeli dla struktur organizacyjnych, procesów, systemów IT, danych i wielu innych. W Aris Community dostępne są bezpłatne materiały szkoleniowe (Tamburis & Esposito, 2020).

Poniżej zamieszczono główne cechy i zastosowania narzędzia ARIS w modelowaniu procesów biznesowych:

1. Modelowanie procesów biznesowych: ARIS oferuje szeroką gamę notacji i technik modelowania, takich jak BPMN (Business Process Model and Notation), EPC (Event-driven Process Chain) i inne. Narzędzie umożliwia tworzenie graficznych diagramów procesów biznesowych z precyzyjnym zdefiniowaniem kroków, zależności, reguł i interakcji pomiędzy poszczególnymi etapami procesów (Ami & Sommer, 2007).
2. Analiza i optymalizacja procesów: ARIS dostarcza narzędzia do analizy i optymalizacji procesów biznesowych. Użytkownicy mogą identyfikować obszary optymalizacji, analizować przepływ informacji, wykrywać wąskie gardła i szukać możliwości usprawnień. Narzędzie oferuje również symulacje procesów, które pozwalają prognozować i testować różne scenariusze (Fischer i in., 2020).
3. Zarządzanie procesami biznesowymi: ARIS umożliwia zarządzanie procesami biznesowymi na różnych poziomach. Narzędzie pozwala definiować, dokumentować i udostępniać informacje o procesach biznesowych, takie jak opisy, role, zasoby, kroki, zależności czy metryki wydajności. Pozwala także na monitorowanie i śledzenie przebiegu procesów (Guizani & Ghannouchi, 2021).

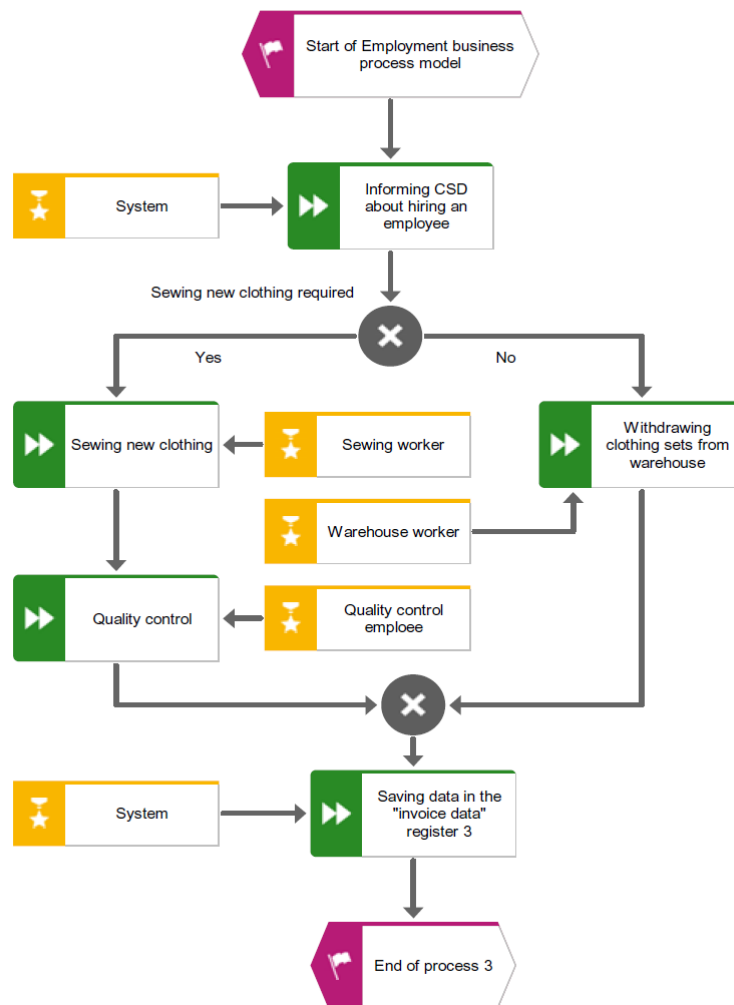
4. Integracja z innymi systemami: ARIS oferuje możliwość integracji z innymi systemami informatycznymi, takimi jak systemy zarządzania bazami danych, systemy CRM, systemy ERP i inne. Narzędzie umożliwia wymianę danych, synchronizację informacji oraz współpracę z innymi narzędziami w ramach infrastruktury IT organizacji (Janicki & Wójcik, 2021).
5. Audyt i zgodność: ARIS wspiera audyt i zgodność z przepisami i standardami procesów biznesowych. Narzędzie umożliwia dokumentowanie i udokumentowane śledzenie procesów, kontrolę dostępu do informacji, zarządzanie uprawnieniami oraz zachowanie ścisłej kontroli nad procesami biznesowymi (Vernadat, 2020).

ARIS znajduje zastosowanie w różnych sektorach i branżach, od finansów i bankowości po przemysł i usługi. Narzędzie może być wykorzystywane zarówno przez menedżerów procesów biznesowych, analityków, jak i innych interesariuszy organizacji do modelowania, analizowania i zarządzania procesami biznesowymi w celu poprawy efektywności i osiągnięcia strategicznych celów biznesowych (Vidovic & Vuksic, 2003).

W środowisku symulacyjnym podczas analizy procesu sprawdzane są efekty różnych konfiguracji procesów i zasobów. Konfiguracje te są automatycznie tworzone przez symulator. Otrzymane wyniki są zapisywane w celu oceny i porównania optymalizacji procesu. Należy wybrać bazę danych, w której przeprowadzona zostanie symulacja (Schäffer i in., 2021). Można określać zmienności czynników i tworzyć wiele scenariuszy. Należy określić konfigurację optymalizacji, czyli minimalizację lub maksymalizację modelu i obiektów. Jeden z formatów dokumentacji to Microsoft Excel, w którym jest zapisywany plik z wynikami. Można w nim przeglądać i zapisywać wyniki, czyli wartości dla obiektów, czynników oraz odpowiedzi (Waszkowski & Nowicki, 2020).

Wśród zalet Aris na uwagę zasługuje fakt podawany przez Ami i Sommer, że aplikacja ta jest odpowiednia dla dużych przedsiębiorstw i do modelowania hierarchii strukturalnej przedsiębiorstwa. Daje możliwość automatycznej optymalizacji procesu (Ami & Sommer, 2007). Do głównych wad stosowania EPC, która jest główną techniką wykorzystywaną w tym oprogramowaniu Waszkowski i Nowicki zaliczają specyfikację ról dla każdej funkcji lub działania wykonywanych przez dodanie jednostki organizacyjnej notacji. Przez to model staje się dość chaotyczny w porównaniu z uporządkowanym formatem który zapewnia BPMN.

Przykładowy diagram procesu przygotowany przy pomocy aplikacji Lucidchart, na podstawie (Waszkowski & Nowicki, 2020) oraz źródła internetowego⁸ jest widoczny na Rysunku 7.



Rysunek 7. Przykładowy diagram procesu biznesowego przygotowany z wykorzystaniem aplikacji Lucidchart. Źródło: Waszkowski & Nowicki, 2020⁸

Rozdział 2.4.2.7. Gliffy

Jak podają Galeano i in., Gliffy to narzędzie do tworzenia diagramów, w tym diagramów procesów biznesowych. Jest to aplikacja oparta na przeglądarce, która umożliwia tworzenie intuicyjnych i profesjonalnych diagramów za pomocą łatwego w obsłudze interfejsu. Jest to aplikacja produkcji firmy Atlassian dostępna w internecie w chmurze wydana przez programistów Chrisa Kohlhardta i Clinta Dicksona w roku 2007. Bazuje na technologii

⁸ <https://www.ariscommunity.com/aris-express>

HTML5. Umożliwia tworzenie diagramów UML i Vienna. Jest zintegrowana z aplikacjami JIRA i Confluence (Galeano i in., 2023).

Kryteria oceny narzędzi do modelowania obejmują według (Jaimez-González & Martínez-Samora, 2020; Janicki & Wójcik, 2021; Krusche i in., 2020):

- Liczba zapewnianych funkcjonalności dostępnych w darmowej wersji.
- Przyjazność i intuicyjność interfejsu użytkownika.
- Jakość modelowania i symulacji procesów.
- Łatwość instalacji i obsługi.

Jak podają Fadila i in., Gliffy umożliwia pracę nad diagramami i schematami organizacyjnymi online w chmurze, co umożliwia pracę w zespole. Jest to jedna z pierwszych aplikacji na Atlassian Marketplace, więc oferuje integracje z narzędziami firmy Atlassian⁹. Posiada intuicyjny interfejs drag-and-drop (przeciągnij i upuść) (Fadila i in., 2018).

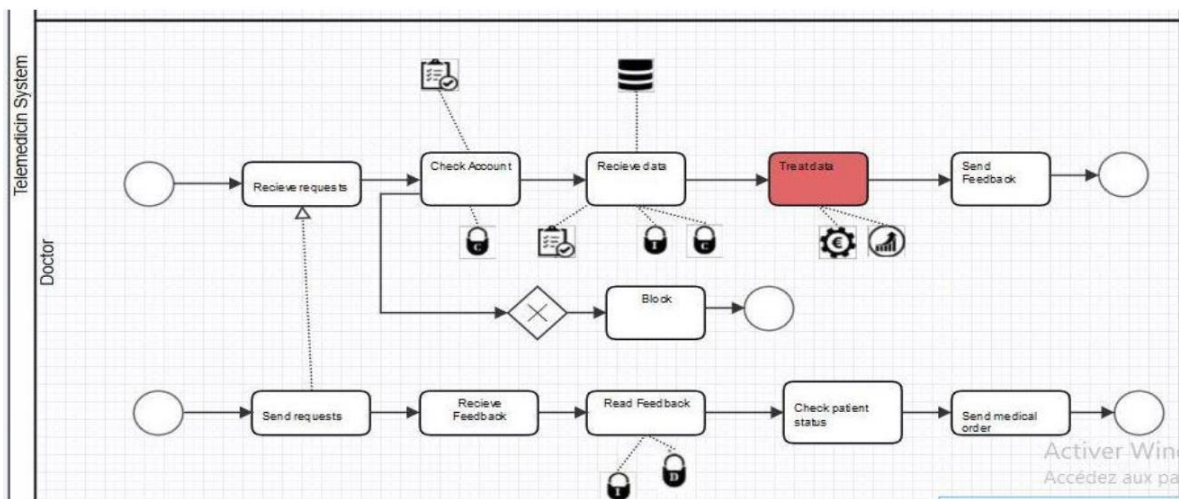
Poniżej wymieniono główne cechy i zastosowania narzędzia Gliffy w modelowaniu procesów biznesowych:

1. Modelowanie procesów biznesowych: Gliffy oferuje różne narzędzia i kształty do tworzenia diagramów procesów biznesowych. Możesz używać notacji, takich jak BPMN (Business Process Model and Notation) lub tworzyć własne symbole. Narzędzie pozwala tworzyć kroki, decyzje, przepływy, połączenia i inne elementy procesów biznesowych (Galeano i in., 2023).
2. Współpraca i udostępnianie: Gliffy umożliwia współpracę zespołową w celu tworzenia i edytowania diagramów procesów biznesowych. Użytkownicy mogą zapraszać innych do współtworzenia i komentowania diagramów, udostępniać diagramy zainteresowanym stronom i współpracować w czasie rzeczywistym. Diagramy można również udostępniać jako pliki lub łącza (Jaimez-González & Martínez-Samora, 2020).
3. Dostępność i przenośność: Gliffy jest dostępny jako narzędzie internetowe, co oznacza, że można go używać za pośrednictwem przeglądarki internetowej na różnych platformach i urządzeniach. Możesz także zainstalować wtyczkę Gliffy do narzędzi takich jak Confluence i Jira, która umożliwia integrację z innymi systemami i aplikacjami (C. Gómez i in., 2021).

⁹ <https://www.gliffy.com/>

4. Personalizacja i stylizacja: narzędzie Gliffy oferuje wiele opcji personalizacji i stylizacji diagramów. Użytkownicy mogą dostosowywać kolory, czcionki, rozmiary i inne elementy graficzne, aby tworzyć estetyczne i czytelne diagramy procesów biznesowych. Możesz także dodawać ikony, obrazy i inne elementy wizualne (Krusche i in., 2020).
5. Łatwy do nauczenia i użytkowania: Gliffy jest znany z intuicyjnego interfejsu użytkownika, który sprawia, że nauka i korzystanie z narzędzia jest łatwe nawet dla początkujących użytkowników. Wiele funkcji jest dostępnych metodą „przeciągnij i upuść”, co ułatwia tworzenie i modyfikowanie diagramów bez programowania (Galeano i in., 2023).

Gliffy jest używany w różnych dziedzinach i branżach, w których modelowanie procesów biznesowych jest niezbędne do lepszego zrozumienia, udokumentowania i komunikowania o tym, jak działa organizacja. Narzędzie może być wykorzystywane przez menedżerów, analityków, projektantów i innych interesariuszy do wizualizacji, analizy i usprawniania procesów biznesowych (Janicki & Wójcik, 2021). Przykładowy diagram procesu przygotowany przy pomocy aplikacji Gliffy, na podstawie (Fadila i in., 2018) został przedstawiony na Rysunku 8.



Rysunek 8. Przykładowy diagram procesu biznesowego przygotowany przy pomocy aplikacji Gliffy.

Źródło: Fadila i in., 2018.

Rozdział 2.4.2.8. Microsoft Visio (Microsoft)

Jak podają Sohns i in., Microsoft Visio to popularne narzędzie do tworzenia różnorodnych diagramów, w tym diagramów procesów biznesowych. Jest częścią pakietu Microsoft Office i oferuje zaawansowane funkcje, które umożliwiają precyzyjne modelowanie i analizę

procesów biznesowych (Sohns i in., 2023). Do roku 2000 program rozwijany był przez przedsiębiorstwo Visio, które zostało przejęte przez Microsoft. Pierwsze wydanie miało miejsce w roku 1992 przez Shapeware Corporation, przed przejęciem tej firmy przez Microsoft. Obecnie stanowi składnik pakietu aplikacji biurowych Microsoft Office (Munsamy i in., 2023).

Visio dostarcza funkcje i mechanizmy do budowania różnych schematów. Pozwala budować i edytować diagramy w celu przedstawienia procesów biznesowych. Ta aplikacja umożliwia tworzenie różnorodnych diagramów, wykresów, grafów, schematów blokowych, organizacyjnych, map, rozkładów pomieszczeń, burz mózgow, diagramów sieciowych, projektów, harmonogramów projektów. Narzędzie to jest intuicyjne i umożliwia obsługę na zasadach zbliżonych do pozostałych narzędzi pakietu Microsoft Office. Narzędzie posiada wersję klasyczną (desktopową) i internetową. Wizualizacje można tworzyć z wykorzystaniem wstępnie utworzonych szablonów, początkowych diagramów, wzorników, zarówno w aplikacji klasycznej jak i internetowej (Ami & Sommer, 2007).

Zdaniem Polančič jest to głównie aplikacja służąca do tworzenia diagramów, która wspomaga projektowanie modelu procesów biznesowych. Microsoft Visio nie jest oparty na konkretnej notacji albo technice. Udostępnia różne notacje i techniki takie jak IDEF0, BPMN2.0, UML, a poza tym własną technikę diagramu przepływu o nazwie Microsoft SharePoint, a także różne diagramy oprogramowania i baz danych. Microsoft Visio umożliwia również użytkownikowi modelującemu projektowanie własnych notacji (Polančič, 2020).

Funkcje zarządzania BPM/procesami biznesowymi w Visio obejmują rysowanie procesów biznesowych, koncepcji planowania, systemów informacyjnych i przepływów danych, wsparcie dla inicjatyw, takich jak Six Sigma i ISO 9000, wsparcie dla języka UML, udostępnianie diagramu za pomocą autorskiej aplikacji (SharePoint), funkcje zapisywania diagramów jako stron internetowych, funkcja importu i eksportu (Ahmed i in., 2019). Visio umożliwia koordynację pracy z pakietem Office i innymi produktami firmy Microsoft (Mueller i in., 2022). Umożliwia import i eksport diagramów w Scalable Vector Graphics (SVG), "nowym standardzie XML dla grafiki internetowej". Pierwsze wrażenie pokazuje, że Visio ma funkcjonalności zbliżone do innych narzędzi BPM/zarządzania procesami biznesowymi. Jednak Visio nie posiada centralnego repozytorium, które służyłoby do przechowywania właściwości procesów biznesowych i umożliwiłoby ich ponowne wykorzystanie w innych modelach. Oznacza to, że użytkownicy modelujący są zmuszeni definiować ten sam proces

kilka razy ilekroć pojawia się on w różnych modelach¹⁰. Z tego powodu Visio jest postrzegane jako narzędzie do rysowania i nie jest efektywne w zarządzaniu procesami biznesowymi (Polderdijk i in., 2018).

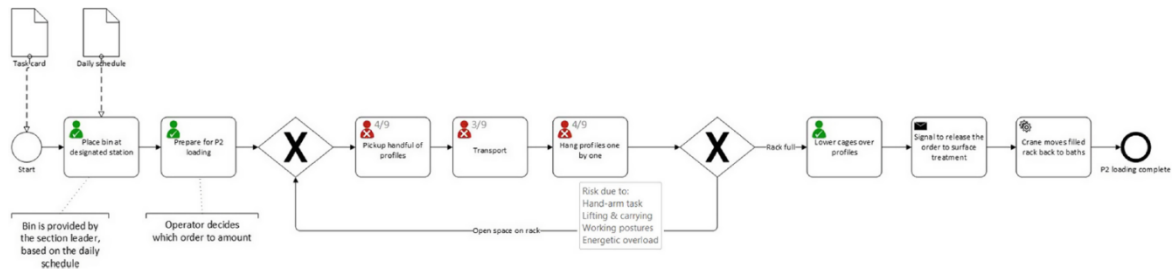
Poniżej podano główne cechy i zastosowania narzędzia Microsoft Visio w modelowaniu procesów biznesowych:

1. Modelowanie procesów biznesowych: Visio udostępnia szeroką gamę kształtów, szablonów i narzędzi do tworzenia diagramów procesów biznesowych. Narzędzie obsługuje popularne notacje, takie jak BPMN (Business Process Model and Notation), pozwalając na modelowanie kroków, decyzji, przepływów i innych elementów procesów biznesowych (Ami & Sommer, 2007).
2. Wizualizuj i komunikuj: Visio umożliwia tworzenie profesjonalnie wyglądających diagramów, które są łatwe do odczytania i zrozumienia. Narzędzie oferuje szeroką gamę opcji formatowania, stylizacji i dostosowywania, aby jasno przedstawiać i komunikować procesy biznesowe (Gola & Sitek, 2005).
3. Integracja z innymi narzędziami Microsoft: Visio integruje się z innymi narzędziami Microsoft, takimi jak Word, Excel i PowerPoint. Pozwala to łatwo importować dane, generować raporty, udostępniać diagramy w dokumentach i prezentacjach oraz zapewniać spójność informacji między różnymi aplikacjami (Sohns i in., 2023).
4. Automatyzacja i analityka: Visio oferuje możliwość automatyzacji procesów biznesowych za pomocą makr i automatyzacji VBA (Visual Basic for Applications). Możesz także użyć funkcji analizy danych, takich jak wykresy Gantta i diagramy sieciowe, aby lepiej zrozumieć procesy biznesowe i zarządzać nimi (Polančič, 2020).
5. Współpraca i udostępnianie: Visio umożliwia współpracę z innymi użytkownikami poprzez udostępnianie diagramów w chmurze, udostępnianie komentarzy i śledzenie zmian. Narzędzie umożliwia również eksportowanie diagramów do różnych formatów, co ułatwia udostępnianie i prezentowanie diagramów procesów biznesowych innym osobom (Sohns i in., 2023).

Microsoft Visio jest używany w różnych sektorach i branżach, w których ważne jest modelowanie procesów biznesowych. Mogą z niego korzystać menedżerowie, analitycy, projektanci i inne osoby odpowiedzialne za zarządzanie i doskonalenie procesów biznesowych. Narzędzie jest szczególnie popularne w środowiskach korporacyjnych, w których szeroko

¹⁰ <https://www.microsoft.com/pl-pl/microsoft-365/visio/flowchart-software>

stosowany jest pakiet Microsoft Office (Halstenberg i in., 2021). Przykładowy diagram procesu przygotowany przy pomocy aplikacji Microsoft Visio, na podstawie (Polderdijk i in., 2018) jest widoczny na Rysunku 9.



Rysunek 9. Przykładowy diagram procesu biznesowego przygotowany z wykorzystaniem aplikacji Microsoft Visio. Źródło: Polderdijk i in., 2018.

Rozdział 2.4.2.9. iGrafx Process (Corel Corporation)

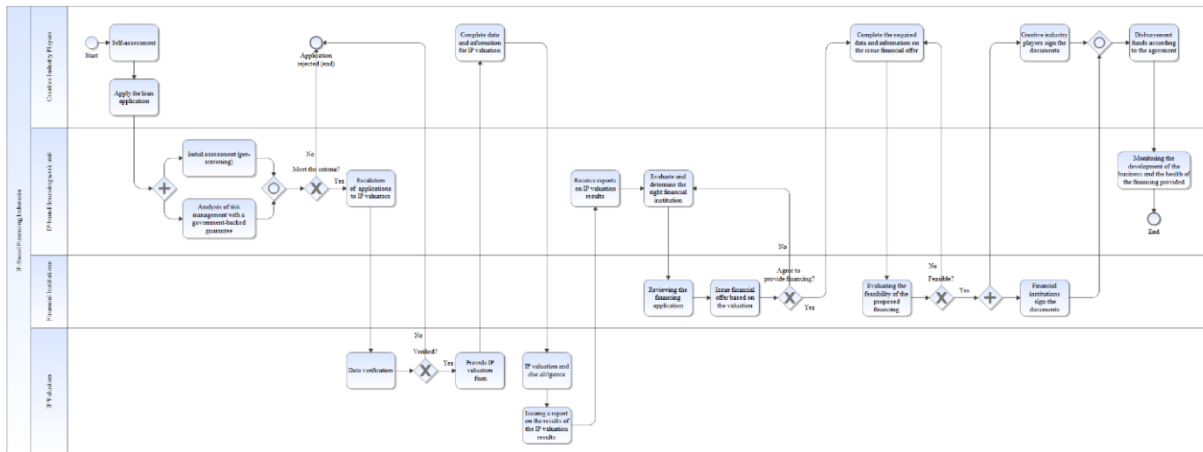
Według Kaasalainen i in. iGrafx Process to zaawansowane narzędzie do modelowania i analizy procesów biznesowych. Oferuje funkcje do zarządzania, optymalizacji i usprawniania procesów biznesowych w organizacji (Kaasalainen i in., 2020). Jest to narzędzie łatwo dostępne i w pełni funkcjonalne służące do analizy procesów i symulacji. Umożliwia tworzenie struktur takich, jak diagramy przepływu, hierarchiczne modele procesów z numerowaniem, inteligentne diagramy typu Swimlane, Mapy Strumienia Wartości (Diagramy VSM), Arkusze FMEA i priorytetyzacja, Diagramy SIPOC, Modele BPMN, Własne szablony, schematy organizacyjne, schematy sieci, diagramy przyczynowo-skutkowe (rybich ości), analiza wielu scenariuszy, tworzenie raportów z danych symulacyjnych, modelowanie architektury IT, inteligentne drukowanie, diagramy wielojęzyczne i wiele innych. Umożliwia publikacje w PDF oraz import diagramów z Visio (Santoso i in., b.d.).

Poniżej przedstawiono główne cechy i zastosowania narzędzia iGrafx Process w modelowaniu procesów biznesowych (Vijay & Gomathi Prabha, 2021a):

1. Modelowanie procesów biznesowych: iGrafx Process umożliwia tworzenie graficznych diagramów procesów biznesowych przy użyciu różnych notacji, takich jak BPMN (Business Process Model and Notation), EPC (Event-driven Process Chain) i inne. Narzędzie oferuje szeroką gamę kształtów, symboli i narzędzi do precyzyjnego określania kroków, decyzji, przepływów i innych elementów procesów biznesowych (Chuks & Telukdarie, 2021).

2. Analiza i optymalizacja procesów: Narzędzie iGrafx Process umożliwia analizę i optymalizację procesów biznesowych. Użytkownicy mogą identyfikować wąskie gardła, nieefektywne kroki i inne obszary wymagające poprawy. Narzędzie oferuje funkcje symulacyjne, które pozwalają przetestować różne scenariusze i ocenić wpływ zmian na procesy biznesowe (Di Leva i in., 2020).
3. Zarządzanie procesami biznesowymi: iGrafx Process wspiera zarządzanie procesami biznesowymi na różnych poziomach. Narzędzie pozwala definiować, dokumentować i udostępniać informacje o procesach biznesowych, takie jak opisy, role, obowiązki, zasoby i wskaźniki wydajności. Umożliwia również monitorowanie i raportowanie przebiegu procesu oraz zarządzanie zmianą (Gola & Sitek, 2005).
4. Integracja z innymi systemami: iGrafx Process oferuje integrację z innymi systemami informatycznymi w organizacji, takimi jak systemy zarządzania bazami danych, systemy ERP czy systemy zarządzania jakością. Integracja ta umożliwia wymianę danych, synchronizację informacji oraz współpracę pomiędzy różnymi narzędziami i systemami (Sulis i in., 2019).
5. Audyt i zgodność: iGrafx Process wspiera audyt i zgodność z przepisami i standardami procesów biznesowych. Pozwala śledzić historię zmian, kontrolować dostęp do informacji, zarządzać uprawnieniami oraz zachować ścisłą kontrolę nad procesami biznesowymi zgodnie z wymogami regulacyjnymi (Vijay & Gomathi Prabha, 2021b).

Zdaniem Sulis i in. iGrafx Process znajduje zastosowanie w różnych sektorach i branżach, w których kluczowe znaczenie ma modelowanie i zarządzanie procesami biznesowymi. Z narzędzia mogą korzystać menedżerowie procesów biznesowych, analitycy, konsultanci i inne osoby odpowiedzialne za doskonalenie procesów w organizacji. Dzięki funkcjom modelowania, analizy i zarządzania iGrafx Process pomaga organizacjom zwiększyć wydajność, poprawić jakość usług i osiągnąć strategiczne cele biznesowe (Sulis i in., 2019). Przykładowy diagram procesu przygotowany przy pomocy aplikacji iGrafx, na podstawie (Santoso i in., b.d.) pokazano na Rysunku 10.



Rysunek 10. Przykładowy diagram procesu biznesowego przygotowany z wykorzystaniem aplikacji iGrafx. Źródło: Santoso i in., b.d..

Rozdział 2.4.2.10. diagrams.net (dawniej draw.io)

Jak podają M. Camargo i in., jest to bezpłatna, otwarta i nowoczesna aplikacja internetowa, która umożliwia tworzenie różnorodnych diagramów i wykresów. Nadaje się do tworzenia diagramów dotyczących zarówno prostych jak i złożonych problemów¹¹. Wśród struktur, które mogą być utworzone przy pomocy tego narzędzia znajdują się diagramy biznesowe, schematy blokowe, diagramy UML, tabele, grafy. Istnieje możliwość tworzenia własnych projektów od podstaw lub korzystania z gotowych szablonów (M. Camargo i in., 2020). W obu sytuacjach jest możliwość dowolnego zarządzania stylem, kolorami wszystkich elementów diagramu. Aplikacja draw.io została utworzona z wykorzystaniem technologii Electron, jest dostępna również w wersjach desktopowych dla systemów operacyjnych Windows, Linux, Mac OS (Erasmus i in., 2020). Aplikacja ta umożliwia pracę zespołową, współpracuje z Google Drive, Dropbox, OneDrive, GitHub i GitLab. Kod źródłowy z desktopowych aplikacji jest dostępny na GitHubie. Draw.io umożliwia tworzenie wizualizacji procesów, rozpisywanie scenariuszy, tworzenie map myśli, tabel i schematów blokowych (L. Zhang i in., 2022). Utworzony w aplikacji internetowej diagram można wyeksportować w formatach XML, PNG, JPEG, SVG, PDF, HTML, URL. Istnieje również możliwość importu istniejących diagramów w celu ich edycji. Podczas pracy nad diagramami można skorzystać z gotowych szablonów albo utworzyć pusty dokument. W draw.io istnieje możliwość pracy nad diagramami z innymi użytkownikami, a zmiany są widoczne dla współpracowników w czasie rzeczywistym.

¹¹ <https://achmielewska.com/draw-io/>

Aplikacja udostępnia różne elementy blokowe i kształty oraz emotikony (Guizani & Ghannouchi, 2021).

Rozdział 2.4.2.11. Enterprise Architect Suite

Według Pérez-Castillo i in. Enterprise Architect Suite to kompleksowe narzędzie do modelowania i zarządzania procesami biznesowymi. Zapewnia zaawansowane funkcje, które pozwalają projektować, dokumentować, analizować i optymalizować procesy biznesowe organizacji (Pérez-Castillo i in., 2020).

Oprogramowanie to opracowała firma Sparx Systems w oparciu o język UML. Po raz pierwszy zostało wydane w 2000 roku i obsługiwało tylko UML, natomiast kolejne wersje miały już zwiększone możliwości i obsługiwały techniki Object-UML, BPMN, BPEL, SPEM. To oprogramowanie wspiera nie tylko modelowanie procesów biznesowych z uwzględnieniem projektowania ale również symulację, cykl życia produktu, zarządzanie wymaganiami, zarządzanie projektami (Baptista & Barata, 2021). Oprogramowanie to stanowi kompletny pakiet BPM, który może być użyteczny dla użytkowników zajmujących się modelowaniem, analityków biznesowych, programistów, oraz innych uczestników w jednostce organizacyjnej (Medoh & Telukdarie, 2017).

Poniżej wymieniono cechy i zastosowania narzędzia Enterprise Architect Suite w modelowaniu procesów biznesowych (van de Wetering, 2022):

1. Modelowanie procesów biznesowych: Enterprise Architect Suite umożliwia tworzenie zaawansowanych diagramów procesów biznesowych przy użyciu różnych notacji, takich jak BPMN (Business Process Model and Notation), UML (Unified Modeling Language) i inne. Narzędzie oferuje szeroką gamę kształtów, symboli i narzędzi, które pozwalają na precyzyjne modelowanie kroków, przepływów, decyzji, zdarzeń i innych elementów procesów biznesowych (Lamine i in., 2020).
2. Analiza i optymalizacja procesów: Narzędzie Enterprise Architect Suite umożliwia analizę i optymalizację procesów biznesowych. Użytkownicy mogą przeprowadzać analizę wydajności, identyfikować obszary problemowe, identyfikować wąskie gardła i proponować ulepszenia. Narzędzie oferuje funkcje symulacyjne, które pozwalają przetestować różne scenariusze i ocenić wpływ zmian na procesy biznesowe (Svatošová & others, 2021).
3. Dokumentowanie i udostępnianie informacji: Pakiet Enterprise Architect Suite umożliwia tworzenie dokumentacji procesów biznesowych, opisów, diagramów,

wytycznych i innych informacji z nimi związanych. Narzędzie zapewnia również funkcje udostępniania do współpracy z innymi członkami zespołu i interesariuszami. Możesz tworzyć raporty, prezentacje i podsumowania ułatwiające komunikację i udostępnianie informacji o procesach biznesowych (Zuhaira & Ahmad, 2021).

4. Integracja z innymi narzędziami: Enterprise Architect Suite oferuje możliwość integracji z innymi narzędziami i systemami informatycznymi w organizacji. Dzięki temu można wymieniać dane, synchronizować informacje i współpracować z innymi systemami, takimi jak systemy zarządzania bazami danych, systemy ERP czy narzędzia do zarządzania projektami (Ami & Sommer, 2007).
5. Zarządzanie zmianami i wersjonowanie: narzędzie Enterprise Architect Suite umożliwia ściśle zarządzanie zmianami w procesach biznesowych. Użytkownicy mogą śledzić historię zmian, porównywać wersje, kontrolować dostęp i nadawać uprawnienia do informacji. Narzędzie oferuje również funkcje kontroli wersji w celu efektywnego zarządzania różnymi wersjami procesów biznesowych i ich ewolucją (Lamine i in., 2020).

Enterprise Architect Suite znajduje zastosowanie w różnych sektorach i branżach, w których kluczowe znaczenie ma modelowanie, analiza i zarządzanie procesami biznesowymi. Z narzędzia mogą korzystać analitycy, architekci biznesowi, projektanci i inni specjaliści odpowiedzialni za modelowanie i usprawnianie procesów biznesowych w organizacji (Ami & Sommer, 2007).

Rozdział 2.4.2.12. Enterprise Dynamics

Enterprise Dynamics to zaawansowane narzędzie do modelowania, symulacji i optymalizacji procesów biznesowych. Służy do analizy i doskonalenia działań operacyjnych w różnych branżach. Oprogramowanie to zostało opracowane przez InControl Simulation Solutions. Aplikacja ta stanowi platformę do wykonywania symulacji procesu biznesowego (Erasmus i in., 2020). Modele w tej aplikacji tworzone są metodą przeciągnij i upuść (drag- and-drop). Oprogramowanie to nie musi bazować na żadnej z omawianych notacji, ale wspomaga modelowanie procesu biznesowego z wykorzystaniem techniki przepływu pracy. Główną funkcją tego oprogramowania jest przeprowadzenie symulacji modelu szeregowego modelu. Mimo, że jest on głównie używany w sektorze produkcyjnym, może być również użyteczny w innych obszarach przemysłu (Cosenz & Bivona, 2021). W Enterprise Dynamics, działania i role są reprezentowane jako serwery. W trakcie symulacji prezentowana jest procentowa wydajność serwera. Umożliwia to śledzenie wydajności każdego działania. Istnieje możliwość

wygenerowania wykresów i raportów z przeprowadzanych symulacji w celu wykonania analizy. To oprogramowanie wykorzystuje technikę podobną do sieci Petriego i technikę przepływu pracy w reprezentacji procesów (W. Yu i in., 2020). To oprogramowanie jest szczególnie odpowiednie dla modelujących użytkowników, którzy są zainteresowani wyłącznie seryjnym przepływem czynności, bez uwzględniania ról w wykonywaniu poszczególnych działań (czynności). Złożoność modelowania z wykorzystaniem tego oprogramowania zależy od liczby pracowników wykonujących zadania (Schepers i in., 2014).

Główne cechy i zastosowania narzędzia Enterprise Dynamics w modelowaniu procesów biznesowych są następujące (Kir & Erdogan, 2021):

1. Modelowanie procesów biznesowych: Enterprise Dynamics umożliwia tworzenie dokładnych modeli procesów biznesowych odzwierciedlających rzeczywistość operacyjną Twojej organizacji. Narzędzie pozwala na zdefiniowanie etapów procesu, przepływów materiałów i informacji, zasobów, czasów cykli i innych parametrów. Można tworzyć zaawansowane modele uwzględniające złożoność interakcji między różnymi elementami procesów.
2. Symulacja procesów biznesowych: narzędzie Enterprise Dynamics umożliwia symulowanie procesów biznesowych w celu oceny ich wydajności i identyfikacji obszarów wymagających optymalizacji. Użytkownicy mogą symulować różne scenariusze, testować zmiany w procesach i analizować wyniki. Symulacje pozwalają ocenić wpływ różnych czynników, takich jak zmienne wejściowe, poziomy obciążenia czy zmiany w organizacji, na efektywność procesów.
3. Optymalizacja i doskonalenie procesów: Enterprise Dynamics oferuje narzędzia do analizy i optymalizacji procesów biznesowych. Różne techniki optymalizacji, takie jak programowanie liniowe, algorytmy genetyczne i metody symulowanego wyżarzania, mogą być wykorzystywane do znajdowania optymalnych rozwiązań i ulepszania procesów. Narzędzie udostępnia raporty i wskaźniki wydajności, które pomagają zidentyfikować obszary wymagające poprawy.
4. Analiza scenariuszy i podejmowanie decyzji: Enterprise Dynamics pozwala analizować różne scenariusze biznesowe i oceniać ich wpływ. Użytkownicy mogą symulować różne strategie operacyjne, oceniać ryzyko i podejmować decyzje na podstawie wyników symulacji. Narzędzie wspiera świadome decyzje dotyczące procesów biznesowych.

5. Wizualizacja i raportowanie: Enterprise Dynamics zapewnia zaawansowane możliwości wizualizacji danych i raportowania. Użytkownicy mogą tworzyć interaktywne wykresy, schematy blokowe, mapy cieplne i inne wizualizacje, które ułatwiają zrozumienie i prezentację wyników analizy procesów biznesowych. Raporty można dostosowywać do własnych potrzeb i udostępniać innym interesariuszom.

Enterprise Dynamics znajduje zastosowanie w wielu branżach, takich jak produkcja, logistyka, usługi finansowe, służba zdrowia i wielu innych, gdzie zachodzi potrzeba analizy, optymalizacji i usprawnienia procesów biznesowych (Kalpič & Bernus, 2006).

Rozdział 2.4.2.13. Accuprocess Modeller

Zdaniem Chuks i Telukdarie Accuprocess Modeller to zaawansowane narzędzie do modelowania procesów biznesowych, które umożliwia organizacjom tworzenie, analizowanie i zarządzanie procesami biznesowymi (Chuks & Telukdarie, 2021). Narzędzie to zostało opracowane jako łatwe w użyciu w porównaniu do pozostałych rodzajów oprogramowania służącego do modelowania procesów. Accuprocess wykorzystuje tylko jedną notację: BPMN 1.0, która przypomina diagram przepływu. Udostępnia ona niewiele elementów do przeprowadzenia modelowania. Razem z tym oprogramowaniem dostarczane są bezpłatne dokumenty i szkolenia, które pomagają początkującym użytkownikom szybką naukę obsługi narzędzia (Medoh & Telukdarie, 2017). To narzędzie podzielone jest na dwie części: modelowania i symulacja. W części przeznaczonej do modelowania wszystkie niezbędne notacje umieszczone są na canvas. Modelowanie systemu jest wykonywane przy pomocy metody "przeciągnij i upuść". W tej kanwie wybierane są różne obiekty które będą użyte podczas mapowania procesu biznesowego (Kalibatiene & Vasilecas, 2021). W obszarze jednostka organizacyjna znajdują się role które mogą być przypisane oraz scenariusz dla którego symulacja ma być przeprowadzona. Każda czynność przypisywana jest do roli znajdującej się w zasobach symulacji. Działania uwzględnianie w symulacji są zawarte w scenariuszu. Podsumowanie symulacji wyświetlane jest w interfejsie aplikacji. Istnieje możliwość wygenerowania szczegółowego raportu w formie pliku HTML w celu przeprowadzenia analizy z zawartymi parametrami i konfiguracjami. Do raportu generowany jest dokument pomocniczy zawierający kompletne kroki w modelowaniu i symulacji procesu biznesowego (Vasilecas i in., 2016).

Do zalet Accuprocess Modeller należy to, że jest on łatwy do nauczenia, komunikacji i projektowania modeli, wygenerowany raport jest łatwo zrozumiały. Dokumentacja modelu

może zostać wygenerowana w formatach *.jpg (format graficzny), .docx, .html i .pdf, które są dostępne na wielu platformach. Aplikacja jest samodzielna, modele są projektowane łatwo, nie ma wymogu dostępu do Internetu. Projekty nie są przechowywane w bazie nieobsługiwanej przez organizację, gdyż aplikacja nie korzysta z zewnętrznej bazy danych. Aplikacja jest lekka, może być łatwo pobrana i zainstalowana. Jest odpowiednia dla małych i średnich firm (Nnamdi & Telukdarie, 2020). Wadą jest to, że możliwe jest modelowanie jedynie hierarchicznego przepływu działań, modelowanie hierarchii strukturalnej nie jest dostępne. Wynika to z trudności w zastosowaniu BPMN, który jest jedyną techniką dostępną w tym oprogramowaniu. Niektóre oprogramowania, takie jak np. ARIS, czy Microsoft Visio, dają użytkownikowi modelującemu opcję Organization Chart w projekcie (Zuhaira & Ahmad, 2021).

W przypadku korzystania z wersji Enterprise optymalizacja jest przeprowadzana automatycznie przez oprogramowanie, oszczędzając czas i wydatki związane z przeprowadzaniem obserwacji lub zmian.

Najważniejsze cechy i zastosowania Accuprocess Modeller w modelowaniu procesów biznesowych to:

1. Modelowanie procesów biznesowych: Accuprocess Modeller oferuje intuicyjne środowisko do tworzenia diagramów procesów biznesowych. Narzędzie obsługuje różne notacje, takie jak BPMN (Business Process Model and Notation), co pozwala tworzyć czytelne i zrozumiałe modele. Użytkownicy mogą definiować kroki, przepływy, decyzje, zasoby i inne elementy procesów biznesowych w celu tworzenia kompleksowych i dokładnych modeli (Kalibatiene & Vasilecas, 2021).
2. Analiza i optymalizacja procesów: Accuprocess Modeller umożliwia analizę i optymalizację procesów biznesowych. Narzędzie oferuje funkcje, które pozwalają użytkownikom ocenić wydajność procesu, zidentyfikować obszary problemowe i zasugerować usprawnienia. Możesz przeprowadzić analizę przepływu, analizę czasu, analizę kosztów i nie tylko, aby zidentyfikować wąskie gardła, zmniejszyć ilość odpadów i poprawić wydajność procesu (Chuks & Telukdarie, 2021).
3. Automatyzacja procesów: Accuprocess Modeller umożliwia automatyzację procesów biznesowych poprzez integrację z innymi systemami i narzędziami. Narzędzie pozwala definiować reguły, wyzwalacze, przydzielać zadania i inne elementy automatyzacji.

Możesz tworzyć zaawansowane scenariusze procesów, w tym logikę biznesową i zależności między różnymi zadaniami (Nnamdi & Telukdarie, 2020).

4. Śledzenie i raportowanie: Accuprocess Modeller oferuje śledzenie i raportowanie procesów biznesowych. Użytkownicy mogą monitorować działanie procesów, śledzić czas trwania, przepływ informacji i zasobów. Narzędzie generuje raporty, które dają wgląd w efektywność procesów i mogą służyć do podejmowania decyzji biznesowych (Zuhaira & Ahmad, 2021).
5. Współpraca i udostępnianie: Accuprocess Modeller umożliwia współpracę zespołową i udostępnianie informacji o procesach biznesowych. Użytkownicy mogą współpracować nad modelami, udostępniać je innym członkom zespołu i interesariuszom. Narzędzie oferuje również funkcje kontroli wersji, które pomagają zarządzać różnymi wersjami modeli (Chuks & Telukdarie, 2021).

Accuprocess Modeller jest wykorzystywany w różnych branżach i organizacjach, które dążą do efektywnego zarządzania, analizy i optymalizacji procesów biznesowych. Narzędzie jest szczególnie przydatne dla analityków biznesowych, konsultantów procesowych, kierowników operacyjnych i innych specjalistów odpowiedzialnych za doskonalenie procesów w organizacji (Zuhaira & Ahmad, 2021).

Rozdział 2.4.2.14. System Architect (Popkin)

Jak twierdzą L. Liu i in., System Architect to zaawansowane narzędzie do modelowania procesów biznesowych i zarządzania architekturą przedsiębiorstwa. Służy do tworzenia, analizowania i dokumentowania procesów biznesowych w organizacjach (L. Liu i in., 2020).

To oprogramowanie wspiera BPM modelowanie obiektowe i komponentowe z wykorzystaniem UML. System Architect posiada centralne repozytorium gdzie gromadzone są informacje o każdym procesie i obiekcie. Wśród głównych cech można wymienić wsparcie dla frameworka EA, BPM, UML, XML, modelowanie danych, natywne wsparcie dla Microsoft Visual Basic for Application (VBA), możliwość publikowania w sieci. System ten dysponuje przeglądarką frameworków ułatwiającą zarządzanie frameworkami EA które zostały wdrożone w przedsiębiorstwach (Ramakrishnan & Kaur, 2020). EA jest istotne, szczególnie w sektorze publicznym. System Architect wspiera architekturę korporacyjną, co umożliwia łatwe zarządzanie i utrzymanie EA. System Architect umożliwia budowanie różnych diagramów i wykorzystanie różnych metod modelowania. Daje możliwość obsługi modelowania procesów sterowanych zdarzeniami, modelowanie funkcjonalne i organizacyjne. Wspomaga także nową

metodykę modelowania – BPMN, IDEF tradycyjną i popularną w sektorach publicznych, UML używany do analizy i projektowania oprogramowania i aplikacji (Ami & Sommer, 2007).

Poniżej przedstawiono główne cechy i zastosowania narzędzia System Architect w modelowaniu procesów biznesowych (Alles & Gray, 2020):

1. Modelowanie procesów biznesowych: System Architect oferuje bogaty zestaw narzędzi do tworzenia modeli procesów biznesowych. Narzędzie obsługuje różne notacje, takie jak BPMN (Business Process Model and Notation), umożliwiając użytkownikom tworzenie przejrzystych i zrozumiałych diagramów procesów. Można zdefiniować kroki procesu, przepływy, decyzje, zasoby i inne elementy procesów biznesowych (Chakori i in., 2021).
2. Business Process Analysis: System Architect umożliwia analizę procesów biznesowych w celu oceny ich wydajności i identyfikacji obszarów wymagających optymalizacji. Narzędzie zapewnia funkcje, które umożliwiają użytkownikom analizowanie przebiegu procesu, czasu trwania, kosztów i innych miar wydajności. Możesz także przeprowadzać analizy porównawcze różnych scenariuszy biznesowych (Shaked & Reich, 2021).
3. Dokumentacja procesów biznesowych: System Architect wspiera dokumentację procesów biznesowych poprzez generowanie raportów i dokumentów opisujących modele procesów. Narzędzie umożliwia użytkownikom tworzenie diagramów, tabel, raportów tekstowych i innych materiałów, które można udostępniać interesariuszom. Dokumentacja może być wykorzystywana do komunikacji, szkoleń, audytów i innych celów (De Luc & Todd, 2020).
4. Zarządzanie zmianami: System Architect oferuje możliwości zarządzania zmianami w procesach biznesowych. Użytkownicy mogą śledzić i zarządzać zmianami w modelach procesów, rejestrować poprawki, aktualizacje i nowe wersje. Narzędzie udostępnia historię zmian oraz możliwość porównania różnych wersji modeli (Ami & Sommer, 2007).
5. Integracja z innymi narzędziami: System Architect zapewnia możliwość integracji z innymi narzędziami i systemami, takimi jak narzędzia do zarządzania projektami, systemy CRM (Customer Relationship Management) czy systemy ERP (Enterprise Resource Planning). Pozwala to użytkownikom na łatwą wymianę danych i informacji między różnymi systemami (Chakori i in., 2021).

System Architect jest wykorzystywany w różnych branżach i organizacjach, które dążą do lepszego zrozumienia, modelowania i zarządzania procesami biznesowymi. Narzędzie jest szczególnie przydatne dla architektów korporacyjnych, analityków biznesowych, konsultantów procesowych i innych specjalistów odpowiedzialnych za zarządzanie procesami w organizacji (Aguilar-Savén, 2004).

Rozdział 2.4.2.15. Corporate Modeler (Casewise)

Zdaniem Dubolazov i in. to narzędzie umożliwia modelowanie procesów i technologii, korzysta z centralnego repozytorium Casewise Repository. Do głównych cech należą możliwość graficznego modelowania organizacyjnego wysokiego poziomu, BPM, danych, przepływu danych. Istnieje możliwość połączenia z Sybase PowerDesigner, Oracle Designer i Erwin (Dubolazov i in., 2022). Naniesione zmiany są natychmiast uaktualniane w centralnym repozytorium. Daje możliwość analizy wpływów z wykorzystaniem macierzy. Umożliwia błyskawiczne raportowanie, daje możliwość transformacji do formatów Microsoft Excel i CSV, umożliwia też przeprowadzenie symulacji procesów (Ami & Sommer, 2007). W Corporate Modeler można modelować zarówno na poziomie wysokopoziomowych modeli organizacyjnych jak i niskopoziomowe przepływy danych. Ta opcja daje możliwość przedsiębiorstwom modelowania całej organizacji w celu analizy i pozbycia się wąskich gardeł w procesach. Analiza z wykorzystaniem macierzy pozwala na określanie zależności pomiędzy ludźmi, procesami i technologią informacyjną, a analiza "co by było, gdyby" zapewnia wgląd w scenariusze zmian procesów (Fischer i in., 2020). Centralne repozytorium daje możliwość uwzględniania zmian wprowadzonych we wszystkich modelach (Ihde i in., 2022). Oprogramowanie obsługuje modele graficzne pracujące z obiektami takimi jak proces, organizacja, dane i technologia. Użytkownicy mają możliwość tworzenia własnych typów obiektów. Każdy obiekt posiada nadaną mu właściwość. Właściwość zawiera opis, metryki wydajności, koszty i produkty procesu. Użytkownicy mogą dostosować te właściwości do aktualnych potrzeb. Obiekty mogą być używane wielokrotnie, ponieważ centralne repozytorium przechowuje obiekty i ich właściwości (Aguilar-Savén, 2004).

Rozdział 2.4.2.16. WizdomWorks! (Wizdom Systems)

Jak opisują Ami i Sommer, to narzędzie ma na celu modelowanie procesów biznesowych w celu poprawy wydajności przedsiębiorstwa. Składowe narzędzia obejmują ProcessWorks! i DataWorks!. ProcessWorks! Jest skoncentrowany na modelowaniu procesów i działań, natomiast DataWorks! Jest skupiona na modelowaniu danych i informacji. WizdomWorks! może być łatwo zintegrowany z pakietem MS Office, takim jak Project, Visio i Excel. Główne

cechy ProcessWorks! obejmują podział operacji przedsiębiorstwa na funkcje i czynności, wsparcie dla standardów IDEF i DoDAF, możliwość wykonania analiz i raportów w celu wygenerowania rachunku kosztów działań (Ami & Sommer, 2007). Zaletą jest wsparcie dla migracji z IDEF0 do MS Visio. Przy pomocy WizdomWorks! przedsiębiorstwa mogą zdefiniować swoje procesy organizacyjne i zidentyfikować te które są niepotrzebne i nie wnoszą wartości dodanej do danej czynności. Dzięki temu przedsiębiorstwa mogą usprawnić swoje procesy w drodze analizy "As-Is". Oprogramowanie wspiera IDEF i DoDAF. To pozwala przedsiębiorstwom na dostosowanie ich procesów do przepisów i polityki. Narzędzie udostępnia graficzne interfejsy (Intezari, 2015).

Rozdział 2.4.2.17. IBM WebSphere Business Integration Modeler (IBM)

WebSphere Business Integration Modeler jest jednym z komponentów IBM WebSphere Business Integration Workbench. Główne funkcje tego oprogramowania obejmują: możliwość uchwycenia, analizy i przeprojektowania procesów biznesowych przedsiębiorstwa. Raporty można generować z wykorzystaniem ponad 50 stylów (Reijers, 2021). Istnieje możliwość korzystania z pojedynczego repozytorium i przechowywania w nim wszystkich modeli procesów, obiektów i reguł biznesowych wraz z funkcją check-in i check-out. Istnieje łączność z IBM WebSphere MQ Workflow i Rational Rose. Możliwa jest symulacja wydajności w warunkach różnych czynników środowiskowych (np. czasu i kosztów). Narzędzie udostępnia funkcję publikowania w sieci Inter- i Intranet (Uhryn i in., 2020). Wspiera szeroki zakres technologii i standardów takich, jak J2EE, UML, XML, web usługi. Zaletą IBM WebSphere Business Integration Modeler jest jego łączność z innymi produktami IBM. W połączeniu z innym oprogramowaniem lub bazami danych, m.in. Rational Rose i DB2, Business Integration Modeler narzędzie oferuje solidne BPM i zarządzanie procesami biznesowymi. Wspiera różne systemy operacyjne (Windows i Unix/Linux) oraz middleware (Fahland i in., 2011).

