# Motivation and significance

# *In this section, we want you to introduce the scientific background and the motivation for developing the software.*

# *Explain why the software is important and describe the exact (scientific) problem(s) it solves.*

# *Indicate in what way the software has contributed (or will contribute in the future) to the process of scientific discovery; if available, please cite a research paper using the software.*

# *Provide a description of the experimental setting. (How does the user use the software?)*

# *Introduce related work in literature (cite or list algorithms used, other software etc.).*

Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methods są użytecznym narzędziem oceny, znajdującym zastosowanie w sytuacjach decyzyjnych, w których występują interesariusze realizujący różne cele i interesy [1][P0]. Metody MCDA mają ułatwiać decydentom zrozumienie i identyfikację kryteriów w problemie decyzyjnym oraz pomóc w uniknięciu podejmowania ważnych decyzji z przyzwyczajenia [2][A24]. Metody te umożliwiają wybór najodpowiedniejszej alternatywy spośród kilku z nich poprzez rozważenie wielu kryteriów [3][P1]. Często kryteria te są ze sobą w konflikcie co oznacza, że dana alternatywa jest lepsza od innej pod względem jednego kryterium, a zarazem gorsza pod względem innego kryterium [4][P4]. Konieczność uwzględnienia wielu sprzecznych kryteriów, różnych interesariuszy o różnych poglądach i preferencjach, a także źródeł niepewności i różnych ram czasowych powoduje, że problemy MCDA charakteryzują się dużą złożonością [5][P5]. Obok metod MCDA w literaturze występują także metody określane jako Multi-Criteria Decision Making (MCDM) oraz Multi-Criteria Decision Aid (MCDAid). Pojęcia te są jednak bardzo podobne znaczeniowo [6,7][P2][P3] i często są stosowane w odniesieniu do tych samych modeli decyzyjnych [8][A23]. Dlatego w niniejszym artykule, chociaż mowa jest o MCDA, to jednak artykuł odnosi się tak samo do MCDM and MCDAid.

Badania nad MCDA (a takżę MCDM i MCDAid) są ważnym obszarem operations research and decision science [3][P1]. O wadze tych badań świadczy fakt, że obecnie w literaturze wyróżnia się ponad 200 różnych metod MCDA [9][P6]. Z kolei duża liczba metod stwarza wyzwanie dla decydentów przy wyborze odpowiedniej metody decyzyjnej [10][P8]. Wyzwanie to jest tym większe, że w zależności od zastosowanej metody MCDA można uzyskać różne wyniki (rekomendowane decyzje) [11][P9]. Jest to bardzo istotny problem ze względu na fakt, że jednym z celów stosowania MCDA jest pomoc decydentom w syntezie zebranych informacji, tak aby czuli się komfortowo i pewnie w swoich decyzjach, oraz aby ograniczyć wątpliwości (żal) po podjęciu decyzji [2][A24]. Tymczasem, jeżeli różnymi metodami MCDA osiągane są sprzeczne rozwiązania, wówczas kwestionowana jest prawidłowość rekomendacji generowanych przez MCDA [3][P1]. Wobec tego decydenci nie uzyskują komfortu i pewności, że ich decyzje są poprawne. Przedstawione fakty wskazują, że rozwój MCDA wymaga badań porównujących ze sobą poszczególne metody. Potrzeba prowadzenia takich badań dostrzegana jest również w literaturze [12][P7].

Analizując literaturę na temat porównywania różnych metod MCDA można napotkać dwa główne podejścia metodologiczne. Pierwsze z nich polega na doborze metody MCDA na podstawie struktury samego problemu. W podejściu tym eksperci muszą zdefiniować formalne cechy, którymi charakteryzuje się problem decyzyjny (tzw. kontekst) i na tej podstawie określają pożądane cechy metody MCDA, np. obsługiwany typ problemu decyzyjnego, typ skali pomiarowej, rodzaj wag kryteriów, wykorzystywany model preferencji, etc. Następnie porównują poszczególne metody MCDA pod względem pożądanych cech i wybierają metodę posiadającą wszystkie oczekiwane cechy. Podejście takie można spotkać m.in. w pracach Cinelli et al. [9,13,14][P6][P11][P10], Roy and Słowiński [15][A61], Wątróbski et al. [16][A62], Ziemba [17][P12], Guarini et al. [18][P13], Cicek et al. [19][K47]. Omawiane podejście ma charakter formalny, jednak jest ono bardzo trudne w realizacji. Wymaga ono kompletnego zdefiniowania problemu decyzyjnego i wynikających z tego pożądanych cech metod MCDA, a także doskonałego rozumienia znaczenia poszczególnych cech. Niestety, odpowiednio dokładne zdefiniowanie problemu decyzyjnego jest często bardzo czasochłonne, a czasami wręcz niemożliwe. Również zrozumienie znaczenia wszystkich formalnych cech metod MCDA jest bardzo trudne, w szczególności dla decydentów nie będących ekspertami w dziedzinie MCDA [20][P14]. Omawiane podejście jest tym trudniejsze w realizacji, że formalnych cech może być bardzo dużo, np. Cinelli et al. [14][P10] wyspecyfikowali 156 cech, a Guarini et al. [18][P13] wyróżnili 39 cech, pod względem których należałoby dokonać wyboru odpowiedniej metody MCDA. Wreszcie należy tez uwzględnić fakt, że wiele metod może posiadać wszystkie pożądane cechy, a wtedy wybór metody MCDA nie jest oczywisty. Z drugiej strony, może się też okazać, że żadna metoda MCDA nie posiada wszystkich oczekiwanych cech [16][A62]. Efektem tego będzie dezorientacja i konsternacja decydenta ze względu na formalną niemożność przeprowadzenia procesu decyzyjnego ze względu na brak odpowiedniej metody MCDA.