Rozdział 2.4.2.18. EnterprisePro (ProVision)

Jak podają Lamine i in., EnterprisePro (ProVision) to zaawansowane narzędzie do modelowania procesów biznesowych i zarządzania architekturą przedsiębiorstwa. Jest szeroko stosowany w organizacjach do tworzenia, analizowania, dokumentowania i optymalizowania procesów biznesowych. Umożliwia przedsiębiorcom definiowanie, dokumentowanie i poprawianie strategii, procesów biznesowych i systemów (Lamine i in., 2020). Stanowi wsparcie pomiędzy procesami biznesowymi i technologią informacyjną. Razem z ProVision AnalyserPlus oraz ProVision DataExchange, oprogramowanie zapewnia mocną analizę,

symulację oraz łączność z innymi aplikacjami, takimi jak Visio, Rational Rose, Erwin i MS Project (Svatošová & others, 2021). Inne funkcje zawierają: możliwość korzystania z centralnego repozytorium, w którym przechowywane są informacje dotyczące procesów biznesowych i IS, wsparcie dla analiz typu "co jeśli". Narzędzie udostępnia ponad 17 modeli strategii, procesów dotyczących Six Sigma i ISO 9000 i modeli systemowych (Ahmed i in., 2019). Możliwe jest także publikowanie w sieci web. Narzędzie wspiera modelowanie procesów cross-funkcjonalnych, UML w celu zdefiniowania wymagań systemowych oraz stosowanie standardów, takich jak IDEF i UML. W ramach generowania dokumentacji i raportów możliwe są import i eksport danych z/do MS Word, Excel, Project, Visio i XML (Zuhaira & Ahmad, 2021). Silną stroną ProVision EnterprisePro jest możliwość łączenia się z innymi aplikacjami. W szczególności oprogramowanie ściśle współpracuje z pakietem MS Office (Tong i in., 2022). Może importować i eksportować dane z/do każdego rodzaju formatu MS Office. To zachęca do używania tego narzędzia przedsiębiorstwa, które intensywnie korzystają z tych aplikacji biurowych. W ramach współpracy z opcjonalnym AnalyzerPlus, EnterprisePro oferuje bardziej kompleksową funkcjonalność analityczną. Pozwala to na rachunek kosztów działań, nieograniczone analizy typu "co jeśli", wstępną walidację nowych podejść i symulację opartą na scenariuszach (ter Hofstede i in., 2003).

Poniżej scharakteryzowano główne funkcje i zastosowania EnterprisePro (ProVision):

1. Modelowanie procesów biznesowych: EnterprisePro (ProVision) umożliwia użytkownikom tworzenie diagramów procesów biznesowych w intuicyjny sposób. Narzędzie obsługuje różne notacje, takie jak BPMN (Business Process Model and Notation), co pozwala na tworzenie przejrzystych i zrozumiałych modeli. Użytkownicy mogą definiować etapy procesów, przepływy, decyzje, zasoby i inne elementy procesów biznesowych (Lamine i in., 2020).
2. Analiza i optymalizacja procesów: Narzędzie EnterprisePro (ProVision) umożliwia analizę i optymalizację procesów biznesowych. Użytkownicy mogą oceniać wydajność procesu, identyfikować obszary problemowe i proponować ulepszenia. Narzędzie oferuje różne funkcje analityczne, takie jak analiza przepływu, analiza czasu, analiza kosztów, co pozwala na identyfikację wąskich gardeł i poprawę wydajności procesu (Zuhaira & Ahmad, 2021).
3. Zarządzanie zmianami: EnterprisePro (ProVision) wspiera zarządzanie zmianami w procesach biznesowych. Narzędzie pozwala użytkownikom rejestrować i śledzić zmiany w modelach procesów, zarządzać wersjami i porównywać warianty modeli.

Ułatwia to proces zarządzania zmianami i umożliwia użytkownikom śledzenie historii zmian (Svatošová & others, 2021).

4. Dokumentacja procesów biznesowych: Narzędzie EnterprisePro (ProVision) wspiera dokumentację procesów biznesowych poprzez generowanie raportów i dokumentów opisujących modele procesów. Użytkownicy mogą tworzyć diagramy, tabele, raporty tekstowe i inne materiały, które mogą być udostępniane interesariuszom. Dokumentacja jest przydatna do komunikacji, szkoleń, audytów i innych celów (Ami & Sommer, 2007).
5. Integracja z innymi narzędziami: EnterprisePro (ProVision) umożliwia integrację z innymi narzędziami i systemami, takimi jak systemy zarządzania projektami, systemy CRM (Customer Relationship Management) czy systemy ERP (Enterprise Resource Planning). Pozwala to użytkownikom na łatwą wymianę danych i informacji między różnymi narzędziami (Lamine i in., 2020).

EnterprisePro (ProVision) znajduje zastosowanie w różnych branżach i organizacjach, które dążą do lepszego zrozumienia, modelowania i zarządzania procesami biznesowymi. Jest szczególnie przydatny dla architektów korporacyjnych, analityków biznesowych, konsultantów procesowych i innych profesjonalistów odpowiedzialnych za zarządzanie procesami w organizacji (Zaborowski, 2019).

Rozdział 2.4.2.19. ProActivity (ProActivity)

Narzędzie ProActivity to zaawansowane oprogramowanie do modelowania i zarządzania procesami biznesowymi. Pozwala tworzyć, analizować, optymalizować i monitorować procesy biznesowe w organizacjach. Aplikacja ta stanowi rozwiązanie dla analizy i projektowania procesów biznesowych (BPA) w przedsiębiorstwie (Ami & Sommer, 2007). Oprogramowanie skoncentrowane jest na BPM, aspektach biznesu i planowania przedsiębiorstw. ProActivity umożliwia wychwytywanie procesów biznesowych przedsiębiorstwa "As-Is" i tworzenie optymalnych procesów "To-Be" (Erasmus i in., 2020). Do głównych cech należą automatyzacja przechwytywania i walidacji procesów biznesowych 'As-Is', tworzenie graficznych map procesów, dynamiczne wielowymiarowe raportowanie i analiza, adaptacja scentralizowanej bazy danych, w której przechowywane są procesy biznesowe i związane z nimi informacje (business process knowledgebase), łączność z Microsoft Visio i Excel, wsparcie dla XML i UML, solidne funkcje analizy i raportowania (Marchetta i in., 2011).

ProActivity jest odmienne od innych narzędzi BPM/zarządzania procesami biznesowymi, pod względem traktowania procesów biznesowych jako dane (Fischer i in., 2020). Scentralizowana relacyjna baza danych przechowuje informacje o nich, więc istnieje możliwość ich ponownego wykorzystania w innych modelach. Wykorzystując Enterprise Hub, oprogramowanie pozwala na gromadzenie i udostępnianie procesów oraz związanych z nimi informacji pomiędzy zainteresowanymi uczestnikami procesów. Jedną z ważnych i przydatnych cech oprogramowania jest silne połączenie z Microsoft Visio. Dzięki Enterprise Hub dla modułu Visio, ProActivity udostępnia łatwy w użyciu BPM dla użytkowników, którzy nie są zaznajomieni z ProActivity. Modele biznesowe, które są tworzone przez Visio mogą być następnie przekształcane i importowane do centralnej bazy danych ProActivity. Kolejną cechą ProActivity jest funkcja dynamicznego raportowania i analizy (Lamine i in., 2020). Oprogramowanie umożliwia tworzenie raportów na różne sposoby, z uwzględnieniem form takich jak diagram, tabela i wykres. Wspomniane raporty mogą zostać opublikowane w formatach HTML, XML, Word, Excel i Visio. Dzięki opcjonalnym modułom, ProActivity może przeprowadzać symulacje w celu potwierdzenia, czy nowe procesy są odpowiednie przed ich wdrożeniem (Bhupendra & Sangle, 2022).

Główne cechy i zastosowania narzędzia ProActivity w modelowaniu procesów biznesowych przedstawiają się następująco (Kulkov, 2021):

1. Modelowanie procesów biznesowych: ProActivity oferuje intuicyjne narzędzia do tworzenia diagramów procesów biznesowych. Użytkownicy mogą definiować kroki, przepływy, decyzje, zasoby i inne elementy procesu. Narzędzie obsługuje różne notacje, takie jak BPMN (Business Process Model and Notation), co pozwala użytkownikom tworzyć czytelne i zrozumiałe modele procesów.
2. Analiza i optymalizacja procesów: ProActivity umożliwia analizę i optymalizację procesów biznesowych. Narzędzie udostępnia funkcje, które pozwalają użytkownikom oceniać wydajność procesów, identyfikować obszary problemowe i sugerować usprawnienia. Pozwala także symulować procesy w celu oceny ich efektywności oraz zidentyfikowania potencjalnych źródeł opóźnień lub błędów.
3. Automatyzacja procesów: ProActivity umożliwia automatyzację procesów biznesowych poprzez integrację z innymi systemami informatycznymi. Narzędzie pozwala na definiowanie reguł, automatyczne przekazywanie zadań pomiędzy uczestnikami procesu, monitorowanie postępów oraz generowanie raportów.

Automatyzacja procesów przyspiesza działanie organizacji, eliminuje błędy związane z ręcznym przetwarzaniem danych oraz zwiększa efektywność.

4. Zarządzanie zmianą: ProActivity wspiera zarządzanie zmianą w procesach biznesowych. Użytkownicy mogą śledzić i zarządzać zmianami w modelach procesów, rejestrować poprawki, aktualizacje i nowe wersje. Narzędzie udostępnia historię zmian oraz umożliwia porównanie różnych wersji modeli.
5. Monitorowanie i raportowanie: ProActivity umożliwia monitorowanie procesów biznesowych w czasie rzeczywistym. Użytkownicy mogą śledzić postęp, wydajność, przepływ pracy i inne parametry procesu. Narzędzie generuje raporty, które pozwalają analizować dane i identyfikować obszary wymagające uwagi.

ProActivity jest wykorzystywane w różnych branżach i organizacjach, które dążą do lepszego zarządzania procesami biznesowymi, optymalizacji operacji i poprawy efektywności. Jest szczególnie przydatny dla analityków biznesowych, architektów procesów, konsultantów zarządzania procesami i innych profesjonalistów zajmujących się modelowaniem i zarządzaniem procesami w organizacji (Twemlow i in., 2022).

Przeprowadzenie analizy porównawczej narzędzi pozwala organizacji na świadomy wybór narzędzia, które najlepiej odpowiada jej potrzebom i pozwoli na efektywne modelowanie, analizę i zarządzanie procesami biznesowymi.

Rozdział 3. Analiza porównawcza narzędzi do modelowania procesów biznesowych

Ukazana w poprzednim rozdziale analiza metod, technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych pokazuje, że decydent staje przed koniecznością wyboru odpowiednich z nich dla własnych potrzeb. Jak twierdzą Ben Hassen i in., w sensie naukowym konieczna jest więc rzetelna i obiektywna analiza porównawcza tych narzędzi (Ben Hassen i in., 2017). W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawowe zasady i przykłady analizy porównawczej narzędzi modelowania procesów biznesowych na podstawie literatury. W literaturze przedmiotu porównanie różnych narzędzi do modelowania procesów biznesowych pod kątem ich funkcji, cech, zalet i ograniczeń określane jest mianem benchmarkingu (Daoudi & Nurcan, 2007; Havur i in., 2022; Zuhaira & Ahmad, 2021). Jest to proces, który ma na celu wybór najlepszego narzędzia do określonego celu lub organizacji. Poniżej scharakteryzowano niektóre aspekty, które są brane pod uwagę podczas porównywania narzędzi do modelowania procesów biznesowych (Daoudi & Nurcan, 2007):

1. **Funkcjonalność:** Benchmarking obejmuje ocenę funkcjonalności narzędzi, takich jak możliwość tworzenia różnego rodzaju diagramów, obsługa różnych notacji, automatyzacja procesów, analiza wydajności, integracja z innymi systemami, generowanie raportów itp. Ważne jest, aby narzędzie oferowało cechy, które są zgodne z wymaganiami organizacji i odpowiadają celom modelowania procesów.
2. **Interfejs użytkownika:** Wygodny i intuicyjny interfejs użytkownika ma ogromne znaczenie przy wyborze narzędzia. W analizie porównawczej uwzględniono łatwość nauki i obsługi narzędzia, a także dostępność przyjaznych funkcji edycyjnych, elementów typu „przeciągnij i upuść”, wielopoziomowych widoków, opcji personalizacji itp. Warto również zwrócić uwagę na dostępność dokumentację i materiały szkoleniowe.
3. **Kompatybilność i integracja:** Wybierając narzędzie do modelowania procesów biznesowych, należy wziąć pod uwagę jego kompatybilność z innymi systemami i narzędziami wykorzystywanymi w organizacji. Często konieczna jest integracja z systemami zarządzania projektami, systemami CRM czy systemami ERP. Benchmarking obejmuje sprawdzenie, czy narzędzie oferuje interfejsy programistyczne (API) lub funkcje importu i eksportu danych.

4. Współpraca i udostępnianie: Jeśli współpraca i udostępnianie modeli procesów są ważne dla Twojej organizacji, benchmarking bierze pod uwagę możliwości narzędzi w tym zakresie. Czy narzędzie umożliwia wielu użytkownikom współpracę nad tym samym modelem? Czy umożliwia udostępnianie modeli w postaci plików, linków lub raportów? Czy ma funkcje kontroli wersji i śledzenia zmian?
5. Wsparcie i koszty: Benchmarking uwzględnia również dostępność i jakość wsparcia technicznego od dostawcy narzędzi. Czy dostępne są materiały szkoleniowe, fora dyskusyjne, dokumentacja? Czy dostawca oferuje wsparcie techniczne, aktualizacje i poprawki? Uwzględniane są również koszty licencji i utrzymania narzędzia.

3.1. Benchmarking narzędzi modelowania procesów biznesowych w studiach literaturowych

Według Havur i in. Benchmarking narzędzi do modelowania procesów biznesowych jest procesem złożonym, wymagającym uwzględnienia indywidualnych potrzeb i wymagań organizacji. Ważne jest, aby dokładnie zrozumieć cele modelowania procesów i przeprowadzić badania rynku, aby wybrać narzędzie, które najlepiej odpowiada specyficznym potrzebom organizacji (Havur i in., 2022).

Tabela 14 przedstawia analizę porównawczą rozważanych narzędzi modelowania procesów biznesowych, na podstawie (Papademetriou & Karras, 2016)

Tabela 14. Przykładowa analiza porównawcza narzędzi do modelowania procesów biznesowych względem zestawu wybranych kryteriów.

Narzędzie	Notacja/techniki	Funkcjonalności	System operacyjny	Tryb aplikacji	Format dokumentacji
Adonis Community i inne	BPMN 2.0	Projektowanie modelu, symulacja	Windows	Samodzielny (niezależny)	Pdf, html
Enterprise Architect	UML, SysML, BPMN 2.0, BPEL	Projektowanie modelu, symulacja, wykonanie kodu	Windows, Linux, Mac	Sieciowy (internetowy), Samodzielny (niezależny)	Pdf, html, docx, rtf
Microsoft Visio	BPMN 2.0, UML, IDEF0, Flowchart	Projektowanie modelu, symulacja	Windows	Sieciowy (internetowy),	Vsdx, vsdm

				Samodzielny (niezależny)	
Bizagi BPM	BPMN 2.0	Projektowanie modelu, symulacja, wykonanie kodu	Windows	Sieciowy (internetowy)	Docx, xlsx
Enterprise Dynamics	przepływ pracy, sieci Petriego	Symulacja	Windows	Samodzielny (niezależny)	Mod, bmp
ARIS Express	BPMN 2.0, EPC	Projektowanie modelu	Windows, Linux, Mac	Samodzielny (niezależny)	Adf, pdf, rdf
ARIS Business Simulator	BPMN 2.0, EPC	Projektowanie modelu, symulacja	Windows, Linux, Mac	Samodzielny (niezależny), Sieciowy (internetowy)	Adf, pdf, rdf
Accuprocess	BPMN 1.0	Projektowanie modelu, symulacja	Windows, Mac	Samodzielny (niezależny)	Pm, html, pdf, docx, jpg

Źródło: Papademetriou & Karras, 2016.

Tabela 15 przedstawia kolejną analizę porównawczą wybranych narzędzi do modelowania procesów biznesowych wraz z ich oceną w skali 1-3 względem danego zestawu kryteriów, na podstawie (Ami & Sommer, 2007).

Tabela 15. Analiza porównawcza wybranych narzędzi do modelowania procesów biznesowych względem wybranych kryteriów z oceną w skali 1-3.

Kryteria/narzędzie	ARIS Toolset	System Architect	Corporate Modeler	Wizdom Works!	IBM WebSphere Business Integration Modeler	EnterprisePr	ProActivit	Visio
Graficzne modelowanie procesów biznesowych	3	2	3	2	2	2	3	2
Łatwość aktualizacji	3	2	3	2	3	3	3	1

informacji związanych z procesami biznesowymi								
Funkcje do analizy i sprawozdań	3	3	3	2	3	3	3	2
Łączność z innymi aplikacjami takimi jak MS pakiet biurowy	2	3	3	2	3	3	3	3
Wsparcie dla systemów ERP	3	1	1	1	1	1	2	1
Wsparcie dla frameworków Enterprise Architecture (architektury przedsiębiorstwa)	2	3	1	2	1	1	1	1
Wsparcie dla standardów, w tym XML, UML, BPMN i IDEF	2	3	2	3	3	3	3	2
Wynik średni	2.57	2.43	2.29	2.00	2.29	2.29	2.57	1.71

Źródło: Ami & Sommer, 2007.

Z obserwacji wynika, że najlepiej wybrać narzędzie wielofunkcyjne, które zarówno może być wykorzystane do modelowania systemu jak i może być użyte do przeprowadzenia jego symulacji (M. Camargo i in., 2020).

Powyżej przedstawiona Tabela 15 pokazuje, że najwyżej oceniono pakiety ARIS Toolset i ProActivity, a następnie System Architect i inne. Najniższy wynik uzyskał pakiet Visio. Jednak ta ocena koncentrowała się na możliwości zastosowania narzędzi do integracji systemów ERP i rozwoju EA, więc być może, gdyby użyto innych kryteriów, to ocena byłaby inna. Mocną stroną ARIS Toolset jest jego silne powiązanie z systemami ERP. W szczególności, narzędzie wspiera produkty SAP w ich wdrożeniach i okresach utrzymania.

Posiada centralne repozytorium, które przechowuje informacje o procesach biznesowych i umożliwia na łatwą aktualizację w wielu modelach. Gdy przedsiębiorstwo rozważa wdrożenie systemu ERP i zmiany procesów biznesowych, ARIS Toolset będzie solidnym narzędziem zapewniającym sukces (Taymouri i in., 2021).

ProActivity jest również silnym i pomocnym narzędziem z centralnym repozytorium i łączność z pakietem MS Office, w tym Visio i Excel. ARIS Toolset to doskonałe i zrównoważone narzędzie BPM. Chociaż wsparcie dla systemów ERP nie jest tak potężne jak ARIS Toolset, narzędzie wspiera standardy, takie jak XML i UML. Atrakcyjne są również funkcje szczegółowej analizy i raportowania. Tak więc, jeśli przedsiębiorstwo nie rozważa wdrożenia ERP, ProActivity powinna być jednym z kandydatów do inicjatywy BPM przedsiębiorstwa. Chociaż średnia ocena nie jest tak wysoka jak w przypadku dwóch wcześniej wymienionych narzędzi, Popkin's System Architect wspiera EA znacznie lepiej niż inne narzędzia. Mimo, że System Architect jest zorientowany na rozwój architektur systemów informacyjnych, a nie architektur procesów, jego zgodność z polityką i standardami organizacji publicznych czyni go głównym kandydatem dla publicznych organizacji, które opracowują architektury techniczne w celu wsparcia inicjatyw BPM (Brunk i in., 2021).

W wyniku porównania i oceny, ARIS Toolset firmy IDS Scheer oraz ProActivity, a następnie Popkin's System Architect zostały uznane za najbardziej efektywne narzędzia do modelowania. Mocną stroną ARIS Toolset jest jego łączność z systemami ERP i solidne możliwości modelowania. Zalety ProAcitivity to łączność z innymi aplikacjami biznesowymi, silne wsparcie dla pojawiających się standardów oraz rozbudowane funkcje raportowania i analizy. System Architect w pełni wykorzystuje swoje możliwości, gdy inicjatywa BPM wiąże się z wdrożeniem EA i infrastruktur technicznych. Wynik porównania i oceny jest oparty na konkretnych kryteriach (np. możliwość zastosowania dla ERP i EA). Przedsiębiorstwa powinny oceniać narzędzia BPM według własnych kryteriów, aby wskazać narzędzie, które najlepiej odpowiada ich potrzebom (Wickramanayake i in., 2022).

W Tabeli 16 przedstawiono przykładowe kryteria oraz podkryteria oceny mogące znaleźć zastosowanie w benchmarkingu metod i narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych oraz przykładowe numeryczne skale punktowe na podstawie artykułu (Lipski & Lipski, 2022)

Tabela 16. Przykładowe kryteria oceny narzędzi modelowania procesów biznesowych.

Grupa kryteriów oceny	Podgrupa kryteriów oceny
Modelowanie	Dostępność elementów i zgodność z BPMN
	Intuicyjność i podpowiedzi kolejnych kroków
	Formatowanie i układ diagramów
	Walidacja poprawności diagramów
Symulowanie	Dostępność parametrów
	Prezentacja wyników
	Walidacja danych
Inne kryteria	Eksport i import danych
	Ergonomia i stabilność aplikacji
	Darmowa wersja i jej funkcjonalności
	Dostępność pomocy
	Łatwość rejestracji lub instalacji

Źródło: Lipski & Lipski, 2022.

Najbardziej znaczące kryterium to modelowanie procesów. Tworzenie modeli umożliwia określenie sposobu działania przedsiębiorstwa i graficzną prezentację. Istotne są też standardy opisywania procesu dlatego trzeba ocenić czy narzędzia oferują notację BPMN zrozumiałą dla użytkownika. Ważna jest też dostępność narzędzi czyli ich darmowe wersje i zawarte w nich funkcje oraz czas ich dostępności. Istotny jest też dostęp do pomocy, możliwość wyboru języka, łatwość rejestracji lub instalacji.

Inne kryteria oceny, które mogą być przydatne w benchmarkingu narzędzi do modelowania procesów biznesowych podawane przez Janicki i Wójcik to (Janicki & Wójcik, 2021):

- Przejrzystość interfejsu – zapewniająca intuicyjne i proste modelowanie procesów biznesowych.
- Cechy wizualne aplikacji czyli wygląd – pola roboczego, zakładki zawierających narzędzia i ogólna prezentacja aplikacji.
- Prostota procesu rejestracji nowego użytkownika.
- Jakość, wartościowość i przydatność dokumentacji.
- Liczba poradników w formie dokumentacji.
- Dostępne funkcjonalności.

Rozdział 3.2. Analiza porównawcza metod i technik modelowania procesów biznesowych

Rozdział 3.2.1. Kryteria oceny narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych

Pierwszy etap budowy modelu stanowi strukturalizacja rozważanego problemu wielokryterialnego. O ile zbiór wariantów podlegających ocenie został omówiony we wcześniejszym rozdziale (Rozdział 2.6 Narzędzia wykorzystywane w modelowaniu procesów biznesowych) o tyle budowa modelu oceny wymaga dodatkowej identyfikacji zbioru kryteriów oceny. Poniżej opierając się na studiach literaturowych dokonano identyfikacji oraz justyfikacji przyjętych w modelu kryteriów oceny.

Do badania dokonano selekcji kryteriów oceny na podstawie literatury. W tej sekcji przedstawiono charakterystykę wybranych kryteriów.

Kryterium 1 (C₁) - Graficzne modelowanie procesów biznesowych - uwzględnienie tego kryterium w ocenie porównawczej narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych polega na analizie, w jaki sposób narzędzie umożliwia tworzenie przejrzystych, intuicyjnych i kompletnych graficznych modeli procesów biznesowych (Erasmus i in., 2020; Schäffer i in., 2021; Silega & Noguera, 2021).

W ramach tego kryterium można wziąć pod uwagę kilka aspektów podanych przez (Erasmus i in., Schäffer i in. oraz Silega & Noguera:

- Notacje i standardy: Sprawdzane jest, czy narzędzie obsługuje popularne notacje graficzne do modelowania procesów biznesowych, takie jak BPMN (Business Process Model and Notation), UML (Unified Modeling Language), czy też posiada własną notację.
- Funkcjonalność modelowania: Ocena polega na sprawdzeniu, jakie narzędzie oferuje graficzne funkcje modelowania, takie jak możliwość tworzenia diagramów przepływu, diagramów hierarchicznych, diagramów organizacyjnych, diagramów sekwencji, diagramów czynności itp. Ważne jest, aby narzędzie było elastyczne i oferowało szeroką gamę elementów graficznych i symboli, które można wykorzystać do modelowania różnego rodzaju procesów biznesowych.
- Interfejs użytkownika: analizuje, w jaki sposób narzędzie umożliwia interakcję z diagramami procesów biznesowych. Czy posiada intuicyjny interfejs, który ułatwia

tworzenie, edytowanie i zarządzanie modelami? Czy ma takie funkcje, jak przeciąganie i upuszczanie, automatyczne układanie, podpowiedzi i inne, aby przyspieszyć proces modelowania?

- Edycja i modyfikacja: Ocena obejmuje możliwość łatwej modyfikacji istniejących modeli procesów biznesowych. Czy narzędzie pozwala dodawać, usuwać, przenosić i modyfikować elementy diagramu w intuicyjny i efektywny sposób?
- Czytelność i estetyka: Oceniana jest czytelność i estetyka diagramów procesów biznesowych generowanych przez narzędzie. Czy diagramy są czytelne, czy mają czytelne etykiety, odpowiednią kolorystykę, hierarchiczną strukturę i inny układ ułatwiający zrozumienie procesów biznesowych?

Graficzne modelowanie procesów biznesowych jest ważnym kryterium oceny narzędzi do modelowania, ponieważ przejrzyste i intuicyjne graficzne reprezentacje procesów ułatwiają zrozumienie, komunikację i analizę procesów biznesowych przez użytkowników (Lamine i in., 2020).

Kryterium 2 (C₂) - Łatwość aktualizacji informacji związanych z procesami biznesowymi – ocena z uwzględnieniem tego kryterium polega na analizie, czy możliwa jest łatwa aktualizacja narzędzia i utrzymanie informacji związanych z procesami biznesowymi wraz z ich ewentualnymi zmianami (Bag i in., 2020; Fischer i in., 2020; Hariyanti i in., 2021).

Oceniając łatwość aktualizacji informacji związanych z procesami biznesowymi, można wziąć pod uwagę następujące aspekty (Bag i in., 2020; Fischer i in., 2020; Hariyanti i in., 2021):

- Edycja i modyfikacja: Ocena polega na sprawdzeniu, w jaki sposób narzędzie umożliwi edycję istniejących informacji związanych z procesami biznesowymi. Czy narzędzie zapewnia intuicyjne środowisko edycji i aktualizacji informacji, takich jak opisy, reguły, role, dokumenty i inne elementy procesu?
- Automatyczna propagacja zmian: Analizowane jest, czy narzędzie automatycznie propaguje zmiany wprowadzone w informacjach o procesach biznesowych do wszystkich powiązanych modeli i dokumentów. Co ważne, narzędzie pozwala na wprowadzanie zmian w wielu miejscach jednocześnie, eliminując potrzebę ręcznej aktualizacji każdego modelu i dokumentu z osobna.
- Wersjonowanie i śledzenie zmian: Ocenia się, czy narzędzie zapewnia mechanizmy wersjonowania i śledzenia zmian w odniesieniu do informacji związanych z procesami

biznesowymi. Czy łatwo jest odzyskać poprzednie wersje, prześledzić historię zmian, zidentyfikować kto dokonał zmiany i jakie były efekty zmiany?

- Integracja z systemami zarządzania: Sprawdzono, czy narzędzie można łatwo zintegrować z istniejącymi systemami zarządzania, takimi jak systemy zarządzania dokumentami, systemy zarządzania zleceniami, systemy zarządzania jakością itp. Ważne jest, aby narzędzie umożliwiała aktualizację informacji związanych z procesami biznesowymi bez potrzeby oddzielnych narzędzi i systemów.
- Dostęp i udostępnianie: Analizowane jest, czy narzędzie umożliwia łatwy dostęp i udostępnianie informacji związanych z procesami biznesowymi dla różnych użytkowników. Czy istnieją odpowiednie kontrole dostępu, aby zapewnić, że tylko upoważnione osoby mogą edytować i aktualizować informacje?

Łatwość aktualizowania informacji związanych z procesami biznesowymi jest ważna, ponieważ procesy biznesowe są dynamiczne i często się zmieniają. Skuteczne narzędzie do modelowania procesów biznesowych powinno umożliwiać szybką i łatwą aktualizację informacji wraz z ewolucją procesów biznesowych, co przyczynia się do efektywnego zarządzania procesami w organizacji (Fischer i in., 2020).

Kryterium 3 (C3) - Funkcje do analizy i sprawozdań - Funkcje analizy i raportowania mogą być ważnym kryterium oceny w benchmarkingu narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Ocena tego kryterium polega na analizie, w jaki sposób narzędzia umożliwiają analizę danych związanych z procesami biznesowymi oraz generowanie raportów i zestawień na podstawie tych danych (Erasmus i in., 2020; Fischer i in., 2020; Kulkov, 2021).

Podczas oceny funkcji analitycznych i raportowania w narzędziach do modelowania procesów biznesowych można wziąć pod uwagę następujące aspekty (Erasmus i in., 2020; Fischer i in., 2020; Kulkov, 2021):

- Wizualizacja danych: Sprawdzane jest, czy narzędzie oferuje możliwość wizualizacji danych związanych z procesami biznesowymi w formie graficznej, takiej jak wykresy, diagramy, tabele itp. Czy narzędzie umożliwia interaktywne eksplorowanie danych i wyświetlanie ich w czytelny sposób?
- Analiza wydajności: Ocenia się, czy narzędzie udostępnia funkcje do analizy wydajności procesów biznesowych, takie jak pomiar czasu realizacji, identyfikacja wąskich gardeł, monitorowanie kluczowych wskaźników wydajności procesu itp. Czy

narzędzie umożliwia analizę procesów w celu identyfikacji obszarów do optymalizacji i usprawnień?

- Generowanie raportów i zestawień: Przeanalizowano możliwości generowania raportów i zestawień oferowane przez narzędzie. Czy możesz tworzyć spersonalizowane raporty z danymi procesowymi, prezentacje wyników analiz, listy wskaźników wydajności itp.? Czy narzędzie może automatycznie planować i generować regularne raporty?
- Zaawansowana analityka: Sprawdzane jest, czy narzędzie oferuje zaawansowane techniki analizy danych, takie jak analiza statystyczna, analiza sieciowa, analiza ryzyka, analiza kosztów itp. Czy narzędzie zapewnia możliwość integracji z innymi narzędziami do analizy danych lub BI (Business Intelligence) systemy?
- Personalizacja i konfigurowalność: Analizowane jest, czy narzędzie pozwala na personalizację raportów i analiz według indywidualnych potrzeb użytkowników. Czy istnieją funkcje konfiguracyjne, które pozwalają dostosować sposób prezentacji i analizy danych do konkretnych wymagań i preferencji użytkowników?

Możliwości analizy i raportowania są ważne, ponieważ umożliwiają głębsze zrozumienie procesów biznesowych, identyfikację obszarów wymagających poprawy i podejmowanie decyzji w oparciu o dane. Skuteczne narzędzie do modelowania procesów biznesowych powinno udostępniać funkcje analityczne i generować raporty, które wspierają użytkowników w zarządzaniu procesami i podejmowaniu decyzji optymalizacyjnych (Bag i in., 2020; Schäffer i in., 2021).

Kryterium 4 (C4) - Łączność z innymi aplikacjami takimi jak MS pakiet biurowy – to kryterium, może być ważnym kryterium oceny w benchmarkingu narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Ocena tego kryterium dotyczy zdolności narzędzia do integracji z innymi aplikacjami i wymiany danych w celu zapewnienia płynnego przepływu informacji pomiędzy różnymi systemami (Alles & Gray, 2020; J. Ribeiro i in., 2021).

Oceniając łączność z innymi aplikacjami w narzędziach do modelowania procesów biznesowych, można wziąć pod uwagę następujące aspekty (Alles & Gray, 2020; J. Ribeiro i in., 2021):

- Import i eksport danych: Zweryfikowano, że narzędzie może importować i eksportować dane w popularnych formatach, takich jak CSV, Excel, XML itp. Czy narzędzie oferuje gotowe szablony i narzędzia do konwersji danych między różnymi formatami?

- Integracja z pakietem biurowym: Ocenia się, czy narzędzie jest w stanie bezproblemowo współpracować z pakietem biurowym, takim jak MS Office. Czy narzędzie pozwala na tworzenie dokumentów, prezentacji i arkuszy kalkulacyjnych bezpośrednio z modeli procesów biznesowych? Czy możliwa jest synchronizacja danych między narzędziem a aplikacjami MS Office?
- Integracja z systemami zarządzania procesami biznesowymi (BPM): Sprawdzana jest możliwość integracji narzędzia z innymi systemami BPM, takimi jak silniki workflow lub platformy zarządzania procesami biznesowymi. Czy narzędzie zapewnia możliwość importu i eksportu modeli procesów biznesowych z/innych systemów BPM? Czy dostępne są standardowe formaty wymiany danych BPM, takie jak BPMN?
- Interfejsy programistyczne (API): Analizowane jest, czy narzędzie udostępnia interfejsy programistyczne umożliwiające integrację z innymi aplikacjami i systemami. Czy narzędzie zawiera dokumentację API i przykłady kodu, które pomogą Ci tworzyć własne integracje?
- Automatyzacja procesów: Sprawdzane jest, czy narzędzie umożliwia automatyzację procesów biznesowych poprzez integrację z innymi systemami, takimi jak CRM, ERP czy systemy zarządzania projektami. Czy narzędzie oferuje funkcje do definiowania i monitorowania automatycznych przepływów pracy oraz wymiany danych pomiędzy różnymi aplikacjami?

Łączność z innymi aplikacjami jest ważna, ponieważ umożliwia bezproblemowy przepływ danych między narzędziami i systemami, zapewniając spójność i efektywność zarządzania procesami biznesowymi (L. Liu i in., 2020; Sufi, 2022).

Kryterium 5 (C5) - Wsparcie dla systemów ERP - stanowi ważne kryterium oceny w analizie porównawczej narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Systemy ERP (Enterprise Resource Planning) są szeroko stosowane w przedsiębiorstwach do zarządzania zasobami takimi jak finanse, zasoby ludzkie, zaopatrzenie czy produkcja. Integracja narzędzia do modelowania procesów biznesowych z systemem ERP może przynieść wiele korzyści, takich jak (Bag i in., 2020; J. V. de Camargo, 2021):

- Synchronizacja danych: Narzędzie powinno umożliwiać synchronizację danych pomiędzy modelem procesów biznesowych a systemem ERP. Informacje takie jak struktura organizacyjna, dane klientów, produktów, zamówień czy faktur mogą być

automatycznie pobierane z systemu ERP i wykorzystywane do tworzenia i aktualizacji modelu procesów biznesowych

- Analiza i optymalizacja procesów: Narzędzie powinno wspierać analizę i optymalizację procesów biznesowych w kontekście systemu ERP. Może to obejmować identyfikację obszarów, w których występują problemy lub opóźnienia oraz sugerowanie ulepszeń w celu zwiększenia wydajności i produktywności.
- Modelowanie procesów zintegrowanych z ERP: Narzędzie powinno dawać możliwość modelowania procesów uwzględniających specyfikę systemu ERP. Może to obejmować tworzenie diagramów przepływu informacji pomiędzy modułami ERP, identyfikowanie zależności i relacji pomiędzy procesami oraz modelowanie integracji systemów zewnętrznych z systemem ERP.
- Automatyzacja przepływu pracy: Narzędzie powinno być w stanie zautomatyzować przepływ pracy i interakcję między procesami biznesowymi a systemem ERP. Przykładowo, po zatwierdzeniu zamówienia w modelu procesu biznesowego, narzędzie może automatycznie wygenerować odpowiednie zamówienie w systemie ERP i zainicjować kolejne kroki procesu.
- Monitorowanie i raportowanie: Narzędzie powinno umożliwiać monitorowanie i raportowanie wydajności procesów biznesowych w kontekście systemu ERP. Może to obejmować śledzenie czasu trwania procesów, identyfikację wąskich gardeł czy generowanie raportów dotyczących wydajności i jakości procesów.

Wsparcie dla systemów ERP może zapewnić spójność modeli procesów biznesowych z rzeczywistym środowiskiem operacyjnym, umożliwiając lepsze zarządzanie procesami i wykorzystanie systemu ERP w przedsiębiorstwie (Amado & Belfo, 2021; Prakash i in., 2022).

Kryterium 6 (C₆) - Wsparcie dla frameworków Enterprise Architecture (EA) - może być ważnym kryterium oceny w analizie porównawczej narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Ramy EA, takie jak TOGAF (The Open Group Architecture Framework) lub Zachman Framework, są wykorzystywane do tworzenia, zarządzania i ulepszania architektury korporacyjnej, która obejmuje nie tylko procesy biznesowe, ale także strukturę organizacyjną, technologię, dane i wiele innych aspektów.

Wsparcie narzędzia do modelowania procesów biznesowych dla frameworków EA może przynieść wiele korzyści, takich jak wymienione poniżej podane przez Dumitriu i Popescu, Kornysheva i Barrios (Dumitriu & Popescu, 2020; Kornysheva & Barrios, 2020):

- **Spójność i Integralność:** Narzędzie powinno umożliwiać zintegrowane modelowanie procesów biznesowych w kontekście innych aspektów architektury przedsiębiorstwa. Zapewnia to spójność pomiędzy procesami biznesowymi a innymi elementami architektury oraz ułatwia analizę wpływu zmian procesowych na inne obszary przedsiębiorstwa.
- **Współpraca i komunikacja:** Narzędzie powinno umożliwiać współpracę między różnymi interesariuszami zaangażowanymi w zarządzanie architekturą korporacyjną. Może to obejmować możliwość udostępniania i współtworzenia modeli, komentowania i omawiania ich oraz zarządzania wersjami i dostępem.
- **Analiza i projektowanie architektury:** Narzędzie powinno w szerokim zakresie wspierać analizę i projektowanie architektury przedsiębiorstwa. Oprócz modelowania procesów biznesowych powinno umożliwiać modelowanie innych warstw architektury, takich jak struktura organizacyjna, systemy informatyczne, dane, infrastruktura technologiczna itp. Dzięki temu można dokładniej analizować zależności i powiązania pomiędzy różnymi elementami architektury .
- **Zarządzanie zmianą:** Narzędzie powinno wspierać zarządzanie zmianą w architekturze przedsiębiorstwa. Oznacza to, że powinno być możliwe szybkie wprowadzanie zmian w modelach procesów biznesowych w odpowiedzi na zmieniające się wymagania biznesowe i strategię przedsiębiorstwa.
- **Dokumentacja i raportowanie:** Narzędzie powinno umożliwiać generowanie dokumentacji i raportów w oparciu o modele procesów biznesowych i inne elementy architektury przedsiębiorstwa. W ten sposób możliwe jest utrzymanie spójnej i aktualnej dokumentacji, która jest niezbędna do efektywnego zarządzania architekturą przedsiębiorstwa.

Obsługa frameworków EA w narzędziu do modelowania procesów biznesowych pozwala na całościowe podejście do zarządzania architekturą przedsiębiorstwa oraz umożliwia lepsze zrozumienie i zarządzanie złożonością organizacyjną (Dachyar i in., 2020; Gonçalves i in., 2021).

Kryterium 7 (C7) - Wsparcie dla standardów takich jak XML, UML, BPMN czy IDEF jest ważnym kryterium oceny w benchmarkingu narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to zawiera następujące aspekty (Cardoso i in., 2021; Czvetkó i in., 2022; Silega & Noguera, 2021):

- XML (eXtensible Markup Language): Narzędzie powinno umożliwiać importowanie i eksportowanie danych w formacie XML. XML to szeroko stosowany standard wymiany danych między różnymi systemami i aplikacjami. Możliwość integracji z innymi narzędziami i systemami wykorzystującymi XML może ułatwić wymianę danych i współpracę między różnymi zespołami i systemami.
- UML (Unified Modeling Language): UML to standardowy język modelowania używany w dziedzinie inżynierii oprogramowania. Narzędzie powinno umożliwiać tworzenie diagramów UML, takich jak diagramy klas, diagramy sekwencji, diagramy stanów itp. Wsparcie UML umożliwia dokładne i precyzyjne modelowanie procesów biznesowych w kontekście innych aspektów systemu informatycznego.
- BPMN (Business Process Model and Notation): BPMN to graficzny standard notacji do modelowania procesów biznesowych. Narzędzie powinno umożliwiać tworzenie i analizę diagramów BPMN, które są powszechnie akceptowane i rozumiane w obszarze zarządzania procesami biznesowymi. Wsparcie dla BPMN umożliwia jednolite i zrozumiałe modelowanie procesów biznesowych, ułatwiając komunikację pomiędzy różnymi interesariuszami.
- IDEF (Integration DEFinition): IDEF to zestaw standardów i notacji do modelowania procesów biznesowych i innych aspektów systemów informatycznych. Narzędzie powinno umożliwiać tworzenie i analizę diagramów IDEF, takich jak IDEF0 (modelowanie procesów biznesowych) oraz IDEF3 (modelowanie struktury informacji). Wsparcie IDEF umożliwia modelowanie procesów biznesowych według zdefiniowanych standardów oraz ułatwia integrację z innymi narzędziami i systemami opartymi na IDEF.

Wsparcie dla tych standardów jest ważne, ponieważ umożliwia interoperacyjność i integrację z innymi narzędziami i systemami, zapewniając jednolity i spójny sposób modelowania procesów biznesowych (Silega & Noguera, 2021).

Kryterium 8 (C8) - Bezpłatna wersja narzędzia do modelowania procesów biznesowych i jego funkcjonalności są ważnym kryterium oceny w analizie porównawczej. Kryterium to obejmuje następujące atrybuty (Erasmus i in., 2020; Fischer i in., 2020; Lamine i in., 2020):

- Dostępność darmowej wersji: Ważne jest, aby narzędzie oferowało darmową wersję, która umożliwia przetestowanie funkcjonalności i możliwości narzędzia przed jego

zakupem. Darmowa wersja pozwala również ocenić interfejs użytkownika, łatwość obsługi i ogólną jakość narzędzia.

- Ograniczenia darmowej wersji: Należy zwrócić uwagę na ograniczenia funkcjonalne, które mogą występować w darmowej wersji narzędzia. Często ograniczenia te dotyczą ilości modeli, rozmiaru pliku, dostępu do zaawansowanych funkcji czy integracji z innymi narzędziami. Warto sprawdzić, czy ograniczenia darmowej wersji są do zaakceptowania dla indywidualnych potrzeb i wymagań.
- Dostępne funkcje w darmowej wersji: Ważne jest, aby sprawdzić, jakie funkcje są dostępne w darmowej wersji narzędzia. Czy pozwala na tworzenie pełnych diagramów i modeli biznesowych, czy ogranicza się do podstawowych funkcji? Czy oferuje narzędzia do analizy, generowania raportów, eksportu danych i inne zaawansowane funkcje? Warto upewnić się, że dostępne funkcje w wersji darmowej są wystarczające do realizacji celów modelowania procesów biznesowych.
- Możliwość aktualizacji: czy narzędzie oferuje funkcjonalność z możliwością aktualizacji, jeśli użytkownik zdecyduje się na zakup pełnej wersji? Co ważne, narzędzie umożliwi łatwą migrację z wersji darmowej do wersji płatnej z zachowaniem dotychczasowych modeli i danych.

Darmowa wersja narzędzia do modelowania procesów biznesowych jest atrakcyjna dla osób i organizacji, które chcą rozpocząć pracę z narzędziem bez konieczności jego natychmiastowego zakupu. Warto jednak dokładnie przeanalizować funkcje i ograniczenia darmowej wersji, aby upewnić się, że odpowiadają one konkretnym potrzebom i wymaganiom użytkownika (Javed & Lin, 2021; J. Ribeiro i in., 2021).

Kryterium 9 (C₉) - Obsługa wielu notacji jest ważnym kryterium oceny w benchmarkingu narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to obejmuje wymienione poniżej atrybuty (Erasmus i in., 2020; Guizani & Ghannouchi, 2021; Lamine i in., 2020):

- BPMN (Business Process Model and Notation): BPMN to popularna notacja służąca do modelowania procesów biznesowych, która zapewnia jednoznaczną i zrozumiałą reprezentację procesów w postaci diagramów. Obsługa BPMN pozwala tworzyć, edytować i analizować diagramy BPMN w narzędziu.
- UML (Unified Modeling Language): UML to uniwersalny język modelowania, który jest używany nie tylko do modelowania procesów biznesowych, ale także w innych obszarach, takich jak modelowanie systemów informatycznych. Obsługa UML

umożliwia tworzenie diagramów UML, takich jak diagramy przypadków użycia, diagramy klas, diagramy sekwencji, które mogą być przydatne w kontekście modelowania procesów biznesowych.

- IDEF (Integrated DEFinition): IDEF to rodzina notacji i technik modelowania procesów, które są szeroko stosowane w dziedzinie inżynierii systemów i zarządzania. Obsługa IDEF umożliwia tworzenie diagramów IDEF, takich jak IDEF0 (do analizy funkcjonalnej), IDEF1X (do modelowania danych) i innych, które mogą być przydatne w modelowaniu procesów biznesowych.
- Inne notacje: Istnieje wiele innych notacji używanych w modelowaniu procesów biznesowych, takich jak EPC (łańcuch procesów sterowany zdarzeniami), CMMN (model zarządzania sprawami i notacja) oraz ArchiMate (do modelowania architektury korporacyjnej). Obsługa tych notacji pozwala na modelowanie procesów biznesowych zgodnie z określonymi standardami i wymaganiami.

Posiadanie obsługi wielu notacji daje użytkownikowi elastyczność i możliwość wyboru odpowiedniej notacji do modelowania procesów biznesowych, w zależności od kontekstu, preferencji i wymagań projektu. Umożliwia to bardziej precyzyjne i dopasowane do potrzeb modelowanie procesów biznesowych, zgodnie z przyjętymi standardami i praktykami branżowymi (Erasmus i in., 2020; González Moyano i in., 2022).

Kryterium 10 (C₁₀) - Uniwersalność, elastyczność i możliwość integracji z innymi systemami to ważne kryteria oceny narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to zawiera podane poniżej cechy (Erasmus i in., 2020; Heggarty i in., 2020):

- Uniwersalność: Narzędzie powinno być uniwersalne w tym sensie, że może być wykorzystywane w różnych branżach i dziedzinach. Modelowanie procesów biznesowych jest szeroko stosowane w różnych sektorach, takich jak finanse, produkcja, handel, opieka zdrowotna itp. Dlatego narzędzie powinno być w stanie modelować procesy biznesowe z różnych branż i zapewniać odpowiednie funkcje i możliwości dla różnych kontekstów.
- Elastyczność: narzędzie powinno być elastyczne i dostosowywać się do różnych wymagań i preferencji użytkowników. Powinien umożliwiać tworzenie niestandardowych modeli procesów biznesowych, dostosowywanie ikon, symboli i atrybutów, definiowanie własnych reguł i zasad modelowania. Elastyczność narzędzia

pozwała użytkownikom tworzyć modele procesów biznesowych, które najlepiej odpowiadają ich konkretnym potrzebom i kontekstowi.

- **Integracja z innymi systemami:** Współpraca z innymi systemami jest istotna zwłaszcza w przypadku modelowania procesów biznesowych, które często są powiązane z innymi aspektami zarządzania przedsiębiorstwem, takimi jak ERP, CRM, zarządzanie dokumentacją itp. Narzędzie powinno być łatwe do zintegrowania z istniejącymi systemami i umożliwić wymianę danych i informacji z nimi. Integracja pozwala na kompleksowe zarządzanie procesami biznesowymi, łączenie modeli procesów z innymi systemami oraz umożliwia automatyzację i optymalizację działań biznesowych.

Uniwersalność, elastyczność i możliwość integracji z innymi systemami zapewniają użytkownikom większą elastyczność i efektywność w modelowaniu, zarządzaniu i wdrażaniu procesów biznesowych. Pozwalają one na dostosowanie narzędzia do indywidualnych potrzeb i otoczenia biznesowego oraz umożliwiają pełną integrację procesów biznesowych z innymi systemami i rozwiązaniami w przedsiębiorstwie (Enrique i in., 2021; Mahmood & Mubarik, 2020).

Kryterium 11 (C₁₁) - Łatwość użycia, prostota i zrozumiałość to kluczowe kryteria oceny narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to zawiera przedstawione poniżej atrybuty (Erasmus i in., 2020; Schäffer i in., 2021):

- **Łatwość obsługi:** Narzędzie powinno być intuicyjne i łatwe w obsłudze, nawet dla użytkowników bez wcześniejszego doświadczenia w modelowaniu procesów biznesowych. Interfejs powinien być przyjazny i intuicyjny, umożliwiający łatwe tworzenie, edytowanie i zarządzanie modelami procesów. Prostota obsługi pozwala użytkownikom szybko rozpocząć pracę i skupić się na modelowaniu procesów zamiast nauki obsługi skomplikowanego narzędzia.
- **Prostota:** narzędzie powinno zapewniać wystarczającą funkcjonalność do modelowania procesów biznesowych, unikając jednocześnie nadmiernej złożoności. Zbyt wiele skomplikowanych funkcji i opcji może przytłaczać użytkowników i utrudniać proces modelowania. Prostota narzędzia pozwala skupić się na kluczowych aspektach modelowania procesów biznesowych, zapewniając jednocześnie łatwość i przejrzystość.
- **Zrozumiałość:** Narzędzie powinno umożliwiać czytelną i zrozumiałą reprezentację graficzną procesów biznesowych. Ikony, symbole, struktury i relacje między

elementami powinny być intuicyjne i łatwe do interpretacji. Czytelność narzędzia jest kluczowa, aby umożliwić efektywną komunikację i współpracę między różnymi interesariuszami, w tym użytkownikami biznesowymi, analitykami, programistami itp.

Łatwość użycia, prostota i zrozumiałość narzędzia do modelowania procesów biznesowych są ważne, ponieważ umożliwia użytkownikom szybkie i wydajne tworzenie i komunikowanie modeli procesów. Ułatwiają wprowadzanie zmian i dostosowywanie procesów biznesowych, a także umożliwiają efektywną współpracę pomiędzy różnymi interesariuszami (Aysolmaz & Reijers, 2021; Thesing i in., 2021).

Kryterium 12 (C12) - Zdolność do symulacji jest ważnym kryterium oceny narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to obejmuje zamieszczone poniżej cechy (Bag i in., 2020; M. Camargo i in., 2020):

- Symulacja procesów biznesowych: Narzędzie powinno być w stanie symulować działanie procesów biznesowych w celu zrozumienia ich efektywności, identyfikacji potencjalnych problemów, optymalizacji wydajności i przewidywania wyników. Symulacja pozwala wirtualnie przetestować procesy i eksperymentować z różnymi scenariuszami, co pozwala lepiej zrozumieć, jak działają i podejmować świadome decyzje.
- Modelowanie zasobów i czasu: narzędzie powinno umożliwiać uwzględnienie zasobów, takich jak pracownicy, maszyny, materiały itp., oraz czasu w modelowaniu procesów biznesowych. Symulacja powinna uwzględniać różne czynniki, takie jak czas przetwarzania, dostępność zasobów, sekwencja zadań itp., aby zapewnić realistyczną analizę wydajności procesu.
- Analiza wyników symulacji: Narzędzie powinno zapewniać narzędzia do analizy wyników symulacji, takie jak wskaźniki wydajności (KPI), raporty, wykresy i grafiki. Dzięki temu użytkownicy mogą oceniać efektywność procesów biznesowych, identyfikować obszary wymagające usprawnień, porównywać różne scenariusze i podejmować świadome decyzje na podstawie wyników symulacji.

Możliwość przeprowadzania symulacji jest ważna, ponieważ pozwala użytkownikom lepiej zrozumieć i ocenić procesy biznesowe, pomaga identyfikować i rozwiązywać problemy oraz wspiera proces optymalizacji. Dzięki symulacji można lepiej przewidywać skutki zmian, unikając potencjalnych zagrożeń i zapewniając lepszą efektywność operacyjną przedsiębiorstwa (J. A. Gómez i in., 2022; Ramakrishnan & Kaur, 2020).

Kryterium 13 (C13) - Przejrzystość i intuicyjność interfejsu są kryteriami oceny narzędzi do modelowania przemysłu biznesowego. Kryteria te wymagają uwzględnienia następujących atrybutów (Canhoto & Clear, 2020; Corradini, Fornari, i in., 2021):

- Intuicyjność użytkowania: aby zwiększyć efektywność nauki i umysłu. Użytkownicy powinni mieć możliwość korzystania z urządzenia i obsługi narzędzi bez konieczności koniecznego szkolenia. Przejrzysty interfejs i struktura logiczna menu ułatwiają nawigację i odnalezienie funkcji funkcji.
- Przejrzystość prezentowanych informacji: sposób przedstawiania informacji w sposób widoczny i dokładny. Graficzne reprezentacje działalności biznesowej, diagramy, raporty i wykresy warte bycia czytelnym i warte zrobienia. Wszelkie dane i metryki należy przyjąć w sposób standardowy i prosty do interpretacji.
- Elastyczność urządzenia: wsparcie dla wcześniejszych urządzeń dla poszczególnych użytkowników. Można używać funkcji personalizacji urządzenia, ustawiania obsługi funkcji funkcji, skrótów klawiszowych itp. Elastyczność użytkowania pozwala użytkownikom korzystać z narzędzi do swoich potrzeb i korzyści, co przyczynia się do większej wygody i wydajności pracy.

Przejrzystość i intuicyjność urządzeń są bliskie, ponieważ powodują nadawanie i korzystanie z usług, ograniczają błędy użytkownika i minimalizują przekierowanie usług. Przejrzysty i intuicyjny interfejs pozwala użytkownikom na model funkcji biznesowych, zamiast tracić czas na obsługę obsługi (Merkoureas i in., 2023; Schmidbauer i in., 2021).

Kryterium 14 (C14) - Dostępność dokumentacji jest ważnym kryterium oceny narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to obejmuje zestawione poniżej atrybuty (Estrada-Torres i in., 2021; Reijers, 2021; Schäffer i in., 2021):

- Dokumentacja użytkownika: Narzędzie powinno być dostarczane z obszerną i przejrzystą dokumentacją użytkownika. Dokumentacja powinna zawierać szczegółowe instrukcje dotyczące instalacji, konfiguracji i użytkowania narzędzia. Powinien również zawierać przykłady użycia, objaśnienia terminologii oraz opisy wszystkich funkcji narzędzia. Dobra dokumentacja użytkownika pozwala użytkownikom szybko zrozumieć i wykorzystać pełny potencjał narzędzia.
- Pomoc kontekstowa: Narzędzie powinno mieć wbudowaną pomoc kontekstową, która jest dostępna podczas pracy. Pomoc kontekstowa powinna być łatwo dostępna i zapewniać szybkie odpowiedzi na pytania użytkowników dotyczące określonych

funkcji lub operacji. Może to mieć postać podpowiedzi, opisów interfejsów lub linków do odpowiednich sekcji w dokumentacji.

- Społeczność i zasoby online: dobre narzędzia do modelowania procesów biznesowych często mają rozbudowane społeczności użytkowników, fora dyskusyjne, grupy wsparcia lub zasoby online, takie jak blogi, samouczki wideo itp. Dostęp do takich zasobów może być bardzo cenny dla użytkowników, którzy chcą dzielić się wiedzą, zadawać pytania, dzielić się wskazówkami i rozwiązywać problemy.

Dostępność dokumentacji jest ważna, ponieważ ułatwia użytkownikom poznanie narzędzia, rozwiązywanie problemów, zdobywanie wiedzy i samodzielna naukę. Dobra dokumentacja zapewnia użytkownikom niezbędne informacje i wsparcie, co przekłada się na efektywniejsze wykorzystanie narzędzia i osiąganie zamierzonych celów modelowania procesów biznesowych (J. V. de Camargo, 2021; Erasmus i in., 2020).

Kryterium 15 (C15) - Łatwość rejestracji i instalacji jest ważnym kryterium oceny narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to uwzględnia przedstawione poniżej atrybuty (Adams i in., 2020; Erasmus i in., 2020; Waszkowski & Nowicki, 2020):

- Prostota procesu rejestracji: Proces rejestracji powinien być prosty i intuicyjny. Użytkownikom powinno być łatwo znaleźć formularz rejestracyjny, wprowadzić wymagane dane i zakończyć proces rejestracji bez żadnych komplikacji. Przeszkody w rejestracji mogą zniechęcić użytkowników do korzystania z narzędzia.
- Prostota procesu instalacji: Proces instalacji powinien być prosty i nie wymaga zaawansowanej wiedzy technicznej. Narzędzie powinno być łatwe do pobrania i zainstalowania na różnych platformach. Instrukcje instalacji powinny być jasne, zrozumiałe i opisane krok po kroku, aby użytkownicy mogli łatwo zainstalować narzędzie na swoich komputerach lub serwerach.
- Minimalne wymagania systemowe: Narzędzie powinno mieć odpowiednie minimalne wymagania systemowe, które są łatwe do spełnienia dla większości użytkowników. Wymagania te powinny być jasno określone i dostępne w dokumentacji. Brak nadmiernych wymagań systemowych ułatwia użytkownikom instalację i uruchomienie narzędzia na swoich maszynach.

Prostota rejestracji i instalacji jest ważna, ponieważ wpływa na dostępność i dostęp użytkowników do narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Łatwa rejestracja i instalacja sprawiają, że narzędzie jest bardziej dostępne dla użytkowników, co z kolei może

zachęcić ich do korzystania z niego i poznawania jego funkcjonalności. Skomplikowane i czasochłonne procesy rejestracji i instalacji mogą zniechęcić potencjalnych użytkowników i utrudnić adopcję narzędzia w organizacji (Bellalouna, 2021; P. Valderas i in., 2022).

Kryterium 16 (C16) - Eksport i import danych to ważne kryterium oceny narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to zawiera scharakteryzowane poniżej cechy (Czvetkó i in., 2022; Fehrer i in., 2022):

- **Format eksportu i importu:** Narzędzie powinno umożliwiać eksport i import danych w różnych popularnych formatach, takich jak CSV, XML, XLS, JSON itp. Dostępność wielu formatów eksportu i importu zapewnia użytkownikom większą elastyczność i umożliwia łatwą wymianę danych z innymi narzędziami i systemami.
- **Kompatybilność z innymi narzędziami:** Narzędzie powinno być kompatybilne z innymi narzędziami do modelowania procesów biznesowych oraz z innymi systemami i aplikacjami, takimi jak systemy zarządzania relacjami z klientami (CRM), systemy ERP, narzędzia do raportowania itp. Ważne jest, aby narzędzie było w stanie importować dane z innych narzędzi i eksportować do nich bez utraty informacji lub konwersji.
- **Zgodność ze standardami:** Narzędzie powinno być zgodne z różnymi standardami modelowania procesów biznesowych, takimi jak BPMN, UML, IDEF itp. Eksport i import danych powinien zachować integralność struktury procesów biznesowych i informacji, aby umożliwić płynne przenoszenie modeli między narzędziami i utrzymanie spójności danych.
- **Łatwość obsługi eksportu i importu:** Narzędzie powinno zapewniać prosty i intuicyjny interfejs użytkownika do eksportowania i importowania danych. Proces eksportu i importu powinien być łatwy do zrozumienia i wykonania, nawet dla użytkowników bez specjalistycznej wiedzy technicznej. Narzędzie powinno udostępniać opcje konfiguracyjne, takie jak wybór eksportowanych elementów czy mapowanie danych podczas importu, aby dostosować proces do potrzeb użytkownika.

Eksport i import danych są ważne, ponieważ umożliwiają użytkownikom przenoszenie i udostępnianie danych między różnymi narzędziami i systemami. Użytkownicy mogą eksportować modele procesów biznesowych do innych narzędzi w celu dalszej analizy, raportowania lub integracji z innymi systemami. Możliwość importu danych pozwala w łatwy sposób zaimportować istniejące modele lub dane z innych narzędzi do testowanego narzędzia

do modelowania procesów biznesowych. Dzięki temu użytkownicy mają większą elastyczność i możliwość współpracy z innymi użytkownikami i systemami, co przyczynia się do efektywnego zarządzania procesami biznesowymi (Corradini, Marcelletti, i in., 2021; Lo i in., 2021).

Kryterium 17 (C17) - Kryterium oceny prezentacji wyników jest istotne w analizie porównawczej narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to obejmuje przedstawione poniżej atrybuty (Bag i in., 2020; Lamine i in., 2020; W. Wang i in., 2022):

- **Estetyka i czytelność:** Prezentacja wyników powinna być estetyczna i czytelna, aby łatwo zrozumieć informacje zawarte w modelach procesów biznesowych. Wizualizacje, takie jak diagramy, wykresy, tabele czy raporty, powinny być przejrzyste i intuicyjne, pozwalające na szybkie przyswojenie informacji.
- **Wielopoziomowe:** Narzędzie powinno umożliwiać prezentację wyników na różnych poziomach szczegółowości, począwszy od ogólnego widoku procesu biznesowego po bardziej szczegółowe diagramy, tabele czy raporty z poszczególnych etapów i czynności. Wielopoziomowa prezentacja pozwala na analizę procesów na różnych poziomach abstrakcji i pozwala użytkownikom skupić się na konkretnych obszarach procesu.
- **Interaktywność:** Dobre narzędzie do modelowania procesów biznesowych powinno umożliwiać interakcję z prezentowanymi wynikami. Użytkownicy powinni mieć możliwość eksplorowania szczegółów, przekształcania widoków, filtrowania danych i przeprowadzania analiz dynamicznych. Interaktywność pozwala na lepsze zrozumienie procesów biznesowych oraz odkrywanie zależności i obszarów do optymalizacji.
- **Personalizacja:** Narzędzie powinno umożliwiać personalizację prezentacji wyników, tak aby użytkownicy mogli dostosować widok do swoich preferencji i potrzeb. Możliwość wyboru rodzaju wizualizacji, układu, kolorystyki czy skali pozwala dostosować prezentację do konkretnych wymagań i preferencji użytkownika.
- **Raportowanie i udostępnianie:** Narzędzie powinno umożliwiać generowanie raportów z wynikami analizy procesów biznesowych. Raporty powinny być łatwe do tworzenia i udostępniania w formatach takich jak PDF, PowerPoint lub Excel. Ponadto narzędzie powinno umożliwiać udostępnianie wyników w formie elektronicznej lub drukowanej w celu umożliwienia współpracy i prezentacji wyników innym zainteresowanym stronom.

Prezentacja wyników jest ważna, ponieważ pozwala zrozumieć analizowane procesy biznesowe, zidentyfikować obszary do poprawy i podjąć świadome decyzje. Estetyczna i czytelna prezentacja ułatwia przyswajanie informacji, interaktywność umożliwia badanie szczegółów, a personalizacja dostosowuje prezentację do indywidualnych preferencji użytkowników. Raportowanie i udostępnianie wyników umożliwia efektywną komunikację i współpracę w zespołach oraz prezentację wyników zarządom i interesariuszom (M. Camargo i in., 2020; Corradini, Marcelletti, i in., 2021; Fischer i in., 2020; Reijers, 2021).

Kryterium 18 (C18) - Kryterium oceny poprawności diagramów jest istotne w analizie porównawczej narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to zawiera zamieszczone poniżej cechy (González Moyano i in., 2022; Lamine i in., 2020; Silega & Noguera, 2021):

- Automatyczna walidacja: Narzędzie powinno posiadać mechanizmy automatycznej walidacji sprawdzające poprawność składniową i semantyczną diagramów. Automatyczne walidatory mogą wykrywać błędy, takie jak nieprawidłowe połączenia, brakujące elementy, nieprawidłowe relacje lub sprzeczne zależności. Dzięki temu użytkownik może szybko zidentyfikować i poprawić ewentualne błędy na wykresach.
- Reguły biznesowe: Narzędzie powinno umożliwiać definiowanie reguł biznesowych, które można wykorzystać do walidacji diagramów. Reguły biznesowe odnoszą się do określonych wymagań lub ograniczeń procesów biznesowych i można je definiować na podstawie określonych scenariuszy. Narzędzie powinno być w stanie sprawdzić, czy diagramy spełniają te zasady i powiadomić o wszelkich naruszeniach.
- Walidacja logiczna: Narzędzie powinno umożliwiać logiczną walidację diagramów, sprawdzanie spójności i logicznych powiązań między elementami. Narzędzie może np. sprawdzić, czy każda czynność ma poprawne wejścia i wyjścia, czy wszystkie ścieżki prowadzą do stanu końcowego, czy nie ma zbędnych lub brakujących elementów itp.
- Raportowanie błędów: Narzędzie powinno generować raporty lub powiadomienia o błędach i ostrzeżeniach znalezionych na diagramach. Raporty powinny być jasne i łatwe do zrozumienia, wskazujące na konkretne problemy i sugerujące sposoby ich rozwiązania. Pozwala to użytkownikowi szybko zlokalizować i naprawić błędy na diagramach.
- Korekta interaktywna: Narzędzie powinno umożliwiać interaktywną korektę błędów w diagramach. Użytkownik powinien mieć możliwość edytowania i dostosowywania

diagramów w czasie rzeczywistym, a narzędzie powinno na bieżąco reagować na wprowadzane zmiany i dostarczać informacji zwrotnej o poprawności diagramu.

Walidacja diagramów jest kluczowym kryterium, ponieważ zapewnia, że modele procesów biznesowych są logiczne, spójne i zgodne z określonymi wymaganiami. Dzięki temu użytkownicy mają pewność, że modele są niezawodne i mogą służyć jako podstawa do podejmowania decyzji i optymalizacji procesów biznesowych (Fehrer i in., 2022; Polančič, 2020).

Kryterium 19 (C19) - Kryterium oceny dotyczące formatowania i układu diagramów jest ważne w benchmarkingu narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Kryterium to zawiera scharakteryzowane poniżej atrybuty (Adams i in., 2020; Corradini, Marcelletti, i in., 2021; Javed & Lin, 2021):

- **Estetyka i czytelność:** Narzędzie powinno umożliwiać łatwe formatowanie diagramów tak, aby były czytelne i estetycznie prezentowane. Powinien oferować takie funkcje, jak dostosowywanie wielkości elementów, rozmieszczanie ich na diagramie, zmiana kształtu i stylu elementów, ustawianie odpowiednich odstępów, układanie linii i strzałek itp. Pozwala to użytkownikom na tworzenie atrakcyjnych wizualnie i przejrzystych diagramów.
- **Automatyczne układanie:** Narzędzie powinno posiadać funkcje automatycznego układania, które optymalizują układanie elementów na podstawie zdefiniowanych reguł i algorytmów. Automatyczne układanie może ułatwić użytkownikom tworzenie diagramów, zwłaszcza w przypadku bardziej złożonych struktur procesów biznesowych.
- **Warstwy:** Narzędzie powinno umożliwiać układanie diagramów warstwami, umożliwiając grupowanie powiązanych elementów w logiczne sekcje. Pozwala to użytkownikom łatwiej poruszać się po diagramach, koncentrując się na określonych aspektach procesu biznesowego.
- **Dostosowywanie stylów:** Narzędzie powinno umożliwiać dostosowywanie stylów i szablonów diagramów do własnych preferencji lub zgodnie z określonymi wytycznymi firmy. Funkcje takie jak zmiana kolorów, czcionek, tła, ikon i stylów linii powinny być łatwo dostępne.
- **Powiększanie i nawigacja:** Narzędzie powinno umożliwiać powiększanie i pomniejszanie diagramów za pomocą funkcji powiększania, a także umożliwiać

płynną nawigację po dużych diagramach. Pozwala to użytkownikom skupić się na określonych obszarach diagramu i szczegółowo je przeanalizować.

- Obsługa różnych typów diagramów: Narzędzie powinno zapewniać obsługę różnych typów diagramów biznesowych, takich jak diagramy przepływu pracy, diagramy sekwencji, diagramy przypadków użycia itp. Każdy typ diagramu może mieć określone wymagania dotyczące formatowania i układu, dlatego istotne jest, aby Narzędzie jest elastyczne i umożliwiał dostosowanie formatowania do określonego typu diagramu.

Prawidłowe formatowanie i układ diagramów ma kluczowe znaczenie dla czytelności i zrozumienia procesów biznesowych, dlatego kryterium dotyczące tych aspektów jest istotne w analizie porównawczej narzędzi do modelowania procesów biznesowych (Bork i in., 2020; Yang i in., 2020).

Rozdział 3.2.2. Autorska taksonomia oceny technik modelowania procesów biznesowych

Niniejszy podrozdział przedstawia taksonomię narzędzi modelowania procesów biznesowych. Warto wskazać, że taksonomia ta ma postać macierzy decyzyjnej stanowiącej wejście modelu wielokryterialnego syntetycznej oceny zawierającej wartości wydajności rozważanych alternatyw względem kryteriów oceny oraz wagi kryteriów wyznaczone z wykorzystaniem trzech wybranych obiektywnych metod ważenia.

Syntetyczne zestawienie kryteriów z uwzględnieniem ich symbolów oraz nazw przedstawiono w Tabeli 17. Identyfikacji kryteriów dokonano na podstawie analizy literatury (Aguilar-Savén, 2004; Ami & Sommer, 2007; Ben Hassen i in., 2017; Janicki & Wójcik, 2021; Lipski & Lipski, 2022).

Tabela 17. Kryteria oceny wyselekcjonowane do przeprowadzenia wielokryterialnej analizy porównawczej wybranych narzędzi modelowania procesów biznesowych.

Symbol	Nazwa kryterium
C ₁	Graficzne modelowanie procesów biznesowych
C ₂	Łatwość aktualizacji informacji związanych z procesami biznesowymi
C ₃	Funkcje do analizy i sprawozdań
C ₄	Łączność z innymi aplikacjami takimi jak MS pakiet biurowy
C ₅	Wsparcie dla systemów ERP
C ₆	Wsparcie dla frameworków Enterprise Architecture (architektury przedsiębiorstwa)

C ₇	Wsparcie dla standardów, w tym XML, UML, BPMN i IDEF
C ₈	Darmowa wersja i jej funkcjonalności
C ₉	Wsparcie dla wielu notacji
C ₁₀	Uniwersalność, elastyczność, możliwość integracji z innymi systemami
C ₁₁	Łatwość użycia, prostota, zrozumiałość
C ₁₂	Możliwość przeprowadzenia symulacji
C ₁₃	Przejrzystość i intuicyjność interfejsu
C ₁₄	Dostępność dokumentacji (poradniki)
C ₁₅	Łatwość rejestracji i instalacji
C ₁₆	Eksport i import danych
C ₁₇	Prezentacja wyników
C ₁₈	Walidacja poprawności diagramów
C ₁₉	Formatowanie i układ diagramów

Źródło: opracowanie własne.

Stosując pogłębione studia literaturowe autor niniejszej pracy dokonuje próby identyfikacji wartości kryteriów, tworząc ekspercką taksonomię. Podczas budowy tej taksonomii wykorzystano skalę Likerta. Jak podaje Anjaria, skala Likerta jest szeroko stosowaną skalą podczas badań ankietowych. Oceniane przy jej pomocy atrybuty dotyczą między innymi percepcji, jakości, zachowania i zdolności. Skala ta została ona opracowana przez Likerta i jest reprezentowana przez pięciostopniową odpowiedź do każdego atrybutu: najmniej, mniej, umiarkowanie, więcej i najwięcej z punktacją 1, 2, 3, 4 lub 5. Skala lub wynik w kwestionariuszach ze skalą Likerta opiera się na skali interwałowej lub porządkowej. Skala Likerta jest łatwą do zrozumienia koncepcją (Anjaria, 2022). W Tabeli 18 zamieszczono macierz decyzyjną zawierającą numeryczne oceny w skali Likerta w zakresie od 1 do 5 dla ocenianych alternatyw względem zestawu kryteriów. Oceny zostały przypisane na podstawie szczegółowej analizy literatury (Aguilar-Savén, 2004; Ami & Sommer, 2007; Ben Hassen i in., 2017; Janicki & Wójcik, 2021; Lipski & Lipski, 2022).

Oceny w skali Likerta dla poszczególnych narzędzi modelowania procesów biznesowych przypisano na podstawie przeglądu literatury zamieszczonego poniżej:

- ARIS Toolset (IDS Scheer) (A₁) (Ami & Sommer, 2007; Fischer i in., 2020; Gola & Sitek, 2005; Guizani & Ghannouchi, 2021; Janicki & Wójcik, 2021; Vernadat, 2020)
- System Architect (Popkin) (A₂) (Ami & Sommer, 2007; Chakori i in., 2021; De Luc & Todd, 2020; Shaked & Reich, 2021)

- Corporate Modeler (Casewise) (A₃) (Ami & Sommer, 2007; Dubolazov i in., 2022; Ihde i in., 2022; Silva Rosa i in., 2022; Sola i in., 2023)
- Wizdom Works! (Wizdom Systems) (A₄) (Ami & Sommer, 2007; Intezari, 2015)
- IBM WebSphere Business Integration Modeler (IBM) (A₅) (Ami & Sommer, 2007; Halaška & Šperka, 2022; Reijers, 2021; Uhryn i in., 2020)
- EnterprisePro (ProVision) (A₆) (Ami & Sommer, 2007; Lamine i in., 2020; Svatošová & others, 2021; Zuhaira & Ahmad, 2021)
- ProActivity (ProActivity) (A₇) (Ami & Sommer, 2007; Bhupendra & Sangle, 2022; Erasmus i in., 2020; Kulkov, 2021; Lamine i in., 2020; Marchetta i in., 2011)
- Bizagi Modeler i Bizagi Studio (Bizagi) (A₈) (Amoozad Mahdiraji i in., 2021; Battilani i in., 2022; Díaz i in., 2021; Janicki & Wójcik, 2021; Lipski & Lipski, 2022)
- Adonis (Adonis) (A₉) (M. Camargo i in., 2020; Fischer i in., 2020; Kirikova, 2022; Lipski & Lipski, 2022; Störrle, 2020)
- Bonita Studio (BonitaSoft) (A₁₀) (Corradini i in., 2022; De Masellis i in., 2022; de Oliveira i in., 2021; Durán i in., 2021; Lipski & Lipski, 2022)
- Visual Paradigm (Visual Paradigm) (A₁₁) (Haj Ayech i in., 2021; Lamine i in., 2020; Lipski & Lipski, 2022; Rosca & Domingues, 2021; Silega & Noguera, 2021)
- Lucidchart (Lucid Software Inc.) (A₁₂) (de Albuquerque Wheler i in., 2021; Fell i in., 2023; Janicki & Wójcik, 2021; Khalil i in., 2023; Singh i in., 2022)
- Gliffy (A₁₃) (Galeano i in., 2023; C. Gómez i in., 2021; Jaimez-González & Martínez-Samora, 2020; Janicki & Wójcik, 2021; Krusche i in., 2020)
- Microsoft Visio (Microsoft) (A₁₄) (Ami & Sommer, 2007; Gola & Sitek, 2005; Halstenberg i in., 2021; Polančič, 2020; Sohns i in., 2023)
- iGraFX Process (Corel Corporation) (A₁₅) (Chuks & Telukdarie, 2021; Di Leva i in., 2020; Gola & Sitek, 2005; Kaasalainen i in., 2020; Sulis i in., 2019; Vijay & Gomathi Prabha, 2021a)
- Diagrams.net (A₁₆) (Popov i in., 2022; Vakaliuk i in., 2021; Wiśniewski i in., 2022)
- Accuprocess Modeller (A₁₇) (Chuks & Telukdarie, 2021; Kalibatiene & Vasilecas, 2021; Nnamdi & Telukdarie, 2020; Zuhaira & Ahmad, 2021)

Tabela 18. Macierz decyzyjna z ocenami alternatyw względem zestawu kryteriów oceny.

Kryteria oceny	Nazwy narzędzi																								
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
ARIS Toolset							5	5	5	3	5	3	3	3	5	5	1	5	3	5	2	5	5	5	5
System Architect (Popkin)							3	3	5	5	1	5	5	1	5	5	1	1	3	5	3	5	5	5	5
Corporate Modeler							5	5	5	5	1	1	3	3	3	5	3	2	3	1	2	4	5	5	5
Wizdom Works!							3	3	3	3	1	3	5	1	3	3	2	2	3	1	2	4	3	5	3
IBM WebSphere Business Integration Modeler							3	5	5	5	1	1	5	1	5	5	2	1	2	3	2	5	5	5	5

A ₆	EnterprisePr o	3	5	5	5	1	1	5	1	5	5	2	5	5	5	3	4	5	5	5
A ₇	ProAc tivity	5	5	5	5	3	1	5	1	3	5	1	5	2	2	1	4	5	5	5
A ₈	Bizagi Model er i Bizagi Studio	5	5	5	5	2	1	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₉	Adoni s	5	5	5	5	5	2	5	5	5	3	5	1	5	5	3	5	5	5	5
A ₁₀	Bonita Studio	5	5	5	5	5	1	5	5	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3
A ₁₁	Visual Paradi gm	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₂	Lucid chart	5	5	5	5	2	3	3	3	1	5	5	1	5	5	5	5	5	3	5
A ₁₃	Gliffy	5	5	3	3	2	1	3	3	1	3	5	1	5	5	5	4	5	5	3
A ₁₄	Micro soft Visio	5	5	3	5	3	5	5	2	4	3	5	1	5	5	5	5	5	5	5
A ₁₅	iGraf X Proces s	3	3	3	3	5	5	3	1	1	3	3	3	5	5	3	4	5	5	3
A ₁₆	Diagra ms.net	3	5	1	5	5	2	3	2	5	3	5	1	5	5	5	5	5	5	5

A17	Accup rocess Model ler	3	3	3	1	2	1	3	1	1	5	3	5	4	3	3	4	5	5	5
-----	---------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział 4. Podstawy metodyczne autorskiego wielokryterialnego modelu oceny technik modelowania procesów biznesowych

Według Yannis i in. metody wielokryterialnej analizy decyzji (MCDA) to techniki i narzędzia wykorzystywane do podejmowania decyzji w sytuacjach, w których istnieje wiele kryteriów lub czynników, które należy wziąć pod uwagę przy ocenie różnych opcji lub alternatyw. MCDA pomaga w hierarchicznym uszeregowaniu i ważeniu tych kryteriów oraz ocenie ich wpływu na decyzje (Yannis i in., 2020).

Metody MCDA opierają się na kilku głównych założeniach:

1. Wielokryterialność: zrozumienie, że decyzje często opierają się na wielu różnych kryteriach, a nie tylko na jednym aspekcie (Abdel-Basset i in., 2021).
2. Subiektywność oceny: Uznaje się, że ocena kryteriów i ich waga jest subiektywna i może różnić się w zależności od preferencji decydenta (Yong i in., 2022).
3. Struktura hierarchiczna: kryteria i podkryteria są zorganizowane w hierarchiczną strukturę, aby ułatwić porządkowanie i ważenie (Tan i in., 2021).
4. Porównywalność: kryteria są porównywalne, co oznacza, że można je oceniać i porównywać z określonymi skalami lub miernikami (Wan i in., 2021).
5. Agregacja punktacji: Wyniki kryteriów są agregowane w celu uzyskania ostatecznego wyniku dla każdej opcji lub alternatywy (Chauvy i in., 2020; Rezk i in., 2022).

Metody MCDA znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach i sytuacjach, takich jak wybór lokalizacji, ocena projektu inwestycyjnego, ocena produktu lub usługi, wybór dostawcy, analiza ryzyka i wiele innych. Przykładami metod MCDA są AHP (Analytic Hierarchy Process) (Rios & Duarte, 2021), TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) (Chakraborty, 2022), ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality) (Zahid i in., 2022), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) (Sotiropoulou & Vavatsikos, 2021) i wiele innych. Metody MCDA pomagają ustrukturyzować proces decyzyjny, biorąc pod uwagę różnorodne kryteria i preferencje, co prowadzi do bardziej świadomych i uzasadnionych decyzji.

W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawy i założenia wielokryterialnych metod analizy decyzyjnej (MCDA). Metody wielokryterialnej analizy decyzji (MCDA) są

wykorzystywane do wspierania procesów decyzyjnych w sytuacjach, w których należy wziąć pod uwagę wiele kryteriów i na podstawie tych kryteriów należy ocenić alternatywy. Główne cele korzystania z MCDA to:

1. Porównywanie alternatyw: MCDA pozwala porównywać i oceniać różne alternatywy lub rozwiązania na podstawie wielu kryteriów jednocześnie. Pozwala to decydentom uzyskać kompleksową perspektywę i zrozumienie, które opcje są najbardziej odpowiednie w kontekście określonych kryteriów (D. M. Martin i in., 2022).
2. Wsparcie decyzji: MCDA zapewnia ramy i narzędzia pomagające w systematycznym podejmowaniu decyzji. Metody te pozwalają na uwzględnianie różnych aspektów, ważenie kryteriów, agregowanie informacji oraz generowanie rankingów lub ocen alternatyw (Mousavi & Lin, 2020).
3. Uwzględnienie wielu kryteriów: MCDA bierze pod uwagę odpowiednie kryteria, które są ważne dla decydenta. Często kryteria te są zróżnicowane i mogą dotyczyć różnych wymiarów, takich jak koszty, korzyści społeczne, ryzyko, zrównoważenie środowiskowe, jakość, innowacyjność itp. (Torkayesh i in., 2021).
4. Przejrzystość i obiektywizm: MCDA zapewnia strukturę i zasady, które pozwalają na jasne i obiektywne uwzględnienie różnych kryteriów i informacji w procesie podejmowania decyzji. Metody te pozwalają precyzyjnie określić wagi kryteriów oraz uwzględnić preferencje i priorytety decydenta (Lai & Ishizaka, 2020).
5. Wyjaśnialność decyzji: MCDA zapewnia dogłębne zrozumienie procesu podejmowania decyzji poprzez uwzględnienie ważnych kryteriów i ich względnej ważności. Decydenci mogą uzasadniać i uzyskiwać aprobatę dla swoich decyzji (Y. Yu i in., 2022).

W efekcie wielokryterialne metody analizy decyzji są stosowane w różnych dziedzinach, takich jak zarządzanie (Vlachokostas i in., 2021), planowanie strategiczne (Yadegaridehkordi i in., 2020), inwestycje (Hussain i in., 2020), ocena projektów (Yannis i in., 2020), ocena ryzyka (Pham i in., 2021), ocena środowiskowa (K. Zhao i in., 2022) i wielu innych, aby wspierać decydentów w podejmowaniu bardziej świadomych i skuteczniejszych decyzji (Torkayesh i in., 2021).

Jak twierdzą Shao i in., metody MCDA są wykorzystywane do oceny zbioru alternatyw dla których dysponujemy wartościami wydajności względem wartości istotności kryteriów oceny, nazywanych wagami kryteriów (Shao i in., 2020). Wagi mogą być wyznaczone na

podstawie wiedzy ekspertów dziedzinowych (Ayyildiz, 2022) albo z zastosowaniem obiektywnych technik wyznaczania wag, które obliczają wagi na podstawie danych zawartych w macierzy decyzyjnej z wykorzystaniem formuł matematycznych (Vaid i in., 2022). Metody MCDA umożliwiają ocenę z uwzględnieniem wielu wymiarów kryteriów które mogą być zarówno zyskowe jak i kosztowe (Yazdi i in., 2022). Takie podejście umożliwia kompleksową ocenę rozważanych alternatyw poprzez agregację preferencji interesariuszy (Liao & Wu, 2020). Wykorzystanie metod MCDA zapewnia otrzymanie pojedynczego i łatwego do interpretacji wyniku w postaci rankingu alternatyw wygenerowanego na podstawie uporządkowanych wyników metody MCDA (Heidary Dahooie i in., 2021). Rodzina metod MCDA obejmuje wiele różnych technik stale powiększa się o nowo opracowane metody (A. S. Yalcin i in., 2022). W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawy i założenia wielokryterialnych metod analizy decyzyjnej (MCDA) wykorzystanych w tej pracy. Do tych metod należą TOPSIS, VIKOR, AHP i SPOTIS.

Jak twierdzą Bera i in., metoda TOPSIS spośród różnych technik MCDA zdobyła szczególną popularność ze względu na proste kroki obliczeniowe, mocne podstawy matematyczne oraz algorytm łatwy do zrozumienia. Metoda ta porządkuje alternatywy według odległości pomiędzy pozytywnymi i negatywnymi rozwiązaniami idealnymi. Jednak oczekuje się, że alternatywa wybrana podczas podejmowania decyzji będzie bliska rozwiązaniu idealnemu i daleka od rozwiązania nieidealnego (negatywnie idealnego) (Bera i in., 2022).

Jak wyjaśnia Sari, metoda VIKOR służy do wyznaczenia listy porządkowej rozwiązań kompromisowych z zadanymi wagami kryteriów. Metoda ta jest skoncentrowana na uporządkowaniu i wyborze szeregu alternatyw w obecności sprzecznych kryteriów. Daje ona możliwość utworzenia wielokryterialnego wskaźnika rankingowego opartego na miarze "bliskości" rozwiązania "idealnego". Metoda VIKOR wyznacza rozwiązanie kompromisowe dla problemów decyzyjnych wymagających uwzględnienia sprzecznych kryteriów, które może wspomóc decydentów w uzyskaniu ostatecznego rozwiązania (Sari, 2021a).

Jak podają Gupta i Dixit, metoda AHP jest metodą, która agreguje wyniki ocen ekspertów do pojedynczego wyniku. Metoda ta daje możliwość wyznaczenia wag eksperckich, jest łatwa do zrozumienia i wykorzystania. Jednak do jej wad należy zjawisko kompensacji liniowej kryteriów. Oznacza to, że korzystne wartości uzyskane przez rozważane alternatywy dla pewnych kryteriów są w stanie zrekompensować słabe wartości dla innych kryteriów (Gupta & Dixit, 2022).

Metoda SPOTIS jest nową wielokryterialną metodą analizy decyzyjnej opracowaną w roku 2020 przez Dezert i innych. Jak podają J. Dezert i in., metoda ta charakteryzuje się odpornością na zjawisko odwracania rang. Odporność na odwracanie rang otrzymano dzięki temu, że jej algorytm nie wymaga dokonywania względnych porównań pomiędzy rozważanymi alternatywami, a jedynie porównania w odniesieniu do rozwiązania idealnego wybranego przez decydenta po przekształceniu oryginalnego problemu MCDA w problem dobrze zdefiniowany poprzez wyznaczenie granic minimalnej i maksymalnej dla każdego kryterium oceny uwzględnionego w problemie. Wymienione zalety powodują, że metoda SPOTIS zapewnia stabilne porządkowanie preferencji w kierunku idealnego rozwiązania przy jednoczesnej bardzo niskiej złożoności algorytmicznej. Metoda SPOTIS wykorzystuje bezpośrednio wartości zawarte w macierzy decyzyjnej oraz wagi kryteriów, dzięki czemu jest łatwa do zrozumienia i zastosowania dla decydentów znających podstawy wielokryterialnej analizy decyzyjnej (J. Dezert i in., 2020).

Metody wielokryterialnej analizy decyzji (MCDA) mogą być wykorzystywane do oceny narzędzi do modelowania procesów biznesowych w celu doboru odpowiedniego narzędzia do konkretnego przypadku użycia. Poniżej przedstawiono kilka możliwych zastosowań MCDA w tym kontekście:

1. Porównywanie funkcjonalności: MCDA może służyć do porównywania funkcjonalności różnych narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Można zidentyfikować ważne kryteria, takie jak możliwość modelowania diagramów BPMN, obsługa notacji UML, integracja z innymi systemami czy dostępność funkcji współpracy i wersjonowania. Następnie możesz ocenić i porównać narzędzia pod kątem tych kryteriów, aby znaleźć narzędzie, które najlepiej odpowiada potrzebom Twojej organizacji (Hashemi i in., 2022).
2. Wybór odpowiedniego narzędzia: MCDA może pomóc zidentyfikować i ocenić narzędzia do modelowania procesów biznesowych, które spełniają specyficzne wymagania danej organizacji. Wagę kryteriów można dostosować do konkretnych potrzeb, takich jak interfejs użytkownika, dostępność szablonów procesów, wsparcie dla analiz i raportowania, czy możliwość integracji z istniejącymi systemami informatycznymi. MCDA może pomóc decydentom znaleźć narzędzie, które najlepiej pasuje do indywidualnych wymagań i preferencji ich organizacji (Shahnazari i in., 2020).

3. Uwzględnienie priorytetów użytkowników: MCDA umożliwia uwzględnienie preferencji i priorytetów użytkowników w procesie oceny narzędzi. Decydenci mogą przypisywać wagi poszczególnym kryteriom w oparciu o ich znaczenie dla organizacji. Na przykład, jeśli Twoja organizacja kładzie większy nacisk na łatwość użytkowania, możesz nadać większą wagę kryterium interfejsu użytkownika. MCDA pozwala na bardziej spersonalizowaną i dopasowaną ocenę narzędzi do potrzeb organizacji (Elavarasan i in., 2021).
4. Ocena kosztów i korzyści: MCDA może pomóc w ocenie kosztów i korzyści różnych narzędzi do modelowania procesów biznesowych. Pod uwagę mogą być brane takie kryteria jak koszt zakupu, koszt utrzymania, dostępność szkoleń i wsparcia technicznego, czy też korzyści w postaci zwiększonej wydajności, poprawy jakości procesu czy oszczędności czasu. MCDA umożliwia kompleksową analizę różnych aspektów finansowych i operacyjnych związanych z narzędziami do modelowania procesów biznesowych (Yannis i in., 2020).

Wnioski z analizy MCDA mogą pomóc organizacjom w dokonaniu bardziej świadomego wyboru narzędzia do modelowania procesów biznesowych, uwzględniającego różne aspekty, preferencje użytkowników i specyficzne wymagania organizacyjne. Dzięki temu można zminimalizować ryzyko złego doboru narzędzia i dostosować je do konkretnych potrzeb i celów organizacji (Syed & Lawryshyn, 2020).

W dalszej części rozdziału przedstawiono podstawy formalne i wzory matematyczne poszczególnych metod MCDA wykorzystanych do przeprowadzenia wielokryterialnej analizy porównawczej wybranych narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych w niniejszej pracy.

Rozdział 4.1. Uzasadnienie wyboru metod wielokryterialnych w procesie budowy modeli oceny technik modelowania procesów biznesowych

Jak podają Kadziński i in., procesy decyzyjne często wykorzystują modele oparte na różnych metodach w celu zapewnienia profesjonalnej analizy i oceny rozważanych alternatyw (Kadziński i in., 2021). Według Martyn i Kadziński benchmarking polega na przeprowadzeniu analizy porównawczej wyników uzyskanych przez metodę bazową z wynikami dostarczonymi przez metody referencyjne stanowiące punkt odniesienia (Martyn & Kadziński, 2023). W tym

celu należy wybrać zestaw referencyjnych metod MCDA. Do analizy podobieństwa rankingów najczęściej wykorzystuje się współczynniki korelacji takie jak współczynnik korelacji Pearsona (Mokarram i in., 2021) lub Spearmana (Sarraf & McGuire, 2020). Podejście benchmarkingowe jest skoncentrowane na porównywaniu wyników uzyskanych przez poszczególne metody. Jako punkt odniesienia, względem którego wyniki badanych wielokryterialnych metod są porównywane, często przyjmowany jest ranking ekspercki albo jedna wybrana metoda (Jużnić-Zonta i in., 2022). Problem analizy porównawczej metod MCDA jest poruszany w wielu aktualnych badaniach (Sałabun i in., 2020).

Jak wskazuje literatura, do budowy uogólnionych zbiorczych wskaźników oceny mogą być użyte metody wielokryterialne (Mohammadi & Rezaei, 2020). Stwarza to duże możliwości analityczne, co autor postara się wykazać w kolejnym rozdziale dysertacji. Modele oceny wykorzystują jako źródło danych autorską taksonomię. Metody wymagają wag kryteriów reprezentujących priorytety decydentów (Shao i in., 2020). Ponieważ MCDA ma każde cechy charakterystyczne i właściwości modeli oceny inne, zdecydowano się zaprezentować w tym rozdziale metody wybrane dla tworzonego modelu oceny narzędzi modelowania procesów biznesowych.

Według Yannis i in. wybór jednej właściwej techniki MCDA jest bardzo trudnym zadaniem, gdyż jest wiele technik MCDA zapewniających wiarygodne wyniki. Mnogość dostępnych metod sprawia, że wybór metody odpowiedniej do rozwiązania danego problemu stanowi wyzwanie (Yannis i in., 2020). Nie istnieje jedna uniwersalna metoda wielokryterialna. Pomimo jednakowych danych wejściowych wyniki uzyskane różnymi metodami MCDA mogą się różnić (Labijak-Kowalska & Kadziński, 2021). Stąd rekomendowane jest szersza analiza i benchmarking MCDA w poszczególnych obszarach zastosowań. Przeprowadzenie analizy porównawczej z wykorzystaniem więcej niż jednej metody MCDA i uzyskanie przy ich pomocy rankingów prowadzi w rezultacie do otrzymania spójnych i wiarygodnych wyników. Istotne jest zwrócenie uwagi na to, czy w ramach jednego problemu decyzyjnego można uzyskać odmienne wyniki z wykorzystaniem różnych metod (Alvarez i in., 2021; Cinelli i in., 2020, 2022).

W niniejszej pracy wykorzystano cztery wybrane metody wielokryterialnej analizy decyzyjnej o nazwach TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), AHP (Analytical Hierarchy Process) i SPOTIS (Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution)

w celu zbadania jak różnią się uzyskane rankingi. Do określenia wag kryteriów wykorzystano wagi równe oraz wagi uzyskane z wykorzystaniem dwóch obiektywnych metod wyznaczania wag: entropii i CRITIC (Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation) (Tuş & Aytaç Adalı, 2019a). Ostateczne rankingi zostały porównane przy pomocy współczynnika korelacji Pearsona.

Wybór danych metod jest uzasadniony ich walorami, popularnością i szerokim stosowaniem w rozwiązywaniu wielokryterialnych problemów decyzyjnych. Do zalet AHP należy redukcja subiektywności oraz uniwersalność (Bera i in., 2022). Wśród zalet TOPSIS i VIKOR można wymienić racjonalność, prostotę i bardzo dobrą wydajność obliczeniową oraz wysoką skuteczność w mierzeniu wydajności każdej alternatywy w prosty matematyczny sposób (Hezer i in., 2021). Wymienione metody charakteryzują się dużą elastycznością i prostotą w modyfikowaniu kryteriów i rang. Ich zastosowanie pomaga uzyskać logiczne i realistyczne wyniki dla rozwiązania różnych problemów oceny i wyboru.

Algorytm VIKOR wykorzystuje normalizację liniową, a metoda TOPSIS normalizację wektorową (D. Zhao i in., 2020). Główną zaletą metody TOPSIS zaproponowanej w 1981 roku przez Hwang i Yoon jest prostota, popularność i dostępność wielu prac badawczych uwzględniających tą metodę (D. Yu & Pan, 2021). Metoda VIKOR opiera się na pomiarze odległości do rozwiązania idealnego podczas tworzenia rankingów alternatyw. Jest to istotna metoda opracowana przez Opricovic i Tzeng w 2004 roku. Metoda ta dostarcza rozwiązanie, które jest najbliższe rozwiązaniu idealnemu, a alternatywy są oceniane względem wszystkich rozważanych kryteriów. W przypadku metody VIKOR zakłada się, że alternatywy są oceniane odpowiednio w odniesieniu do funkcji kryteriów. VIKOR określa kompromisową listę rankingową i na jej podstawie dostarcza kompromisowe rozwiązanie.

Metoda SPOTIS jest nową metodą opracowaną w roku 2020 przez J. Dezert i in. Jej walorem jest odporność na zjawisko odwracania rankingów oraz prostota, łatwość użycia i zrozumiałość algorytmu, a także niska złożoność obliczeniowa. Eliminacja problemu odwracania rankingów wynika z faktu, że kolejność preferencji ustalona na podstawie macierzy wyników rozważanego problemu MCDA nie wymaga przeprowadzania względnych porównań między alternatywami, a jedynie porównania w odniesieniu do idealnego rozwiązania wybranego przez projektanta modelu MCDA po przekształceniu niekompletnego oryginalnego problemu MCDA w dobrze zdefiniowany dzięki specyfikacji minimalnych i maksymalnych granic każdego kryterium uwzględnionego w problemie. Innymi słowy ocena każdej

alternatywy odbywa się niezależnie od innych. Dzięki temu usunięcie alternatywy lub uwzględnienie nowej alternatywy w nowym dobrze zdefiniowanym problemie MCDA nie spowoduje zmiany kolejności preferencji alternatyw. SPOTIS działa z dowolnym oczekiwanym punktem rozwiązania wybranym w granicach wydajności względem kryteriów oceny (J. Dezert i in., 2020).

Metody MCDA uwzględnione w niniejszym badaniu mają cechy wspólne, ponieważ opierają się na funkcji agregującej reprezentującej bliskość punktów odniesienia. Różne wcześniejsze badania wykazały, że wyżej wymienione metody MCDA wykorzystują różne techniki funkcji agregujących do tworzenia rankingu. Najczęściej stosowane są metody AHP i TOPSIS, które umożliwiają rozwiązania problemów decyzyjnych z wysoką dokładnością (Abdel-Basset i in., 2021; Boumaiza i in., 2022; Sari, 2021b).

Rozdział 4.2. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)

Metodę tą opracowali Hwang i Yoon w 1981 roku (D. Yu & Pan, 2021). Opiera się ona na koncepcji, że najlepiej oceniona alternatywa posiada najkrótszą odległość od rozwiązania idealnego i najdłuższą odległość od rozwiązania antyidealnego. W TOPSIS używana jest funkcja agregacji, która określa odległość od rozwiązania idealnego. Metoda ta wymaga normalizacji macierzy decyzyjnej przy pomocy techniki wektorowej. W kolejnym etapie znormalizowane wartości w macierzy są mnożone przez wartości wag kryteriów. Następny krok polega na obliczeniu odległości Euklidesowych alternatyw od rozwiązań idealnego i antyidealnego. Ostatni krok obejmuje wyznaczenie względna bliskość alternatyw do rozwiązania idealnego. Finalnie należy uszeregować alternatywy zgodnie z wartościami otrzymanymi w poprzednim etapie w kolejności malejącej (H. Arora & Naithani, 2022).

Kolejne etapy metody TOPSIS przedstawiają się następująco:

Krok 1. Normalizacja macierzy decyzyjnej $X = [x_{ij}]_{m \times n}$ w której x_{ij} reprezentują wartości wydajności ocenianych m alternatyw, gdzie $i = 1, 2, \dots, m$ względem n kryteriów, gdzie $j = 1, 2, \dots, n$. Normalizacja jest przeprowadzana dla kryteriów zyskowych z użyciem Równania (1) i dla kryteriów kosztowych z wykorzystaniem Równania (2).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

(1)

$$r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

(2)

Krok 2. Wyznaczenie ważonej znormalizowanej macierzy decyzyjnej poprzez wymnożenie wartości znormalizowanej macierzy przez odpowiadające im wartości wag kryteriów, jak pokazuje Równanie (3).

$$v_{ij} = w_j r_{ij}$$

(3)

Krok 3. Obliczenie pozytywnego idealnego rozwiązania (PIS) z wykorzystaniem Równania (4) i antyidealnego rozwiązania (NIS) posługując się Równaniem (5).

$$v_j^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} = \{\max_j(v_{ij})\}$$

(4)

$$v_j^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \{\min_j(v_{ij})\}$$

(5)

Krok 4. Wyznaczenie odległości alternatyw od PIS używając Równania (6) i od NIS przy pomocy Równania (7).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

(6)

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

(7)

Krok 5. Wyznaczenie względnej bliskości alternatyw do rozwiązania idealnego (ranking index C_i) przy pomocy Równania (8).

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

(8)

Krok 6. Wygenerowanie rankingu w procedurze uszeregowania alternatyw zgodnie z wartościami względnej bliskości do rozwiązania idealnego w kolejności malejącej.

Rozdział 4.3. VIKOR (VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje)

Metodę tą zaproponował Opricovic w 1998 roku (Akram i in., 2021). Metoda VIKOR służy do wyznaczenia rozwiązania kompromisowego zapewniającego maksymalną użyteczność grupową dla większości i minimum strat. Metoda ta używa normalizacji liniowej wartości zawartych w macierzy decyzyjnej. W celu wykorzystania metody VIKOR tak jak w przypadku TOPSIS konieczne jest wyznaczenie wartości wag kryteriów. W tej metodzie generowana jest kompromisowa lista rankingowa. VIKOR koncentruje się na szeregowaniu i selekcji najlepszych alternatyw z uwzględnieniem sprzecznych kryteriów. Ranking jest budowany z wykorzystaniem funkcji agregacji która reprezentuje bliskość alternatyw do idealnego rozwiązania. Alternatywy są porządkowane w kolejności rosnącej zgodnie z jej wartością (Hezer i in., 2021).

Poszczególne kroki metody VIKOR są następujące:

Krok 1. Obliczenie najlepszych f_j^* i najgorszych f_j^- wartości na podstawie macierzy decyzyjnej z użyciem Równania (9) dla kryteriów typu zyskowego i Równania (10) dla kryteriów typu kosztowego.

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, \quad f_j^- = \min_i f_{ij}$$

(9)

$$f_j^* = \min_i f_{ij}, \quad f_j^- = \max_i f_{ij} \quad (10)$$

Krok 2. Wyznaczenie wartości S_i tak jak pokazuje Równanie (11) i R_i z użyciem Równania (12).

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-) \quad (11)$$

$$R_i = \max_j (w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)) \quad (12)$$

Krok 3. Obliczenie wartości Q_i posługując się Równaniem (13).

$$Q_i = v(S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v)(R_i - R^*) / (R^- - R^*) \quad (13)$$

w którym

$$S^* = \min_i S_i, \quad S^- = \max_i S_i \quad (14)$$

$$R^* = \min_i R_i, \quad R^- = \max_i R_i \quad (15)$$

natomiast v reprezentuje wagę wyznaczoną dla strategii większości kryteriów i zawiera się w zakresie od 0 do 1.

Krok 4. Rankingi alternatyw są budowane w oparciu o uszeregowane wartości S , R i Q w kolejności rosnącej. Wynikiem są trzy uporządkowane listy stanowiące wektory rankingów.