Drugie podejście metodologiczne ma charakter bardziej pragmatyczny. Opiera się ono na założeniu, że różne metody MCDA mogą być zastosowane w danym problemie decyzyjnym, jeżeli tylko spełniają podstawowe wymagania tego problemu (np. przetwarzają odpowiednie typy danych) [21][K33]. Istotą tego podejścia są symulacje, w których problem decyzyjny jest rozwiązywany wielokrotnie, z użyciem różnych metod MCDA. Następnie uzyskane rozwiązania są porównywane pod różnymi względami, a autorzy badania starają się wskazać metodę, która wygenerowała najwyżej oceniane rozwiązanie. Według literatury podejście oparte na symulacjach jest po prostu benchmarkiem, w którym bada się rozwiązania proponowane przez poszczególne metody MCDA [22][K1]. Klasyczne benchmarki umożliwiają ocenę i porównanie różnych systemów, komponentów i narzędzi według określonych cech. Są one szeroko stosowane do porównywania wydajności systemów transakcyjnych czy systemów wbudowanych [23][P15]. Jednak ich zastosowanie w celu porównania metod MCDA czy też systemów wspomagania decyzji (DSS) jest bardzo trudne ze względu na brak wiarygodnej miary oceny efektywności metod MCDA.

Idealny benchmark powinien weryfikować rozwiązania generowane przez poszczególne metody MCDA i wskazywać metodę, która największą ilość razy rekomendowała optymalną alternatywę. Niestety, w przypadku MCDA zwykle nie istnieją optymalne alternatywy [35][K7]. Wynika to z faktu, że MCDA zakłada kompromis między skonfliktowanymi kryteriami. Ze względu na podejście kompromisowe nie istnieje unikalne rozwiązanie (alternatywa), które można by uznać za optymalne. Zamiast tego istnieje zbiór rozwiązań Pareto, zawierający alternatywy nie gorsze od innych [24][P16]. Inaczej rzecz ujmując, konflikty między kryteriami i związane z tym kompromisy powodują, że wiele rozwiązań wielokryterialnego problemu decyzyjnego (alternatyw) jest poprawnych (akceptowalnych), ale żadne z rozwiązań nie jest optymalne. W związku z tym ustalenie, która z metod MCDA proponuje lepsze rozwiązania wydaje się bardzo trudne, albo wręcz niemożliwe.

W związku z brakiem optymalnych alternatyw, benchmarki MCDA zwykle opierają się na porównaniu rankingów alternatyw wygenerowanych przez różne metody MCDA. Porównania takie mogą mieć charakter prostego zestawienia rankingów, jak w pracach Özcan et al. [25][P17], czy też Ziemba [26,27][P18][P19]. Poza prostym porównaniem rankingów, badacze stosują też miary korelacji do porównania rankingów uzyskanych z zastosowaniem różnych metod MCDA [28][P21]. W szczególności stosowane są korelacje rang Spearmana [29,30][P22][P23] i tau Kendalla [31][P24]. Nieco bardziej zaawansowane benchmarki, poza porównaniem rankingów, wykorzystują też analizę wrażliwość rozwiązań uzyskanych różnymi metodami na zmiany wag kryteriów [3,32,33][P1][P20][P26]. Wreszcie, prowadzone są też badania porównawcze, w których bada się zarówno zbieżności rankingów generowanych przez poszczególne metody MCDA, jak również przeprowadza się analizę wrażliwości poszczególnych rankingów na zmiany wag kryteriów [10,34][P27][P25]. Podstawową wadą tego rodzaju porównań jest brak punktu odniesienia. Inaczej mówiąc, nie jest dostępna wzorcowa rekomendacja (decyzja), do której można porównać rekomendacje generowane przez poszczególne metody MCDA. Jedyne co można zbadać to różnice pomiędzy rankingami, ale ze względu na brak optymalnego rozwiązania, nie można wskazać, który z rankingów jest najlepszy. Tym samym nie jest możliwe wskazanie najlepszej metody MCDA w danym problemie decyzyjnym. Autorzy tego rodzaju badań, zamiast jednoznacznego wskazania metody MCDA najlepszej w danym zastosowaniu, przeprowadzają ocenę jakościową. Polega ona na - często subiektywnej - analizie możliwości zastosowania poszczególnych metod ze względu na ramy narzucone przez sytuację decyzyjną, sam problem decyzyjny oraz potrzeby decydenta. Konkluzje tego rodzaju analiz w praktyce sprowadzają się do pierwszego omówionego podejścia do wyboru metody MCDA, a więc do formalnego doboru metody na podstawie jej dopasowania do struktury i kontekstu problemu decyzyjnego.