Krok 5. Rozwiązanie kompromisowe jest wyznaczane z uwzględnieniem warunków dobrej przewagi i akceptowalnej stabilności biorąc pod uwagę trzy wektory S , R i Q uzyskane w poprzednim etapie. Najlepszą alternatywą jest ta alternatywa, która posiada najmniejszą wartość.

Rozdział 4.4. AHP (Analytic Hierarchy Process)

Metoda AHP opiera się na własnościach macierzy i wektorów budujących ją. Są one generowane z uwzględnieniem ocen ekspertów dziedzinowych po przeprowadzeniu przez nich porównań parami wszystkich elementów (Y. Liu i in., 2020). Metodę AHP opracował Saaty w 1970 roku. W metodzie AHP wymagane jest utworzenie struktury hierarchicznej dla rozważanego problemu, która może być podzielona na kilka poziomów. W przypadku metody AHP znaczącą rolę odgrywają eksperci i wyznaczone przez nich indywidualne preferencje (Jurík i in., 2022).

Kolejne kroki metody AHP zostały przedstawione poniżej.

Krok 1. Wyznaczenie przez decydentów wartości ważności kryteriów i alternatyw procedurze porównania ich parami.

Decydenci wyznaczają swoje preferencje przy pomocy względnych ocen ważności kryteriów oceny i wariantów. Procedura ta obejmuje porównywanie parami czynników, które znajdują się na tym samym poziomie względem odpowiadającego kryterium. Otrzymane wyniki są zapisywane w postaci macierzy preferencji. W tym celu autor metody AHP, Saaty zaproponował dziewięciostopniową skalę posiadającą nazwę skali Saaty'ego. Skala ta została przedstawiona w Tabeli 19. Ten krok daje możliwość przeprowadzenia porównań w sposób ilościowy. Każdy stopień w omawianej skali ma przypisane znaczenie słowne, co ułatwia ekspertom przeprowadzenie ocen, gdyż istnieje możliwość porównania werbalnego a w dalszej kolejności przypisania mu adekwatnej wartości liczbowej (Papathanasiou i in., 2018).

Tabela 19. Skala Saaty'ego i jej znaczenie w AHP. Źródło: Papathanasiou i in., 2018.

Stopień ważności (istotności)	Znaczenie
1	Jednakowa istotność, brak możliwości wskazania elementu dominującego
3	Jeden z elementów ma nieznacznie większe znaczenie (słaba przewaga)
5	Jeden z elementów ma wyraźną przewagę nad drugim (silna przewaga)
7	Jeden z elementów ma bardzo znaczącą przewagę nad drugim (bardzo silna przewaga)

9	Jeden z elementów ma absolutną przewagę nad drugim (ekstremalna przewaga)
2,4,6,8	Wartości pośrednie wykorzystywane w przypadku problemu z jednoznacznym użyciem elementów ze skali zamieszczonych powyżej
Odwrotności	Stosowane dla porównań w przeciwną stronę

Krok 2. Sprawdzenie spójności wygenerowanych macierzy porównań w drodze obliczenia indeksu zgodności CI (Consistency Index) tak jak pokazuje Równanie (16).

$$CI(X) = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (16)$$

w którym λ_{max} reprezentuje największą wartość własną macierzy a n to liczba kryteriów oceny. Na podstawie indeksu CI wyznaczany jest współczynnik CR łatwiejszy do interpretacji gdyż reprezentuje stopień w którym porównania elementów są niezgodne względem siebie, co określa brak konsekwencji w przeprowadzonej analizie. Współczynnik CR (Consistency Ratio) jest wyznaczany zgodnie z Równaniem (17).

$$CR(X) = \frac{CI(X)}{RI_n} \quad (17)$$

Jako RI przyjmowany jest losowy indeks niezgodności wyznaczany z próby na którą składają się losowo wybrane macierze. Wartości RI są zaprezentowane w Tabeli 20.

Tabela 20. Wartości RI przyjmowane przez losowy indeks niezgodności w metodzie AHP.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Źródło: Papathanasiou i in., 2018.

Według Saaty'ego macierze porównań dla których wyznaczony współczynnik $CR \leq 0.1$ są spójne i akceptowalne. CR wyższy od 0.1 oznacza natomiast, że macierz porównań jest niespójna.

Krok 3. Wyznaczenie priorytetów dla poszczególnych elementów zawartych macierzy z wynikami porównań parami kryteriów, tzn. wag kryteriów. Aby je obliczyć trzeba wyznaczyć wektory własne i wartości własne macierzy porównań, co wymaga zastosowania metod algebry liniowej lub wykorzystania odpowiedniego oprogramowania komputerowego udostępnionego w bibliotekach z zaimplementowanymi funkcjami matematycznymi. Taką biblioteką jest np. biblioteka Numpy lub Scipy dla języka programowania Python.

Poza metodami wektorów własnych Saaty zaproponował także inne metody umożliwiające otrzymanie przybliżonych wyników w łatwiejszy sposób. Jedną z nich jest metoda sum kolumnowych w której suma wszystkich elementów w każdym wierszu jest dzielona przez wszystkie elementy macierzy zgodnie z Równaniem (18).

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (18)$$

Następna metoda to średnia geometryczna, która polega na wymnożeniu przez siebie wszystkich elementów z każdego wiersza osobno i obliczenie dla każdego iloczynu pierwiastka którego stopień jest taki sam jak liczba elementów. W kolejnym etapie uzyskane wyniki są normalizowane do jedności przez podzielenie ich przez sumę wszystkich uzyskanych wcześniej pierwiastków. Metoda średniej geometrycznej jest zaprezentowana w Równaniu (19).

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n x_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n x_{ij})^{\frac{1}{n}}} \quad (19)$$

Wyznaczone w wybrany sposób wektory własne są priorytetami lokalnymi i reprezentują istotność kryteriów oceny. Omawiane priorytety są jednocześnie priorytetami globalnymi i reprezentują znaczenie kryteriów. W przypadku wariantów decyzyjnych, którymi są alternatywy, postępowanie przedstawia się podobnie.

Krok 4. Zbudowanie macierzy porównań parami alternatyw dla każdego kryterium.

Krok 5. Sprawdzenie spójności macierzy porównań parami alternatyw. W tym etapie n oznaczające liczbę kryteriów jest zastąpiona przez m oznaczające liczbę alternatyw.

Krok 6. Wyznaczenie priorytetów lokalnych dla alternatyw, podobnie jak zaprezentowano w Kroku 3 z tą różnicą, że n jest zastąpione m a w przez s_j gdzie j oznacza kryterium z którym porównanie parami alternatyw jest związane. Ta procedura jest przeprowadzana dla wszystkich macierzy porównań parami alternatyw i wyznaczany jest wynik s tak jak pokazuje Równanie (20),

$$S = [s_1, s_2, \dots, s_n] \quad (20)$$

w którym j -ta kolumna S jest odpowiada wektorowi s_j

Krok 7. Agregacja priorytetów lokalnych i wygenerowanie rankingu alternatyw. Priorytety kryteriów i priorytety lokalne, czyli alternatywy są używane do obliczenia globalnych priorytetów alternatywy zgodnie z Równaniem (21),

$$v = Sw \quad (21)$$

w którym v reprezentuje globalny priorytet alternatyw. Każde i -te wejście v reprezentuje globalne priorytety alternatyw przypisane do i -tej alternatywy. W dalszej kolejności ranking jest budowany poprzez posortowanie globalnych priorytetów alternatyw w kolejności malejącej. Oznacza to, że największa wartość reprezentuje najlepszą alternatywę.

Rozdział 4.5. SPOTIS (Stable Preference Ordering Towards Ideal Solution)

Metoda SPOTIS jest nową metodą zaproponowaną przez J. Dezert i in., w roku 2020. Metoda ta zapewnia stabilne uporządkowanie preferencji w kierunku rozwiązania idealnego i posiada bardzo niską złożoność obliczeniową, co jest zaletą w przypadku złożonych wielokryterialnych problemów decyzyjnych wymagających uwzględnienia wielu kryteriów oceny. Zaletą tej metody jest brak odwracania rankingów podczas porządkowania wartości preferencji w celu wygenerowania rankingu. Głównym założeniem tej metody jest zdefiniowanie granic danych tak, aby określić punkt idealnego rozwiązania (ISP). Dalsze obliczenia w celu uzyskania ostatecznych wartości preferencji dla alternatyw są wykonywane na podstawie otrzymanego ISP. Metoda SPOTIS została uznana jako całkowicie odporna na zjawisko odwrócenia rang. Metoda SPOTIS mieści się w ramach klasycznych metod MCDA, gdyż wykorzystuje

bezpośrednio dostępną macierz z wartościami oraz współczynniki wagowe kryteriów (J. Dezert i in., 2020).

Poszczególne kroki metody SPOTIS przedstawiają się następująco na podstawie artykułu (J. Dezert i in., 2020):

Krok 1. Należy określić problem MCDA z wyznaczeniem granic zawierających wartości minimalne S_j^{\min} i maksymalne S_j^{\max} dla każdego kryterium na podstawie wartości zawartych w macierzy decyzyjnej S , która tak jak w przypadku innych metod MCDA zawiera wartości dla alternatyw w rzędach względem kryteriów w kolumnach.

Krok 2. Wyznaczenie idealnego punktu rozwiązania (ISP) reprezentowanego przez S^* . Jeśli dane kryterium j jest kryterium zyskowym i preferowane są dla niego jak najwyższe wartości, to wtedy $S_j^* = S_j^{\max}$. Jeżeli natomiast dane kryterium jest kryterium kosztowym, czyli preferowane dla niego są jak najniższe wartości, to wtedy $S_j^* = S_j^{\min}$. ISP czyli S^* jest reprezentowane przez wektor punktów $S_1^*, S_2^*, \dots, S_n^*$.

Krok 3. Wyznaczenie znormalizowanych odległości d_{ij} na podstawie wartości ISP dla każdej alternatywy A_i z wykorzystaniem Równania (22).

$$d_{ij}(A_i, s_j^*) = \frac{|S_{ij} - S_j^*|}{|S_j^{\max} - S_j^{\min}|} \quad (22)$$

Krok 4. Obliczenie średniej ważonej znormalizowanej odległości od rozwiązania idealnego dla każdej alternatywy według Równania (23).

$$d(A_i, s^*) = \sum_{j=1}^n w_j d_{ij}(A_i, s_j^*) \quad (23)$$

w którym w_j reprezentuje wagi kryteriów.

Krok 5. Wygenerowanie rankingu alternatyw poprzez posortowanie wartości $d(A_i, s^*)$ w porządku malejącym. Najlepiej oceniona alternatywa posiada najniższą wartość $d(A_i, s^*)$.

Rozdział 4.6. Metoda wag równych

Jak podają Vaid i in., metoda ta przypisuje równe wagi wszystkim kryteriom. Liczba kryteriów równa n stanowi mianownik w obliczeniach wartości wag, gdzie licznik wynosi 1. Występuje tu konieczność spełnienia warunku zsumowania wartości wag do liczby 1, tak jak w pozostałych obiektywnych technikach ważenia kryteriów. Metoda ta jest wykorzystywana w analizie wrażliwości rozwiązań uzyskanych różnymi metodami MCDA (Vaid i in., 2022). Wzór na obliczanie równych wag przedstawiono w Równaniu (24).

$$w_j = \frac{1}{n}$$

(24)

Rozdział 4.7. Metoda wyznaczania wag kryteriów techniką entropii

Metoda ważenia kryteriów entropii jest istotnym modelem wagi informacji który jest szeroko stosowany i przebadany. Największą zaletą tej metody w porównaniu z subiektywnym wyznaczaniem wag jest unikanie wpływu czynników ludzkich na wagę kryteriów, co zwiększa obiektywność kompleksowych wyników oceny wielokryterialnej (Mahajan i in., 2022). Metoda ważenia entropii wyznacza wagi kryteriów na podstawie pomiaru stopnia zróżnicowania wartości analizowanych alternatyw w ramach poszczególnych kryteriów. Im wyższy stopień rozproszenia mierzonej wartości, tym wyższy jest stopień zróżnicowania wskaźnika i możliwość uzyskania większej ilości informacji. Taka sytuacja reprezentuje wysokie znaczenie danego indeksu i przypisywana jest do niego wyższa wartość wagi (Zhu i in., 2020).

Kolejne etapy metody wyznaczania wag entropii przedstawiają się następująco (Lotfi & Fallahnejad, 2010).

Krok 1. Należy dokonać normalizacji macierzy decyzyjnej z wykorzystaniem metody normalizacji uwzględniającej podzielenie każdej kolumny macierzy przez sumę elementów tej kolumny według Równania (25). Macierz decyzyjna zawiera m wierszy, które reprezentują liczbę alternatyw oraz n kolumn, które stanowią liczbę kryteriów.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(25)

W Równaniu (25) i reprezentuje poszczególne alternatywy w wierszach, natomiast j oznacza kolejne kryteria w kolumnach.

Krok 2. Obliczenie entropii zgodnie z Równaniem (26).

$$E_j = - \frac{\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij})}{\ln(m)} \quad (26)$$

W Równaniu (26) $p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})$ jest ustawiane jako 0, jeśli $p_{ij} = 0$

Krok 3. Następnie w kolejnym kroku należy obliczyć wartość d tak jak pokazuje Równanie (27).

$$d_j = 1 - E_j, (1 \leq j \leq n) \quad (27)$$

Krok 4. Ostatnim etapem procedury wyznaczania wag kryteriów metodą entropii jest obliczenie wagi entropii dla każdego kryterium j zgodnie z Równaniem (28).

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (28)$$

Rozdział 4.8. Metoda wyznaczania wag kryteriów CRITIC

Jak podają Tuş i Aytac Adalı, Metoda wyznaczania wag CRITIC (Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation) jest kolejną obiektywną techniką wyznaczania wag na podstawie wartości w macierzy decyzyjnej. Ta technika została zaproponowana przez Diakoulaki i in. w roku 1995. Metoda ta uwzględnia intensywność kontrastu i konfliktu zawartych w strukturze problemu decyzyjnego. CRITIC należy do klasy metod korelacyjnych i opiera się na analitycznym badaniu macierzy decyzyjnej w celu określenia informacji zawartych w kryteriach, według których oceniane są alternatywy. Podstawę tej metody stanowi intensywność kontrastu w strukturze problemu decyzyjnego. W celu wyznaczenia kontrastu między kryteriami wykonywane są podstawowe operacje statystyczne takie, jak analiza korelacji (Tuş & Aytac Adalı, 2019b).

Poszczególne etapy metody CRITIC zostały zaprezentowane w kolejnych krokach (Tuş & Aytac Adalı, 2019a; N. Yalcin & Ünlü, 2018).

Krok 1. Macierz decyzyjną należy znormalizować z wykorzystaniem Równania (29).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j(x_{ij})}{\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})} \quad (29)$$

Krok 2. Obliczenie wartości współczynnika korelacji Pearsona dla poszczególnych par kryteriów, tak jak pokazuje Równanie (30).

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (30)$$

Krok 3. Należy wyznaczyć wagi poszczególnych kryteriów posługując się Równaniami (31) i następnie Równaniem (32).

$$c_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}) \quad (31)$$

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{k=1}^n c_k} \quad (32)$$

Rozdział 4.9. Współczynnik korelacji Pearsona

Według Mu i in. współczynnik korelacji Pearsona służy do wyznaczenia zbieżności dwóch wektorów x i y zawierających wartości liczbowe. W przypadku rankingów wygenerowanych przez metody MCDA współczynnik korelacji Pearsona określa podobieństwo między rankingami ocenianych alternatyw (Mu i in., 2018). Współczynnik korelacji Pearsona jest wyznaczany przy pomocy Równania (33).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (33)$$

Rozdział 5. Badania z wykorzystaniem autorskiego wielokryterialnego modelu oceny technik modelowania procesów biznesowych

W niniejszym rozdziale przedstawiono szczegółowo procedurę przeprowadzonych w tej pracy badań. Uwzględniono budowę modelu wielokryterialnego z uwzględnieniem kryteriów oceny i rozważanych alternatyw, zbiór danych oraz analizę porównawczą MCDA i jej wyniki.

Całość uzupełnia analiza wrażliwości uzyskanych rankingów.

Rozdział 5.1. Badanie obejmujące analizę porównawczą dla równych wag kryteriów

W badaniu wykorzystano trzy obiektywne metody wyznaczania wag kryteriów opisane w Rozdziale 4: metodę wag równych, metodę wyznaczania wag techniką entropii oraz metodę ważenia kryteriów CRITIC. Otrzymane wagi dla trzech poszczególnych metod przedstawiono w Tabeli 21.

Tabela 21. Wagi kryteriów oceny wyznaczone z wykorzystaniem trzech obiektywnych metod ważenia.

Metoda ważenia kryteriów	Metoda wag równych	Metoda entropii	Metoda CRITIC
Kryterium (Symbol)			
C ₁	0.0526	0.0193	0.0610
C ₂	0.0526	0.0129	0.0499
C ₃	0.0526	0.0330	0.0407
C ₄	0.0526	0.0309	0.0355
C ₅	0.0526	0.1166	0.0548
C ₆	0.0526	0.1427	0.0625
C ₇	0.0526	0.0193	0.0699
C ₈	0.0526	0.1190	0.0435
C ₉	0.0526	0.0990	0.0574
C ₁₀	0.0526	0.0206	0.0832
C ₁₁	0.0526	0.0835	0.0526
C ₁₂	0.0526	0.1436	0.0699

C ₁₃	0.0526	0.0277	0.0503
C ₁₄	0.0526	0.0523	0.0430
C ₁₅	0.0526	0.0559	0.0441
C ₁₆	0.0526	0.0039	0.0558
C ₁₇	0.0526	0.0036	0.0290
C ₁₈	0.0526	0.0036	0.0398
C ₁₉	0.0526	0.0129	0.0571

Źródło: opracowanie własne.

W pierwszym etapie badań zbudowano uproszczony model oceny zakładając równoważność wszystkich kryteriów. Charakterystyka modelu z uwzględnieniem ocenianych narzędzi modelowania procesów biznesowych czyli alternatyw oraz kryteria oceny zostały zamieszczone w podrozdziale 3.2.

Badanie polegające na ocenie wybranych 17 narzędzi służących do modelowania procesów biznesowych z wykorzystaniem wielokryterialnych metod analizy decyzyjnej przeprowadzono dla metody TOPSIS i dla trzech referencyjnych metod MCDA, jako które wybrano VIKOR, AHP i SPOTIS.

W trakcie obliczeń uzyskano wyniki pośrednie, które zamieszczono w Załączniku A. Najpierw przeprowadzono obliczenia dla metody TOPSIS. Macierz decyzyjną znormalizowano metodą normalizacji wektorowej, zgodnie z zasadą oryginalnego algorytmu metody TOPSIS. Znormalizowana macierz decyzyjna dla kolejnych etapów obliczeń metody TOPSIS jest zamieszczona w Załączniku A w Tabeli A1. Wartości ważonej znormalizowanej macierzy decyzyjnej są zawarte w Załączniku A w Tabeli A2. Następnie obliczono wektory zawierające Pozytywne Idealne Rozwiązanie PIS i NIS. Wyniki tych obliczeń są przedstawione w Załączniku A w Tabeli A3. Wektory zawierające obliczone odległości alternatyw od PIS (D_i^+) i NIS (D_i^-) oraz względną odległość alternatyw od rozwiązania idealnego (C_i) zamieszczono w Załączniku A w Tabeli A4. Wartość C_i jest jednocześnie wartością funkcji użyteczności (preferencji) dla poszczególnych alternatyw dla metody TOPSIS.

Następnie wykonano obliczenia dla metody VIKOR. Wyniki pośrednie obliczeń również zawarto w Załączniku A. Najlepsze (F_j^+) i najgorsze (F_j^-) wartości względem kryteriów oceny na podstawie macierzy decyzyjnej przedstawiono w Tabeli A5 w Załączniku A. Oryginalny algorytm metody VIKOR nie zakłada przeprowadzania procedury normalizacji macierzy decyzyjnej, więc w przypadku obliczeń dla metody VIKOR macierzy decyzyjnej nie normalizowano zgodnie z tą zasadą. Ważoną macierz decyzyjną zawarto w Tabeli A6. Wektory

zawierające wartości S_i i R_i zamieszczono w Tabeli A7. Tabela A8 przedstawia wartości S^* i S^- wyznaczone na podstawie S_i oraz wartości R^* i R^- wyznaczone na podstawie R_i . Następnie obliczono wartości Q_i , a wektor zawierający je jest przedstawiony w Tabeli A9. Wektor Q_i pełni rolę wartości funkcji użyteczności (preferencji) dla ocenianych alternatyw dla metody VIKOR.

Kolejnym etapem było przeprowadzenie obliczeń dla metody AHP. W tym przypadku macierz decyzyjna została znormalizowana metodą sumy zgodnie z zasadą algorytmu AHP. Znormalizowana macierz została przedstawiona w Załączniku A w Tabeli A10. Następnie obliczono ważoną znormalizowaną macierz decyzyjną, którą zamieszczono w Tabeli A11 w Załączniku A. Na jej podstawie obliczono wartości funkcji użyteczności (preferencji) dla ocenianych alternatyw dla metody AHP przedstawione w Tabeli 21.

Ostatnim krokiem było przeprowadzenie obliczeń dla metody SPOTIS. Wyniki obliczeń pośrednich także zamieszczono w Załączniku A. Granice zawierające wartości minimalne S_j^{\min} oraz maksymalne S_j^{\max} dla każdego kryterium a także Idealny Punkt Rozwiązania (ISP) dla każdego kryterium przedstawiono w Tabeli A12 w Załączniku A. Następnie obliczono wartości znormalizowane odległości d_{ij} dla każdej alternatywy, które zamieszczono w macierzy widocznej w Tabeli A13 w Załączniku A. Kolejnym etapem było wyznaczenie średnich ważonych znormalizowanych odległości od rozwiązania idealnego d_i dla każdej alternatywy, które jednocześnie stanowią wartości funkcji użyteczności (preferencji) ocenianych alternatyw dla metody SPOTIS. Wartości te zamieszczono w Tabeli A14 w Załączniku A.

Tabela 22 zawiera wartości funkcji użyteczności (preferencji) wyznaczonych z wykorzystaniem czterech badanych metod MCDA dla równych wag kryteriów. W przypadku metod TOPSIS i AHP im wyższa wartość funkcji użyteczności, tym lepsza ocena danej alternatywy. Dla metod VIKOR i SPOTIS jest odwrotnie, im mniejsza wartość funkcji użyteczności, tym lepszy wynik uzyskuje oceniana alternatywa.

Tabela 22. Wartości funkcji użyteczności wyznaczone z wykorzystaniem metod MCDA dla równych wag kryteriów.

Symbol narzędzia	Nazwa narzędzia	TOPSIS	VIKOR	AHP	SPOTIS
A ₁	ARIS Toolset	0.6084	0.6646	0.0640	0.2588
A ₂	System Architect (Popkin)	0.5012	0.7484	0.0564	0.3772
A ₃	Corporate Modeler	0.4308	0.8043	0.0516	0.4561

A ₄	Wizdom Works!	0.3145	1.0000	0.0423	0.7325
A ₅	IBM WebSphere Business Integration Modeler	0.4120	0.7795	0.0504	0.4211
A ₆	EnterprisePro	0.5092	0.7143	0.0587	0.3289
A ₇	ProActivity	0.4462	0.7702	0.0532	0.4079
A ₈	Bizagi Modeler i Bizagi Studio	0.6399	0.6025	0.0681	0.1711
A ₉	Adonis	0.6517	0.6025	0.0684	0.1711
A ₁₀	Bonita Studio	0.6405	0.6304	0.0681	0.2105
A ₁₁	Visual Paradigm	0.8359	0.0000	0.0773	0.0263
A ₁₂	Lucidchart	0.5556	0.6957	0.0607	0.3026
A ₁₃	Gliffy	0.4692	0.8261	0.0529	0.4868
A ₁₄	Microsoft Visio	0.6184	0.6304	0.0656	0.2105
A ₁₅	iGrafX Process	0.5154	0.8727	0.0544	0.5526
A ₁₆	Diagrams.net	0.5569	0.7236	0.0604	0.3421
A ₁₇	Accuprocess Modeller	0.3891	0.8944	0.0474	0.5833

Źródło: opracowanie własne.

Można zaobserwować, że najwyższą wartość funkcji użyteczności dla metod TOPSIS i AHP z wykorzystaniem równych wag kryteriów otrzymano dla narzędzia Visual Paradigm, czyli alternatywy o symbolu A₁₁. W ocenie TOPSIS alternatywa ta uzyskała wartość funkcji użyteczności równą 0.8359 natomiast w ocenie AHP wartość funkcji użyteczności dla tej alternatywy wyniosła 0.0773. Dla metod, w których alternatywy porządkowane są według rosnących wartości funkcji użyteczności, czyli VIKOR i SPOTIS, wartości te wyniosły dla narzędzia Visual Paradigm 0 w przypadku oceny VIKOR oraz 0.0263 w ocenie z wykorzystaniem metody SPOTIS. Otrzymane wyniki wskazują, że liderem rankingów wszystkich metod MCDA uwzględnionych w tym badaniu jest narzędzie Visual Paradigm.

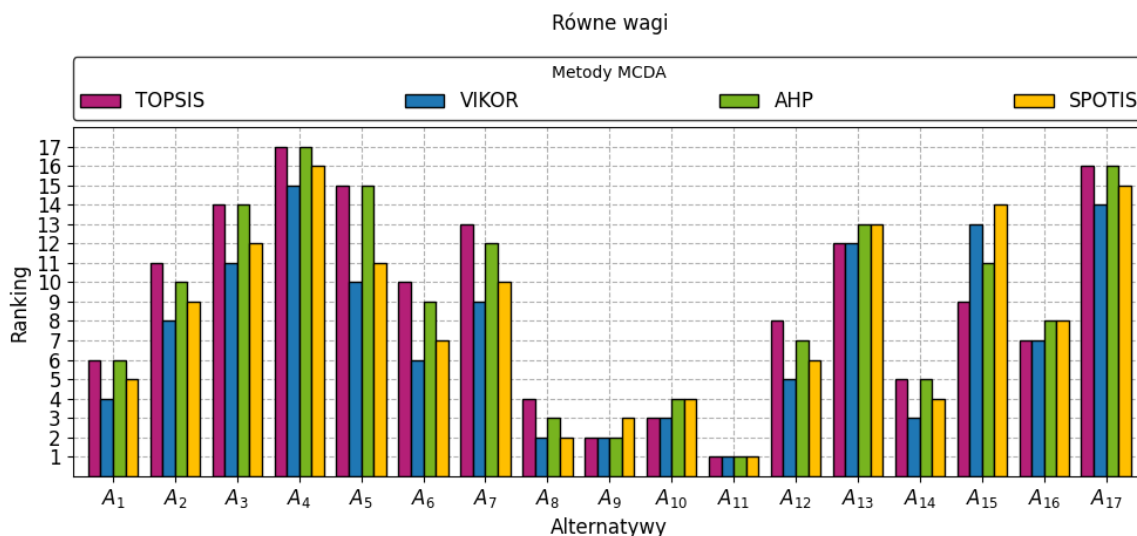
W następnym etapie uporządkowano oceniane narzędzia w kolejności malejącej według wartości funkcji użyteczności TOPSIS i AHP oraz w kolejności rosnącej według wartości VIKOR i SPOTIS. Otrzymane rankingi zamieszczono w Tabeli 22. Rankingi zostały również przedstawione w formie graficznej w postaci wykresów kolumnowych na Rysunku 11. Tabela 23 zawiera rankingi badanych narzędzi wyznaczone z wykorzystaniem czterech badanych metod MCDA dla równych wag kryteriów.

Tabela 23. Rankingi wyznaczone z wykorzystaniem metod MCDA dla równych wag kryteriów.

Symbol narzędzia	Nazwa narzędzia	TOPSIS	VIKOR	AHP	SPOTIS
A ₁	ARIS Toolset	6	4	6	5
A ₂	System Architect (Popkin)	11	8	10	9
A ₃	Corporate Modeler	14	11	14	12
A ₄	Wizdom Works!	17	15	17	16
A ₅	IBM WebSphere Business Integration Modeler	15	10	15	11
A ₆	EnterprisePro	10	6	9	7
A ₇	ProActivity	13	9	12	10
A ₈	Bizagi Modeler i Bizagi Studio	4	2	3	2
A ₉	Adonis	2	2	2	3
A ₁₀	Bonita Studio	3	3	4	4
A ₁₁	Visual Paradigm	1	1	1	1
A ₁₂	Lucidchart	8	5	7	6
A ₁₃	Gliffy	12	12	13	13
A ₁₄	Microsoft Visio	5	3	5	4
A ₁₅	iGrafX Process	9	13	11	14
A ₁₆	Diagrams.net	7	7	8	8
A ₁₇	Accuprocess Modeller	16	14	16	15

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na to, że metody MCDA są wykorzystywane w dużej mierze do selekcji najlepszych rozwiązań, w przypadku oceny z wykorzystaniem wielokryterialnych metod analizy decyzyjnej decydentów zwykle najbardziej interesują alternatywy, które zostały ocenione najlepiej. Analiza uzyskanych rankingów pokazuje, że Visual Paradigm jest liderem rankingów wyznaczonych przy pomocy wszystkich metod MCDA uwzględnionych w niniejszym badaniu. Drugie miejsce w rankingu TOPSIS zajęło narzędzie o nazwie Adonis (A₉), podobnie jak w rankingu VIKOR i AHP. Natomiast w rankingu SPOTIS narzędzie Adonis zajęło miejsce trzecie. Na trzecim miejscu w rankingu TOPSIS znalazło się narzędzie Bonita Studio (A₁₀), podobnie jak w rankingu VIKOR. W rankingach AHP i SPOTIS narzędzie to zajęło miejsce czwarte. Na piątym miejscu rankingu TOPSIS i AHP znalazło się narzędzie Microsoft Visio (A₁₄). Narzędzie to zajęło trzecie miejsce w rankingu VIKOR i czwarte miejsce w rankingu SPOTIS.



Rysunek 11. Rankingi wyznaczone z wykorzystaniem metod MCDA dla równych wag kryteriów.

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział 5.2. Badanie dla wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii

W kolejnym etapie przeprowadzono analogiczne badanie jak w rozdziale 5.3 z wykorzystaniem wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii.

W trakcie obliczeń uzyskano wyniki pośrednie, które zamieszczono w Załączniku A. Najpierw przeprowadzono obliczenia dla metody TOPSIS. Macierz decyzyjną znormalizowano metodą normalizacji wektorowej, zgodnie z zasadą oryginalnego algorytmu metody TOPSIS. Znormalizowana macierz decyzyjna dla kolejnych etapów obliczeń metody TOPSIS jest zamieszczona w Załączniku A w Tabeli A1. Wartości ważonej znormalizowanej macierzy decyzyjnej są zawarte w Załączniku A w Tabeli A15. Następnie obliczono wektory zawierające Pozytywne Idealne Rozwiązanie PIS i NIS. Wyniki tych obliczeń są przedstawione w Załączniku A w Tabeli A16. Wektory zawierające obliczone odległości alternatyw od PIS (D_i^+) i NIS (D_i^-) oraz względną odległość alternatyw od rozwiązania idealnego (C_i) zamieszczono w Załączniku A w Tabeli A17. Wartość C_i jest jednocześnie wartością funkcji użyteczności (preferencji) dla poszczególnych alternatyw dla metody TOPSIS.

Następnie wykonano obliczenia dla metody VIKOR. Wyniki pośrednie obliczeń również zawarto w Załączniku A. Najlepsze (F_j^+) i najgorsze (F_j^-) wartości względem kryteriów oceny na podstawie macierzy decyzyjnej przedstawiono w Tabeli A5 w Załączniku A. Oryginalny algorytm metody VIKOR nie zakłada przeprowadzania procedury normalizacji

macierzy decyzyjnej, więc w przypadku obliczeń dla metody VIKOR macierzy decyzyjnej nie normalizowano zgodnie z tą zasadą. Ważoną macierz decyzyjną zawarto w Tabeli A18. Wektory zawierające wartości S_i i R_i zamieszczono w Tabeli A19. Tabela A20 przedstawia wartości S^* i S^- wyznaczone na podstawie S_i oraz wartości R^* i R^- wyznaczone na podstawie R_i . Następnie obliczono wartości Q_i , a wektor zawierający je jest przedstawiony w Tabeli A21. Wektor Q_i pełni rolę wartości funkcji użyteczności (preferencji) dla ocenianych alternatyw dla metody VIKOR.

Kolejnym etapem było przeprowadzenie obliczeń dla metody AHP. W tym przypadku macierz decyzyjna została znormalizowana metodą sumy zgodnie z zasadą algorytmu AHP. Znormalizowana macierz została przedstawiona w Załączniku A w Tabeli A10. Następnie obliczono ważoną znormalizowaną macierz decyzyjną, którą zamieszczono w Tabeli A22 w Załączniku A. Na jej podstawie obliczono wartości funkcji użyteczności (preferencji) dla ocenianych alternatyw dla metody AHP przedstawione w Tabeli 21.

Ostatnim krokiem było przeprowadzenie obliczeń dla metody SPOTIS. Wyniki obliczeń pośrednich także zamieszczono w Załączniku A. Granice zawierające wartości minimalne S_j^{\min} oraz maksymalne S_j^{\max} dla każdego kryterium a także Idealny Punkt Rozwiązania (ISP) dla każdego kryterium przedstawiono w Tabeli A12 w Załączniku A. Następnie obliczono wartości znormalizowane odległości d_{ij} dla każdej alternatywy, które zamieszczono w macierzy widocznej w Tabeli A13 w Załączniku A. Kolejnym etapem było wyznaczenie średnich ważonych znormalizowanych odległości od rozwiązania idealnego d_i dla każdej alternatywy, które jednocześnie stanowią wartości funkcji użyteczności (preferencji) ocenianych alternatyw dla metody SPOTIS. Wartości te zamieszczono w Tabeli A23 w Załączniku A.

Wartości funkcji użyteczności uzyskane przy pomocy metody TOPSIS i trzech metod referencyjnych uwzględnionych w badaniu dla wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii zostały zamieszczone w Tabeli 24.

Tabela 24. Wartości funkcji użyteczności wyznaczone z wykorzystaniem metod MCDA dla wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii.

Symbol narzędzia	Nazwa narzędzia	TOPSIS	VIKOR	AHP	SPOTIS
A ₁	ARIS Toolset	0.6320	0.3251	0.0724	0.3094
A ₂	System Architect (Popkin)	0.4462	0.8516	0.0538	0.5411

A ₃	Corporate Modeler	0.2953	0.9284	0.0443	0.6535
A ₄	Wizdom Works!	0.2985	0.8537	0.0409	0.7444
A ₅	IBM WebSphere Business Integration Modeler	0.2575	0.9672	0.0388	0.6995
A ₆	EnterprisePro	0.4131	0.8105	0.0541	0.4920
A ₇	ProActivity	0.3967	0.8745	0.0491	0.5796
A ₈	Bizagi Modeler i Bizagi Studio	0.5469	0.6705	0.0707	0.3002
A ₉	Adonis	0.5487	0.6750	0.0713	0.2992
A ₁₀	Bonita Studio	0.5751	0.6522	0.0740	0.2752
A ₁₁	Visual Paradigm	0.8048	0.0000	0.0901	0.0595
A ₁₂	Lucidchart	0.4152	0.8097	0.0566	0.4837
A ₁₃	Gliffy	0.3272	0.9098	0.0470	0.6208
A ₁₄	Microsoft Visio	0.5365	0.7142	0.0675	0.3529
A ₁₅	iGrafX Process	0.5426	0.6608	0.0624	0.4802
A ₁₆	Diagrams.net	0.4636	0.7720	0.0615	0.4320
A ₁₇	Accuprocess Modeller	0.3728	0.9301	0.0454	0.6559

Źródło: opracowanie własne.

Na ich podstawie wygenerowano rankingi przedstawione w Tabeli 25 i zwizualizowane na Rysunku 12.

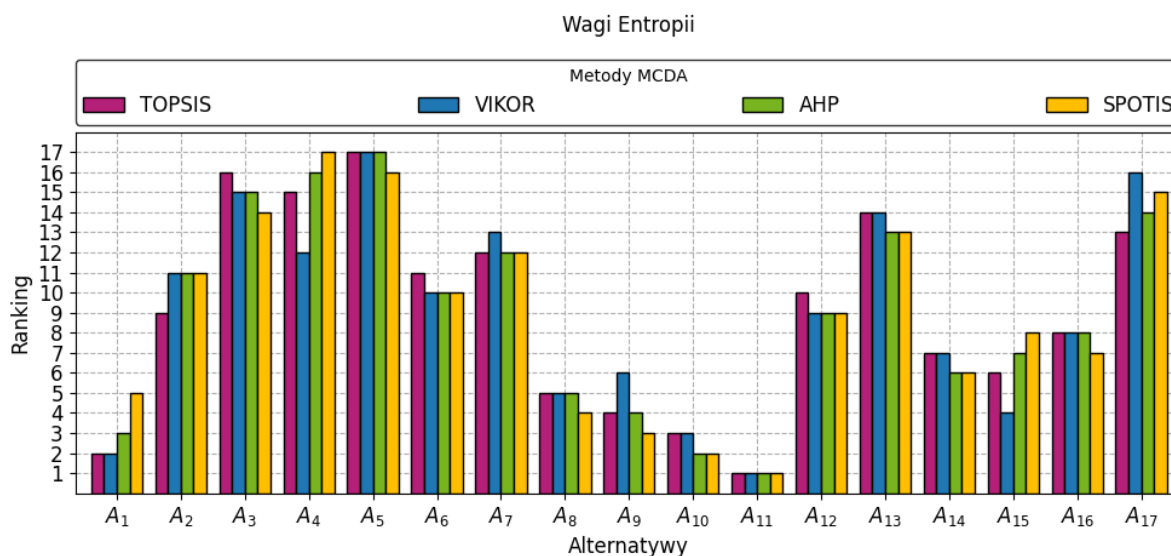
Tabela 25. Rankingi wyznaczone z wykorzystaniem metod MCDA dla wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii.

Symbol narzędzia	Nazwa narzędzia	TOPSIS	VIKOR	AHP	SPOTIS
A ₁	ARIS Toolset	2	2	3	5
A ₂	System Architect (Popkin)	9	11	11	11
A ₃	Corporate Modeler	16	15	15	14
A ₄	Wizdom Works!	15	12	16	17
A ₅	IBM WebSphere Business Integration Modeler	17	17	17	16
A ₆	EnterprisePro	11	10	10	10
A ₇	ProActivity	12	13	12	12
A ₈	Bizagi Modeler i Bizagi Studio	5	5	5	4
A ₉	Adonis	4	6	4	3
A ₁₀	Bonita Studio	3	3	2	2

A ₁₁	Visual Paradigm	1	1	1	1
A ₁₂	Lucidchart	10	9	9	9
A ₁₃	Gliffy	14	14	13	13
A ₁₄	Microsoft Visio	7	7	6	6
A ₁₅	iGrafX Process	6	4	7	8
A ₁₆	Diagrams.net	8	8	8	7
A ₁₇	Accuprocess Modeller	13	16	14	15

Źródło: opracowanie własne.

Można zaobserwować, że liderem wszystkich otrzymanych rankingów jest alternatywa o nazwie Visual Paradigm (A₁₁), podobnie jak w przypadku badania przeprowadzonego dla równych wag kryteriów. Miejsce drugie w rankingu TOPSIS i VIKOR zdobyło narzędzie ARIS Toolset (A₁), które w rankingu AHP zajęło miejsce trzecie, natomiast w rankingu SPOTIS miejsce piąte. Wynik ten jest odmienny niż w przypadku równych wag kryteriów, dla których ARIS Toolset uzyskało gorsze wyniki. W badaniu przeprowadzonym dla równych wag ARIS Toolset zajęło miejsce szóste w rankingu TOPSIS i AHP oraz miejsce czwarte w rankingu VIKOR i piąte w rankingu SPOTIS. Obserwowane różnice można uzasadnić odmienną istotnością wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii. Metoda entropii najwyższe wartości wag przypisała kryteriom C₅ (Wsparcie dla systemów ERP), C₆ (Wsparcie dla frameworków Enterprise Architecture (architektury przedsiębiorstwa), C₈ (Darmowa wersja i jej funkcjonalności) i C₁₂ (Możliwość przeprowadzenia symulacji). Zdecydowanie najwyższe wartości wag entropii zostały przypisane kryteriom C₆ i C₁₂. Dla kryteriów C₅ i C₁₂ ARIS Toolset uzyskało ocenę najlepszą z możliwych (5), a dla C₆ i C₈ uzyskało ocenę 3. Narzędzie Adonis, które dla wag równych zdobyło wyższe wyniki niż dla wag wyznaczonych przy pomocy entropii dla kryteriów C₆ i C₁₂ uzyskało słabsze oceny niż narzędzie ARIS Toolset, co wyjaśnia przewagę ARIS Toolset w rankingach uzyskanych z wykorzystaniem wag wyznaczonych metodą entropii nad Adonis, które zostało lepiej ocenione przez metody MCDA dla wag równych. Trzecie miejsce w rankingu TOPSIS dla wag entropii uzyskało narzędzie Bonita Studio, podobnie jak w rankingu VIKOR. W rankingach metod AHP i SPOTIS narzędzie to zdobyło wysokie drugie miejsce. Narzędzie Bonita Studio posiada wysokie oceny dla kryteriów C₅, C₈ i C₁₂, natomiast dla kryterium C₆ ocena tego narzędzia jest słaba. Czwarte miejsce w rankingu TOPSIS zdobył Adonis, tak jak w przypadku rankingu AHP, który w rankingu VIKOR był szósty a w rankingu SPOTIS trzeci. Piąte miejsce w rankingach TOPSIS, VIKOR i AHP należy do narzędzia Bizagi (Modeler i Studio), które w rankingu SPOTIS zajęło czwarte miejsce.



Rysunek 12. Rankingi wyznaczone z wykorzystaniem metod MCDA dla wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii. Źródło: opracowanie własne.

Rozdział 5.3. Badanie dla wag kryteriów wyznaczonych metodą CRITIC

Następnym etapem badań była analiza porównawcza wyników metod MCDA dla wag kryteriów wyznaczonych przy pomocy metody CRITIC. W trakcie obliczeń uzyskano wyniki pośrednie, które zamieszczono w Załączniku A. Najpierw przeprowadzono obliczenia dla metody TOPSIS. Macierz decyzyjną znormalizowano metodą normalizacji wektorowej, zgodnie z zasadą oryginalnego algorytmu metody TOPSIS. Znormalizowana macierz decyzyjna dla kolejnych etapów obliczeń metody TOPSIS jest zamieszczona w Załączniku A w Tabeli A1. Wartości ważonej znormalizowanej macierzy decyzyjnej są zawarte w Załączniku A w Tabeli A24. Następnie obliczono wektory zawierające Pozytywne Idealne Rozwiązanie PIS i NIS. Wyniki tych obliczeń są przedstawione w Załączniku A w Tabeli A25. Wektory zawierające obliczone odległości alternatyw od PIS (D_i^+) i NIS (D_i^-) oraz względną odległość alternatyw od rozwiązania idealnego (C_i) zamieszczono w Załączniku A w Tabeli A26. Wartość C_i jest jednocześnie wartością funkcji użyteczności (preferencji) dla poszczególnych alternatyw dla metody TOPSIS.

Następnie wykonano obliczenia dla metody VIKOR. Wyniki pośrednie obliczeń również zawarto w Załączniku A. Najlepsze (F_j^+) i najgorsze (F_j^-) wartości względem kryteriów oceny na podstawie macierzy decyzyjnej przedstawiono w Tabeli A5 w Załączniku A. Oryginalny algorytm metody VIKOR nie zakłada przeprowadzania procedury normalizacji

macierzy decyzyjnej, więc w przypadku obliczeń dla metody VIKOR macierzy decyzyjnej nie normalizowano zgodnie z tą zasadą. Ważoną macierz decyzyjną zawarto w Tabeli A27. Wektory zawierające wartości S_i i R_i zamieszczono w Tabeli A28. Tabela A29 przedstawia wartości S^* i S^- wyznaczone na podstawie S_i oraz wartości R^* i R^- wyznaczone na podstawie R_i . Następnie obliczono wartości Q_i , a wektor zawierający je jest przedstawiony w Tabeli A30. Wektor Q_i pełni rolę wartości funkcji użyteczności (preferencji) dla ocenianych alternatyw dla metody VIKOR.

Kolejnym etapem było przeprowadzenie obliczeń dla metody AHP. W tym przypadku macierz decyzyjna została znormalizowana metodą sumy zgodnie z zasadą algorytmu AHP. Znormalizowana macierz została przedstawiona w Załączniku A w Tabeli A10. Następnie obliczono ważoną znormalizowaną macierz decyzyjną, którą zamieszczono w Tabeli A31 w Załączniku A. Na jej podstawie obliczono wartości funkcji użyteczności (preferencji) dla ocenianych alternatyw dla metody AHP przedstawione w Tabeli 21.

Ostatnim krokiem było przeprowadzenie obliczeń dla metody SPOTIS. Wyniki obliczeń pośrednich także zamieszczono w Załączniku A. Granice zawierające wartości minimalne S_j^{\min} oraz maksymalne S_j^{\max} dla każdego kryterium a także Idealny Punkt Rozwiązania (ISP) dla każdego kryterium przedstawiono w Tabeli A12 w Załączniku A. Następnie obliczono wartości znormalizowane odległości d_{ij} dla każdej alternatywy, które zamieszczono w macierzy widocznej w Tabeli A13 w Załączniku A. Kolejnym etapem było wyznaczenie średnich ważonych znormalizowanych odległości od rozwiązania idealnego d_i dla każdej alternatywy, które jednocześnie stanowią wartości funkcji użyteczności (preferencji) ocenianych alternatyw dla metody SPOTIS. Wartości te zamieszczono w Tabeli A32 w Załączniku A.

Wartości funkcji użyteczności wygenerowane przez poszczególne metody MCDA zostały zawarte w Tabeli 26.

Tabela 26. Wartości funkcji użyteczności wyznaczone z wykorzystaniem metod MCDA dla wag kryteriów wyznaczonych metodą CRITIC.

Symbol narzędzia	Nazwa narzędzia	TOPSIS	VIKOR	AHP	SPOTIS
A ₁	ARIS Toolset	0.6253	0.5591	0.0655	0.2598
A ₂	System Architect (Popkin)	0.4967	0.6488	0.0569	0.3872
A ₃	Corporate Modeler	0.3948	0.7149	0.0513	0.4817

A ₄	Wizdom Works!	0.3257	1.0000	0.0435	0.7338
A ₅	IBM WebSphere Business Integration Modeler	0.3896	0.6831	0.0503	0.4360
A ₆	EnterprisePro	0.5117	0.5546	0.0595	0.3390
A ₇	ProActivity	0.4682	0.5954	0.0550	0.3971
A ₈	Bizagi Modeler i Bizagi Studio	0.5904	0.6360	0.0670	0.2154
A ₉	Adonis	0.5802	0.6407	0.0667	0.2221
A ₁₀	Bonita Studio	0.5914	0.6674	0.0668	0.2602
A ₁₁	Visual Paradigm	0.8647	0.0000	0.0788	0.0217
A ₁₂	Lucidchart	0.5022	0.6094	0.0597	0.3311
A ₁₃	Gliffy	0.4039	0.8757	0.0508	0.5567
A ₁₄	Microsoft Visio	0.5846	0.6587	0.0652	0.2478
A ₁₅	iGrafX Process	0.5189	0.9054	0.0547	0.5992
A ₁₆	Diagrams.net	0.5120	0.7686	0.0591	0.4042
A ₁₇	Accuprocess Modeller	0.4200	0.7863	0.0491	0.5835

Źródło: opracowanie własne.

Rankingi dla wag wyznaczonych metodą CRITIC wygenerowane na podstawie wartości funkcji użyteczności przedstawiono w Tabeli 27 oraz zwizualizowano na wykresie kolumnowym zamieszczonym na Rysunku 13.

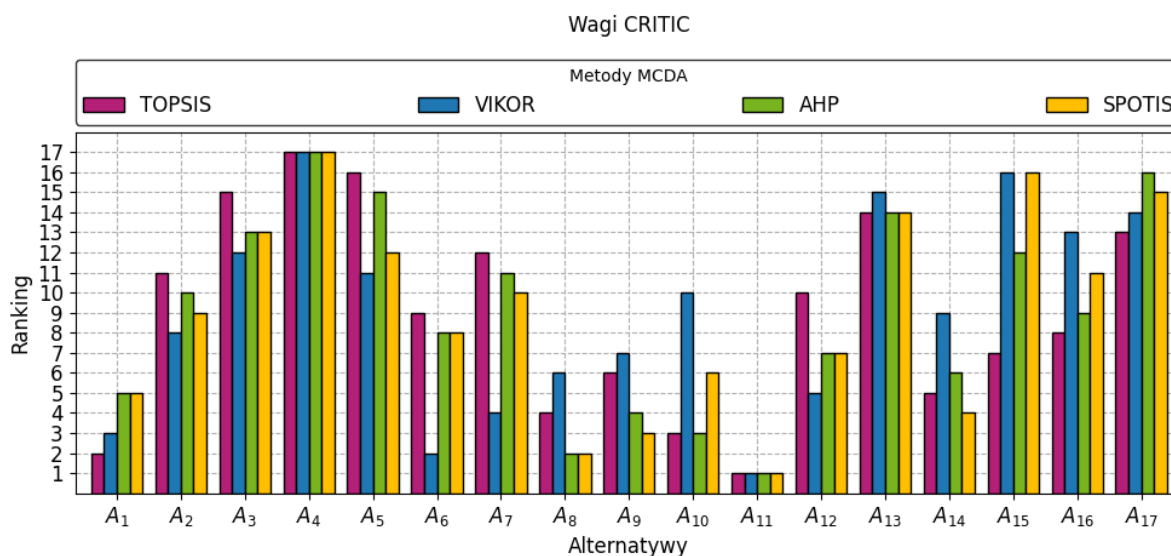
Tabela 27. Rankingi wyznaczone z wykorzystaniem metod MCDA dla wag kryteriów wyznaczonych metodą CRITIC.

Symbol narzędzia	Nazwa narzędzia	TOPSIS	VIKOR	AHP	SPOTIS
A ₁	ARIS Toolset	2	3	5	5
A ₂	System Architect (Popkin)	11	8	10	9
A ₃	Corporate Modeler	15	12	13	13
A ₄	Wizdom Works!	17	17	17	17
A ₅	IBM WebSphere Business Integration Modeler	16	11	15	12
A ₆	EnterprisePro	9	2	8	8
A ₇	ProActivity	12	4	11	10
A ₈	Bizagi Modeler i Bizagi Studio	4	6	2	2
A ₉	Adonis	6	7	4	3
A ₁₀	Bonita Studio	3	10	3	6

A ₁₁	Visual Paradigm	1	1	1	1
A ₁₂	Lucidchart	10	5	7	7
A ₁₃	Gliffy	14	15	14	14
A ₁₄	Microsoft Visio	5	9	6	4
A ₁₅	iGrafX Process	7	16	12	16
A ₁₆	Diagrams.net	8	13	9	11
A ₁₇	Accuprocess Modeller	13	14	16	15

Źródło: opracowanie własne.

Ocena MCDA z wykorzystaniem wag kryteriów wyznaczonych przy użyciu metody CRITIC pokazuje, że liderem wszystkich uwzględnionych metod wielokryterialnych jest Visual Paradigm (A₁₁). Wynik ten jest identyczny jak dla wag równych i wyznaczonych metodą entropii. Wynik ten potwierdza silną pozycję tego narzędzia wśród ocenianych alternatyw wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych. Narzędzie to uzyskało najwyższe oceny w skali Likerta dla wszystkich kryteriów poza C₈ (Darmowa wersja i jej funkcjonalności), dla którego uzyskało ocenę 3 w skali Likerta. Poza wersjami płatnymi do użytku komercyjnego Visual Paradigm jest narzędziem występującym w wersji bezpłatnej Visual Paradigm Community Edition, jednak wersja ta jest przeznaczona jedynie do użytku niekomercyjnego i jej funkcjonalności są ograniczone w porównaniu do wersji płatnych. Drugie miejsce w rankingu metody TOPSIS zajęło narzędzie ARIS Toolset, podobnie jak w przypadku oceny z wykorzystaniem wag wyznaczonych metodą entropii. Narzędzie to zajęło trzecie miejsce w rankingu VIKOR oraz piąte miejsce w rankingach AHP i SPOTIS. Miejsce trzecie w rankingu TOPSIS zdobyło narzędzie Bonita Studio, podobnie jak w rankingu AHP. W rankingu VIKOR Bonita Studio zostało sklasyfikowane na miejscu dziesiątym, a w rankingu SPOTIS na miejscu szóstym. Czwarte miejsce w rankingu TOPSIS zdobyło narzędzie Bizagi (Modeler i Studio), które w rankingu VIKOR było szóste, a w rankingu AHP i SPOTIS drugie. Na piątym miejscu rankingu TOPSIS znalazło się narzędzie Microsoft Visio, które w rankingu VIKOR było dziewiąte, w rankingu AHP szóste, a w rankingu SPOTIS czwarte.



Rysunek 13. Rankingi wyznaczone z wykorzystaniem metod MCDA dla wag kryteriów wyznaczonych metodą CRITIC. Źródło: opracowanie własne.

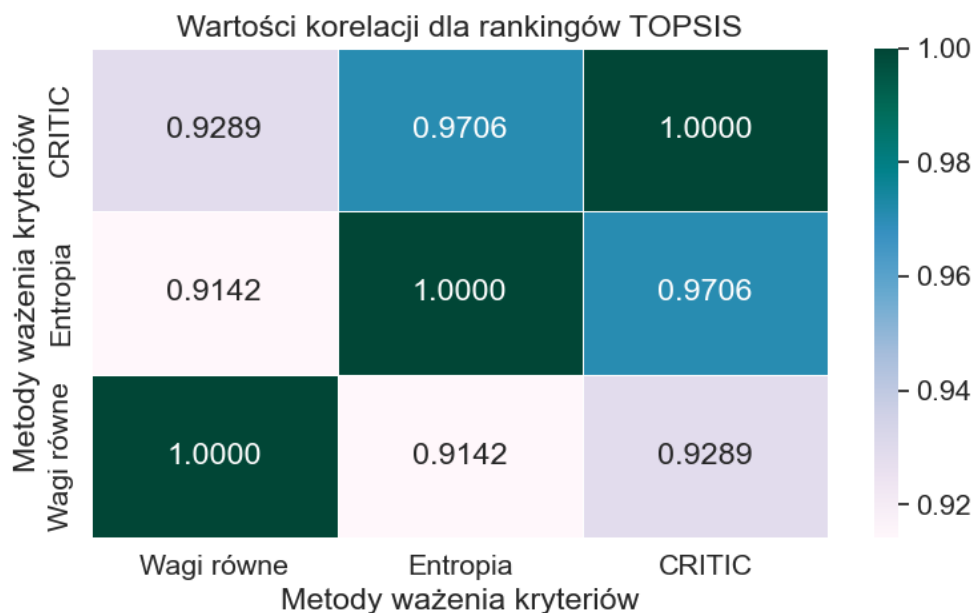
Rozdział 5.4. Analiza zbieżności rankingów dostarczonych przez poszczególne metody ważenia kryteriów

Ze względu na obserwowane różnice w rankingach przeprowadzono badanie korelacji pomiędzy poszczególnymi rankingami z wykorzystaniem obiektywnego współczynnika korelacji Pearsona. Badanie to miało na celu ocenę podobieństwa rankingów i wskazania metod dających najbardziej zbieżne rezultaty.

Pierwszym etapem była analiza zbieżności rankingów wygenerowanych dla trzech różnych obiektywnych metod ważenia: metoda wag równych, entropii i CRITIC dla poszczególnych metod MCDA. W przypadku wszystkich uwzględnionych w badaniu metod MCDA wartości współczynnika korelacji Pearsona były najwyższe dla rankingów wygenerowanych z wykorzystaniem wag równych i wag wyznaczonych metodą CRITIC. Analiza wartości wag kryteriów pozwala stwierdzić, że wagi uzyskane z zastosowaniem metody CRITIC są bardziej zbliżone do wag równych niż wagi wyznaczone metodą entropii. Wynika to z różnic w algorytmach, którymi posługują się techniki entropii i CRITIC.

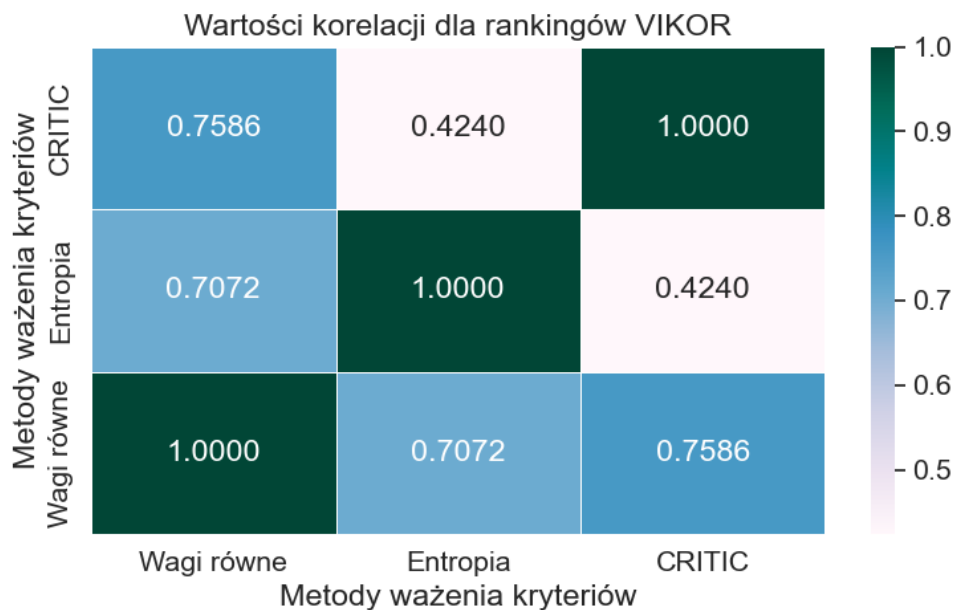
Wyniki badania korelacji z wykorzystaniem współczynnika korelacji Pearsona dla rankingów uzyskanych z użyciem metody TOPSIS dla trzech różnych technik wyznaczania wag kryteriów zwizualizowano na Rysunku 14. W przypadku metody TOPSIS najwyższą wartość korelacji odnotowano dla porównania rankingów wyznaczonych z wykorzystaniem

wag wyznaczonych metodami entropii i CRITIC. Najmniej zbieżne okazały się rankingi wyznaczone z użyciem wag równych i entropii.



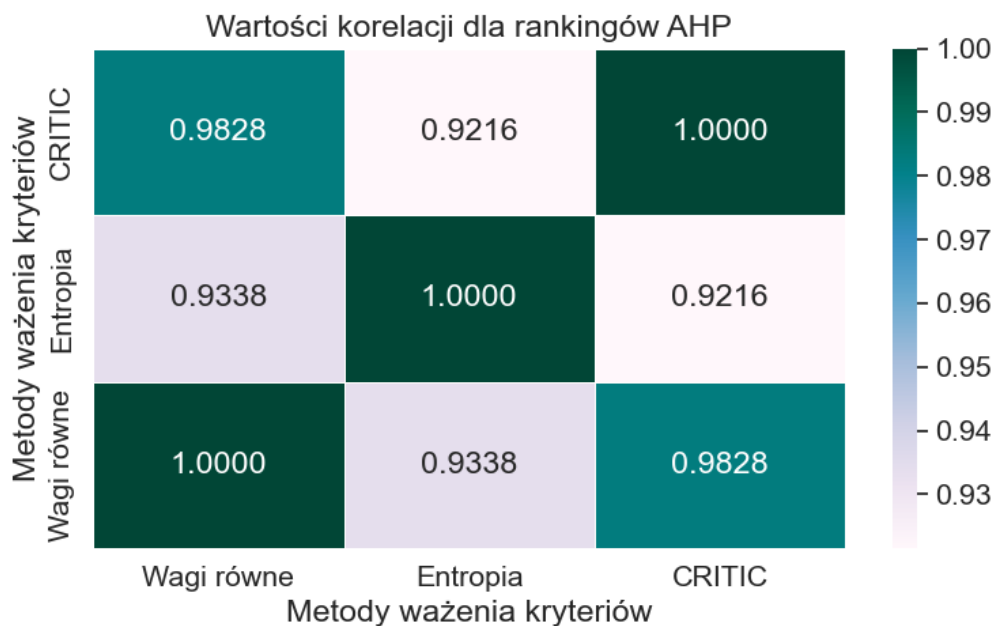
Rysunek 14. Wartości korelacji Pearsona dla rankingów TOPSIS wyznaczonych z wykorzystaniem różnych metod wyznaczania wag kryteriów. Źródło: opracowanie własne.

Wyniki badania korelacji dla rankingów uzyskanych z użyciem metody VIKOR dla trzech różnych technik wyznaczania wag kryteriów zaprezentowano na Rysunku 15. W przypadku metody VIKOR największą zbieżność wykazały rankingi wygenerowane z wykorzystaniem wag równych i obliczonych przy pomocy metody CRITIC. Najśłabszą korelację wykazały rankingi dla wag entropii i CRITIC.



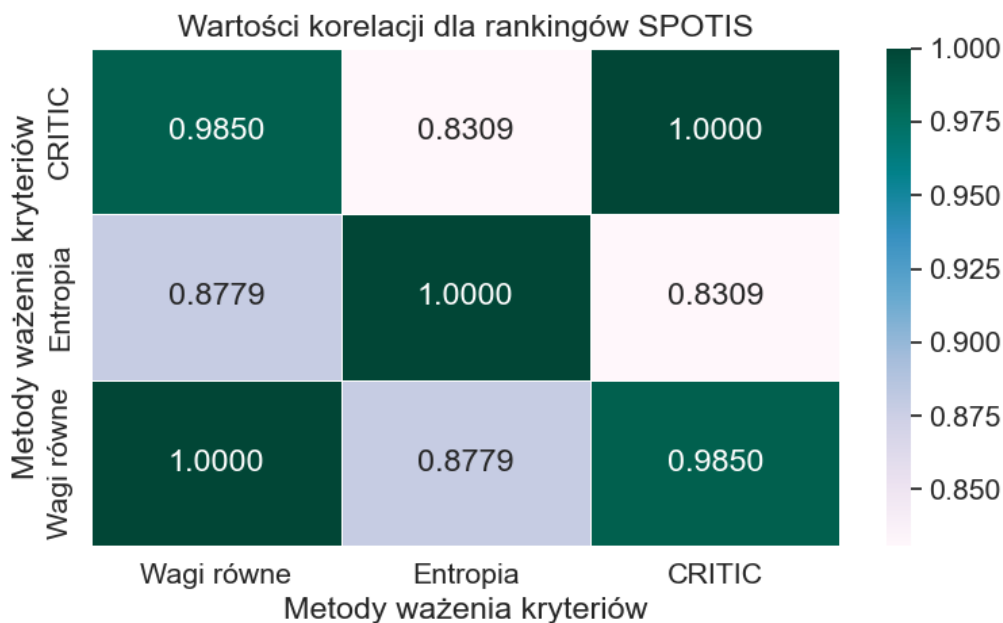
Rysunek 15. Wartości korelacji Pearsona dla rankingów VIKOR wyznaczonych z wykorzystaniem różnych metod wyznaczania wag kryteriów. Źródło: opracowanie własne.

Wyniki badania korelacji rankingów uzyskanych z użyciem metody AHP dla trzech różnych technik wyznaczania wag kryteriów przedstawiono na Rysunku 16. W przypadku AHP najsilniejszą korelację wykazały rankingi uzyskane z wykorzystaniem wag równych i obliczonych metodą CRITIC. Najmniej podobne były rankingi dla wag entropii i CRITIC.



Rysunek 16. Wartości korelacji Pearsona dla rankingów AHP wyznaczonych z wykorzystaniem różnych metod wyznaczania wag kryteriów. Źródło: opracowanie własne.

Korelacje dla rankingów uzyskanych z użyciem metody SPOTIS dla trzech różnych technik wyznaczania wag kryteriów zwizualizowano na Rysunku 17. Najwyższą zbieżność zaobserwowano dla rankingów uzyskanych dla wag równych i obliczonych metodą CRITIC. Najśłabsza korelacja została odnotowana pomiędzy rankingami dla wag entropii i CRITIC.



Rysunek 17. Wartości korelacji Pearsona dla rankingów SPOTIS wyznaczonych z wykorzystaniem różnych metod wyznaczania wag kryteriów. Źródło: opracowanie własne.

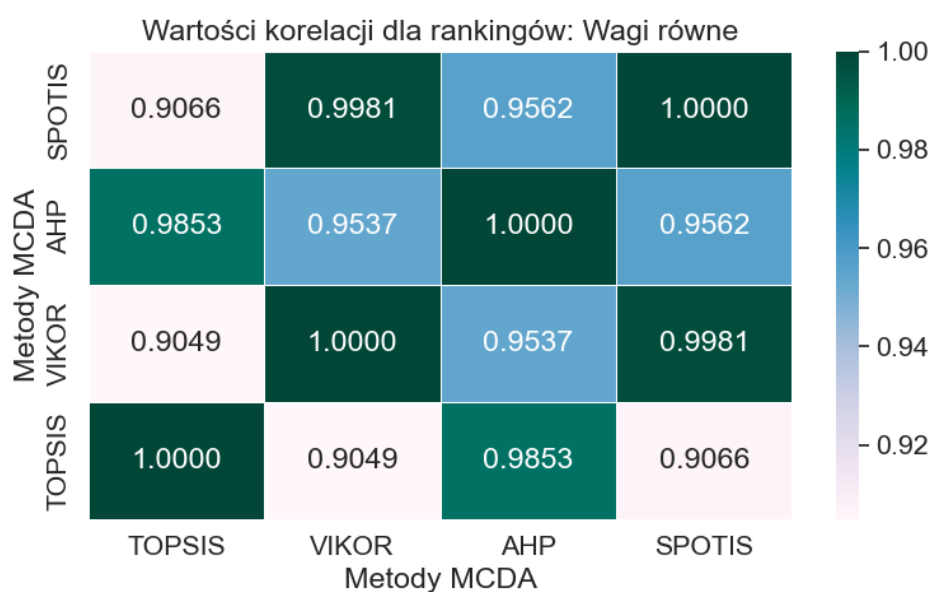
Przeprowadzone badanie wskazuje na to, że najwięcej wyników potwierdzających silną korelację otrzymano dla wag równych i obliczonych metodą CRITIC (VIKOR, AHP i SPOTIS). Jedyne dla TOPSIS najwyższą zbieżność wykazały rankingi utworzone z wykorzystaniem wag entropii i CRITIC. Jednak nawet w przypadku TOPSIS korelacja pomiędzy rankingami wygenerowanymi dla wag równych i CRITIC była wysoka (0.9289). Metoda CRITIC umożliwiła wyznaczenie wag o dosyć równomiernym rozkładzie wartości istotności rozważanych kryteriów, zbliżonym do wag równych, jednak z uwzględnieniem charakteru wartości w macierzy danych wejściowych, co jest widoczne w zauważalnych różnicach pomiędzy poszczególnymi wagami. W przypadku metody entropii różnice w poszczególnych wartościach istotności kryteriów są o wiele bardziej wyraźne, co pozwala na wskazanie pewnych kryteriów wiodących. Wysoka istotność wag entropii jest zależna od rozkładu wartości dla poszczególnych kryteriów uzyskanych przez alternatywy, co nie zawsze jest zgodne z subiektywnymi preferencjami decydentów. W przypadku braku ekspertów gotowych wyznaczyć subiektywnie wagi kryteriów uwzględnionych w ocenie może to sugerować skłanianie się w kierunku wyboru metody CRITIC, której wyniki dają wartości wag o bardziej równomiernym rozkładzie. Inną opcją jest wykorzystanie obu metod i przeprowadzenie analizy porównawczej tak jak w przedstawionym przypadku, co daje

decydom możliwość porównania różnych rozwiązań oraz wspomagany przez metody wielokryterialne wybór najlepszego z nich.

Rozdział 5.5. Analiza zbieżności rankingów dostarczonych przez poszczególne metody MCDA

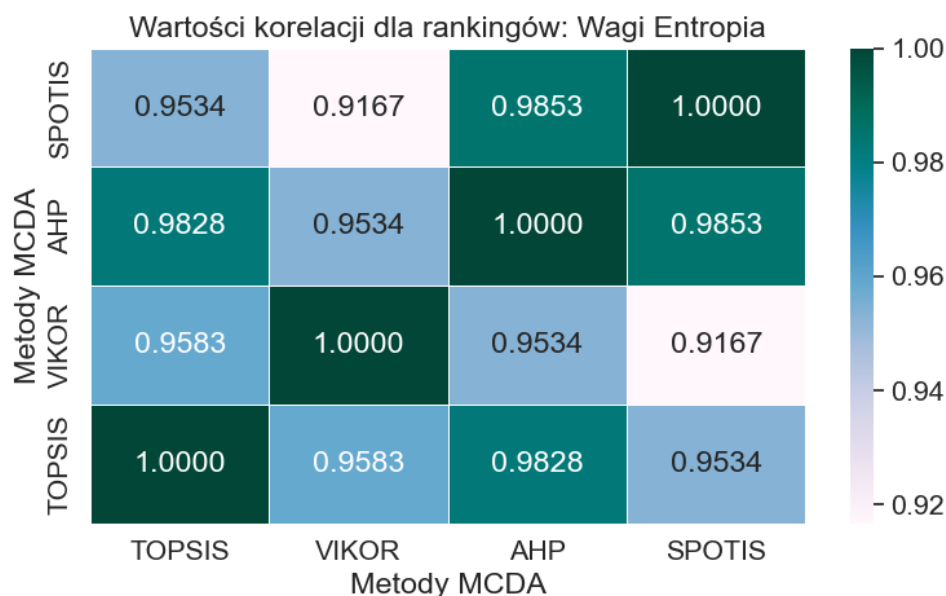
Korelacje dla rankingów uzyskanych przy pomocy TOPSIS i trzech referencyjnych metod MCDA z wykorzystaniem równych wag kryteriów przedstawiono na Rysunku 18.

Można zaobserwować, że najwyższą korelację uzyskano dla porównań rankingów SPOTIS i VIKOR (0.9981) oraz TOPSIS i AHP (0.9853). Najwyższą wartość korelacji dla analizy porównawczej rankingów wygenerowanego przy pomocy metody TOPSIS uzyskano dla metody AHP (0.9853). Wysoka korelacja rankingów SPOTIS i VIKOR wynika z podobieństwa algorytmów tych metod, które oceniają alternatywy w oparciu o idealne rozwiązanie referencyjne. W przypadku metody TOPSIS ocena alternatyw jest dokonywana z uwzględnieniem zarówno rozwiązania idealnego jak i anty-idealnego. Stąd wynikają niższe korelacje rankingów TOPSIS z rankingami VIKOR i SPOTIS. Wyniki mogą jednak się różnić w zależności od wyboru innych metod wspomagających wielokryterialną analizę decyzyjną takich, jak na przykład metody wyznaczania wag kryteriów. Korelacje dla rankingów uzyskanych przy pomocy TOPSIS i trzech referencyjnych metod MCDA z wykorzystaniem wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii zwizualizowano na Rysunku 19.



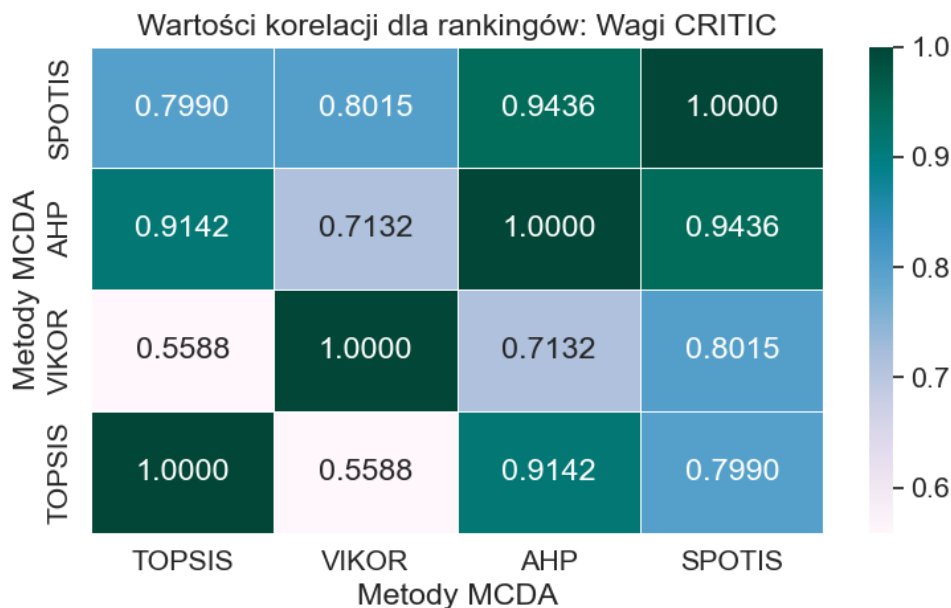
Rysunek 18. Korelacje rankingów uzyskanych z wykorzystaniem różnych metod MCDA dla równych wag kryteriów. Źródło: opracowanie własne.

Najsilniejszą korelację wykazały rankingi SPOTIS i AHP oraz TOPSIS i AHP. W przypadku rankingu TOPSIS najsilniejszą korelację stwierdzono podczas porównania go z rankingiem AHP (0.9828). Jednak porównanie z rankingiem VIKOR i SPOTIS również wykazały dużą zbieżność. Wartość współczynnika Pearsona wyniosła dla nich odpowiednio 0.9583 i 0.9534.



Rysunek 19. Korelacje rankingów uzyskanych z wykorzystaniem różnych metod MCDA dla wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii. Źródło: opracowanie własne.

Korelacje dla rankingów uzyskanych przy pomocy TOPSIS i trzech referencyjnych metod MCDA z wykorzystaniem wag kryteriów wyznaczonych metodą CRITIC zaprezentowano na Rysunku 20. Najsilniej skorelowane okazały się rankingi SPOTIS i AHP oraz TOPSIS i AHP. Najwyższą korelację podczas porównywania rankingu TOPSIS odnotowano dla rankingu AHP (0.9142).



Rysunek 20. Korelacje rankingów uzyskanych z wykorzystaniem różnych metod MCDA dla wag kryteriów wyznaczonych metodą CRITIC. Źródło: opracowanie własne.

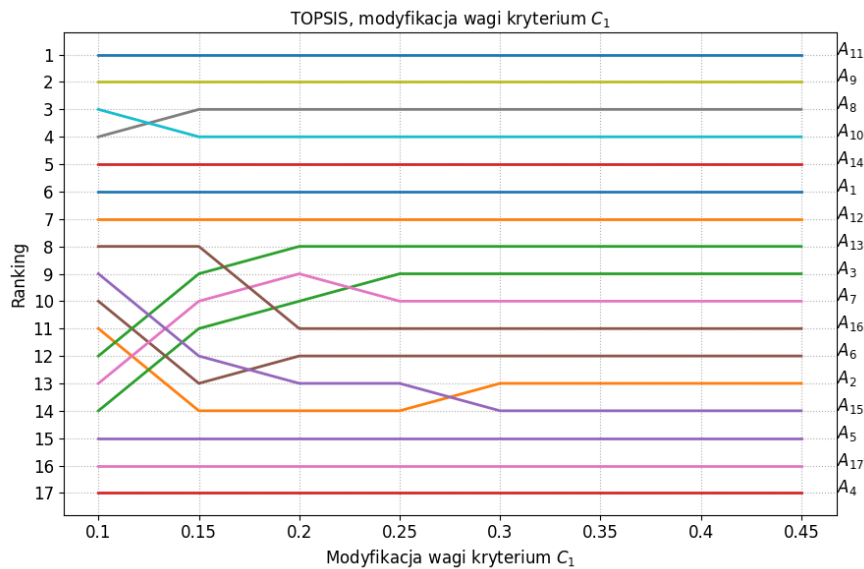
Przeprowadzona analiza wrażliwości pozwala stwierdzić, że rankingi TOPSIS wykazały najwyższą zbieżność z rankingami AHP, a najniższą z rankingami VIKOR.

Rozdział 5.6. Analiza wrażliwości

Kolejnym etapem badań było przeprowadzenie analizy wrażliwości rankingów ocenianych alternatyw, czyli wybranych narzędzi do modelowania procesów biznesowych na modyfikacje wag poszczególnych kryteriów oceny. Modyfikacja wag polega na krokowym zwiększaniu wagi poszczególnych kryteriów podczas gdy wagi pozostałych kryteriów otrzymują równą wartość taką, by suma wag wszystkich kryteriów wynosiła 1. Dla każdej zmiany wartości modyfikowanego kryterium wyznaczany jest ranking przy pomocy metody wielokryterialnej. W niniejszym badaniu analizę wrażliwości przeprowadzono dla metody TOPSIS, a jej wyniki przedstawiono na wykresach liniowych prezentujących zmiany rankingów. Modyfikację kryteriów przeprowadzono w zakresie od wartości 0.1 do 0.45 ze zmiennym krokiem 0.05. Taki przebieg procedury jest uzasadniony faktem, że jedynie w takim zakresie obserwowano zmiany rankingów, przy wyższych wartościach modyfikowanych kryteriów nie występowały one.

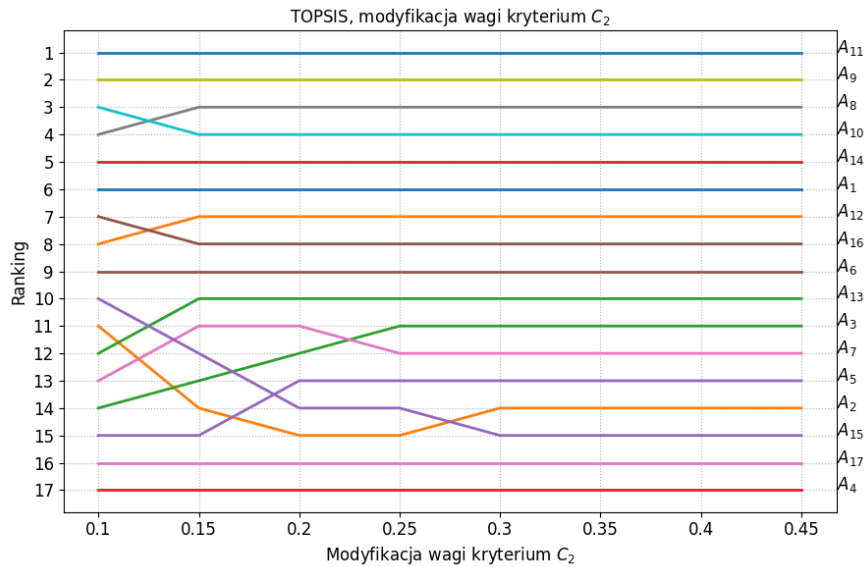
Na Rysunku 21 przedstawiono graficznie wyniki analizy wrażliwości przeprowadzonej z modyfikacją kryterium C_1 (Graficzne modelowanie procesów biznesowych). Można zaobserwować, że dwie najlepiej ocenione alternatywy, czyli A_{11} utrzymujący pozycję lidera

i A₉ na drugim miejscu mają stabilne pozycje. Najbardziej istotny awans związany ze wzrostem istotności kryterium C₁ można zaobserwować dla alternatywy A₃ i A₁₃. A₃ awansowało o 5 pozycji z miejsca 14 na 9, a A₁₃ o 4 pozycje z miejsca 12 na 8. Oba narzędzia mają dla kryterium C₁ wysokie wartości oceny czyli 5 w skali Likerta. Najbardziej zauważalny spadek o 5 pozycji z miejsca 9 na 14 odnotowano dla narzędzia A₁₅, które posiada gorszą wartość oceny Likerta dla tego kryterium, mianowicie 3.



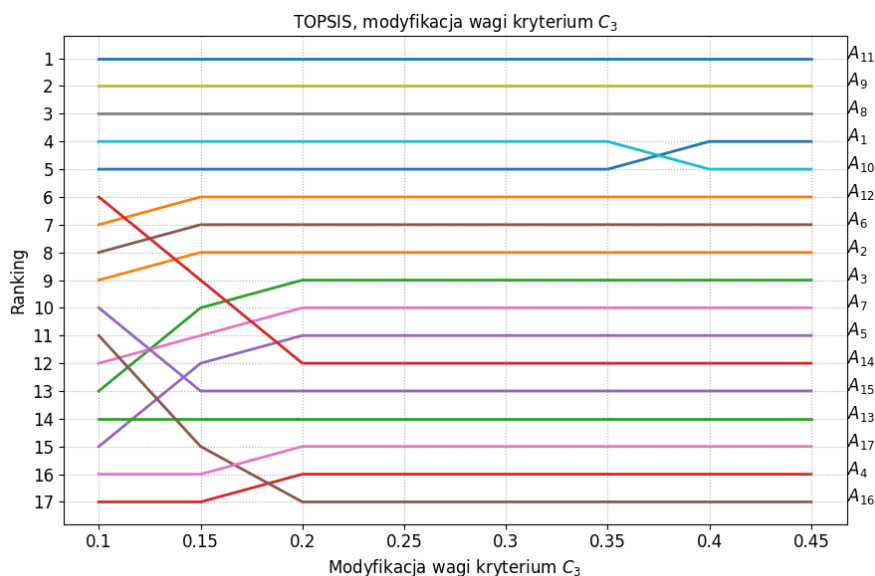
Rysunek 21. Analiza wrażliwości dla kryterium C₁. Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 22 przedstawia analogicznie przeprowadzoną analizę wrażliwości z modyfikacją kryterium C₂. W tym przypadku dwie najlepsze alternatywy A₁₁ i A₉ również utrzymały wiodące pozycje w miarę wzrostu istotności kryterium C₂. Najbardziej znaczący awans z o 3 pozycje z miejsca 14 na 11 odnotowano dla alternatywy A₃. Największy spadek o 5 pozycji z miejsca 10 na 15 zaobserwowano natomiast dla alternatywy A₁₅.



Rysunek 22. Analiza wrażliwości dla kryterium C_2 . Źródło: opracowanie własne.

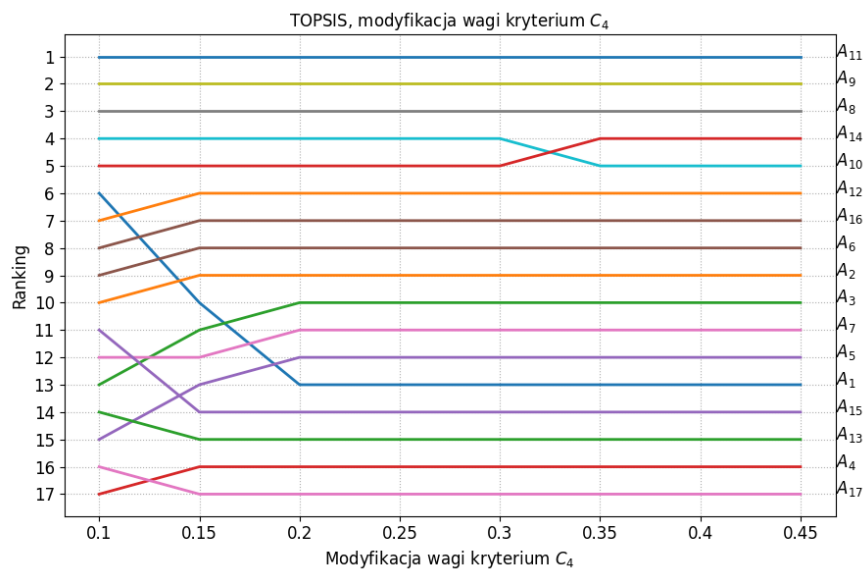
Rysunek 23 przedstawia wyniki analizy wrażliwości przeprowadzonej dla kryterium C_3 . Trzy najlepsze alternatywy w rankingach A_{11} , A_9 i A_8 pozostają na stabilnych pozycjach bez względu na zmianę wartości wagi kryterium C_3 . Najbardziej znaczący awans zaobserwowano dla alternatywy A_3 o 4 pozycje z miejsca 13 na 9 i dla A_5 również o 4 pozycje z miejsca 15 na 11.



Rysunek 23. Analiza wrażliwości dla kryterium C_3 . Źródło: opracowanie własne.

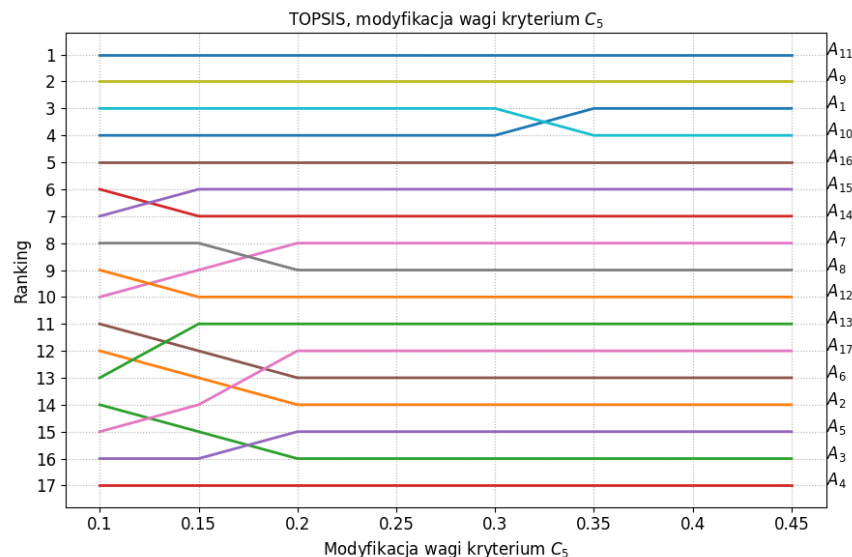
W przypadku modyfikacji wag kryterium C_4 i badania jej wpływu na rankingi przedstawionego graficznie na Rysunku 24 trzy najlepiej ocenione alternatywy A_{11} , A_9 i A_8 utrzymują stabilne lideryskie pozycje. Największy awans o 3 pozycje odnotowano dla

alternatywy A_3 z miejsca 13 na 10 i A_5 z miejsca 15 na 12. Bardziej znaczący okazał się spadek alternatywy A_1 o 7 pozycji z miejsca 6 na 13.



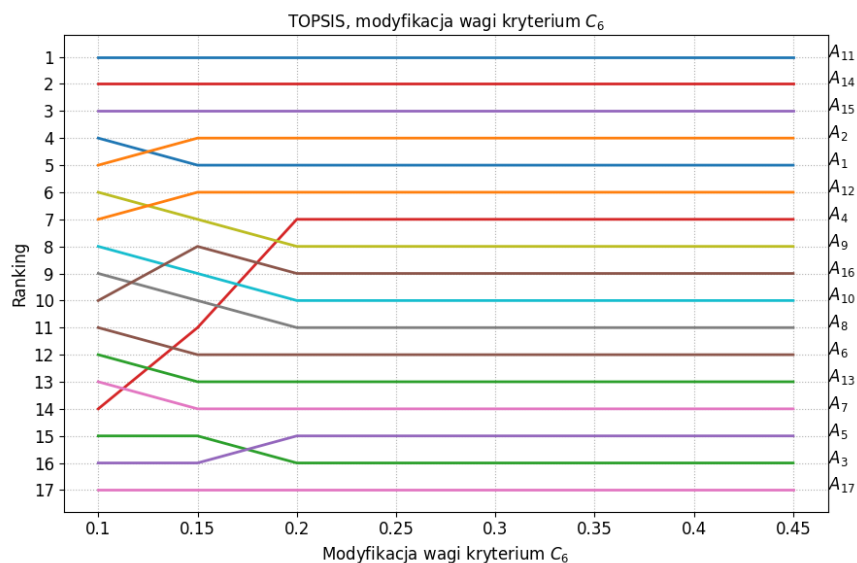
Rysunek 24. Analiza wrażliwości dla kryterium C_4 . Źródło: opracowanie własne.

W przypadku modyfikacji wagi kryterium C_5 i badania jego wpływu na rankingi przedstawionego na Rysunku 25 największa zaobserwowana zmiana dotyczyła alternatywy A_{17} i był to awans o 3 pozycje z miejsca 15 na 12.



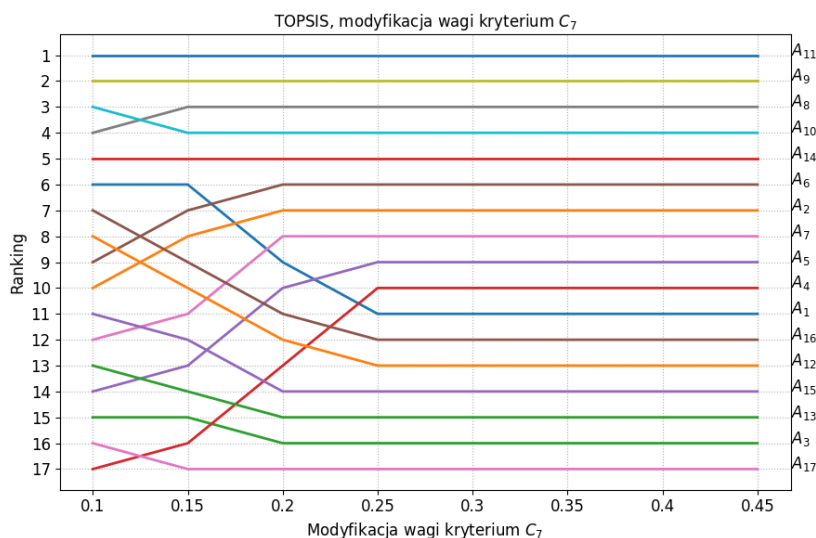
Rysunek 25. Analiza wrażliwości dla kryterium C_5 . Źródło: opracowanie własne.

Bardziej istotną zmianę zaobserwowano podczas wzrostu istotności kryterium C_6 . Dotyczyła ona awansu alternatywy A_4 o 7 pozycji z miejsca 14 na 7. Efekty analizy zmian rankingów pod wpływem modyfikacji wagi kryterium C_7 zaprezentowano na Rysunku 27.



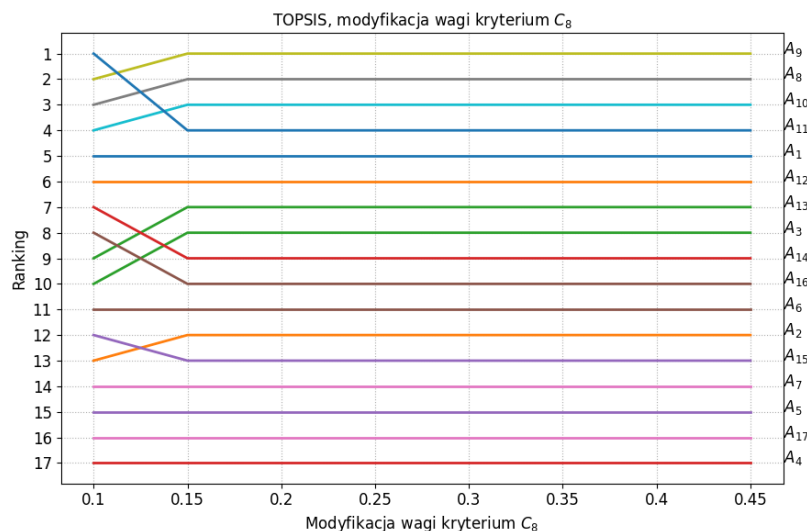
Rysunek 26. Analiza wrażliwości dla kryterium C_6 . Źródło: opracowanie własne.

Awans o 7 pozycji odnotowano także dla alternatywy A_4 z ostatniego miejsca 17 na 10 w przypadku modyfikacji wagi kryterium C_7 , tak jak pokazano na Rysunku 27.



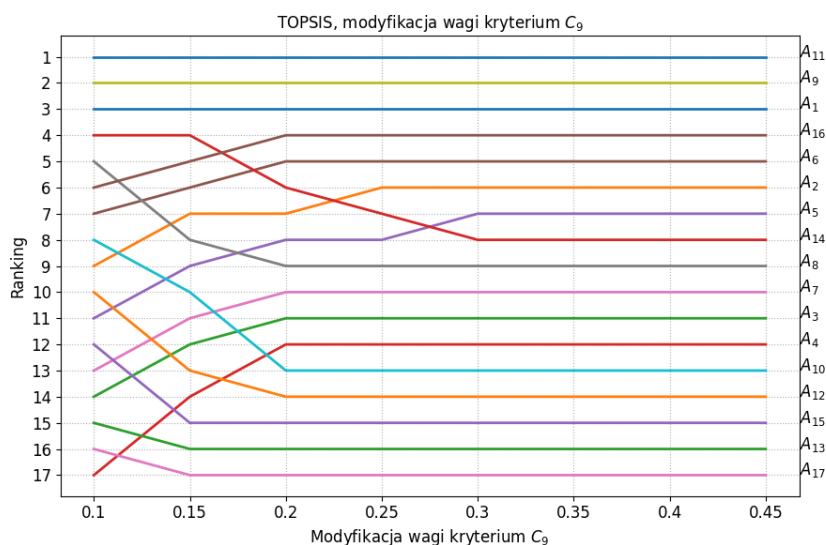
Rysunek 27. Analiza wrażliwości dla kryterium C_7 . Źródło: opracowanie własne.

Analizę wrażliwości przeprowadzoną dla kryterium C_8 przedstawiono na Rysunku 28. W przypadku modyfikacji wartości kryterium C_8 zmiany w rankingach nie były bardzo istotne i nie przekraczały przesunięć w rankingach o więcej niż 3 pozycje.



Rysunek 28. Analiza wrażliwości dla kryterium C_8 . Źródło: opracowanie własne.

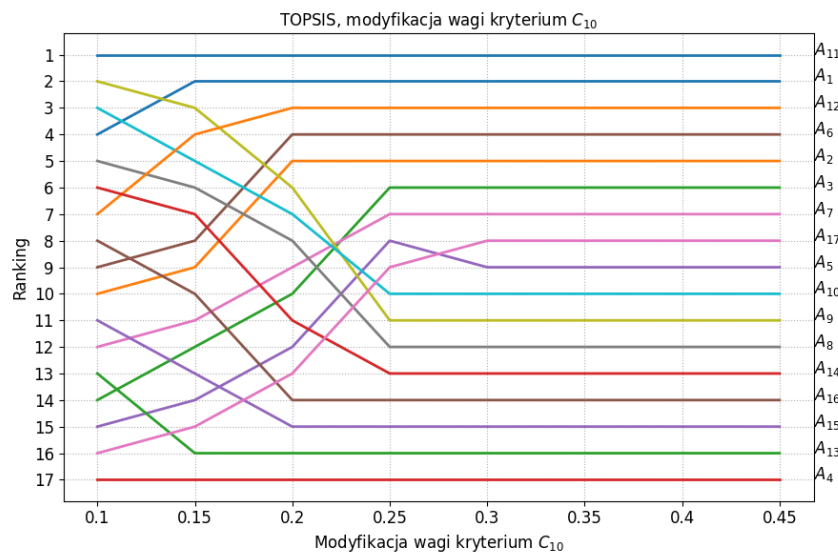
Dla analizy wrażliwości z uwzględnieniem wzrostu wartości wag kryterium C_9 , której wyniki zwizualizowano na Rysunku 29, zmiany w rankingach były bardziej zauważalne. Można zaobserwować awans alternatywy A_4 o 5 pozycji z miejsca 17 na 12 oraz spadek alternatywy A_{10} o 5 pozycji z miejsca 8 na 13.



Rysunek 29. Analiza wrażliwości dla kryterium C_9 . Źródło: opracowanie własne.

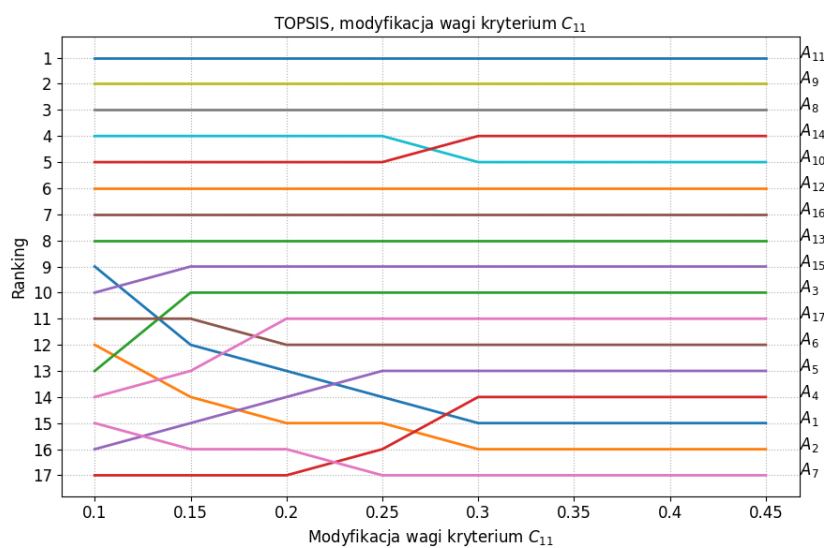
Rysunek 30 zawiera wykresy liniowe reprezentujące przesunięcia w rankingach będące wynikiem wzrostu istotności kryterium C_{10} . Łatwo zauważyć, że zmiany są istotne i dotyczą wszystkich rozważanych w badaniu alternatyw z wyjątkiem stabilnego lidera którym jest alternatywa A_{11} oraz alternatywa najslabiej oceniona bez względu na istotność kryterium C_{10} ,

czyli A_4 . Uwagę zwraca awans alternatywy A_{17} o osiem pozycji z miejsca 16 na 8 i spadek alternatywy A_9 o 9 pozycji z miejsca 2 na 11.



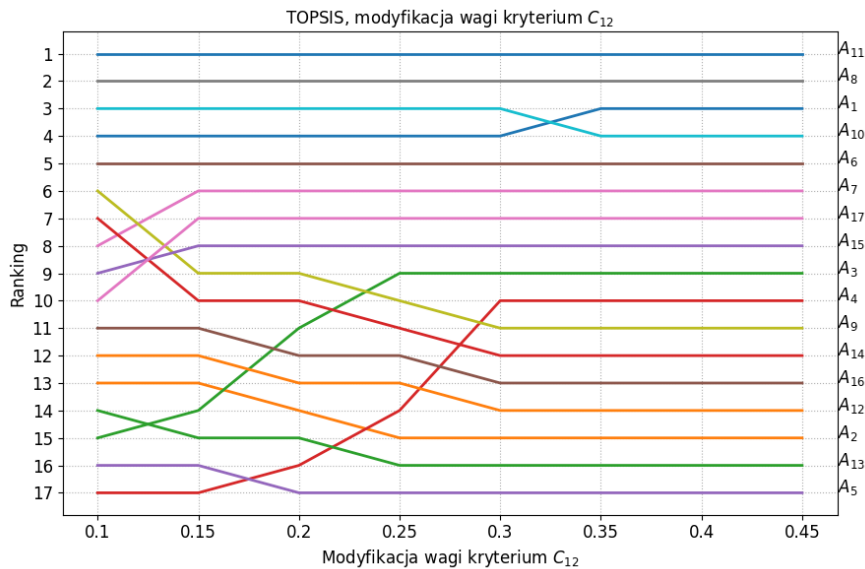
Rysunek 30. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{10} . Źródło: opracowanie własne.

Wyniki analizy wrażliwości przeprowadzonej z uwzględnieniem modyfikacji wagi kryterium C_{11} zaprezentowano na Rysunku 31. W przypadku wzrostu istotności kryterium C_{11} odnotowano przesunięcia w rankingach dla mniejszej liczby alternatyw, 6 alternatyw pozostało na niezmiennych pozycjach. Zakres obserwowanych zmian nie był znaczny. Najbardziej istotne przesunięcie odnotowano dla alternatywy A_1 i był to spadek o 6 pozycji z miejsca 9 na 15.



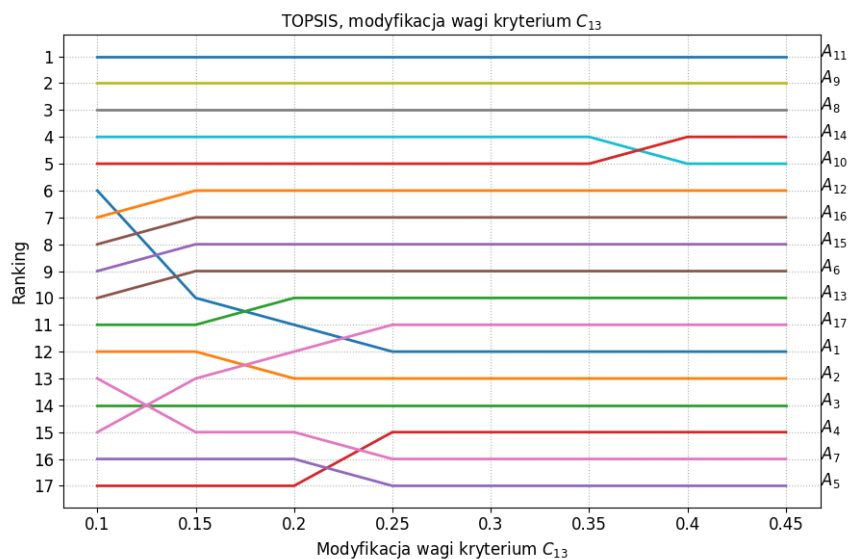
Rysunek 31. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{11} . Źródło: opracowanie własne.

W przypadku analizy wrażliwości z modyfikacją kryterium C_{12} przedstawionej na Rysunku 32 uwagę zwraca istotny awans alternatywy A_4 o 7 pozycji z ostatniego 17 miejsca na miejsce 10 oraz alternatywy A_3 o 6 pozycji z miejsca 15 na 9. Najbardziej istotne pogorszenia wyników w miarę wzrostu istotności kryterium C_{12} obejmowały spadek o 5 pozycji dla alternatywy A_9 z miejsca 6 na 11 i dla alternatywy A_{14} z miejsca 7 na 12.



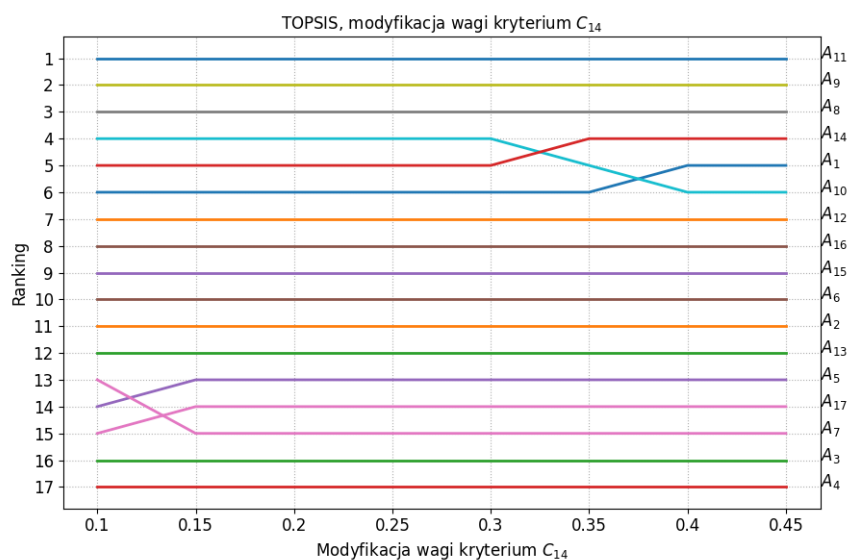
Rysunek 32. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{12} . Źródło: opracowanie własne.

Efekty analizy wrażliwości dla kryterium C_{13} w postaci zmian rankingów przedstawiono na Rysunku 33. W przypadku stopniowego wzrostu istotności kryterium C_{13} najbardziej istotna zmiana w rankingu została zaobserwowana dla alternatywy A_1 jako spadek o 6 pozycji z miejsca 6 na 12.



Rysunek 33. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{13} . Źródło: opracowanie własne.

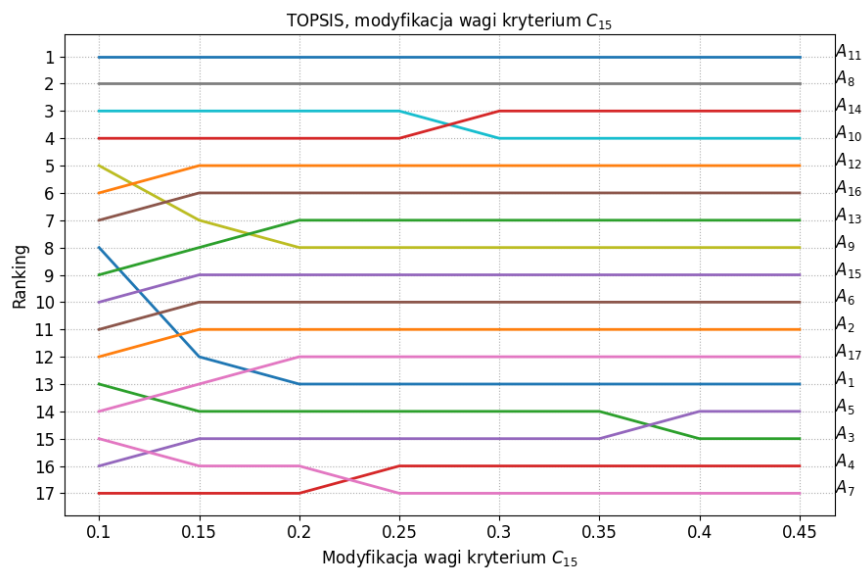
Dla analizy wrażliwości uwzględniającej stopniowy wzrost istotności kryterium C_{14} zaprezentowanej na Rysunku 34 rankingi zachowywały się bardzo stabilnie. Większość alternatyw pozostała na niezmiennych pozycjach. Odnotowano nieliczne przesunięcia jedynie w przypadku 6 alternatyw spośród 17 uwzględnionych w analizie nie przekraczające zakresu 2 pozycji.



Rysunek 34. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{14} . Źródło: opracowanie własne.

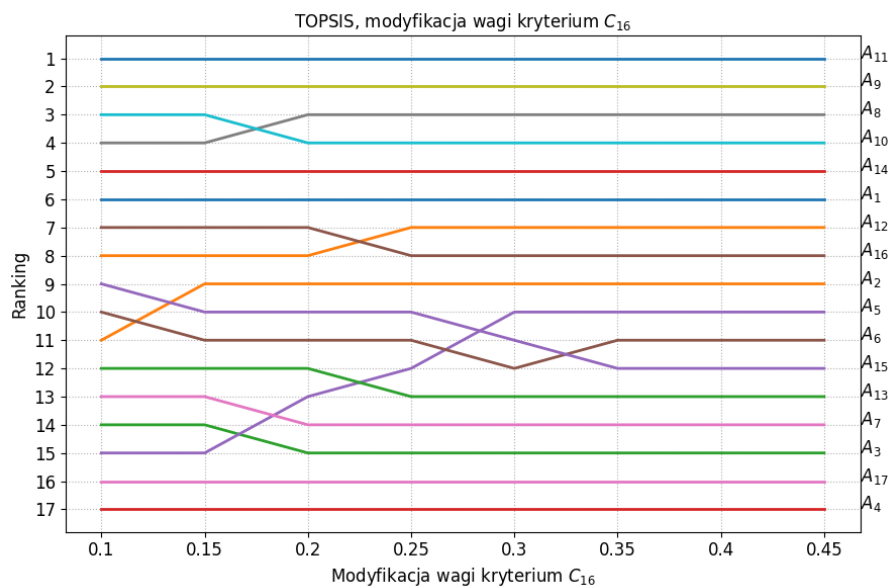
Dla analizy wrażliwości uwzględniającej modyfikację kryterium C_{15} , której efekty widoczne są na Rysunku 35, przesunięcia w rankingach były bardziej znaczące.

W szczególności uwagę zwraca spadek alternatywy A_1 o 5 pozycji z miejsca 8 na 13 w miarę wzrostu istotności kryterium C_{15} .



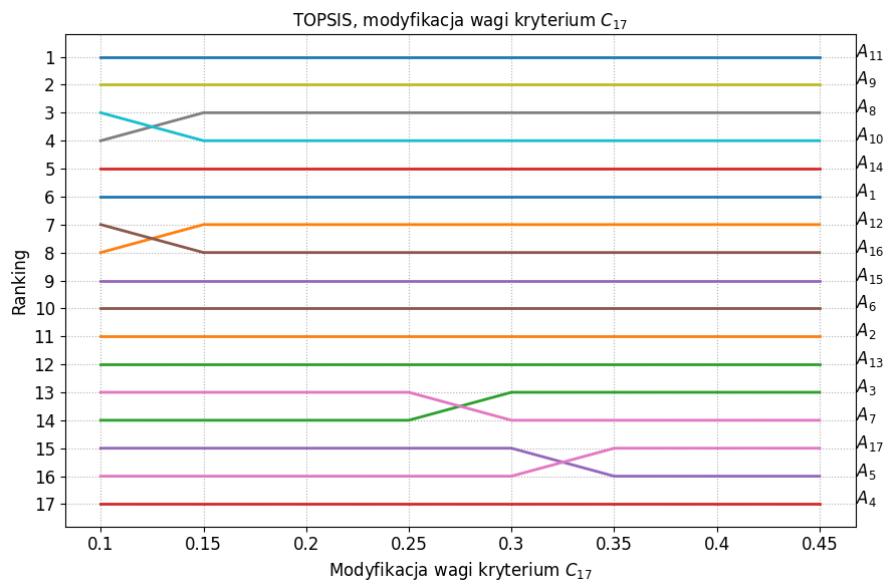
Rysunek 35. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{15} . Źródło: opracowanie własne.

Awans o 5 pozycji odnotowano natomiast dla alternatywy A_5 z miejsca 15 na 10 podczas wzrostu istotności kryterium C_{16} w procedurze analizy wrażliwości, której wyniki zaprezentowano na Rysunku 36.



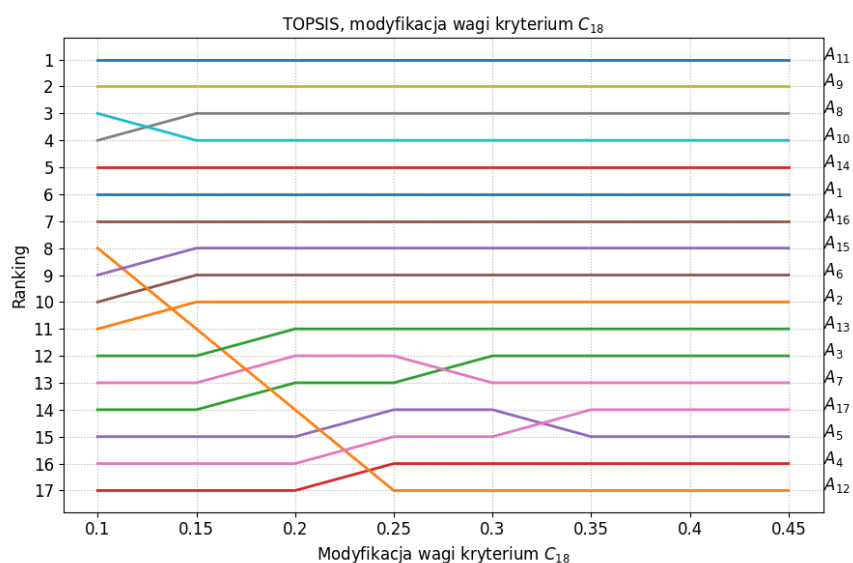
Rysunek 36. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{16} . Źródło: opracowanie własne.

Modyfikacja istotności kryterium C_{17} w analizie wrażliwości, której efekty zwizualizowano na Rysunku 37, nie przyczyniła się do wielu znaczących przesunięć w rankingu. Odnotowano przesunięcia w zakresie 1 pozycji jedynie dla 8 alternatyw.



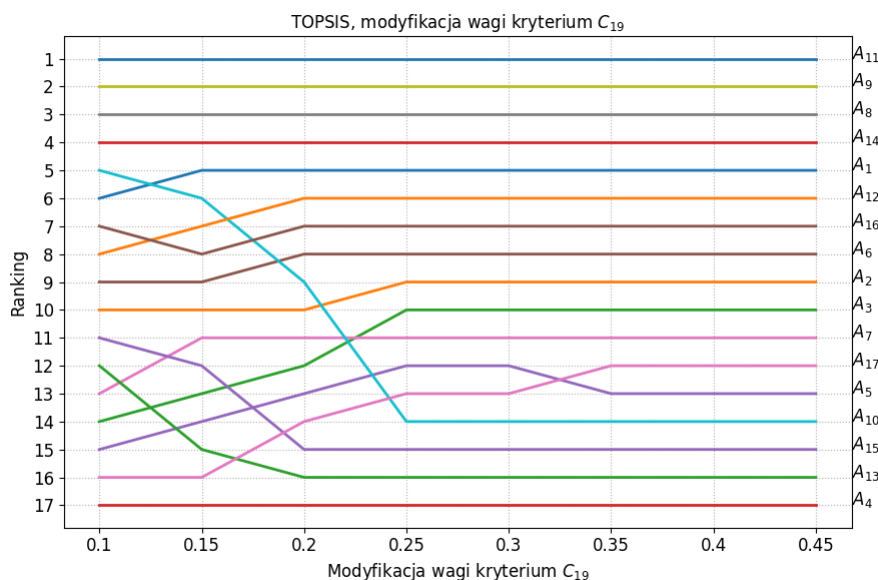
Rysunek 37. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{17} . Źródło: opracowanie własne.

W przypadku analizy wrażliwości z uwzględnieniem wzrostu istotności kryterium C_{18} , której wyniki przedstawiono na Rysunku 38, sytuacja była odmienna. Przesunięć w rankingach było więcej i jedynie 5 alternatyw pozostało na niezmiennych pozycjach. Najbardziej istotną zmianą spowodowaną zwiększaniem wagi kryterium C_{18} okazał się spadek alternatywy A_{12} o 9 pozycji z miejsca 8 na ostatnią 17 pozycję.



Rysunek 38. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{18} . Źródło: opracowanie własne.

Duży zakres zmian odnotowano podczas analizy wrażliwości, której wyniki zwizualizowano na Rysunku 39, uwzględniającej wzrost istotności kryterium C_{19} dla alternatywy A_{10} która spadła o 9 pozycji z miejsca 5 na 14. Najistotniejszy awans o 4 pozycje w rankingach w tej sytuacji miał natomiast miejsce dla alternatyw A_3 która awansowała z miejsca 14 na 10 i A_{17} która poprawiła swój wynik z miejsca 16 na 12.



Rysunek 39. Analiza wrażliwości dla kryterium C_{19} . Źródło: opracowanie własne.

Przeprowadzona analiza wrażliwości umożliwia przedstawienie interesujących wniosków. Alternatywa A_{11} jest alternatywą o silnej i stabilnej pozycji, ponieważ utrzymuje pozycję lidera podczas pełnej analizy wrażliwości przeprowadzonej dla wszystkich kryteriów z wyjątkiem C_8 , w której spada z miejsca pierwszego na czwarte przy wzroście wagi kryterium C_8 z 0.1 do 0.15. Następnie A_{11} utrzymuje czwartą pozycję podczas dalszego wzrostu istotności kryterium C_8 . Jest to uzasadnione faktem, że dla kryterium C_8 narzędzie A_{11} otrzymało ocenę Likerta niższą niż w przypadku pozostałych kryteriów oceny, równą 3. Oceny dla tej alternatywy względem pozostałych kryteriów były równe 5.

Kolejną wysoko ocenioną alternatywą jest A_9 , która w analizie wrażliwości przeprowadzonej dla większości kryteriów utrzymywała wysokie drugie miejsce w rankingu. W przypadku wzrostu istotności kryterium C_{10} dla narzędzia A_9 odnotowano jednak znaczny spadek w rankingu z miejsca 2 na 11. Jest to spowodowane niską wartością w skali Likerta tego narzędzia względem kryterium C_{10} , która wynosi dla niego 3.

Przeprowadzona analiza pokazuje również, że modyfikacja istotności poszczególnych kryteriów nie powoduje jednakowo znaczących przesunięć w rankingach. Dla pewnych

kryteriów przesunięcia te są mało znaczące. Jako przykład można podać kryteria takie jak C₈, C₁₄ i C₁₇. Duży zakres zmian powodowała natomiast analiza wrażliwości przeprowadzona dla kryteriów C₇, C₉, C₁₀, C₁₂ i C₁₉.

Wyniki analizy wrażliwości pokazują, że jest ona wartościowym i przydatnym narzędziem poszerzającym możliwości analizy wielokryterialnej. Umożliwia badanie stabilności alternatyw z uwzględnieniem zmiennych preferencji decydentów dotyczących istotności kryteriów i analizę wybranych scenariuszy. W przyszłych pracach metoda ta może być wykorzystana do badania wpływu zmian wartości w macierzy decyzyjnej na przesunięcia w rankingach.

Rozdział 5.7. Dyskusja

Jak wykazały wyniki, najbardziej zrównoważonym wyborem spośród narzędzi wykorzystywanych do modelowania procesów rozważanych w tej pracy na podstawie analizowanych modeli oceny czterech użytych w pracy metod MCDA oraz analizy wrażliwości jest narzędzie do modelowania procesów biznesowych o nazwie Visual Paradigm oznaczone symbolem A₁₁. Visual Paradigm został wskazany przez wszystkie zastosowane metody MCDA jako lider rankingów. Otrzymane wyniki świadczą o silnej pozycji i stabilności tego narzędzia pod względem wszystkich kryteriów oceny nawet w przypadku zmiany ich priorytetów. Według (Haj Ayeche i in. Visual Paradigm jest zaawansowanym i wszechstronnym narzędziem do modelowania procesów biznesowych, które oferuje szeroki zakres funkcji i możliwości modelowania (Haj Ayeche i in., 2021). Zdaniem Yousefli i in. umożliwia użytkownikom tworzenie różnych typów diagramów takich jak na przykład diagramy przepływu pracy, przepływu danych, mapy procesów oraz diagramy BPMN (Yousefli i in., 2020). Jak twierdzą Rosca i Domingues, Visual Paradigm posiada przejrzysty i intuicyjny interfejs, co znacznie ułatwia użytkownikom naukę i szybkie tworzenie diagramów bez dużego nakładu czasu (Rosca & Domingues, 2021). Jak podają Lipski i Lipski, Visual Paradigm jest aplikacją, która wspiera różne standardy modelowania procesów, takie jak BPMN, UMF, DFD i wiele innych. Dzięki temu użytkownicy mają możliwość przekształcania utworzonych schematów w profesjonalne diagramy (Lipski & Lipski, 2022). Według Nagm-Aldeen i in. narzędzie umożliwia pracę zespołową, co daje możliwość wspólnego zdalnego opracowywania projektów przez różne osoby nawet z odległych lokalizacji (Nagm-Aldeen i in., 2015). Jak twierdzą Yousefli i in., Visual Paradigm pozwala na automatyczne generowanie dokumentacji i raportów na podstawie utworzonych diagramów, ułatwiając dokumentowanie procesów biznesowych (Yousefli i in.,

2020). Visual Paradigm zapewnia integrację z innymi narzędziami takimi jak MS Office, GitHub, JIRA, Trello, co ułatwia zarządzanie projektem i synchronizację danych (Voit & Bochkov, 2021). Narzędzie umożliwia przeprowadzanie analizy procesów biznesowych i symulacji, dzięki czemu użytkownicy mają możliwość identyfikacji obszarów wymagających optymalizacji i usprawnień (Kombaya Touckia i in., 2022). Istotną zaletą, na które zwracają uwagę Desolda i in., jest również wsparcie techniczne dla użytkowników udzielane przez firmę dostarczającą Visual Paradigm, która regularnie aktualizuje narzędzie udostępniając nowe funkcje i rozwiązania problemów (Desolda i in., 2020). Łatwość użycia, wsparcie dla wielu standardów, zaawansowane funkcje oraz dostępność wersji darmowej czyni z Visual Paradigm wartościowe narzędzie do modelowania procesów biznesowych.

Dzięki swoim zaletom Visual Paradigm sprawdza się w przedsiębiorstwach, ponieważ umożliwia efektywne zarządzanie procesami biznesowymi, optymalizację działań, wzrost wydajności, współpracę zespołową, łatwe wprowadzanie zmian, zapewnia ułatwienie analizy i podejmowanie decyzji dotyczących działań firmy (Górski, 2022). Visual Paradigm to narzędzie proste do nauczenia się i korzystania, co ułatwia prowadzenie szkoleń dla nowych pracowników i szybką adaptację w firmie (Gosala i in., 2021). Narzędzie umożliwia przeprowadzenie symulacji i testowanie różnych scenariuszy, co daje możliwość sprawdzenia i zrozumienia jeszcze przed wdrożeniem jak procesy biznesowe będą działały w praktyce (Kombaya Touckia i in., 2022). Możliwość śledzenia zmian i wersjonowania diagramów wskazywane przez Bahari i Asadi pozwalają na monitorowanie postępu projektów i powrót do wcześniejszych wersji w przypadku, gdy zajdzie taka konieczność (Bahari & Asadi, 2020). Korzyści te przyczyniają się do efektywnego zarządzania procesami biznesowymi, optymalizacji działań, zwiększenia produktywności i poprawy wydajności operacyjnej w firmie.

Wyniki dla kolejnych alternatyw w obrębie poszczególnych metod MCDA nie są tak jednolite. W przypadku równych wag kryteriów narzędzie Adonis (A_9) zajęło drugie miejsce w rankingach TOPSIS, VIKOR i AHP, ale w rankingu SPOTIS było trzecie, co przedstawia Tabela 22 i Rysunek 11. Jeszcze więcej różnic można zaobserwować w przypadku analizy wyników dla narzędzia Bizagi Studio (A_8), które w rankingu TOPSIS zajęło czwarte miejsce, w rankingu AHP było trzecie a w rankingach VIKOR i SPOTIS drugie. Różnice w rankingach wygenerowanych przez poszczególne metody wynikają z różnic w ich algorytmach. Metoda TOPSIS tworzy rankingi w oparciu o pomiar odległości rozważanych alternatyw od rozwiązania idealnego i antyidealnego (Hezer i in., 2021). W ocenie TOPSIS promowane są

więc wyważone rozwiązania, których wartości dla poszczególnych kryteriów są jednocześnie jak najbliższe rozwiązaniu idealnemu i jak najdalsze od rozwiązania antyidealnego (H. Arora & Naithani, 2022).

Metody VIKOR i SPOTIS szeregują natomiast alternatywy w oparciu o bliskość alternatyw do idealnego rozwiązania (J. Dezert i in., 2020; Sari, 2021b). Z kolei metoda AHP agreguje priorytety lokalne alternatyw w celu wygenerowania rankingu (Bathrinath i in., 2021; Y. Liu i in., 2020).

Wymienione różnice w algorytmach wykorzystanych metod znajdują odzwierciedlenie w wynikach badania korelacji rankingów uzyskanych z wykorzystaniem poszczególnych metod MCDA. Na Rysunku 18 widoczne są wartości korelacji dla rankingów MCDA wygenerowanych dla równych wag kryteriów. Najsilniejszą korelację odnotowano dla rankingów VIKOR i SPOTIS, których algorytmy promują rozwiązania jak najbliższe rozwiązaniu idealnemu, a nie uwzględniają w obliczeniach rozwiązania antyidealnego i odległości od niego. Ranking metody TOPSIS wykazuje natomiast najsilniejszą korelację z rankingiem metody AHP. W przypadku zastosowania innych technik ważenia niż wagi równe wyniki dla metod VIKOR i SPOTIS przedstawiają się inaczej ze względu na inne priorytety kryteriów. Jednak warto zwrócić uwagę na fakt, że ranking metody TOPSIS jest w przypadku zastosowania wag wyznaczonych metodą entropii i CRITIC najsilniej skorelowany z rankingiem metody AHP, a dla rankingów VIKOR i SPOTIS wartości współczynnika korelacji Pearsona są niższe.

Narzędzie Bizagi Studio ma niskie wartości oceny dla kryteriów C_5 , C_6 , C_9 i C_{10} , jednak wysokie wartości dla pozostałych kryteriów powodują, że metody VIKOR i SPOTIS szeregują to narzędzie wyżej niż metoda TOPSIS uwzględniająca zarówno rozwiązania idealne jak i antyidealne oraz AHP agregująca wszystkie wartości w macierzy decyzyjnej.

Ze względu na różnice w działaniu poszczególnych algorytmów MCDA dla decydentów rekomendowany jest wybór metody w zależności od ich indywidualnych priorytetów, którymi kierują się w rozwiązywaniu danego problemu decyzyjnego. Jeśli dla decydentów istotne są jak najlepsze wartości w obrębie jak największej liczby ocenianych atrybutów, a nie mają dla nich znaczenia słabe wartości dla pojedynczych cech, to w tym przypadku zalecane są metody uwzględniające w ocenie bliskość do rozwiązania idealnego takie jak VIKOR lub SPOTIS. Jeśli jednak decydenci są zainteresowani wyborem bardziej wyważonych rozwiązań które posiadają jak najmniejszy poziom słabych wartości w obrębie

rozważanych kryteriów, to sugerowany jest wybór metody uwzględniającej w obliczeniach zarówno bliskość do rozwiązania idealnego jak i odległość od rozwiązania antyidealnego.

Innym aspektem wpływającym na uzyskane rankingi są wartości preferencji (wag) przypisane poszczególnym kryteriom. Ze względu na to rankingi VIKOR i SPOTIS dla wag wyznaczonych metodą entropii i CRITIC nie są tak silnie skorelowane jak było to obserwowane dla wag równych. Rozbieżności w rankingach są uwidocznione w Tabeli 24 i na Rysunku 12 dla wag wyznaczonych metodą entropii oraz w Tabeli 26 i na Rysunku 13 dla wag wyznaczonych metodą CRITIC. Dodatkowo można zaobserwować niższe wartości korelacji dla rankingów wygenerowanych przez te metody na Rysunku 19 dla wag obliczonych metodą entropii i na Rysunku 20 dla wag wyznaczonych metodą CRITIC w porównaniu do wyników korelacji rankingów dla wag równych przedstawionych na Rysunku 18.

Zakończenie

Jak wykazano w pracy, problematyka modelowania procesów biznesowych jest aktualna i ważna zarówno z naukowej jak i praktycznej perspektywy. Przytaczane jest szereg argumentów stanowiących o celowości użycia metod, technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych w przedsiębiorstwie. Z drugiej strony wskazywane jest szereg kluczowych czynników w procesie skutecznego wprowadzenia tych narzędzi w organizacji. Literatura przedmiotu wskazuje, że poprawne identyfikacja i dobór narzędzi modelowania procesów biznesowych pełnią rolę kluczową.

W tym aspekcie zdefiniowano cel pracy - budowa modelu oceny wielokryterialnej narzędzi wykorzystywanych w modelowaniu procesów biznesowych. Należy uznać, że został on osiągnięty. Wykorzystując literaturę referencyjną utworzono model obejmujący kryteria i narzędzia modelowania procesów biznesowych. Dokonano budowy autorskiej taksonomii tych narzędzi. W budowie autorskiego modelu do oceny alternatyw wykorzystano wielokryterialną metodę TOPSIS oraz w celu przeprowadzenia analizy porównawczej - trzy referencyjne metody MCDA, którymi są: VIKOR, AHP i SPOTIS. Analizę porównawczą przeprowadzono również dla trzech metod wyznaczania obiektywnych wag kryteriów, którymi są metoda wag równych, metoda entropii oraz metoda CRITIC. Analiza zbieżności wyników dla poszczególnych metod wielokryterialnych i metod ważenia ukazują jednoznacznie poprawność wykorzystanego aparatu matematycznego. Dodatkowo, w pracy wykorzystano również własności analityczne metod wielokryterialnych. Przeprowadzona analiza wrażliwości ukazała również siłę i stabilność pozyskanych rankingów narzędzi modelowania procesów biznesowych, co ma dużą wartość praktyczną.

Należy uznać, że osiągnięto również wszystkie zdefiniowane we wstępie cele pośrednie. Dokonując pogłębionej analizy literatury przedmiotu zidentyfikowano dostępne metody, techniki i narzędzia modelowania procesów biznesowych. Zanalizowano dostępne analizy porównawcze metod, technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych. Na bazie tego dokonano budowy autorskiej taksonomii metod i technik modelowania procesów biznesowych i kolejno, wykorzystując autorską taksonomię, opracowano autorski wielokryterialny model oceny narzędzi modelowania procesów biznesowych. Stosując komplementarne metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji oraz odmienne metody ważenia dokonano obiektywizacji wyników modelowania.

Uzyskane rezultaty jednoznacznie potwierdzają celowość wykorzystania metod wielokryterialnego wspomagania decyzji w procesie oceny narzędzi modelowania procesów biznesowych. Należy uznać, że hipoteza postaci „celowe jest opracowanie autorskiego, wielokryterialnego modelu oceny technik modelowania procesów biznesowych” została poprawnie zweryfikowana.

Oczywiście zawarte w pracy rozważania otwierają nowe obszary badawcze. Interesującym wyzwaniem wydaje się opracowanie szczegółowych taksonomii metod i technik modelowania procesów biznesowych. Stwarza to z kolei możliwość strukturalizacji wiedzy dla tego obszaru (na przykład poprzez opracowanie kompletnej ontologii metod, technik i narzędzi modelowania procesów biznesowych). Kolejnym interesującym wyzwaniem wydaje się uwzględnienie niepewności danych eksperckich zawartych w autorskiej taksonomii narzędzi modelowania procesów biznesowych. Zastosowanie w tym obszarze logiki rozmytej oraz rozwinięcie rozmytych metod wielokryterialnych wydaje się szczególnie interesującym wyzwaniem naukowym.

Bibliografia

1. Abbad Andaloussi, A., Burattin, A., Slaats, T., Kindler, E., & Weber, B. (2020a). On the declarative paradigm in hybrid business process representations: A conceptual framework and a systematic literature study. *Information Systems*, *91*, 101505. <https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101505>
2. Abbad Andaloussi, A., Burattin, A., Slaats, T., Kindler, E., & Weber, B. (2020b). On the declarative paradigm in hybrid business process representations: A conceptual framework and a systematic literature study. *Information Systems*, *91*, 101505. <https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101505>
3. Abbas, M., Rioboo, R., Ben-Yelles, C.-B., & Snook, C. F. (2021). Formal modeling and verification of UML Activity Diagrams (UAD) with FoCaLiZe. *Journal of Systems Architecture*, *114*, 101911. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2020.101911>
4. Abdel-Basset, M., Gamal, A., Chakraborty, R. K., & Ryan, M. (2021). A new hybrid multi-criteria decision-making approach for location selection of sustainable offshore wind energy stations: A case study. *Journal of Cleaner Production*, *280*, 124462. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124462>
5. AbdEllatif, M., Farhan, M. S., & Shehata, N. S. (2018). Overcoming business process reengineering obstacles using ontology-based knowledge map methodology. *Future Computing and Informatics Journal*, *3*(1), 7–28. <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2017.10.006>
6. Abid, N., Khan, A. M., Shujait, S., Chaudhary, K., Ikram, M., Imran, M., Haider, J., Khan, M., Khan, Q., & Maqbool, M. (2022). Synthesis of nanomaterials using various top-down and bottom-up approaches, influencing factors, advantages, and disadvantages: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, *300*, 102597. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102597>
7. Abu-elezz, I., Hassan, A., Nazeemudeen, A., Househ, M., & Abd-alrazaq, A. (2020). The benefits and threats of blockchain technology in healthcare: A scoping review. *International Journal of Medical Informatics*, *142*, 104246. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2020.104246>
8. Adams, M., Hense, A. V., & ter Hofstede, A. H. M. (2020). YAWL: An open source Business Process Management System from science for science. *SoftwareX*, *12*, 100576. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100576>

9. Aguilar-Savén, R. S. (2004). Business process modelling: Review and framework. *Production Planning and Control*, 90(2), 129–149. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00102-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00102-6)
10. Agyabeng-Mensah, Y., Tang, L., Afum, E., Baah, C., & Dacosta, E. (2021). Organisational identity and circular economy: Are inter and intra organisational learning, lean management and zero waste practices worth pursuing? *Sustainable Production and Consumption*, 28, 648–662. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.06.018>
11. Ahmadini, A. A. H., Modibbo, U. M., Shaikh, A. A., & Ali, I. (2021). Multi-objective optimization modelling of sustainable green supply chain in inventory and production management. *Alexandria Engineering Journal*, 60(6), 5129–5146. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.075>
12. Ahmed, E. S., Ahmad, M. N., & Othman, S. H. (2019). Business process improvement methods in healthcare: A comparative study. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 32(5), 887–908.
13. Akhmatova, M.-S., Deniskina, A., Akhmatova, D.-M., & Prykina, L. (2022). Integrating quality management systems (TQM) in the digital age of intelligent transportation systems industry 4.0. *X International Scientific Siberian Transport Forum — TransSiberia 2022*, 63, 1512–1520. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.163>
14. Akram, M., Kahraman, C., & Zahid, K. (2021). Group decision-making based on complex spherical fuzzy VIKOR approach. *Knowledge-Based Systems*, 216, 106793. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.106793>
15. Albelda Marco, M., & Estellés Arguedas, M. (2021). Mitigation revisited. An operative and integrated definition of the pragmatic concept, its strategic values, and its linguistic expression. *Journal of Pragmatics*, 183, 71–86. <https://doi.org/10.1016/j.pragma.2021.07.002>
16. Aldin, L., & De Cesare, S. (2009). *A comparative analysis of business process modelling techniques*.
17. Alles, M., & Gray, G. L. (2020). “The first mile problem”: Deriving an endogenous demand for auditing in blockchain-based business processes. *2019 UW CISA Symposium*, 38, 100465. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2020.100465>

18. Alvarez, P. A., Ishizaka, A., & Martínez, L. (2021). Multiple-criteria decision-making sorting methods: A survey. *Expert Systems with Applications*, 183, 115368. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115368>

19. Amado, A., & Belfo, F. P. (2021). Maintenance and Support Model within the ERP Systems Lifecycle: Action Research in an Implementer Company. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020*, 181, 580–588. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.205>

20. Ami, T., & Sommer, R. (2007). Comparison and evaluation of business process modelling and management tools. *International Journal of Services and Standards*, 3(2), 249–261.

21. Amoozad Mahdiraji, H., Sedigh, M., Razavi Hajiagha, S. H., Garza-Reyes, J. A., Jafari-Sadeghi, V., & Dana, L.-P. (2021). A novel time, cost, quality and risk tradeoff model with a knowledge-based hesitant fuzzy information: An R&D project application. *Technological Forecasting and Social Change*, 172, 121068. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121068>

22. Anjaria, K. (2022). Knowledge derivation from Likert scale using Z-numbers. *Information Sciences*, 590, 234–252. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.01.024>

23. Arasi, S., Nurmatov, U., Dunn-Galvin, A., Daher, S., Roberts, G., Turner, P. J., Shinder, S. B., Gupta, R., Eigenmann, P., Nowak-Wegrzyn, A., Sánchez Borges, M. A., Ansotegui, I. J., Fernandez-Rivas, M., Petrou, S., Tanno, L. K., Vazquez-Ortiz, M., Vickery, B. P., Wong, G. W.-K., Ebisawa, M., & Fiocchi, A. (2021). Consensus on DEfinition of Food Allergy SEverity (DEFASE) an integrated mixed methods systematic review. *World Allergy Organization Journal*, 14(3), 100503. <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2020.100503>

24. Arora, H., & Naithani, A. (2022). Significance of TOPSIS approach to MADM in computing exponential divergence measures for pythagorean fuzzy sets. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 5(1), 246–263. <https://doi.org/10.31181/dmame211221090a>

25. Arora, V., Singh, M., & Bhatia, R. (2020). Orientation-based Ant colony algorithm for synthesizing the test scenarios in UML activity diagram. *Information and Software Technology*, 123, 106292. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106292>

26. Artamonov, I., Danilochkina, N., Pocebneva, I., & Karmokova, K. (2022). Using data integrity models for aviation industry business process quality management. *X International Scientific*

Siberian Transport Forum — TransSiberia 2022, 63, 1668–1673.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.180>

27. Awiti, J., Vaisman, A. A., & Zimányi, E. (2020). Design and implementation of ETL processes using BPMN and relational algebra. *Data & Knowledge Engineering*, 129, 101837. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2020.101837>
28. Aysolmaz, B., Leopold, H., Reijers, H. A., & Demirörs, O. (2018). A semi-automated approach for generating natural language requirements documents based on business process models. *Information and Software Technology*, 93, 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.08.009>
29. Aysolmaz, B., & Reijers, H. A. (2021). Animation as a dynamic visualization technique for improving process model comprehension. *Information & Management*, 58(5), 103478. <https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103478>
30. Ayyildiz, E. (2022). A novel pythagorean fuzzy multi-criteria decision-making methodology for e-scooter charging station location-selection. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 111, 103459. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103459>
31. Bag, S., Wood, L. C., Mangla, S. K., & Luthra, S. (2020). Procurement 4.0 and its implications on business process performance in a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104502. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104502>
32. Bahari, A., & Asadi, F. (2020). A Simulation Optimization Approach for Resource Allocation in an Emergency Department Healthcare Unit. *Global Heart*, 15(1), 14. <https://doi.org/10.5334/gh.528>
33. Bandara, W., Gable, G. G., & Rosemann, M. (2005). Factors and measures of business process modelling: Model building through a multiple case study. *European Journal of Information Systems*, 14(4), 347–360. <https://doi.org/10.1057/palgrave.ejis.3000546>
34. Baptista, L. F., & Barata, J. (2021). Piloting Industry 4.0 in SMEs with RAMI 4.0: An enterprise architecture approach. *Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 25th International Conference KES2021*, 192, 2826–2835. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.053>
35. Barros, M. V., Salvador, R., do Prado, G. F., de Francisco, A. C., & Piekarski, C. M. (2021). Circular economy as a driver to sustainable businesses. *Cleaner Environmental Systems*, 2, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2020.100006>

36. Bathrinath, S., Bhalaji, R. K. A., & Saravanasankar, S. (2021). Risk analysis in textile industries using AHP-TOPSIS. *International Conference on Advances in Materials Research - 2019*, 45, 1257–1263. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.722>
37. Battilani, C., Galli, G., Arecco, S., Casarino, B., Granero, A., Lavagna, K., Varna, R., Ventura, M., Revetria, R., & Damiani, L. (2022). Business Process Re-engineering in Public Administration: The case study of Western Ligurian Sea Port Authority. *Sustainable Futures*, 4, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2022.100065>
38. Becker, J., Rosemann, M., & von Uthmann, C. (2000). Guidelines of Business Process Modeling. W W. van der Aalst, J. Desel, & A. Oberweis (Red.), *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies* (s. 30–49). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-45594-9_3
39. Beerepoot, I., Di Ciccio, C., Reijers, H. A., Rinderle-Ma, S., Bandara, W., Burattin, A., Calvanese, D., Chen, T., Cohen, I., Depaire, B., Di Federico, G., Dumas, M., van Dun, C., Fehrer, T., Fischer, D. A., Gal, A., Indulska, M., Isahagian, V., Klinkmüller, C., ... Zerbato, F. (2023). The biggest business process management problems to solve before we die. *Computers in Industry*, 146, 103837. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103837>
40. Bellalouna, F. (2021). The Augmented Reality Technology as Enabler for the Digitization of Industrial Business Processes: Case Studies. *The 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, March 10 – 12, 2021, Jaipur, India*, 98, 400–405. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.124>
41. Bello, S. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Bilal, M., Davila Delgado, J. M., Akanbi, L. A., Ajayi, A. O., & Owolabi, H. A. (2021). Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. *Automation in Construction*, 122, 103441. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103441>
42. Ben Hassen, M., Turki, M., & Gargouri, F. (2017). Sensitive Business Processes Representation: A Multi-dimensional Comparative Analysis of Business Process Modeling Formalisms. W B. Shishkov (Red.), *Business Modeling and Software Design* (s. 83–118). Springer International Publishing.
43. Bera, B., Shit, P. K., Sengupta, N., Saha, S., & Bhattacharjee, S. (2022). Susceptibility of deforestation hotspots in Terai-Dooars belt of Himalayan Foothills: A comparative analysis of

VIKOR and TOPSIS models. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34(10, Part A), 8794–8806. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.10.005>

44. Bhupendra, K. V., & Sangle, S. (2022). Structural process model of organizational innovativeness types for sustainability: A dynamic capability perspective. *Society and Business Review*, 17(3), 373–393. <https://doi.org/10.1108/SBR-05-2021-0068>
45. Bork, D., Karagiannis, D., & Pittl, B. (2020). A survey of modeling language specification techniques. *Information Systems*, 87, 101425. <https://doi.org/10.1016/j.is.2019.101425>
46. Boumaiza, A., Sanfilippo, A., & Mohandes, N. (2022). Modeling multi-criteria decision analysis in residential PV adoption. *Energy Strategy Reviews*, 39, 100789. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100789>
47. Brauner, P., & Ziefle, M. (2022). Beyond playful learning – Serious games for the human-centric digital transformation of production and a design process model. *Technology in Society*, 71, 102140. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102140>
48. Brillinger, A.-S., Els, C., Schäfer, B., & Bender, B. (2020). Business model risk and uncertainty factors: Toward building and maintaining profitable and sustainable business models. *Business Horizons*, 63(1), 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.09.009>
49. Brunk, J., Stierle, M., Papke, L., Revoredo, K., Matzner, M., & Becker, J. (2021). Cause vs. Effect in context-sensitive prediction of business process instances. *Information Systems*, 95, 101635. <https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101635>
50. Camargo, J. V. de. (2021). *A complementary analysis of BPMN 2.0-based tools behavior regarding process modeling problems.*
51. Camargo, M., Dumas, M., & González-Rojas, O. (2020). Automated discovery of business process simulation models from event logs. *Decision Support Systems*, 134, 113284. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113284>
52. Canhoto, A. I., & Clear, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning as business tools: A framework for diagnosing value destruction potential. *ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING*, 63(2), 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.11.003>
53. Cardoso, P., Respício, A., & Domingos, D. (2021). RiskaBPMN - a BPMN extension for risk assessment. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems*

/ ProjMAN 2020 - International Conference on Project Management / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020, 181, 1247–1254.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.324>

54. Chabanoles, N., & Ozil, P. (2015). Bonita BPM: An open-source BPM-based application development platform to build adaptable business applications. *International Conference on Business Process Management*.
55. Chakori, S., Aziz, A. A., Smith, C., & Dargusch, P. (2021). Untangling the underlying drivers of the use of single-use food packaging. *Ecological Economics*, 185, 107063. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107063>
56. Chakraborty, S. (2022). TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*, 2, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100021>
57. Chauvy, R., Lepore, R., Fortemps, P., & De Weireld, G. (2020). Comparison of multi-criteria decision-analysis methods for selecting carbon dioxide utilization products. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 194–210. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.002>
58. Chofreh, A. G., Goni, F. A., Klemeš, J. J., Malik, M. N., & Khan, H. H. (2020). Development of guidelines for the implementation of sustainable enterprise resource planning systems. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118655>
59. Chong, H.-Y., & Diamantopoulos, A. (2020). Integrating advanced technologies to uphold security of payment: Data flow diagram. *Automation in Construction*, 114, 103158. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103158>
60. Chuks, M., & Telukdarie, A. (2021). Water management technologies using Industry 4.0 tools. *International Journal of Water*, 14(4), 272–294.
61. Cinelli, M., Kadziński, M., Gonzalez, M., & Słowiński, R. (2020). How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy. *Omega*, 96, 102261. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102261>
62. Cinelli, M., Kadziński, M., Miebs, G., Gonzalez, M., & Słowiński, R. (2022). Recommending multiple criteria decision analysis methods with a new taxonomy-based decision support system. *European Journal of Operational Research*, 302(2), 633–651. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.01.011>

63. Corradini, F., Fornari, F., Polini, A., Re, B., Tiezzi, F., & Vandin, A. (2021). A formal approach for the analysis of BPMN collaboration models. *Journal of Systems and Software*, *180*, 111007. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111007>
64. Corradini, F., Marcelletti, A., Morichetta, A., Polini, A., Re, B., Scala, E., & Tiezzi, F. (2021). Model-driven engineering for multi-party business processes on multiple blockchains. *Blockchain: Research and Applications*, *2*(3), 100018. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100018>
65. Corradini, F., Muzi, C., Re, B., Rossi, L., & Tiezzi, F. (2022). BPMN 2.0 OR-Join Semantics: Global and local characterisation. *Information Systems*, *105*, 101934. <https://doi.org/10.1016/j.is.2021.101934>
66. Cosenz, F., & Bivona, E. (2021). Fostering growth patterns of SMEs through business model innovation. A tailored dynamic business modelling approach. *Journal of Business Research*, *130*, 658–669. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.03.003>
67. Czvetkó, T., Kummer, A., Ruppert, T., & Abonyi, J. (2022). Data-driven business process management-based development of Industry 4.0 solutions. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *36*, 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.12.002>
68. Dachyar, M., Zagloel, T. Y. M., & Saragih, L. R. (2020). Enterprise architecture breakthrough for telecommunications transformation: A reconciliation model to solve bankruptcy. *Heliyon*, *6*(10), e05273. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05273>
69. Dalle, O. (2011). Should Simulation Products use Software Engineering Techniques or Should they Reuse Products of Software Engineering?—Part 1. *SCS Modeling and Simulation Magazine*, *2*(3), 122–132.
70. Dalmer, N. K., & Mitrovica, B. L. (2022). The public library as social infrastructure for older patrons: Exploring the implications of online library programming for older adults during COVID-19. *Library & Information Science Research*, *44*(3), 101177. <https://doi.org/10.1016/j.lisr.2022.101177>
71. Daoudi, F., & Nurcan, S. (2007). A benchmarking framework for methods to design flexible business processes. *Software Process: Improvement and Practice*, *12*(1), 51–63. <https://doi.org/10.1002/spip.304>

72. de Albuquerque Wheler, A. P., Kelner, J., Hung, P. C. K., Jeronimo, B. de S., Rocha, R. da S., & Araújo, A. F. R. (2021). Toy user interface design—Tools for Child–Computer Interaction. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 30, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100307>
73. De Luc, K., & Todd, J. (2020). *e-pathways: Computers and the patient's journey through care*. CRC Press.
74. De Masellis, R., Di Francescomarino, C., Ghidini, C., & Tessaris, S. (2022). Solving reachability problems on data-aware workflows. *Expert Systems with Applications*, 189, 116059. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116059>
75. de Oliveira, K. V., Fernandes, E. C., & Borsato, M. (2021). A TOGAF-based Framework for the Development of Sustainable Product-Service Systems. *FAIM 2021*, 55, 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.039>
76. Desolda, G., Matera, M., & Lanzilotti, R. (2020). Metamorphic data sources: A user-centric paradigm to consume linked data in interactive workspaces. *Future Generation Computer Systems*, 102, 992–1015. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.09.032>
77. Dhiman, H., Fellmann, M., & Röcker, C. (2022). Towards AI-Enabled Assistant Design Through Grassroots Modeling: Insights from a Practical Use Case in the Industrial Sector. W Ę. Nazaruka, K. Sandkuhl, & U. Seigerroth (Red.), *Perspectives in Business Informatics Research* (s. 96–110). Springer International Publishing.
78. Di Leva, A., Sulis, E., De Lellis, A., & Amantea, I. A. (2020). Business Process Analysis and Change Management: The Role of Material Resource Planning and Discrete-Event Simulation. W A. Lazazzara, F. Ricciardi, & S. Za (Red.), *Exploring Digital Ecosystems* (s. 211–221). Springer International Publishing.
79. Di Vaio, A., Palladino, R., Hassan, R., & Escobar, O. (2020). Artificial intelligence and business models in the sustainable development goals perspective: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 121, 283–314. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.08.019>
80. Díaz, E., Panach, J. I., Rueda, S., & Distanto, D. (2021). A family of experiments to generate graphical user interfaces from BPMN models with stereotypes. *Journal of Systems and Software*, 173, 110883. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110883>

81. Drieschner, C., Fuchs, S., Kulikov, A., & Vilser, M. (2022). Chatbot Development on the Example of SAP & IBM Conversational AI. *SAP Academic Community Conference 2022 DACH*, 9.
82. Drost, S., Vogt, A., Danowski-Buhren, C., Jirka, S., Kirstein, V., Pakzad, K., & Rieke, M. (2022). WaCoDiS: Automated Earth Observation data processing within an event-driven architecture for water monitoring. *Computers & Geosciences*, 159, 105003. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2021.105003>
83. Dubolazov, V., Tayushev, S., Gabdrakhmanova, I., Simakova, Z., & Leicht, O. (2022). Re-Engineering of Logistics Business Processes Influenced by the Digitalization. W A. Beskopylny & M. Shamtsyan (Red.), *XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021"* (s. 539–547). Springer International Publishing.
84. Dumitriu, D., & Popescu, M. A.-M. (2020). Enterprise Architecture Framework Design in IT Management. *13th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2019, 3–4 October 2019, Targu Mures, Romania*, 46, 932–940. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.011>
85. Durán, F., Rocha, C., & Salaün, G. (2021). Resource provisioning strategies for BPMN processes: Specification and analysis using Maude. *Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming*, 123, 100711. <https://doi.org/10.1016/j.jlamp.2021.100711>
86. Dutta, P., Choi, T.-M., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142, 102067. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102067>
87. Elallaoui, M., Nafil, K., & Touahni, R. (2018). Automatic Transformation of User Stories into UML Use Case Diagrams using NLP Techniques. *The 9th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2018) / The 8th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2018) / Affiliated Workshops*, 130, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.010>
88. Elavarasan, R. M., Leponraj, S., Vishnupriyan, J., Dheeraj, A., & Gangaram Sundar, G. (2021). Multi-Criteria Decision Analysis for user satisfaction-induced demand-side load management for an institutional building. *Renewable Energy*, 170, 1396–1426. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.134>

89. Elfeky, A. I. M., Masadeh, T. S. Y., & Elbyaly, M. Y. H. (2020). Advance organizers in flipped classroom via e-learning management system and the promotion of integrated science process skills. *Thinking Skills and Creativity*, 35, 100622. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2019.100622>
90. Enrique, D. V., Druczkoski, J. C. M., Lima, T. M., & Charrua-Santos, F. (2021). Advantages and difficulties of implementing Industry 4.0 technologies for labor flexibility. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020*, 181, 347–352. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.177>
91. Entringer, T. C., Ferreira, A. da S., & Nascimento, D. C. de O. (2021). Comparative analysis of the main business process modeling methods: A bibliometric study. *Gestão & Produção*, 28.
92. Entringer, T., Nascimento, D., Ferreira, A., Siqueira, P., Boechat, A., Cerchiaro, I., Mendonça, S., & Ramos, R. (2019). Comparative analysis main methods business process modeling: Literature review, applications and examples. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6(5).
93. Erasmus, J., Vanderfeesten, I., Traganos, K., & Grefen, P. (2020). Using business process models for the specification of manufacturing operations. *Computers in Industry*, 123, 103297. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103297>
94. Estrada-Torres, B., Camargo, M., Dumas, M., García-Bañuelos, L., Mahdy, I., & Yerokhin, M. (2021). Discovering business process simulation models in the presence of multitasking and availability constraints. *Data & Knowledge Engineering*, 134, 101897. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2021.101897>
95. Fadila, L., Karim, Z., & Djamel, B. (2018). Modelling business processes for outsourcing into the fog and cloud computing. *Proceedings of the 8th International Symposium on Data-driven Process Discovery and Analysis (SIMPDA)*, 18–31.
96. Fahland, D., Favre, C., Koehler, J., Lohmann, N., Völzer, H., & Wolf, K. (2011). Analysis on demand: Instantaneous soundness checking of industrial business process models. *Business Process Management 2009*, 70(5), 448–466. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2011.01.004>
97. Farshidi, S., Kwantes, I. B., & Jansen, S. (2023). Business process modeling language selection for research modelers. *Software and Systems Modeling*. <https://doi.org/10.1007/s10270-023-01110-8>

98. Faulkner, A. (2018). Lucidchart for Easy Workflow Mapping. *Serials Review*, 44(2), 157–162. <https://doi.org/10.1080/00987913.2018.1472468>
99. Fauzi, R., & Andreswari, R. (2022). Business process analysis of programmer job role in software development using process mining. *Sixth Information Systems International Conference (ISICO 2021)*, 197, 701–708. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.191>
100. Fehrer, T., Fischer, D. A., Leemans, S. J. J., Röglinger, M., & Wynn, M. T. (2022). An assisted approach to business process redesign. *Decision Support Systems*, 156, 113749. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2022.113749>
101. Fell, M. J., Vigurs, C., Maidment, C., & Shipworth, D. (2023). Smart local energy systems as a societal project: Developing a Theory of Change. *Smart Energy*, 11, 100109. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2023.100109>
102. Ferrari, A. M., Volpi, L., Settembre-Blundo, D., & García-Muiña, F. E. (2021). Dynamic life cycle assessment (LCA) integrating life cycle inventory (LCI) and Enterprise resource planning (ERP) in an industry 4.0 environment. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125314>
103. Ferreira, W. de P., Armellini, F., Santa-Eulalia, L. A. de, & Thomasset-Laperrière, V. (2022). Extending the lean value stream mapping to the context of Industry 4.0: An agent-based technology approach. *Journal of Manufacturing Systems*, 63, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.02.002>
104. Field, A. P., & Moore, A. C. (2005). Dissociating the effects of attention and contingency awareness on evaluative conditioning effects in the visual paradigm. *Cognition and Emotion*, 19(2), 217–243. <https://doi.org/10.1080/02699930441000292>
105. Fischer, M., Imgrund, F., Janiesch, C., & Winkelmann, A. (2020). Strategy archetypes for digital transformation: Defining meta objectives using business process management. *Information & Management*, 57(5), 103262. <https://doi.org/10.1016/j.im.2019.103262>
106. Gabryelczyk, R., & Jurczuk, A. (2017). Does Experience Matter? Factors Affecting the Understandability of the Business Process Modelling Notation. *7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, 182, 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.164>

107. Gabryelczyk, R., Jurczuk, A., Pęczkowski, M., & others. (2016). Determinanty wyboru notacji modelowania procesów biznesowych. *Collegium of Economic Analysis Annals*, 40, 357–370.
108. Galeano, I., Merín, M., González, M., & Cernuzzi, L. (2023). A Methodological Approach for Mobile Applications Development: MethApp4Mob. *Science of Computer Programming*, 102986. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2023.102986>
109. Garcia, M. T., Nunes, M. M., Fantinato, M., Peres, S. M., & Thom, L. H. (2023). BPMN-Sim: A multilevel structural similarity technique for BPMN process models. *Information Systems*, 116, 102211. <https://doi.org/10.1016/j.is.2023.102211>
110. Ghezzi, A. (2019). Digital startups and the adoption and implementation of Lean Startup Approaches: Effectuation, Bricolage and Opportunity Creation in practice. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 945–960. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.09.017>
111. Glassey, O. (2008). A case study on process modelling—Three questions and three techniques. *Decision Support Systems*, 44(4), 842–853. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2007.10.004>
112. Globocnik, D., Faullant, R., & Parastuty, Z. (2020). Bridging strategic planning and business model management – A formal control framework to manage business model portfolios and dynamics. *European Management Journal*, 38(2), 231–243. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2019.08.005>
113. Gola, M., & Sitek, T. (2005). Klasyfikacja metod modelowania procesów biznesowych. *J. Wachowicz, Problemy wykorzystania informatyki w zarządzaniu. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej*, 7–20.
114. Gonçalves, D., Ferreira, L., & Campos, N. (2021). Enterprise architecture for high flexible and agile company in automotive industry. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020*, 181, 1077–1082. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.303>
115. González Moyano, C., Pufahl, L., Weber, I., & Mendling, J. (2022). Uses of business process modeling in agile software development projects. *Information and Software Technology*, 152, 107028. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.107028>

116. Gonzalez-Lopez, F., Martin, N., de la Fuente, R., Galvez-Yanjari, V., Guzmán, J., Kattan, E., Sepúlveda, M., & Muñoz-Gama, J. (2023). ProDeM: A Process-Oriented Delphi Method for systematic asynchronous and consensual surgical process modelling. *Artificial Intelligence in Medicine*, *135*, 102426. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2022.102426>
117. Gosala, B., Chowdhuri, S. R., Singh, J., Gupta, M., & Mishra, A. (2021). Automatic Classification of UML Class Diagrams Using Deep Learning Technique: Convolutional Neural Network. *Applied Sciences*, *11*(9). <https://doi.org/10.3390/app11094267>
118. Gómez, C., Pérez Blanco, F. J., Vara, J. M., De Castro, V., & Marcos, E. (2021). *Design and development of Smart Contracts for E-government through Value and Business Process Modeling*.
119. Gómez, J. A., Berni, P., Matallana, L. G., Sánchez, Ó. J., Teixeira, J. A., & Nobre, C. (2022). Towards a biorefinery processing waste from plantain agro-Industry: Process development for the production of an isomalto-oligosaccharide syrup from rejected unripe plantain fruits. *Food and Bioproducts Processing*, *133*, 100–118. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.03.005>
120. Górski, T. (2022). UML Profile for Messaging Patterns in Service-Oriented Architecture, Microservices, and Internet of Things. *Applied Sciences*, *12*(24). <https://doi.org/10.3390/app122412790>
121. Guizani, K., & Ghannouchi, S. A. (2021). An approach for selecting a business process modeling language that best meets the requirements of a modeler. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020*, *181*, 843–851. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.238>
122. Guleria, P., Pathania, A., Shukla, R. K., & Sharma, S. (2021). Lean six-sigma: Panacea to reduce rejection in gear manufacturing industry. *International Conference on Materials, Manufacturing and Mechanical Engineering for Sustainable Developments-2020 (ICMSD 2020)*, *46*, 4040–4046. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.559>
123. Gupta, L., & Dixit, J. (2022). A GIS-based flood risk mapping of Assam, India, using the MCDA-AHP approach at the regional and administrative level. *Geocarto International*, *37*(26), 11867–11899. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2060329>

124. Haj Ayech, H. B., Ghannouchi, S. A., & El Hadj Amor, E. A. (2021). Extension of the BPM lifecycle to promote the maintainability of BPMN models. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020, 181*, 852–860. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.239>
125. Halaška, M., & Šperka, R. (2022). Implications of the Exact Time Use for the Simulation of Business Processes' Costs with the TDABC Approach. W G. Jezic, Y.-H. J. Chen-Burger, M. Kusek, R. Šperka, R. J. Howlett, & L. C. Jain (Red.), *Agents and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications 2022* (s. 267–276). Springer Nature Singapore.
126. Halstenberg, F., Dönmez, J., Mennenga, M., Herrmann, C., & Stark, R. (2021). Knowledge transfer and engineering methods for smart-circular product service systems. *31st CIRP Design Conference 2021 (CIRP Design 2021)*, *100*, 379–384. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.088>
127. Hammal, Y., Salah Mansour, K., Abdelli, A., & Mokdad, L. (2020). Formal techniques for consistency checking of orchestrations of semantic Web services. *Journal of Computational Science*, *44*, 101165. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2020.101165>
128. Hanaysha, J. R., & Al-Shaikh, M. E. (2022). An examination of customer relationship management dimensions and employee-based brand equity: A study on ride-hailing industry in Saudi Arabia. *Research in Transportation Business & Management*, *43*, 100719. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100719>
129. Hariyanti, E., Djunaidy, A., & Siahaan, D. (2021). Information security vulnerability prediction based on business process model using machine learning approach. *Computers & Security*, *110*, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102422>
130. Hashemi, A., Joodaki, M., Joodaki, N. Z., & Dowlatshahi, M. B. (2022). Ant colony optimization equipped with an ensemble of heuristics through multi-criteria decision making: A case study in ensemble feature selection. *Applied Soft Computing*, *124*, 109046. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109046>
131. Häußler, M., Esser, S., & Borrmann, A. (2021). Code compliance checking of railway designs by integrating BIM, BPMN and DMN. *Automation in Construction*, *121*, 103427. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103427>

132. Havur, G., Cabanillas, C., & Polleres, A. (2022). Benchmarking Answer Set Programming systems for resource allocation in business processes. *Expert Systems with Applications*, 205, 117599. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117599>
133. Heggarty, T., Bourmaud, J.-Y., Girard, R., & Kariniotakis, G. (2020). Quantifying power system flexibility provision. *Applied Energy*, 279, 115852. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115852>
134. Heidary Dahooie, J., Raafat, R., Qorbani, A. R., & Daim, T. (2021). An intuitionistic fuzzy data-driven product ranking model using sentiment analysis and multi-criteria decision-making. *Technological Forecasting and Social Change*, 173, 121158. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121158>
135. Hezer, S., Gelmez, E., & Özceylan, E. (2021). Comparative analysis of TOPSIS, VIKOR and COPRAS methods for the COVID-19 Regional Safety Assessment. *Journal of Infection and Public Health*, 14(6), 775–786. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2021.03.003>
136. Hu, L., Liu, Z., Hu, W., Wang, Y., Tan, J., & Wu, F. (2020). Petri-net-based dynamic scheduling of flexible manufacturing system via deep reinforcement learning with graph convolutional network. *Journal of Manufacturing Systems*, 55, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.02.004>
137. Hussain, J., Zhou, K., Guo, S., & Khan, A. (2020). Investment risk and natural resource potential in “Belt & Road Initiative” countries: A multi-criteria decision-making approach. *Science of The Total Environment*, 723, 137981. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137981>
138. Iden, J., Eikebrokk, T. R., & Marrone, M. (2020). Process reference frameworks as institutional arrangements for digital service innovation. *International Journal of Information Management*, 54, 102150. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102150>
139. Ihde, S., Pufahl, L., Völker, M., Goel, A., & Weske, M. (2022). A framework for modeling and executing task-specific resource allocations in business processes. *Computing*, 104(11), 2405–2429. <https://doi.org/10.1007/s00607-022-01093-2>
140. İncekara, M. (2022). Determinants of process reengineering and waste management as resource efficiency practices and their impact on production cost performance of Small and Medium Enterprises in the manufacturing sector. *Journal of Cleaner Production*, 356, 131712. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131712>

141. Intezari, A. (2015). Integrating Wisdom and Sustainability: Dealing with Instability. *Business Strategy and the Environment*, 24(7), 617–627. <https://doi.org/10.1002/bse.1892>
142. J. Dezert, A. Tchamova, D. Han, & J. -M. Tacnet. (2020). The SPOTIS Rank Reversal Free Method for Multi-Criteria Decision-Making Support. *2020 IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION)*, 1–8. <https://doi.org/10.23919/FUSION45008.2020.9190347>
143. Jaimez-González, C., & Martínez-Samora, J. (2020). DiagramMER: A Web Application to Support the Teaching-Learning Process of Database Courses Through the Creation of ER Diagrams. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(19), 4–21.
144. Janicki, J., & Wójcik, E. (2021). Narzędzia do analizy procesów biznesowych—analiza porównawcza. *Journal of Computer Sciences Institute*, 20.
145. Jaskó, S., Skrop, A., Holczinger, T., Chován, T., & Abonyi, J. (2020). Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard- and ontology-based methodologies and tools. *Computers in Industry*, 123, 103300. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103300>
146. Javed, M., & Lin, Y. (2021). IMER: Iterative process of entity relationship and business process model extraction from the requirements. *Information and Software Technology*, 135, 106558. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106558>
147. Jurík, L., Horňáková, N., Šantavá, E., Cagáňová, D., & Sablik, J. (2022). Application of AHP method for project selection in the context of sustainable development. *Wireless Networks*, 28(2), 893–902. <https://doi.org/10.1007/s11276-020-02322-2>
148. Južnič-Zonta, Ž., Guisasola, A., & Baeza, J. A. (2022). Smart-Plant Decision Support System (SP-DSS): Defining a multi-criteria decision-making framework for the selection of WWTP configurations with resource recovery. *Journal of Cleaner Production*, 367, 132873. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132873>
149. Jyotish, N. K., Singh, L. K., & Kumar, C. (2022). A state-of-the-art review on performance measurement petri net models for safety critical systems of NPP. *Annals of Nuclear Energy*, 165, 108635. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2021.108635>

150. Kaasalainen, K., Kalmari, J., & Ruohonen, T. (2020). Developing and testing a discrete event simulation model to evaluate budget impacts of diabetes prevention programs. *Journal of Biomedical Informatics*, *111*, 103577. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103577>
151. Kadziński, M., Martyn, K., Cinelli, M., Słowiński, R., Corrente, S., & Greco, S. (2021). Preference disaggregation method for value-based multi-decision sorting problems with a real-world application in nanotechnology. *Knowledge-Based Systems*, *218*, 106879. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.106879>
152. Kalibatiene, D., & Vasilecas, O. (2021). A survey on modeling dynamic business processes. *PeerJ Computer Science*, *7*, e609.
153. Kalpič, B., & Bernus, P. (2006). Business process modeling through the knowledge management perspective. *Journal of knowledge management*, *10*(3), 40–56.
154. Kecht, C., Egger, A., Kratsch, W., & Röglinger, M. (2023). Quantifying chatbots' ability to learn business processes. *Information Systems*, *113*, 102176. <https://doi.org/10.1016/j.is.2023.102176>
155. Khalil, S. M., Bahsi, H., Dola, H. O., Korötko, T., McLaughlin, K., & Kotkas, V. (2023). Threat Modeling of Cyber-Physical Systems—A Case Study of a Microgrid System. *Computers & Security*, *124*, 102950. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.102950>
156. Kir, H., & Erdogan, N. (2021). A knowledge-intensive adaptive business process management framework. *Information Systems*, *95*, 101639. <https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101639>
157. Kirikova, M. (2022). Retrospective Considerations on Data Flow and Actor Modeling in Business Process Diagrams. W. Ę. Nazaruka, K. Sandkuhl, & U. Seigerroth (Red.), *Perspectives in Business Informatics Research* (s. 86–95). Springer International Publishing.
158. Kler, A. M., Potanina, Y. M., & Marinchenko, A. Y. (2020). Co-optimization of thermal power plant flowchart, thermodynamic cycle parameters, and design parameters of components. *Energy*, *193*, 116679. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116679>
159. Kohtamäki, M., Rabetino, R., Parida, V., Sjödin, D., & Henneberg, S. (2022). Managing digital servitization toward smart solutions: Framing the connections between technologies, business models, and ecosystems. *Industrial Marketing Management*, *105*, 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.06.010>

160. Korbaya Touckia, J., Hamani, N., & Kermad, L. (2022). Digital twin framework for reconfigurable manufacturing systems (RMSs): Design and simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 120(7), 5431–5450. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09118-y>
161. Kongsat, P., Kudkaew, K., Tangjai, J., O’Rear, E. A., & Pongprayoon, T. (2021). Synthesis of structure-controlled hematite nanoparticles by a surfactant-assisted hydrothermal method and property analysis. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 148, 109685. <https://doi.org/10.1016/j.jpccs.2020.109685>
162. Köpke, J., Meroni, G., & Salnitri, M. (2023). Designing secure business processes for blockchains with SecBPMN2BC. *Future Generation Computer Systems*, 141, 382–398. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.11.013>
163. Kornyshova, E., & Barrios, J. (2020). Industry 4.0 Impact Propagation on Enterprise Architecture Models. *Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 24th International Conference KES2020*, 176, 2497–2506. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.326>
164. Koźmiński, A. K. (1979). *Decyzje. Analiza systemowa organizacji*. PWN, Warszawa.
165. Krusche, S., von Frankenberg, N., Reimer, L. M., & Bruegge, B. (2020). An interactive learning method to engage students in modeling. *Proceedings of the ACM/IEEE 42nd International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training*, 12–22.
166. Kulkov, I. (2021). The role of artificial intelligence in business transformation: A case of pharmaceutical companies. *Technology in Society*, 66, 101629. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101629>
167. Kundgol, S., Petkar, P., & Gaitonde, V. N. (2021). Implementation of value stream mapping (VSM) upgrading process and productivity in aerospace manufacturing industry. *International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Applications*, 46, 4640–4646. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.282>
168. Labijak-Kowalska, A., & Kadziński, M. (2021). Experimental comparison of results provided by ranking methods in Data Envelopment Analysis. *Expert Systems with Applications*, 173, 114739. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114739>

169. Lacheheb, M. N., Hameurlain, N., & Maamri, R. (2020). Resources consumption analysis of business process services in cloud computing using Petri Net. *Emerging Software Systems*, 32(4), 408–418. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2019.08.005>
170. Lai, Y.-L., & Ishizaka, A. (2020). The application of multi-criteria decision analysis methods into talent identification process: A social psychological perspective. *Journal of Business Research*, 109, 637–647. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.08.027>
171. Lamine, E., Thabet, R., Sienou, A., Bork, D., Fontanili, F., & Pingaud, H. (2020). BPRIM: An integrated framework for business process management and risk management. *Computers in Industry*, 117, 103199. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103199>
172. Liao, H., & Wu, X. (2020). DNMA: A double normalization-based multiple aggregation method for multi-expert multi-criteria decision making. *Omega*, 94, 102058. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.04.001>
173. Lima, L., Tavares, A., & Nogueira, S. C. (2020). A framework for verifying deadlock and nondeterminism in UML activity diagrams based on CSP. *Science of Computer Programming*, 197, 102497. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2020.102497>
174. Lipski, R., & Lipski, D. (2022). Tools for modeling and simulating business processes- a comparative analysis. *Journal of Computer Sciences Institute*, 22, 46–50.
175. Liu, L., Li, W., Aljohani, N. R., Lytras, M. D., Hassan, S.-U., & Nawaz, R. (2020). A framework to evaluate the interoperability of information systems – Measuring the maturity of the business process alignment. *International Journal of Information Management*, 54, 102153. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102153>
176. Liu, X., Yang, C., Li, D., Zhou, Y., Li, S., Chen, J., & Chen, Z. (2023). Adonis: Practical and Efficient Control Flow Recovery through OS-Level Traces. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*.
177. Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161, 113738. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>
178. Lo, S. K., Staples, M., & Xu, X. (2021). Modelling schemes for multi-party blockchain-based systems to support integrity analysis. *Blockchain: Research and Applications*, 2(2), 100024. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100024>

179. Lotfi, F. H., & Fallahnejad, R. (2010). Imprecise Shannon's Entropy and Multi Attribute Decision Making. *Entropy*, *12*(1), 53–62. <https://doi.org/10.3390/e12010053>
180. López-Pintado, O., Dumas, M., García-Bañuelos, L., & Weber, I. (2022). Controlled flexibility in blockchain-based collaborative business processes. *Information Systems*, *104*, 101622. <https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101622>
181. MacLean, D., & Titah, R. (2023). Implementation and impacts of IT Service Management in the IT function. *International Journal of Information Management*, *70*, 102628. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102628>
182. Mahajan, A., Binaz, V., Singh, I., & Arora, N. (2022). Selection of Natural Fiber for Sustainable Composites Using Hybrid Multi Criteria Decision Making Techniques. *Composites Part C: Open Access*, *7*, 100224. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100224>
183. Mahmood, T., & Mubarik, M. S. (2020). Balancing innovation and exploitation in the fourth industrial revolution: Role of intellectual capital and technology absorptive capacity. *Technological Forecasting and Social Change*, *160*, 120248. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120248>
184. Marchetta, M. G., Mayer, F., & Forradellas, R. Q. (2011). A reference framework following a proactive approach for Product Lifecycle Management. *Computers in Industry*, *62*(7), 672–683. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2011.04.004>
185. Marin-Castro, H. M., & Tello-Leal, E. (2021). An end-to-end approach and tool for BPMN process discovery. *Expert Systems with Applications*, *174*, 114662. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114662>
186. Marnada, P., Raharjo, T., Hardian, B., & Prasetyo, A. (2022). Agile project management challenge in handling scope and change: A systematic literature review. *Sixth Information Systems International Conference (ISICO 2021)*, *197*, 290–300. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.143>
187. Martin, D. M., Jacobs, A. D., McLean, C., Canick, M. R., & Boomer, K. (2022). Comparing normative and descriptive methods for multi-criteria decision analysis: A case study evaluating wetland restoration opportunities in the Chesapeake Bay watershed, USA. *Environmental Science & Policy*, *132*, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.02.022>

188. Martin, H., Ma, Z., Schmittner, Ch., Winkler, B., Krammer, M., Schneider, D., Amorim, T., Macher, G., & Kreiner, Ch. (2020). Combined automotive safety and security pattern engineering approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 198, 106773. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106773>
189. Martyn, K., & Kadziński, M. (2023). Deep preference learning for multiple criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 305(2), 781–805. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.06.053>
190. Medoh, C., & Telukdarie, A. (2017). Business process modelling tool selection: A review. *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 524–528.
191. Mejhed Mkhinini, M., Labbani-Narsis, O., & Nicolle, C. (2020). Combining UML and ontology: An exploratory survey. *Computer Science Review*, 35, 100223. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2019.100223>
192. Men, J., Chen, G., Yang, Y., & Reniers, G. (2022). An event-driven probabilistic methodology for modeling the spatial-temporal evolution of natural hazard-induced domino chain in chemical industrial parks. *Reliability Engineering & System Safety*, 226, 108723. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108723>
193. Merkoureas, I., Kaouni, A., Theodoropoulou, G., Bousdekis, A., Voulodimos, A., & Miaoulis, G. (2023). Smyrida: A web application for process mining and interactive visualization. *SoftwareX*, 22, 101327. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101327>
194. Mohammadi, M., & Rezaei, J. (2020). Ensemble ranking: Aggregation of rankings produced by different multi-criteria decision-making methods. *Omega*, 96, 102254. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102254>
195. Mokarram, M., Shafie-khah, M., & Aghaei, J. (2021). Risk-based multi-criteria decision analysis of gas power plants placement in semi-arid regions. *Energy Reports*, 7, 3362–3372. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.05.071>
196. Morandini, M., Coleti, T. A., Oliveira, E., & Corrêa, P. L. P. (2021). Considerations about the efficiency and sufficiency of the utilization of the Scrum methodology: A survey for analyzing results for development teams. *Computer Science Review*, 39, 100314. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100314>

197. Mousavi, M. M., & Lin, J. (2020). The application of PROMETHEE multi-criteria decision aid in financial decision making: Case of distress prediction models evaluation. *Expert Systems with Applications*, *159*, 113438. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113438>
198. Mu, Y., Liu, X., & Wang, L. (2018). A Pearson's correlation coefficient based decision tree and its parallel implementation. *Information Sciences*, *435*, 40–58. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.12.059>
199. Mueller, G. O., Mortensen, N. H., Hvam, L., Haug, A., & Johansen, J. (2022). An approach for the development and implementation of commissioning service configurators in engineer-to-order companies. *Computers in Industry*, *142*, 103717. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103717>
200. Munoz-Gama, J., Martin, N., Fernandez-Llatas, C., Johnson, O. A., Sepúlveda, M., Helm, E., Galvez-Yanjari, V., Rojas, E., Martinez-Millana, A., Aloini, D., Amantea, I. A., Andrews, R., Arias, M., Beerepoot, I., Benevento, E., Burattin, A., Capurro, D., Carmona, J., Comuzzi, M., ... Zerbato, F. (2022). Process mining for healthcare: Characteristics and challenges. *Journal of Biomedical Informatics*, *127*, 103994. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2022.103994>
201. Munsamy, M., Telukdarie, A., & Matjuta, P. (2023). Water systems modeling and optimization. *4th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing*, *217*, 699–708. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.266>
202. Nafie, F. M. (2016). The comparison of the workflow management systems Bizagi, Arabdox, Bonita and Joget. *International Journal of Engineering Science Invention*, *5*(5), 26–31.
203. Nagm-Aldeen, Y., Abdel-Fattah, M. A., & El-Khedr, A. (2015). A literature review of business process modeling techniques. *International Journal*, *5*(3).
204. Nandakumar, N., Saleeshya, P. G., & Harikumar, P. (2020). Bottleneck Identification And Process Improvement By Lean Six Sigma DMAIC Methodology. *International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Applications, IConAMMA 2018, 16th -18th August, 2018, India*, *24*, 1217–1224. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.436>
205. Nejad, H. S., Parhizkar, T., & Mosleh, A. (2022). Automatic generation of event sequence diagrams for guiding simulation based dynamic probabilistic risk assessment

- (SIMPRA) of complex systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 222, 108416. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108416>
206. Nica, I., & Ionescu, Ștefan. (2020). Business process modeling. Using Unified Modeling Language to streamline the design of the TO-BE system within a company. *Theoretical & Applied Economics*, 27(4).
207. Nnamdi, M. C., & Telukdarie, A. (2020). Enhancing enterprise resource planning and manufacturing execution system efficiency: A simulation-based decision support approach. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 10(3), 297–320.
208. Oktari, R. S., Latuamury, B., Idroes, R., Sofyan, H., & Munadi, K. (2023). Knowledge management strategy for managing disaster and the COVID-19 pandemic in Indonesia: SWOT analysis based on the analytic network process. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 85, 103503. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103503>
209. Ozkaya, M., & Erata, F. (2020). A survey on the practical use of UML for different software architecture viewpoints. *Information and Software Technology*, 121, 106275. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106275>
210. Padró, L., & Carmona, J. (2022). Computation of alignments of business processes through relaxation labeling and local optimal search. *Information Systems*, 104, 101703. <https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101703>
211. Papademetriou, R. C., & Karras, D. A. (2016). An in depth comparative analysis of software tools for modelling and simulating business processes. *6th International Symposium on Business Modelling and Software Design: BMSD 2016*, 124–133.
212. Papathanasiou, J., Ploskas, N., & others. (2018). Multiple criteria decision aid. *Methods, examples and python implementations*, 136, 131.
213. Partee, S., Ellis, M., Rigazzi, A., Shao, A. E., Bachman, S., Marques, G., & Robbins, B. (2022). Using Machine Learning at scale in numerical simulations with SmartSim: An application to ocean climate modeling. *Journal of Computational Science*, 62, 101707. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2022.101707>
214. Paschek, D., Ivascu, L., & Draghici, A. (2018). Knowledge Management – The Foundation for a Successful Business Process Management. *Challenges and Innovation in*

215. Pecchia, A., Weber, I., Cinque, M., & Ma, Y. (2020). Discovering process models for the analysis of application failures under uncertainty of event logs. *Knowledge-Based Systems*, 189, 105054. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.105054>
216. Pérez-Castillo, R., Ruiz, F., & Piattini, M. (2020). A decision-making support system for Enterprise Architecture Modelling. *Decision Support Systems*, 131, 113249. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113249>
217. Pham, B. T., Luu, C., Dao, D. V., Phong, T. V., Nguyen, H. D., Le, H. V., von Meding, J., & Prakash, I. (2021). Flood risk assessment using deep learning integrated with multi-criteria decision analysis. *Knowledge-Based Systems*, 219, 106899. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.106899>
218. Planas, E., & Cabot, J. (2020). How are UML class diagrams built in practice? A usability study of two UML tools: Magicdraw and Papyrus. *Computer Standards & Interfaces*, 67, 103363. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2019.103363>
219. Pohl, C., Klein, J. T., Hoffmann, S., Mitchell, C., & Fam, D. (2021). Conceptualising transdisciplinary integration as a multidimensional interactive process. *Environmental Science & Policy*, 118, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.12.005>
220. Polančič, G. (2020). BPMN-L: A BPMN extension for modeling of process landscapes. *Computers in Industry*, 121, 103276. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103276>
221. Polderdijk, M., Vanderfeesten, I., Erasmus, J., Traganos, K., Bosch, T., van Rhijn, G., & Fahland, D. (2018). A Visualization of Human Physical Risks in Manufacturing Processes Using BPMN. W E. Teniente & M. Weidlich (Red.), *Business Process Management Workshops* (s. 732–743). Springer International Publishing.
222. Popov, A. A., Nikolaeva, I. V., Teryutina, M. M., & Darbasova, L. A. (2022). ICT Application for Simulating Organization Business Processes (Exemplified by Ministry for Arctic Development and Affairs of the Nationalities of the North of Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation). W D. B. Solovev, V. V. Savaley, A. T. Bekker, & V. I. Petukhov (Red.), *Proceeding of the International Science and Technology Conference „FarEastCon 2021”* (s. 851–858). Springer Nature Singapore.

223. Prakash, V., Savaglio, C., Garg, L., Bawa, S., & Spezzano, G. (2022). Cloud- and Edge-based ERP systems for Industrial Internet of Things and Smart Factory. *3rd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing*, 200, 537–545. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.251>
224. Pufahl, L., Zerbato, F., Weber, B., & Weber, I. (2022). BPMN in healthcare: Challenges and best practices. *Information Systems*, 107, 102013. <https://doi.org/10.1016/j.is.2022.102013>
225. Ramakrishnan, R., & Kaur, A. (2020). Performance evaluation of web service response time probability distribution models for business process cycle time simulation. *Journal of Systems and Software*, 161, 110480. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.110480>
226. Recker, J., Rosemann, M., Indulska, M., & Green, P. (2006). Business process modeling: A maturing discipline. *BPM Center Report BPM-06-20*, BPMcenter. org.
227. Reijers, H. A. (2021). Business Process Management: The evolution of a discipline. *Computers in Industry*, 126, 103404. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103404>
228. Revina, A., & Aksu, Ü. (2023). An approach for analyzing business process execution complexity based on textual data and event log. *Information Systems*, 114, 102184. <https://doi.org/10.1016/j.is.2023.102184>
229. Rezk, H., Mukhametzyanov, I. Z., Abdelkareem, M. A., Salameh, T., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., Radwan, A., Wilberforce, T., Elsaid, K., & Olabi, A. G. (2022). Multi-criteria decision making for different concentrated solar thermal power technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102118. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102118>
230. Ribeiro, J., Lima, R., Eckhardt, T., & Paiva, S. (2021). Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020*, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020, 181, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.104>
231. Ribeiro, V., Barata, J., & Rupino da Cunha, P. (2021). *A BPMN Extension to Model Inter-Organizational Processes in Industry 4.0*.

232. Rios, R., & Duarte, S. (2021). Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process – Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *149*, 111310. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111310>
233. Rodríguez, A. E., Pezzotta, G., Pinto, R., & Romero, D. (2022). A framework for cost estimation in product-service systems: A systems thinking approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *38*, 748–759. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.06.013>
234. Romero, M., Guédria, W., Panetto, H., & Barafort, B. (2022). A framework for assessing capability in organisations using enterprise models. *Journal of Industrial Information Integration*, *27*, 100297. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100297>
235. Rosca, D., & Domingues, L. (2021). A Systematic Comparison of Roundtrip Software Engineering Approaches applied to UML Class Diagram. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020*, *181*, 861–868. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.240>
236. Russo, C., Elefante, A., Romano, A., Cama, A., Erra, M., Ugga, L., Brunetti, L., Motta, G., Califano, L., Iengo, M., & Cantone, E. (2021). A multimodal diagnostic approach to inverted papilloma: Proposal of a novel diagnostic flow-chart. *Current Problems in Diagnostic Radiology*, *50*(4), 499–504. <https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2020.04.009>
237. Rutkowska, J. (2005). Podejście procesowe w zarządzaniu a technologia informatyczna według metodologii ARIS i ADONIS. *Problemy zarządzania*, *3*(1 (7) Informatyka w zarządzaniu), 142–159.
238. Sahba, R., Radfar, R., Rajabzadeh Ghatari, A., & Pour Ebrahimi, A. (2021). Development of Industry 4.0 predictive maintenance architecture for broadcasting chain. *Advanced Engineering Informatics*, *49*, 101324. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101324>
239. Sałabun, W., Wątróbski, J., & Shekhovtsov, A. (2020). Are MCDA Methods Benchmarkable? A Comparative Study of TOPSIS, VIKOR, COPRAS, and PROMETHEE II Methods. *Symmetry*, *12*(9). <https://doi.org/10.3390/sym12091549>

240. Santos, M. A. G., Munoz, R., Olivares, R., Filho, P. P. R., Ser, J. D., & Albuquerque, V. H. C. de. (2020). Online heart monitoring systems on the internet of health things environments: A survey, a reference model and an outlook. *Information Fusion*, 53, 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.06.004>
241. Santoso, M. G., Dachyar, M., & Nurcahyo, R. (b.d.). *Strategies for Designing Intellectual Property-based Financing Business Process within The Creative Economy Sector: An Indonesian Context*.
242. Saragih, L. R., Dachyar, M., & Zagloel, T. Y. M. (2021). Implementation of telecommunications cross-industry collaboration through agile project management. *Heliyon*, 7(5), e07013. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07013>
243. Sari, F. (2021a). Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, 480, 118644. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118644>
244. Sari, F. (2021b). Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, 480, 118644. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118644>
245. Sarraf, R., & McGuire, M. P. (2020). Integration and comparison of multi-criteria decision making methods in safe route planner. *Expert Systems with Applications*, 154, 113399. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113399>
246. Schäffer, E., Stiehl, V., Schwab, P. K., Mayr, A., Lierhammer, J., & Franke, J. (2021). Process-Driven Approach within the Engineering Domain by Combining Business Process Model and Notation (BPMN) with Process Engines. *8th CIRP Global Web Conference – Flexible Mass Customisation (CIRPe 2020)*, 96, 207–212. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.076>
247. Scheer, A.-W., & Nüttgens, M. (2002). ARIS architecture and reference models for business process management. *W Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies* (s. 376–389). Springer.
248. Schepers, R., Minning, T., Moog, Y., & Timm, I. J. (2014). Towards Simulation of Business Processes Transforming BPMN Models to Enterprise Dynamics Models. *Fourth International Symposium on Business Modeling and Software Design*, 1, 159–165.

249. Schlüter, M., Lindkvist, E., & Basurto, X. (2021). The interplay between top-down interventions and bottom-up self-organization shapes opportunities for transforming self-governance in small-scale fisheries. *Marine Policy*, *128*, 104485. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104485>
250. Schmidbauer, C., Hader, B., & Schlund, S. (2021). Evaluation of a Digital Worker Assistance System to enable Adaptive Task Sharing between Humans and Cobots in Manufacturing. *54th CIRP CMS 2021 - Towards Digitalized Manufacturing 4.0*, *104*, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.007>
251. Schmiedel, T., Recker, J., & vom Brocke, J. (2020). The relation between BPM culture, BPM methods, and process performance: Evidence from quantitative field studies. *Information & Management*, *57*(2), 103175. <https://doi.org/10.1016/j.im.2019.103175>
252. Schröer, C., Kruse, F., & Gómez, J. M. (2021). A Systematic Literature Review on Applying CRISP-DM Process Model. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020*, *181*, 526–534. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.199>
253. Seifermann, S., Heinrich, R., Werle, D., & Reussner, R. (2022). Detecting violations of access control and information flow policies in data flow diagrams. *Journal of Systems and Software*, *184*, 111138. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111138>
254. Shahnazari, A., Rafiee, M., Rohani, A., Bhushan Nagar, B., Ebrahiminik, M. A., & Aghkhani, M. H. (2020). Identification of effective factors to select energy recovery technologies from municipal solid waste using multi-criteria decision making (MCDM): A review of thermochemical technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *40*, 100737. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100737>
255. Shahzad, S. K., Ahmed, D., Naqvi, M. R., Mushtaq, M. T., Iqbal, M. W., & Munir, F. (2021). Ontology Driven Smart Health Service Integration. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *207*, 106146. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106146>
256. Shaked, A., & Reich, Y. (2021). Requirements for Model-Based Development Process Design and Compliance of Standardized Models. *Systems*, *9*(1). <https://doi.org/10.3390/systems9010003>

257. Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy*, 157, 377–403. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.137>
258. Silega, N., & Noguera, M. (2021). Applying an MDA-based approach for enhancing the validation of business process models. *The 12th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT) / The 4th International Conference on Emerging Data and Industry 4.0 (EDI40) / Affiliated Workshops*, 184, 761–766. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.094>
259. Silva Rosa, L., Soares Silva, T., Fantinato, M., & Heloisa Thom, L. (2022). A visual approach for identification and annotation of business process elements in process descriptions. *Computer Standards & Interfaces*, 81, 103601. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2021.103601>
260. Singh, H., Khalajzadeh, H., Paktinat, S., Graetsch, U. M., & Grundy, J. (2022). Modelling human-centric aspects of end-users with iStar. *Journal of Computer Languages*, 68, 101091. <https://doi.org/10.1016/j.cola.2022.101091>
261. Sladić, D., Radulović, A., & Govedarica, M. (2020). Development of process model for Serbian cadastre. *3D Land Administration for 3D Land Uses*, 98, 104273. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104273>
262. Sohns, T. M., Aysolmaz, B., Figge, L., & Joshi, A. (2023). Green business process management for business sustainability: A case study of manufacturing small and medium-sized enterprises (SMEs) from Germany. *Journal of Cleaner Production*, 401, 136667. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136667>
263. Sola, D., van der Aa, H., Meilicke, C., & Stuckenschmidt, H. (2022). Exploiting label semantics for rule-based activity recommendation in business process modeling. *Information Systems*, 108, 102049. <https://doi.org/10.1016/j.is.2022.102049>
264. Sola, D., van der Aa, H., Meilicke, C., & Stuckenschmidt, H. (2023). Activity Recommendation for Business Process Modeling with Pre-trained Language Models. W. C. Pesquita, E. Jimenez-Ruiz, J. McCusker, D. Faria, M. Dragoni, A. Dimou, R. Troncy, & S. Hertling (Eds.), *The Semantic Web* (s. 316–334). Springer Nature Switzerland.
265. Sotiropoulou, K. F., & Vavatsikos, A. P. (2021). Onshore wind farms GIS-Assisted suitability analysis using PROMETHEE II. *Energy Policy*, 158, 112531. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112531>

266. Stein Dani, V., Dal Sasso Freitas, C. M., & Thom, L. H. (2019). Ten years of visualization of business process models: A systematic literature review. *Computer Standards & Interfaces*, *66*, 103347. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2019.04.006>
267. Störrle, H. (2020). Chapter 7—Structuring large models with MONO: Notations, templates, and case studies. W B. Tekinerdogan, Ö. Babur, L. Cleophas, M. van den Brand, & M. Akşit (Red.), *Model Management and Analytics for Large Scale Systems* (s. 141–166). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816649-9.00016-8>
268. Sufi, F. K. (2022). AI-GlobalEvents: A Software for analyzing, identifying and explaining global events with Artificial Intelligence. *Software Impacts*, *11*, 100218. <https://doi.org/10.1016/j.simpa.2022.100218>
269. Sulis, E., Amantea, I. A., & Fornero, G. (2019). Risk-aware business process modeling: A comparison of discrete event and agent-based approaches. *2019 Winter Simulation Conference (WSC)*, 3152–3159.
270. Sulis, E., Taveter, K., & others. (2022). *Agent-Based Business Process Simulation: A Primer with Applications and Examples*. Springer.
271. Sultan, F. A., Routroy, S., & Thakur, M. (2021). A simulation-based performance investigation of downstream operations in the Indian Surimi Supply Chain using environmental value stream mapping. *Journal of Cleaner Production*, *286*, 125389. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125389>
272. Sun, R., Gregor, S., & Fielt, E. (2021). Generativity and the paradox of stability and flexibility in a platform architecture: A case of the Oracle Cloud Platform. *Information & Management*, *58*(8), 103548. <https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103548>
273. Svatošová, V. & others. (2021). Proposal and simulation of a business process model of strategic management in E-commerce. *Ekonomický časopis*, *69*(07), 726–749.
274. Syed, Z., & Lawryshyn, Y. (2020). Multi-criteria decision-making considering risk and uncertainty in physical asset management. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *65*, 104064. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104064>
275. Tamburis, O., & Esposito, C. (2020). Process mining as support to simulation modeling: A hospital-based case study. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *104*, 102149. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102149>

276. Tan, T., Mills, G., Papadonikolaki, E., & Liu, Z. (2021). Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review. *Automation in Construction*, *121*, 103451. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103451>
277. Tangkawarow, I., & Waworuntu, J. (2016). A Comparative of business process modelling techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *128*(1), 012010.
278. Taymouri, F., Rosa, M. L., Dumas, M., & Maggi, F. M. (2021). Business process variant analysis: Survey and classification. *Knowledge-Based Systems*, *211*, 106557. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106557>
279. ter Hofstede, A., Baïna, K., Tata, S., & Benali, K. (2003). A model for process service interaction. *Business Process Management: International Conference, BPM 2003 Eindhoven, The Netherlands, June 26–27, 2003 Proceedings 1*, 261–275.
280. Thesing, T., Feldmann, C., & Burchardt, M. (2021). Agile versus Waterfall Project Management: Decision Model for Selecting the Appropriate Approach to a Project. *CENTERIS 2020 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2020 - International Conference on Project MANagement / HCist 2020 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2020*, *181*, 746–756. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.227>
281. Tomaskova, H., Tirkolae, E. B., & Raut, R. D. (2023). Business process optimization for trauma planning. *Journal of Business Research*, *164*, 113959. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113959>
282. Tong, L., Chiappetta Jabbour, C. J., belgacem, S. ben, Najam, H., & Abbas, J. (2022). Role of environmental regulations, green finance, and investment in green technologies in green total factor productivity: Empirical evidence from Asian region. *Journal of Cleaner Production*, *380*, 134930. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134930>
283. Torkayesh, A. E., Malmir, B., & Rajabi Asadabadi, M. (2021). Sustainable waste disposal technology selection: The stratified best-worst multi-criteria decision-making method. *Waste Management*, *122*, 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.040>
284. Tsagkani, C., & Tsalgatidou, A. (2022). Process model abstraction for rapid comprehension of complex business processes. *Information Systems*, *103*, 101818. <https://doi.org/10.1016/j.is.2021.101818>

285. Tuş, A., & Aytaç Adalı, E. (2019a). The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem. *OPSEARCH*, 56(2), 528–538. <https://doi.org/10.1007/s12597-019-00371-6>
286. Tuş, A., & Aytaç Adalı, E. (2019b). The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem. *OPSEARCH*, 56(2), 528–538. <https://doi.org/10.1007/s12597-019-00371-6>
287. Twemlow, M., Tims, M., & Khapova, S. N. (2022). A process model of peer reactions to team member proactivity. *Human Relations*, 00187267221094023. <https://doi.org/10.1177/00187267221094023>
288. Uhryn, D., Andrunyk, V., Chyrun, L., Antonyuk, N., Dyyak, I., & Naum, O. (2020). Service-Oriented Architecture Development as an Integrating Platform in the Tourist Area. *MoMLet+ DS*, 221–236.
289. Uskenbayeva, R. K., Kuandykov, A., Bolshibayeva, A., & Rakhmetulayeva, S. B. (2020). An algorithm for creating an automated system based on platform of business process. *The 17th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (MobiSPC), The 15th International Conference on Future Networks and Communications (FNC), The 10th International Conference on Sustainable Energy Information Technology*, 175, 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.07.037>
290. Vaid, S. K., Vaid, G., Kaur, S., Kumar, R., & Sidhu, M. S. (2022). Application of multi-criteria decision-making theory with VIKOR-WASPAS-Entropy methods: A case study of silent Genset. *2nd International Conference on Functional Material, Manufacturing and Performances (ICFMMP-2021)*, 50, 2416–2423. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.259>
291. Vakaliuk, T. A., Korotun, O. V., & Semerikov, S. O. (2021). The selection of cloud services for ER-diagrams construction in IT specialists databases teaching. *CTE Workshop Proceedings*, 8, 384–397.
292. Valderas, J. M., Gangannagaripalli, J., Nolte, E., Boyd, C. M., Roland, M., Sarria-Santamera, A., Jones, E., & Rijken, M. (2019). Quality of care assessment for people with multimorbidity. *Journal of Internal Medicine*, 285(3), 289–300. <https://doi.org/10.1111/joim.12881>

293. Valderas, P., Torres, V., & Serral, E. (2022). Modelling and executing IoT-enhanced business processes through BPMN and microservices. *Journal of Systems and Software*, 184, 111139. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111139>
294. van de Wetering, R. (2022). The role of enterprise architecture-driven dynamic capabilities and operational digital ambidexterity in driving business value under the COVID-19 shock. *Heliyon*, 8(11), e11484. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11484>
295. Van Looy, A. (2021). A quantitative and qualitative study of the link between business process management and digital innovation. *Information & Management*, 58(2), 103413. <https://doi.org/10.1016/j.im.2020.103413>
296. Varga, M., & Csukas, B. (2022). Foundations of Programmable Process Structures for the unified modeling and simulation of agricultural and aquacultural systems. *Information Processing in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.10.001>
297. Vasilecas, O., Kalibatiene, D., & Lavbič, D. (2016). Rule- and context-based dynamic business process modelling and simulation. *Journal of Systems and Software*, 122, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.08.048>
298. Vernadat, F. (2020). Enterprise modelling: Research review and outlook. *Computers in Industry*, 122, 103265. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103265>
299. Vidovic, D. I., & Vuksic, V. B. (2003). Dynamic business process modelling using ARIS. *Proceedings of the 25th International Conference on Information Technology Interfaces, 2003. ITI 2003.*, 607–612.
300. Vijay, S., & Gomathi Prabha, M. (2021a). Work standardization and line balancing in a windmill gearbox manufacturing cell: A case study. *International Mechanical Engineering Congress 2019*, 46, 9721–9729. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.584>
301. Vijay, S., & Gomathi Prabha, M. (2021b). Work standardization and line balancing in a windmill gearbox manufacturing cell: A case study. *International Mechanical Engineering Congress 2019*, 46, 9721–9729. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.584>
302. Vlachokostas, Ch., Michailidou, A. V., & Achillas, Ch. (2021). Multi-Criteria Decision Analysis towards promoting Waste-to-Energy Management Strategies: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110563. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110563>

303. Voit, N. N., & Bochkov, S. I. (2021). Method to Convert UML State Chart Diagram to the Virtual Object Mock-Up. W. O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, C. Garau, I. Blečić, D. Taniar, B. O. Apduhan, A. M. A. C. Rocha, E. Tarantino, & C. M. Torre (Eds.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021* (pp. 453–464). Springer International Publishing.
304. von Mohr, M., Finotti, G., Ambroziak, K. B., & Tsakiris, M. (2020). Do you hear what I see? An audio-visual paradigm to assess emotional egocentricity bias. *Cognition and Emotion*, *34*(4), 756–770. <https://doi.org/10.1080/02699931.2019.1683516>
305. Votto, A. M., Valecha, R., Najafirad, P., & Rao, H. R. (2021). Artificial Intelligence in Tactical Human Resource Management: A Systematic Literature Review. *International Journal of Information Management Data Insights*, *1*(2), 100047. <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2021.100047>
306. Wan, S., Dong, J., & Chen, S.-M. (2021). Fuzzy best-worst method based on generalized interval-valued trapezoidal fuzzy numbers for multi-criteria decision-making. *Information Sciences*, *573*, 493–518. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.03.038>
307. Wang, W., Chen, T., Indulska, M., Sadiq, S., & Weber, B. (2022). Business process and rule integration approaches—An empirical analysis of model understanding. *Information Systems*, *104*, 101901. <https://doi.org/10.1016/j.is.2021.101901>
308. Wang, Y., Zheng, L., & Wang, Y. (2021). Event-driven tool condition monitoring methodology considering tool life prediction based on industrial internet. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*, 205–222. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.11.019>
309. Wang, Z., Wang, N., Su, X., & Ge, S. (2020). An empirical study on business analytics affordances enhancing the management of cloud computing data security. *International Journal of Information Management*, *50*, 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.09.002>
310. Waszkowski, R. (2019). Low-code platform for automating business processes in manufacturing. *13th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2019*, *52*(10), 376–381. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.060>
311. Waszkowski, R., & Nowicki, T. (2020). Efficiency investigation and optimization of contract management business processes in a workwear rental and laundry service company. *The 1st International Conference on Optimization-Driven Architectural Design (OPTARCH 2019)*, *44*, 551–558. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.256>

312. Weflen, E., MacKenzie, C. A., & Rivero, I. V. (2022). An influence diagram approach to automating lead time estimation in Agile Kanban project management. *Expert Systems with Applications*, 187, 115866. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115866>
313. Wibowo Putro, P. A., Purwaningsih, E. K., Sensuse, D. I., Suryono, R. R., & Kautsarina. (2022). Model and implementation of rice supply chain management: A literature review. *Sixth Information Systems International Conference (ISICO 2021)*, 197, 453–460. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.161>
314. Wickramanayake, B., He, Z., Ouyang, C., Moreira, C., Xu, Y., & Sindhgatta, R. (2022). Building interpretable models for business process prediction using shared and specialised attention mechanisms. *Knowledge-Based Systems*, 248, 108773. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.108773>
315. Winter, M., Neumann, H., Pryss, R., Probst, T., & Reichert, M. (2023). Defining gaze patterns for process model literacy – Exploring visual routines in process models with diverse mappings. *Expert Systems with Applications*, 213, 119217. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119217>
316. Wiśniewski, P., Bujak, A., Kluza, K., Suchenia, A., Zaremba, M., Jemioło, P., & Ligęza, A. (2022). Towards a Web-Based Platform Supporting the Recomposition of Business Processes. W E. Ziemia & W. Chmielarz (Red.), *Information Technology for Management: Business and Social Issues* (s. 166–185). Springer International Publishing.
317. Yadegaridehkordi, E., Hourmand, M., Nilashi, M., Alsolami, E., Samad, S., Mahmoud, M., Alarood, A. A., Zainol, A., Majeed, H. D., & Shuib, L. (2020). Assessment of sustainability indicators for green building manufacturing using fuzzy multi-criteria decision making approach. *Journal of Cleaner Production*, 277, 122905. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122905>
318. Yakimov, I., Kirpichnikov, A., Mokshin, V., Yakhina, Z., & Gainullin, R. (2017). The comparison of structured modeling and simulation modeling of queueing systems. *Information Technologies and Mathematical Modelling. Queueing Theory and Applications: 16th International Conference, ITMM 2017, Named After AF Terpugov, Kazan, Russia, September 29-October 3, 2017, Proceedings 16*, 256–267.

319. Yalcin, A. S., Kilic, H. S., & Delen, D. (2022). The use of multi-criteria decision-making methods in business analytics: A comprehensive literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, *174*, 121193. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121193>
320. Yalcin, N., & Ünlü, U. (2018). A multi-criteria performance analysis of Initial Public Offering (IPO) firms using CRITIC and VIKOR methods. *Technological and Economic development of Economy*, *24*(2), 534–560.
321. Yang, R., Wakefield, R., Lyu, S., Jayasuriya, S., Han, F., Yi, X., Yang, X., Amarasinghe, G., & Chen, S. (2020). Public and private blockchain in construction business process and information integration. *Automation in Construction*, *118*, 103276. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103276>
322. Yannis, G., Kopsacheili, A., Dragomanovits, A., & Petraki, V. (2020). State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, *7*(4), 413–431. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.005>
323. Yazdi, A. K., Wanke, P. F., Hanne, T., Abdi, F., & Sarfaraz, A. H. (2022). Supplier selection in the oil & gas industry: A comprehensive approach for Multi-Criteria Decision Analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, *79*, 101142. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101142>
324. Yong, X., Chen, W., Wu, Y., Tao, Y., Zhou, J., & He, J. (2022). A two-stage framework for site selection of underground pumped storage power stations using abandoned coal mines based on multi-criteria decision-making method: An empirical study in China. *Energy Conversion and Management*, *260*, 115608. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115608>
325. Yousefli, Z., Nasiri, F., & Moselhi, O. (2020). Maintenance workflow management in hospitals: An automated multi-agent facility management system. *Journal of Building Engineering*, *32*, 101431. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101431>
326. Yu, D., & Pan, T. (2021). Tracing knowledge diffusion of TOPSIS: A historical perspective from citation network. *Expert Systems with Applications*, *168*, 114238. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114238>
327. Yu, W., Jia, M., Fang, X., Lu, Y., & Xu, J. (2020). Modeling and analysis of medical resource allocation based on Timed Colored Petri net. *Future Generation Computer Systems*, *111*, 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.05.010>

328. Yu, Y., Wu, S., Yu, J., Xu, Y., Song, L., & Xu, W. (2022). A hybrid multi-criteria decision-making framework for offshore wind turbine selection: A case study in China. *Applied Energy*, 328, 120173. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120173>
329. Zaborowski, M. (2019). Data processing in self-controlling enterprise processes. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 3–20.
330. Zahid, K., Akram, M., & Kahraman, C. (2022). A new ELECTRE-based method for group decision-making with complex spherical fuzzy information. *Knowledge-Based Systems*, 243, 108525. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.108525>
331. Zhang, L., Ye, F., Xie, K., Gu, P., Wang, X., Laili, Y., Zhao, C., Zhang, X., Chen, M., Lin, T., & Chen, Z. (2022). An Integrated Intelligent Modeling and Simulation Language for Model-based Systems Engineering. *Journal of Industrial Information Integration*, 28, 100347. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100347>
332. Zhang, Y., Zhang, C., Yan, J., Yang, C., & Liu, Z. (2022). Rapid construction method of equipment model for discrete manufacturing digital twin workshop system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 75, 102309. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102309>
333. Zhao, D., Li, C., Wang, Q., & Yuan, J. (2020). Comprehensive evaluation of national electric power development based on cloud model and entropy method and TOPSIS: A case study in 11 countries. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123190. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123190>
334. Zhao, K., Jiang, Z., Li, D., & Ge, J. (2022). Outdoor environment assessment tool for existing neighbourhoods based on the multi-criteria decision-making method. *Building and Environment*, 209, 108687. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108687>
335. Zhu, Y., Tian, D., & Yan, F. (2020). Effectiveness of Entropy Weight Method in Decision-Making. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 3564835. <https://doi.org/10.1155/2020/3564835>
336. Zuhaira, B., & Ahmad, N. (2021). Business process modeling, implementation, analysis, and management: The case of business process management tools. *Business Process Management Journal*, 27(1), 145–183. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-06-2018-0168>

Załącznik A. Wyniki pośrednie obliczeń

Rozdział A.1. Obliczenia dla równych wag kryteriów dla metod MCDA: TOPSIS, VIKOR, AHP i SPOTIS

Rozdział A.1.1. TOPSIS

Tabela A28. Macierz decyzyjna znormalizowana metodą normalizacji wektorowej.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.2826	0.2632	0.2791	0.1634	0.3637	0.2509	0.1696	0.2582	0.3283	0.2901	0.0643	0.3544	0.1704	0.2778	0.1299	0.2628	0.2472	0.2472	0.2632
A ₂	0.1696	0.1579	0.2791	0.2724	0.0727	0.4181	0.2826	0.0861	0.3283	0.2901	0.0643	0.0709	0.1704	0.2778	0.1949	0.2628	0.2472	0.2472	0.2632
A ₃	0.2826	0.2632	0.2791	0.2724	0.0727	0.0836	0.1696	0.2582	0.1970	0.2901	0.1928	0.1418	0.1704	0.0556	0.1299	0.2102	0.2472	0.2472	0.2632
A ₄	0.1696	0.1579	0.1674	0.1634	0.0727	0.2509	0.2826	0.0861	0.1970	0.1741	0.1286	0.1418	0.1704	0.0556	0.1299	0.2102	0.1483	0.2472	0.1579
A ₅	0.1696	0.2632	0.2791	0.2724	0.0727	0.0836	0.2826	0.0861	0.3283	0.2901	0.1286	0.0709	0.1136	0.1667	0.1299	0.2628	0.2472	0.2472	0.2632
A ₆	0.1696	0.2632	0.2791	0.2724	0.0727	0.0836	0.2826	0.0861	0.3283	0.2901	0.1286	0.3544	0.2840	0.2778	0.1949	0.2102	0.2472	0.2472	0.2632
A ₇	0.2826	0.2632	0.2791	0.2724	0.2182	0.0836	0.2826	0.0861	0.1970	0.2901	0.0643	0.3544	0.1136	0.1111	0.0650	0.2102	0.2472	0.2472	0.2632
A ₈	0.2826	0.2632	0.2791	0.2724	0.1455	0.0836	0.2826	0.4303	0.1970	0.1741	0.3214	0.3544	0.2840	0.2778	0.3248	0.2628	0.2472	0.2472	0.2632
A ₉	0.2826	0.2632	0.2791	0.2724	0.3637	0.1672	0.2826	0.4303	0.3283	0.1741	0.3214	0.0709	0.2840	0.2778	0.1949	0.2628	0.2472	0.2472	0.2632
A ₁₀	0.2826	0.2632	0.2791	0.2724	0.3637	0.0836	0.2826	0.4303	0.0657	0.1741	0.3214	0.3544	0.2840	0.2778	0.3248	0.2628	0.2472	0.2472	0.1579
A ₁₁	0.2826	0.2632	0.2791	0.2724	0.3637	0.4181	0.2826	0.2582	0.3283	0.2901	0.3214	0.3544	0.2840	0.2778	0.3248	0.2628	0.2472	0.2472	0.2632
A ₁₂	0.2826	0.2632	0.2791	0.2724	0.1455	0.2509	0.1696	0.2582	0.0657	0.2901	0.3214	0.0709	0.2840	0.2778	0.3248	0.2628	0.2472	0.1483	0.2632
A ₁₃	0.2826	0.2632	0.1674	0.1634	0.1455	0.0836	0.1696	0.2582	0.0657	0.1741	0.3214	0.0709	0.2840	0.2778	0.3248	0.2102	0.2472	0.2472	0.1579
A ₁₄	0.2826	0.2632	0.1674	0.2724	0.2182	0.4181	0.2826	0.1721	0.2626	0.1741	0.3214	0.0709	0.2840	0.2778	0.3248	0.2628	0.2472	0.2472	0.2632
A ₁₅	0.1696	0.1579	0.1674	0.1634	0.3637	0.4181	0.1696	0.0861	0.0657	0.1741	0.1928	0.2127	0.2840	0.2778	0.1949	0.2102	0.2472	0.2472	0.1579
A ₁₆	0.1696	0.2632	0.0558	0.2724	0.3637	0.1672	0.1696	0.1721	0.3283	0.1741	0.3214	0.0709	0.2840	0.2778	0.3248	0.2628	0.2472	0.2472	0.2632
A ₁₇	0.1696	0.1579	0.1674	0.0545	0.1455	0.0836	0.1696	0.0861	0.0657	0.2901	0.1928	0.3544	0.2272	0.1667	0.1949	0.2102	0.2472	0.2472	0.2632

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A29. Ważona znormalizowana macierz decyzyjna.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0149	0.0139	0.0147	0.0086	0.0191	0.0132	0.0089	0.0136	0.0173	0.0153	0.0034	0.0187	0.0090	0.0146	0.0068	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139
A ₂	0.0089	0.0083	0.0147	0.0143	0.0038	0.0220	0.0149	0.0045	0.0173	0.0153	0.0034	0.0037	0.0090	0.0146	0.0103	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139
A ₃	0.0149	0.0139	0.0147	0.0143	0.0038	0.0044	0.0089	0.0136	0.0104	0.0153	0.0101	0.0075	0.0090	0.0029	0.0068	0.0111	0.0130	0.0130	0.0139
A ₄	0.0089	0.0083	0.0088	0.0086	0.0038	0.0132	0.0149	0.0045	0.0104	0.0092	0.0068	0.0075	0.0090	0.0029	0.0068	0.0111	0.0078	0.0130	0.0083
A ₅	0.0089	0.0139	0.0147	0.0143	0.0038	0.0044	0.0149	0.0045	0.0173	0.0153	0.0068	0.0037	0.0060	0.0088	0.0068	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139
A ₆	0.0089	0.0139	0.0147	0.0143	0.0038	0.0044	0.0149	0.0045	0.0173	0.0153	0.0068	0.0187	0.0149	0.0146	0.0103	0.0111	0.0130	0.0130	0.0139
A ₇	0.0149	0.0139	0.0147	0.0143	0.0115	0.0044	0.0149	0.0045	0.0104	0.0153	0.0034	0.0187	0.0060	0.0058	0.0034	0.0111	0.0130	0.0130	0.0139
A ₈	0.0149	0.0139	0.0147	0.0143	0.0077	0.0044	0.0149	0.0226	0.0104	0.0092	0.0169	0.0187	0.0149	0.0146	0.0171	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139
A ₉	0.0149	0.0139	0.0147	0.0143	0.0191	0.0088	0.0149	0.0226	0.0173	0.0092	0.0169	0.0037	0.0149	0.0146	0.0103	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139
A ₁₀	0.0149	0.0139	0.0147	0.0143	0.0191	0.0044	0.0149	0.0226	0.0035	0.0092	0.0169	0.0187	0.0149	0.0146	0.0171	0.0138	0.0130	0.0130	0.0083
A ₁₁	0.0149	0.0139	0.0147	0.0143	0.0191	0.0220	0.0149	0.0136	0.0173	0.0153	0.0169	0.0187	0.0149	0.0146	0.0171	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139
A ₁₂	0.0149	0.0139	0.0147	0.0143	0.0077	0.0132	0.0089	0.0136	0.0035	0.0153	0.0169	0.0037	0.0149	0.0146	0.0171	0.0138	0.0130	0.0078	0.0139
A ₁₃	0.0149	0.0139	0.0088	0.0086	0.0077	0.0044	0.0089	0.0136	0.0035	0.0092	0.0169	0.0037	0.0149	0.0146	0.0171	0.0111	0.0130	0.0130	0.0083
A ₁₄	0.0149	0.0139	0.0088	0.0143	0.0115	0.0220	0.0149	0.0091	0.0138	0.0092	0.0169	0.0037	0.0149	0.0146	0.0171	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139
A ₁₅	0.0089	0.0083	0.0088	0.0086	0.0191	0.0220	0.0089	0.0045	0.0035	0.0092	0.0101	0.0112	0.0149	0.0146	0.0103	0.0111	0.0130	0.0130	0.0083
A ₁₆	0.0089	0.0139	0.0029	0.0143	0.0191	0.0088	0.0089	0.0091	0.0173	0.0092	0.0169	0.0037	0.0149	0.0146	0.0171	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139
A ₁₇	0.0089	0.0083	0.0088	0.0029	0.0077	0.0044	0.0089	0.0045	0.0035	0.0153	0.0101	0.0187	0.0120	0.0088	0.0103	0.0111	0.0130	0.0130	0.0139

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A30. Wektory zawierające Pozytywne Idealne Rozwiązanie (PIS) i Negatywne Idealne Rozwiązanie (NIS).

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
PIS	0.0149	0.0139	0.0147	0.0143	0.0191	0.0220	0.0149	0.0226	0.0173	0.0153	0.0169	0.0187	0.0149	0.0146	0.0171	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139
NIS	0.0149	0.0139	0.0147	0.0143	0.0191	0.0220	0.0149	0.0226	0.0173	0.0153	0.0169	0.0187	0.0149	0.0146	0.0171	0.0138	0.0130	0.0130	0.0139

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A31. Wektory zawierające odległości alternatyw od PIS (D_i^+) i NIS (D_i^-) i względna odległość alternatyw od rozwiązania idealnego (C_i).

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
D_i^+	0.0235	0.0334	0.0341	0.0378	0.0381	0.0326	0.0358	0.0230	0.0219	0.0239	0.0091	0.0277	0.0334	0.0234	0.0302	0.0288	0.0370
D_i^-	0.0365	0.0336	0.0258	0.0174	0.0267	0.0339	0.0288	0.0408	0.0410	0.0425	0.0461	0.0346	0.0295	0.0380	0.0321	0.0362	0.0236
C_i	0.6084	0.5012	0.4308	0.3145	0.4120	0.5092	0.4462	0.6399	0.6517	0.6405	0.8359	0.5556	0.4692	0.6184	0.5154	0.5569	0.3891

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.1.2. VIKOR

Tabela A32. Najlepsze (F_j^+) i najgorsze (F_j^-) wartości.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
F_j^+	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
F_j^-	3	3	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	2	1	1	4	3	3	3

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A33. Ważona macierz decyzyjna.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0000	0.0000	0.0000	0.0263	0.0000	0.0263	0.0526	0.0263	0.0000	0.0000	0.0526	0.0000	0.0351	0.0000	0.0395	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₂	0.0526	0.0526	0.0000	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0526	0.0526	0.0351	0.0000	0.0263	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₃	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0526	0.0526	0.0526	0.0263	0.0263	0.0000	0.0263	0.0395	0.0351	0.0526	0.0395	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000
A ₄	0.0526	0.0526	0.0263	0.0263	0.0526	0.0263	0.0000	0.0526	0.0263	0.0526	0.0395	0.0395	0.0351	0.0526	0.0395	0.0526	0.0526	0.0000	0.0526
A ₅	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000	0.0526	0.0526	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0395	0.0526	0.0526	0.0263	0.0395	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₆	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000	0.0526	0.0526	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0395	0.0000	0.0000	0.0000	0.0263	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000
A ₇	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0263	0.0526	0.0000	0.0526	0.0263	0.0000	0.0526	0.0000	0.0526	0.0395	0.0526	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000
A ₈	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0395	0.0526	0.0000	0.0000	0.0263	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₉	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0395	0.0000	0.0000	0.0000	0.0526	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0263	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₀	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0526	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0526
A ₁₁	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0263	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

A ₁₂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0395	0.0263	0.0526	0.0263	0.0526	0.0000	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0526	0.0000
A ₁₃	0.0000	0.0000	0.0263	0.0263	0.0395	0.0526	0.0526	0.0263	0.0526	0.0526	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0526
A ₁₄	0.0000	0.0000	0.0263	0.0000	0.0263	0.0000	0.0000	0.0395	0.0132	0.0526	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₅	0.0526	0.0526	0.0263	0.0263	0.0000	0.0000	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0263	0.0263	0.0000	0.0000	0.0263	0.0526	0.0000	0.0000	0.0526
A ₁₆	0.0526	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0395	0.0526	0.0395	0.0000	0.0526	0.0000	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₇	0.0526	0.0526	0.0263	0.0526	0.0395	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0000	0.0263	0.0000	0.0175	0.0263	0.0263	0.0526	0.0000	0.0000	0.0000

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A34. Wektory zawierające wartości S_i i R_i .

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
S _i	0.2588	0.3772	0.4561	0.7325	0.4211	0.3289	0.4079	0.1711	0.1711	0.2105	0.0263	0.3026	0.4868	0.2105	0.5526	0.3421	0.5833
R _i	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0263	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A35. Wartości S^* , S^- , R^* i R^- .

S [*]	0.026316
S ⁻	0.732456
R [*]	0.026316
R ⁻	0.052632

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A36. Wektor zawierający wartości Q_i .

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
Q _i	0.6646	0.7484	0.8043	1.0000	0.7795	0.7143	0.7702	0.6025	0.6025	0.6304	0.0000	0.6957	0.8261	0.6304	0.8727	0.7236	0.8944

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.1.3. AHP

Tabela A37. Macierz decyzyjna znormalizowana metodą normalizacji sumy.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0704	0.0649	0.0704	0.0411	0.1020	0.0732	0.0423	0.0732	0.0893	0.0725	0.0172	0.1020	0.0429	0.0714	0.0339	0.0641	0.0602	0.0602	0.0649
A ₂	0.0423	0.0390	0.0704	0.0685	0.0204	0.1220	0.0704	0.0244	0.0893	0.0725	0.0172	0.0204	0.0429	0.0714	0.0508	0.0641	0.0602	0.0602	0.0649
A ₃	0.0704	0.0649	0.0704	0.0685	0.0204	0.0244	0.0423	0.0732	0.0536	0.0725	0.0517	0.0408	0.0429	0.0143	0.0339	0.0513	0.0602	0.0602	0.0649
A ₄	0.0423	0.0390	0.0423	0.0411	0.0204	0.0732	0.0704	0.0244	0.0536	0.0435	0.0345	0.0408	0.0429	0.0143	0.0339	0.0513	0.0361	0.0602	0.0390
A ₅	0.0423	0.0649	0.0704	0.0685	0.0204	0.0244	0.0704	0.0244	0.0893	0.0725	0.0345	0.0204	0.0286	0.0429	0.0339	0.0641	0.0602	0.0602	0.0649
A ₆	0.0423	0.0649	0.0704	0.0685	0.0204	0.0244	0.0704	0.0244	0.0893	0.0725	0.0345	0.1020	0.0714	0.0714	0.0508	0.0513	0.0602	0.0602	0.0649
A ₇	0.0704	0.0649	0.0704	0.0685	0.0612	0.0244	0.0704	0.0244	0.0536	0.0725	0.0172	0.1020	0.0286	0.0286	0.0169	0.0513	0.0602	0.0602	0.0649
A ₈	0.0704	0.0649	0.0704	0.0685	0.0408	0.0244	0.0704	0.1220	0.0536	0.0435	0.0862	0.1020	0.0714	0.0714	0.0847	0.0641	0.0602	0.0602	0.0649
A ₉	0.0704	0.0649	0.0704	0.0685	0.1020	0.0488	0.0704	0.1220	0.0893	0.0435	0.0862	0.0204	0.0714	0.0714	0.0508	0.0641	0.0602	0.0602	0.0649
A ₁₀	0.0704	0.0649	0.0704	0.0685	0.1020	0.0244	0.0704	0.1220	0.0179	0.0435	0.0862	0.1020	0.0714	0.0714	0.0847	0.0641	0.0602	0.0602	0.0390
A ₁₁	0.0704	0.0649	0.0704	0.0685	0.1020	0.1220	0.0704	0.0732	0.0893	0.0725	0.0862	0.1020	0.0714	0.0714	0.0847	0.0641	0.0602	0.0602	0.0649
A ₁₂	0.0704	0.0649	0.0704	0.0685	0.0408	0.0732	0.0423	0.0732	0.0179	0.0725	0.0862	0.0204	0.0714	0.0714	0.0847	0.0641	0.0602	0.0361	0.0649
A ₁₃	0.0704	0.0649	0.0423	0.0411	0.0408	0.0244	0.0423	0.0732	0.0179	0.0435	0.0862	0.0204	0.0714	0.0714	0.0847	0.0513	0.0602	0.0602	0.0390
A ₁₄	0.0704	0.0649	0.0423	0.0685	0.0612	0.1220	0.0704	0.0488	0.0714	0.0435	0.0862	0.0204	0.0714	0.0714	0.0847	0.0641	0.0602	0.0602	0.0649
A ₁₅	0.0423	0.0390	0.0423	0.0411	0.1020	0.1220	0.0423	0.0244	0.0179	0.0435	0.0517	0.0612	0.0714	0.0714	0.0508	0.0513	0.0602	0.0602	0.0390
A ₁₆	0.0423	0.0649	0.0141	0.0685	0.1020	0.0488	0.0423	0.0488	0.0893	0.0435	0.0862	0.0204	0.0714	0.0714	0.0847	0.0641	0.0602	0.0602	0.0649
A ₁₇	0.0423	0.0390	0.0423	0.0137	0.0408	0.0244	0.0423	0.0244	0.0179	0.0725	0.0517	0.1020	0.0571	0.0429	0.0508	0.0513	0.0602	0.0602	0.0649

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A38. Ważona znormalizowana macierz decyzyjna.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0037	0.0034	0.0037	0.0022	0.0054	0.0039	0.0022	0.0039	0.0047	0.0038	0.0009	0.0054	0.0023	0.0038	0.0018	0.0034	0.0032	0.0032	0.0034
A ₂	0.0022	0.0021	0.0037	0.0036	0.0011	0.0064	0.0037	0.0013	0.0047	0.0038	0.0009	0.0011	0.0023	0.0038	0.0027	0.0034	0.0032	0.0032	0.0034
A ₃	0.0037	0.0034	0.0037	0.0036	0.0011	0.0013	0.0022	0.0039	0.0028	0.0038	0.0027	0.0021	0.0023	0.0008	0.0018	0.0027	0.0032	0.0032	0.0034
A ₄	0.0022	0.0021	0.0022	0.0022	0.0011	0.0039	0.0037	0.0013	0.0028	0.0023	0.0018	0.0021	0.0023	0.0008	0.0018	0.0027	0.0019	0.0032	0.0021

A ₅	0.0022	0.0034	0.0037	0.0036	0.0011	0.0013	0.0037	0.0013	0.0047	0.0038	0.0018	0.0011	0.0015	0.0023	0.0018	0.0034	0.0032	0.0032	0.0034
A ₆	0.0022	0.0034	0.0037	0.0036	0.0011	0.0013	0.0037	0.0013	0.0047	0.0038	0.0018	0.0054	0.0038	0.0038	0.0027	0.0027	0.0032	0.0032	0.0034
A ₇	0.0037	0.0034	0.0037	0.0036	0.0032	0.0013	0.0037	0.0013	0.0028	0.0038	0.0009	0.0054	0.0015	0.0015	0.0009	0.0027	0.0032	0.0032	0.0034
A ₈	0.0037	0.0034	0.0037	0.0036	0.0021	0.0013	0.0037	0.0064	0.0028	0.0023	0.0045	0.0054	0.0038	0.0038	0.0045	0.0034	0.0032	0.0032	0.0034
A ₉	0.0037	0.0034	0.0037	0.0036	0.0054	0.0026	0.0037	0.0064	0.0047	0.0023	0.0045	0.0011	0.0038	0.0038	0.0027	0.0034	0.0032	0.0032	0.0034
A ₁₀	0.0037	0.0034	0.0037	0.0036	0.0054	0.0013	0.0037	0.0064	0.0009	0.0023	0.0045	0.0054	0.0038	0.0038	0.0045	0.0034	0.0032	0.0032	0.0021
A ₁₁	0.0037	0.0034	0.0037	0.0036	0.0054	0.0064	0.0037	0.0039	0.0047	0.0038	0.0045	0.0054	0.0038	0.0038	0.0045	0.0034	0.0032	0.0032	0.0034
A ₁₂	0.0037	0.0034	0.0037	0.0036	0.0021	0.0039	0.0022	0.0039	0.0009	0.0038	0.0045	0.0011	0.0038	0.0038	0.0045	0.0034	0.0032	0.0019	0.0034
A ₁₃	0.0037	0.0034	0.0022	0.0022	0.0021	0.0013	0.0022	0.0039	0.0009	0.0023	0.0045	0.0011	0.0038	0.0038	0.0045	0.0027	0.0032	0.0032	0.0021
A ₁₄	0.0037	0.0034	0.0022	0.0036	0.0032	0.0064	0.0037	0.0026	0.0038	0.0023	0.0045	0.0011	0.0038	0.0038	0.0045	0.0034	0.0032	0.0032	0.0034
A ₁₅	0.0022	0.0021	0.0022	0.0022	0.0054	0.0064	0.0022	0.0013	0.0009	0.0023	0.0027	0.0032	0.0038	0.0038	0.0027	0.0027	0.0032	0.0032	0.0021
A ₁₆	0.0022	0.0034	0.0007	0.0036	0.0054	0.0026	0.0022	0.0026	0.0047	0.0023	0.0045	0.0011	0.0038	0.0038	0.0045	0.0034	0.0032	0.0032	0.0034
A ₁₇	0.0022	0.0021	0.0022	0.0007	0.0021	0.0013	0.0022	0.0013	0.0009	0.0038	0.0027	0.0054	0.0030	0.0023	0.0027	0.0027	0.0032	0.0032	0.0034

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.1.4. SPOTIS

Tabela A39. Granice zawierające wartości minimalne S_j^{\min} i maksymalne S_j^{\max} dla każdego kryterium i ISP (Idealny Punkt Rozwiązania).

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
S_j^{\min}	3	3	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	2	1	1	4	3	3	3
S_j^{\max}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ISP	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A40. Macierz zawierająca znormalizowane odległości d_{ij} dla każdej alternatywy.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000	0.5000	1.0000	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.6667	0.0000	0.7500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₂	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.6667	0.0000	0.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₃	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5000	0.5000	0.0000	0.5000	0.7500	0.6667	1.0000	0.7500	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000

A ₄	1.0000	1.0000	0.5000	0.5000	1.0000	0.5000	0.0000	1.0000	0.5000	1.0000	0.7500	0.7500	0.6667	1.0000	0.7500	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
A ₅	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.7500	1.0000	1.0000	0.5000	0.7500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₆	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.7500	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₇	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	1.0000	0.0000	1.0000	0.5000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.7500	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₈	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7500	1.0000	0.0000	0.0000	0.5000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₉	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7500	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₀	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
A ₁₁	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7500	0.5000	1.0000	0.5000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
A ₁₃	0.0000	0.0000	0.5000	0.5000	0.7500	1.0000	1.0000	0.5000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
A ₁₄	0.0000	0.0000	0.5000	0.0000	0.5000	0.0000	0.0000	0.7500	0.2500	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₅	1.0000	1.0000	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000	0.5000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
A ₁₆	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.7500	1.0000	0.7500	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₇	1.0000	1.0000	0.5000	1.0000	0.7500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.5000	0.0000	0.3333	0.5000	0.5000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A41. Średnie ważone znormalizowane odległości od rozwiązania idealnego d_i dla każdej alternatywy.

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
d_i	0.2588	0.3772	0.4561	0.7325	0.4211	0.3289	0.4079	0.1711	0.1711	0.2105	0.0263	0.3026	0.4868	0.2105	0.5526	0.3421	0.5833

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.2. Obliczenia dla wag kryteriów wyznaczonych metodą entropii dla metod MCDA: TOPSIS, VIKOR, AHP i SPOTIS

Rozdział A.2.1. TOPSIS

Macierz decyzyjna znormalizowana została przedstawiona w Tabeli A1.

Tabela A42. Ważona znormalizowana macierz decyzyjna.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0055	0.0034	0.0092	0.0050	0.0424	0.0358	0.0033	0.0307	0.0325	0.0060	0.0054	0.0509	0.0047	0.0145	0.0073	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034
A ₂	0.0033	0.0020	0.0092	0.0084	0.0085	0.0597	0.0055	0.0102	0.0325	0.0060	0.0054	0.0102	0.0047	0.0145	0.0109	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034
A ₃	0.0055	0.0034	0.0092	0.0084	0.0085	0.0119	0.0033	0.0307	0.0195	0.0060	0.0161	0.0204	0.0047	0.0029	0.0073	0.0008	0.0009	0.0009	0.0034
A ₄	0.0033	0.0020	0.0055	0.0050	0.0085	0.0358	0.0055	0.0102	0.0195	0.0036	0.0107	0.0204	0.0047	0.0029	0.0073	0.0008	0.0005	0.0009	0.0020
A ₅	0.0033	0.0034	0.0092	0.0084	0.0085	0.0119	0.0055	0.0102	0.0325	0.0060	0.0107	0.0102	0.0031	0.0087	0.0073	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034
A ₆	0.0033	0.0034	0.0092	0.0084	0.0085	0.0119	0.0055	0.0102	0.0325	0.0060	0.0107	0.0509	0.0079	0.0145	0.0109	0.0008	0.0009	0.0009	0.0034
A ₇	0.0055	0.0034	0.0092	0.0084	0.0254	0.0119	0.0055	0.0102	0.0195	0.0060	0.0054	0.0509	0.0031	0.0058	0.0036	0.0008	0.0009	0.0009	0.0034
A ₈	0.0055	0.0034	0.0092	0.0084	0.0170	0.0119	0.0055	0.0512	0.0195	0.0036	0.0268	0.0509	0.0079	0.0145	0.0182	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034
A ₉	0.0055	0.0034	0.0092	0.0084	0.0424	0.0239	0.0055	0.0512	0.0325	0.0036	0.0268	0.0102	0.0079	0.0145	0.0109	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034
A ₁₀	0.0055	0.0034	0.0092	0.0084	0.0424	0.0119	0.0055	0.0512	0.0065	0.0036	0.0268	0.0509	0.0079	0.0145	0.0182	0.0010	0.0009	0.0009	0.0020
A ₁₁	0.0055	0.0034	0.0092	0.0084	0.0424	0.0597	0.0055	0.0307	0.0325	0.0060	0.0268	0.0509	0.0079	0.0145	0.0182	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034
A ₁₂	0.0055	0.0034	0.0092	0.0084	0.0170	0.0358	0.0033	0.0307	0.0065	0.0060	0.0268	0.0102	0.0079	0.0145	0.0182	0.0010	0.0009	0.0005	0.0034
A ₁₃	0.0055	0.0034	0.0055	0.0050	0.0170	0.0119	0.0033	0.0307	0.0065	0.0036	0.0268	0.0102	0.0079	0.0145	0.0182	0.0008	0.0009	0.0009	0.0020
A ₁₄	0.0055	0.0034	0.0055	0.0084	0.0254	0.0597	0.0055	0.0205	0.0260	0.0036	0.0268	0.0102	0.0079	0.0145	0.0182	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034
A ₁₅	0.0033	0.0020	0.0055	0.0050	0.0424	0.0597	0.0033	0.0102	0.0065	0.0036	0.0161	0.0305	0.0079	0.0145	0.0109	0.0008	0.0009	0.0009	0.0020
A ₁₆	0.0033	0.0034	0.0018	0.0084	0.0424	0.0239	0.0033	0.0205	0.0325	0.0036	0.0268	0.0102	0.0079	0.0145	0.0182	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034
A ₁₇	0.0033	0.0020	0.0055	0.0017	0.0170	0.0119	0.0033	0.0102	0.0065	0.0060	0.0161	0.0509	0.0063	0.0087	0.0109	0.0008	0.0009	0.0009	0.0034

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A43. Wektory zawierające Pozytywne Idealne Rozwiązanie (PIS) i Negatywne Idealne Rozwiązanie (NIS).

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
PIS	0.0055	0.0034	0.0092	0.0084	0.0424	0.0597	0.0055	0.0512	0.0325	0.0060	0.0268	0.0509	0.0079	0.0145	0.0182	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034
NIS	0.0055	0.0034	0.0092	0.0084	0.0424	0.0597	0.0055	0.0512	0.0325	0.0060	0.0268	0.0509	0.0079	0.0145	0.0182	0.0010	0.0009	0.0009	0.0034

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A44. Wektory zawierające odległości alternatyw od PIS (D_i^+) i NIS (D_i^-) i względna odległość alternatyw od rozwiązania idealnego (C_i).

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
D ⁺	0.0399	0.0708	0.0730	0.0711	0.0849	0.0736	0.0720	0.0557	0.0547	0.0544	0.0205	0.0630	0.0756	0.0543	0.0546	0.0629	0.0745
D ⁻	0.0686	0.0571	0.0306	0.0303	0.0294	0.0518	0.0473	0.0672	0.0666	0.0737	0.0844	0.0448	0.0368	0.0629	0.0647	0.0543	0.0443
C _i	0.6320	0.4462	0.2953	0.2985	0.2575	0.4131	0.3967	0.5469	0.5487	0.5751	0.8048	0.4152	0.3272	0.5365	0.5426	0.4636	0.3728

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.2.2. VIKOR

Najlepsze (F_j^+) i najgorsze (F_j^-) wartości zostały przedstawione w Tabeli A5.

Tabela A45. Ważona macierz decyzyjna.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0000	0.0000	0.0000	0.0154	0.0000	0.0713	0.0193	0.0595	0.0000	0.0000	0.0835	0.0000	0.0185	0.0000	0.0420	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₂	0.0193	0.0129	0.0000	0.0000	0.1166	0.0000	0.0000	0.1190	0.0000	0.0000	0.0835	0.1436	0.0185	0.0000	0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₃	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1166	0.1427	0.0193	0.0595	0.0495	0.0000	0.0417	0.1077	0.0185	0.0523	0.0420	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000
A ₄	0.0193	0.0129	0.0165	0.0154	0.1166	0.0713	0.0000	0.1190	0.0495	0.0206	0.0626	0.1077	0.0185	0.0523	0.0420	0.0039	0.0036	0.0000	0.0129
A ₅	0.0193	0.0000	0.0000	0.0000	0.1166	0.1427	0.0000	0.1190	0.0000	0.0000	0.0626	0.1436	0.0277	0.0261	0.0420	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₆	0.0193	0.0000	0.0000	0.0000	0.1166	0.1427	0.0000	0.1190	0.0000	0.0000	0.0626	0.0000	0.0000	0.0000	0.0280	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000
A ₇	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0583	0.1427	0.0000	0.1190	0.0495	0.0000	0.0835	0.0000	0.0277	0.0392	0.0559	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000
A ₈	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0874	0.1427	0.0000	0.0000	0.0495	0.0206	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₉	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070	0.0000	0.0000	0.0000	0.0206	0.0000	0.1436	0.0000	0.0000	0.0280	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₀	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1427	0.0000	0.0000	0.0990	0.0206	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0129
A ₁₁	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0595	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0874	0.0713	0.0193	0.0595	0.0990	0.0000	0.0000	0.1436	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0.0000
A ₁₃	0.0000	0.0000	0.0165	0.0154	0.0874	0.1427	0.0193	0.0595	0.0990	0.0206	0.0000	0.1436	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0129
A ₁₄	0.0000	0.0000	0.0165	0.0000	0.0583	0.0000	0.0000	0.0892	0.0248	0.0206	0.0000	0.1436	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₅	0.0193	0.0129	0.0165	0.0154	0.0000	0.0000	0.0193	0.1190	0.0990	0.0206	0.0417	0.0718	0.0000	0.0000	0.0280	0.0039	0.0000	0.0000	0.0129
A ₁₆	0.0193	0.0000	0.0330	0.0000	0.0000	0.1070	0.0193	0.0892	0.0000	0.0206	0.0000	0.1436	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

A ₁₇	0.0193	0.0129	0.0165	0.0309	0.0874	0.1427	0.0193	0.1190	0.0990	0.0000	0.0417	0.0000	0.0092	0.0261	0.0280	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000
-----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A46. Wektory zawierające wartości S_i i R_i .

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
S _i	0.3094	0.5411	0.6535	0.7444	0.6995	0.4920	0.5796	0.3002	0.2992	0.2752	0.0595	0.4837	0.6208	0.3529	0.4802	0.4320	0.6559
R _i	0.0835	0.1436	0.1427	0.1190	0.1436	0.1427	0.1427	0.1427	0.1436	0.1427	0.0595	0.1436	0.1436	0.1436	0.1190	0.1436	0.1427

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A47. Wartości S^* , S^- , R^* i R^- .

S*	0.059476
S ⁻	0.744371
R*	0.059476
R ⁻	0.143557

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A48. Wektor zawierający wartości Q_i .

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
Q _i	0.3251	0.8516	0.9284	0.8537	0.9672	0.8105	0.8745	0.6705	0.6750	0.6522	0.0000	0.8097	0.9098	0.7142	0.6608	0.7720	0.9301

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.2.3. AHP

Znormalizowana macierz decyzyjna została przedstawiona w Tabeli A10.

Tabela A49. Wazona znormalizowana macierz decyzyjna.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
--	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

A ₁	0.0014	0.0008	0.0023	0.0013	0.0119	0.0104	0.0008	0.0087	0.0088	0.0015	0.0014	0.0146	0.0012	0.0037	0.0019	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008
A ₂	0.0008	0.0005	0.0023	0.0021	0.0024	0.0174	0.0014	0.0029	0.0088	0.0015	0.0014	0.0029	0.0012	0.0037	0.0028	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008
A ₃	0.0014	0.0008	0.0023	0.0021	0.0024	0.0035	0.0008	0.0087	0.0053	0.0015	0.0043	0.0059	0.0012	0.0007	0.0019	0.0002	0.0002	0.0002	0.0008
A ₄	0.0008	0.0005	0.0014	0.0013	0.0024	0.0104	0.0014	0.0029	0.0053	0.0009	0.0029	0.0059	0.0012	0.0007	0.0019	0.0002	0.0001	0.0002	0.0005
A ₅	0.0008	0.0008	0.0023	0.0021	0.0024	0.0035	0.0014	0.0029	0.0088	0.0015	0.0029	0.0029	0.0008	0.0022	0.0019	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008
A ₆	0.0008	0.0008	0.0023	0.0021	0.0024	0.0035	0.0014	0.0029	0.0088	0.0015	0.0029	0.0146	0.0020	0.0037	0.0028	0.0002	0.0002	0.0002	0.0008
A ₇	0.0014	0.0008	0.0023	0.0021	0.0071	0.0035	0.0014	0.0029	0.0053	0.0015	0.0014	0.0146	0.0008	0.0015	0.0009	0.0002	0.0002	0.0002	0.0008
A ₈	0.0014	0.0008	0.0023	0.0021	0.0048	0.0035	0.0014	0.0145	0.0053	0.0009	0.0072	0.0146	0.0020	0.0037	0.0047	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008
A ₉	0.0014	0.0008	0.0023	0.0021	0.0119	0.0070	0.0014	0.0145	0.0088	0.0009	0.0072	0.0029	0.0020	0.0037	0.0028	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008
A ₁₀	0.0014	0.0008	0.0023	0.0021	0.0119	0.0035	0.0014	0.0145	0.0018	0.0009	0.0072	0.0146	0.0020	0.0037	0.0047	0.0003	0.0002	0.0002	0.0005
A ₁₁	0.0014	0.0008	0.0023	0.0021	0.0119	0.0174	0.0014	0.0087	0.0088	0.0015	0.0072	0.0146	0.0020	0.0037	0.0047	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008
A ₁₂	0.0014	0.0008	0.0023	0.0021	0.0048	0.0104	0.0008	0.0087	0.0018	0.0015	0.0072	0.0029	0.0020	0.0037	0.0047	0.0003	0.0002	0.0001	0.0008
A ₁₃	0.0014	0.0008	0.0014	0.0013	0.0048	0.0035	0.0008	0.0087	0.0018	0.0009	0.0072	0.0029	0.0020	0.0037	0.0047	0.0002	0.0002	0.0002	0.0005
A ₁₄	0.0014	0.0008	0.0014	0.0021	0.0071	0.0174	0.0014	0.0058	0.0071	0.0009	0.0072	0.0029	0.0020	0.0037	0.0047	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008
A ₁₅	0.0008	0.0005	0.0014	0.0013	0.0119	0.0174	0.0008	0.0029	0.0018	0.0009	0.0043	0.0088	0.0020	0.0037	0.0028	0.0002	0.0002	0.0002	0.0005
A ₁₆	0.0008	0.0008	0.0005	0.0021	0.0119	0.0070	0.0008	0.0058	0.0088	0.0009	0.0072	0.0029	0.0020	0.0037	0.0047	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008
A ₁₇	0.0008	0.0005	0.0014	0.0004	0.0048	0.0035	0.0008	0.0029	0.0018	0.0015	0.0043	0.0146	0.0016	0.0022	0.0028	0.0002	0.0002	0.0002	0.0008

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.2.4. SPOTIS

Granice zawierające wartości minimalne S_j^{\min} i maksymalne S_j^{\max} dla każdego kryterium i ISP (Idealny Punkt Rozwiązania) zostały przedstawione w Tabeli A12. Macierz zawierająca znormalizowane odległości d_{ij} dla każdej alternatywy została przedstawiona w Tabeli A13.

Tabela A50. Średnie ważone znormalizowane odległości od rozwiązania idealnego d_i dla każdej alternatywy.

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
d_i	0.3094	0.5411	0.6535	0.7444	0.6995	0.4920	0.5796	0.3002	0.2992	0.2752	0.0595	0.4837	0.6208	0.3529	0.4802	0.4320	0.6559

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.3. Obliczenia dla wag kryteriów wyznaczonych metodą CRITIC dla metod MCDA: TOPSIS, VIKOR, AHP i SPOTIS

Rozdział A.3.1. TOPSIS

Macierz decyzyjna znormalizowana została przedstawiona w Tabeli A1.

Tabela A51. Ważona znormalizowana macierz decyzyjna.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0172	0.0131	0.0114	0.0058	0.0199	0.0157	0.0119	0.0112	0.0188	0.0241	0.0034	0.0248	0.0086	0.0119	0.0057	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150
A ₂	0.0103	0.0079	0.0114	0.0097	0.0040	0.0261	0.0198	0.0037	0.0188	0.0241	0.0034	0.0050	0.0086	0.0119	0.0086	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150
A ₃	0.0172	0.0131	0.0114	0.0097	0.0040	0.0052	0.0119	0.0112	0.0113	0.0241	0.0101	0.0099	0.0086	0.0024	0.0057	0.0117	0.0072	0.0098	0.0150
A ₄	0.0103	0.0079	0.0068	0.0058	0.0040	0.0157	0.0198	0.0037	0.0113	0.0145	0.0068	0.0099	0.0086	0.0024	0.0057	0.0117	0.0043	0.0098	0.0090
A ₅	0.0103	0.0131	0.0114	0.0097	0.0040	0.0052	0.0198	0.0037	0.0188	0.0241	0.0068	0.0050	0.0057	0.0072	0.0057	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150
A ₆	0.0103	0.0131	0.0114	0.0097	0.0040	0.0052	0.0198	0.0037	0.0188	0.0241	0.0068	0.0248	0.0143	0.0119	0.0086	0.0117	0.0072	0.0098	0.0150
A ₇	0.0172	0.0131	0.0114	0.0097	0.0119	0.0052	0.0198	0.0037	0.0113	0.0241	0.0034	0.0248	0.0057	0.0048	0.0029	0.0117	0.0072	0.0098	0.0150
A ₈	0.0172	0.0131	0.0114	0.0097	0.0080	0.0052	0.0198	0.0187	0.0113	0.0145	0.0169	0.0248	0.0143	0.0119	0.0143	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150
A ₉	0.0172	0.0131	0.0114	0.0097	0.0199	0.0105	0.0198	0.0187	0.0188	0.0145	0.0169	0.0050	0.0143	0.0119	0.0086	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150
A ₁₀	0.0172	0.0131	0.0114	0.0097	0.0199	0.0052	0.0198	0.0187	0.0038	0.0145	0.0169	0.0248	0.0143	0.0119	0.0143	0.0147	0.0072	0.0098	0.0090
A ₁₁	0.0172	0.0131	0.0114	0.0097	0.0199	0.0261	0.0198	0.0112	0.0188	0.0241	0.0169	0.0248	0.0143	0.0119	0.0143	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150
A ₁₂	0.0172	0.0131	0.0114	0.0097	0.0080	0.0157	0.0119	0.0112	0.0038	0.0241	0.0169	0.0050	0.0143	0.0119	0.0143	0.0147	0.0072	0.0059	0.0150
A ₁₃	0.0172	0.0131	0.0068	0.0058	0.0080	0.0052	0.0119	0.0112	0.0038	0.0145	0.0169	0.0050	0.0143	0.0119	0.0143	0.0117	0.0072	0.0098	0.0090
A ₁₄	0.0172	0.0131	0.0068	0.0097	0.0119	0.0261	0.0198	0.0075	0.0151	0.0145	0.0169	0.0050	0.0143	0.0119	0.0143	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150
A ₁₅	0.0103	0.0079	0.0068	0.0058	0.0199	0.0261	0.0119	0.0037	0.0038	0.0145	0.0101	0.0149	0.0143	0.0119	0.0086	0.0117	0.0072	0.0098	0.0090
A ₁₆	0.0103	0.0131	0.0023	0.0097	0.0199	0.0105	0.0119	0.0075	0.0188	0.0145	0.0169	0.0050	0.0143	0.0119	0.0143	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150
A ₁₇	0.0103	0.0079	0.0068	0.0019	0.0080	0.0052	0.0119	0.0037	0.0038	0.0241	0.0101	0.0248	0.0114	0.0072	0.0086	0.0117	0.0072	0.0098	0.0150

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A52. Wektory zawierające Pozytywne Idealne Rozwiązanie (PIS) i Negatywne Idealne Rozwiązanie (NIS).

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
PIS	0.0172	0.0131	0.0114	0.0097	0.0199	0.0261	0.0198	0.0187	0.0188	0.0241	0.0169	0.0248	0.0143	0.0119	0.0143	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150
NIS	0.0172	0.0131	0.0114	0.0097	0.0199	0.0261	0.0198	0.0187	0.0188	0.0241	0.0169	0.0248	0.0143	0.0119	0.0143	0.0147	0.0072	0.0098	0.0150

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A53. Wektory zawierające odległości alternatyw od PIS (D_i^+) i NIS (D_i^-) i względną odległość alternatyw od rozwiązania idealnego (C_i).

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
D ⁺	0.0231	0.0346	0.0366	0.0377	0.0404	0.0333	0.0351	0.0270	0.0277	0.0282	0.0075	0.0317	0.0386	0.0267	0.0306	0.0324	0.0370
D ⁻	0.0385	0.0341	0.0239	0.0182	0.0258	0.0349	0.0309	0.0390	0.0382	0.0408	0.0478	0.0320	0.0262	0.0375	0.0330	0.0340	0.0268
C _i	0.6253	0.4967	0.3948	0.3257	0.3896	0.5117	0.4682	0.5904	0.5802	0.5914	0.8647	0.5022	0.4039	0.5846	0.5189	0.5120	0.4200

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział 1.3.2. VIKOR

Najlepsze (F_j^+) i najgorsze (F_j^-) wartości zostały przedstawione w Tabeli A5.

Tabela A54. Ważona macierz decyzyjna.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0000	0.0000	0.0000	0.0177	0.0000	0.0313	0.0699	0.0217	0.0000	0.0000	0.0526	0.0000	0.0335	0.0000	0.0331	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₂	0.0610	0.0499	0.0000	0.0000	0.0548	0.0000	0.0000	0.0435	0.0000	0.0000	0.0526	0.0699	0.0335	0.0000	0.0221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₃	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0548	0.0625	0.0699	0.0217	0.0287	0.0000	0.0263	0.0524	0.0335	0.0430	0.0331	0.0558	0.0000	0.0000	0.0000
A ₄	0.0610	0.0499	0.0204	0.0177	0.0548	0.0313	0.0000	0.0435	0.0287	0.0832	0.0394	0.0524	0.0335	0.0430	0.0331	0.0558	0.0290	0.0000	0.0571
A ₅	0.0610	0.0000	0.0000	0.0000	0.0548	0.0625	0.0000	0.0435	0.0000	0.0000	0.0394	0.0699	0.0503	0.0215	0.0331	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₆	0.0610	0.0000	0.0000	0.0000	0.0548	0.0625	0.0000	0.0435	0.0000	0.0000	0.0394	0.0000	0.0000	0.0000	0.0221	0.0558	0.0000	0.0000	0.0000
A ₇	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0274	0.0625	0.0000	0.0435	0.0287	0.0000	0.0526	0.0000	0.0503	0.0322	0.0441	0.0558	0.0000	0.0000	0.0000
A ₈	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0411	0.0625	0.0000	0.0000	0.0287	0.0832	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₉	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0469	0.0000	0.0000	0.0000	0.0832	0.0000	0.0699	0.0000	0.0000	0.0221	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

A ₁₀	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0625	0.0000	0.0000	0.0574	0.0832	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0571
A ₁₁	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0217	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0411	0.0313	0.0699	0.0217	0.0574	0.0000	0.0000	0.0699	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0398	0.0000
A ₁₃	0.0000	0.0000	0.0204	0.0177	0.0411	0.0625	0.0699	0.0217	0.0574	0.0832	0.0000	0.0699	0.0000	0.0000	0.0000	0.0558	0.0000	0.0000	0.0571
A ₁₄	0.0000	0.0000	0.0204	0.0000	0.0274	0.0000	0.0000	0.0326	0.0143	0.0832	0.0000	0.0699	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₅	0.0610	0.0499	0.0204	0.0177	0.0000	0.0000	0.0699	0.0435	0.0574	0.0832	0.0263	0.0350	0.0000	0.0000	0.0221	0.0558	0.0000	0.0000	0.0571
A ₁₆	0.0610	0.0000	0.0407	0.0000	0.0000	0.0469	0.0699	0.0326	0.0000	0.0832	0.0000	0.0699	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A ₁₇	0.0610	0.0499	0.0204	0.0355	0.0411	0.0625	0.0699	0.0435	0.0574	0.0000	0.0263	0.0000	0.0168	0.0215	0.0221	0.0558	0.0000	0.0000	0.0000

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A55. Wektory zawierające wartości S_i i R_i .

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
S	0.2598	0.3872	0.4817	0.7338	0.4360	0.3390	0.3971	0.2154	0.2221	0.2602	0.0217	0.3311	0.5567	0.2478	0.5992	0.4042	0.5835
R	0.0699	0.0699	0.0699	0.0832	0.0699	0.0625	0.0625	0.0832	0.0832	0.0832	0.0217	0.0699	0.0832	0.0832	0.0832	0.0832	0.0699

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A56. Wartości S^* , S^- , R^* i R^- .

S [*]	0.021733
S ⁻	0.733822
R [*]	0.021733
R ⁻	0.083176

Źródło: opracowanie własne.

Tabela A57. Wektor zawierający wartości Q_i .

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
Q _i	0.5591	0.6488	0.7149	1.0000	0.6831	0.5546	0.5954	0.6360	0.6407	0.6674	0.0000	0.6094	0.8757	0.6587	0.9054	0.7686	0.7863

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.3.3. AHP

Znormalizowana macierz decyzyjna została przedstawiona w Tabeli A10.

Tabela A58. Wazona znormalizowana macierz decyzyjna.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉
A ₁	0.0043	0.0032	0.0029	0.0015	0.0056	0.0046	0.0030	0.0032	0.0051	0.0060	0.0009	0.0071	0.0022	0.0031	0.0015	0.0036	0.0017	0.0024	0.0037
A ₂	0.0026	0.0019	0.0029	0.0024	0.0011	0.0076	0.0049	0.0011	0.0051	0.0060	0.0009	0.0014	0.0022	0.0031	0.0022	0.0036	0.0017	0.0024	0.0037
A ₃	0.0043	0.0032	0.0029	0.0024	0.0011	0.0015	0.0030	0.0032	0.0031	0.0060	0.0027	0.0029	0.0022	0.0006	0.0015	0.0029	0.0017	0.0024	0.0037
A ₄	0.0026	0.0019	0.0017	0.0015	0.0011	0.0046	0.0049	0.0011	0.0031	0.0036	0.0018	0.0029	0.0022	0.0006	0.0015	0.0029	0.0010	0.0024	0.0022
A ₅	0.0026	0.0032	0.0029	0.0024	0.0011	0.0015	0.0049	0.0011	0.0051	0.0060	0.0018	0.0014	0.0014	0.0018	0.0015	0.0036	0.0017	0.0024	0.0037
A ₆	0.0026	0.0032	0.0029	0.0024	0.0011	0.0015	0.0049	0.0011	0.0051	0.0060	0.0018	0.0071	0.0036	0.0031	0.0022	0.0029	0.0017	0.0024	0.0037
A ₇	0.0043	0.0032	0.0029	0.0024	0.0034	0.0015	0.0049	0.0011	0.0031	0.0060	0.0009	0.0071	0.0014	0.0012	0.0007	0.0029	0.0017	0.0024	0.0037
A ₈	0.0043	0.0032	0.0029	0.0024	0.0022	0.0015	0.0049	0.0053	0.0031	0.0036	0.0045	0.0071	0.0036	0.0031	0.0037	0.0036	0.0017	0.0024	0.0037
A ₉	0.0043	0.0032	0.0029	0.0024	0.0056	0.0030	0.0049	0.0053	0.0051	0.0036	0.0045	0.0014	0.0036	0.0031	0.0022	0.0036	0.0017	0.0024	0.0037
A ₁₀	0.0043	0.0032	0.0029	0.0024	0.0056	0.0015	0.0049	0.0053	0.0010	0.0036	0.0045	0.0071	0.0036	0.0031	0.0037	0.0036	0.0017	0.0024	0.0022
A ₁₁	0.0043	0.0032	0.0029	0.0024	0.0056	0.0076	0.0049	0.0032	0.0051	0.0060	0.0045	0.0071	0.0036	0.0031	0.0037	0.0036	0.0017	0.0024	0.0037
A ₁₂	0.0043	0.0032	0.0029	0.0024	0.0022	0.0046	0.0030	0.0032	0.0010	0.0060	0.0045	0.0014	0.0036	0.0031	0.0037	0.0036	0.0017	0.0014	0.0037
A ₁₃	0.0043	0.0032	0.0017	0.0015	0.0022	0.0015	0.0030	0.0032	0.0010	0.0036	0.0045	0.0014	0.0036	0.0031	0.0037	0.0029	0.0017	0.0024	0.0022
A ₁₄	0.0043	0.0032	0.0017	0.0024	0.0034	0.0076	0.0049	0.0021	0.0041	0.0036	0.0045	0.0014	0.0036	0.0031	0.0037	0.0036	0.0017	0.0024	0.0037
A ₁₅	0.0026	0.0019	0.0017	0.0015	0.0056	0.0076	0.0030	0.0011	0.0010	0.0036	0.0027	0.0043	0.0036	0.0031	0.0022	0.0029	0.0017	0.0024	0.0022
A ₁₆	0.0026	0.0032	0.0006	0.0024	0.0056	0.0030	0.0030	0.0021	0.0051	0.0036	0.0045	0.0014	0.0036	0.0031	0.0037	0.0036	0.0017	0.0024	0.0037
A ₁₇	0.0026	0.0019	0.0017	0.0005	0.0022	0.0015	0.0030	0.0011	0.0010	0.0060	0.0027	0.0071	0.0029	0.0018	0.0022	0.0029	0.0017	0.0024	0.0037

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział A.3.4. SPOTIS

Granice zawierające wartości minimalne S_j^{\min} i maksymalne S_j^{\max} dla każdego kryterium i ISP (Idealny Punkt Rozwiązania) zostały przedstawione w Tabeli A12. Macierz zawierająca znormalizowane odległości d_{ij} dla każdej alternatywy została przedstawiona w Tabeli A13.

Tabela A59. Średnie ważone znormalizowane odległości od rozwiązania idealnego d_i dla każdej alternatywy.

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
d_i	0.2598	0.3872	0.4817	0.7338	0.4360	0.3390	0.3971	0.2154	0.2221	0.2602	0.0217	0.3311	0.5567	0.2478	0.5992	0.4042	0.5835

Źródło: opracowanie własne.