Badacze, którzy dotychczas podejmowali temat doboru i porównania metod MCDA wskazują, na niedoskonałości tych podejść i konieczność dalszych badań. Cinelli et al. zauważają, że istnieje potrzeba opracowania syntetycznej miary (wskaźnika) przydatności różnych metod MCDA.

# Illustrative examples

*Provide at least one illustrative example to demonstrate the major functions of your software/code.**OPTIONAL:* *you may include one explanatory video or screencast that will appear next to your article, in the right hand side panel. Please upload any video as a single supplementary file with your article. Only one MP4 formatted, with 150MB maximum size, video is possible per article. Recommended video dimensions are 640 x 480 at a maximum of 30 frames / second. Prior to submission please test and validate your .mp4 file at \url{http://elsevier-apps.sciverse.com/GadgetVideoPodcastPlayerWeb/verification} . This tool will display your video exactly in the same way as it will appear on ScienceDirect.*

1. **Impact**

*This is the main section of the article and reviewers will weight it appropriately.*

*Please indicate:*

# *Any new research questions that can be pursued as a result of your software.*

# *In what way, and to what extent, your software improves the pursuit of existing research questions.*

# *Any ways in which your software has changed the daily practice of its users.*

# *How widespread the use of the software is within and outside the intended user group (downloads, number of users if your software is a service, citable publications, etc).*

# *How the software is being used in commercial settings and/or how it has led to the creation of spin-off companies.*

*Please note that points 1 and 2 are best demonstrated by references to citable publications.*

# Conclusions

[1] M.R. Guarini, F. Battisti, International Journal of Business Intelligence and Data Mining 9 (2014) 271–317.

[2] E. Løken, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 1584–1595.

[3] Y. Li, X. He, L. Martínez, J. Zhang, D. Wang, X.A. Liu, Expert Systems with Applications 238 (2024) 121824.

[4] E. Triantaphyllou, K. Baig, IEEE Transactions on Engineering Management 52 (2005) 213–226.

[5] C.H. Antunes, C.O. Henriques, in: S. Greco, M. Ehrgott, J.R. Figueira (Eds.), Multiple Criteria Decision Analysis, Springer, New York, NY, 2016, pp. 1067–1165.

[6] S. French, EURO Journal on Decision Processes 11 (2023) 100030.

[7] B. Kizielewicz, A. Shekhovtsov, W. Sałabun, SoftwareX 22 (2023) 101368.

[8] X. Wang, E. Triantaphyllou, Omega 36 (2008) 45–63.

[9] M. Cinelli, M. Kadziński, G. Miebs, M. Gonzalez, R. Słowiński, European Journal of Operational Research 302 (2022) 633–651.

[10] A.P. Rachman, C. Ichwania, R.A. Mangkuto, J. Pradipta, M.D. Koerniawan, J. Sarwono, Energy and Buildings 314 (2024) 114285.

[11] B. Ceballos, M.T. Lamata, D.A. Pelta, Prog Artif Intell 5 (2016) 315–322.

[12] B. Paradowski, Z. Szyjewski, Procedia Computer Science 207 (2022) 4593–4602.

[13] M. Cinelli, M. Kadziński, M. Gonzalez, R. Słowiński, Omega 96 (2020) 102261.

[14] M. Cinelli, P. Burgherr, M. Kadziński, R. Słowiński, Decision Support Systems 163 (2022) 113848.

[15] B. Roy, R. Słowiński, EURO J Decis Process 1 (2013) 69–97.

[16] J. Wątróbski, J. Jankowski, P. Ziemba, A. Karczmarczyk, M. Zioło, Omega 86 (2019) 107–124.

[17] P. Ziemba, Energies 15 (2022) 9201.

[18] M.R. Guarini, F. Battisti, A. Chiovitti, Buildings 8 (2018) 1.

[19] K. Cicek, M. Celik, Y. Ilker Topcu, Materials & Design 31 (2010) 4398–4402.

[20] A. Ishizaka, S. Siraj, European Journal of Operational Research 264 (2018) 462–471.

[21] S. Hajkowicz, A. Higgins, European Journal of Operational Research 184 (2008) 255–265.

[22] S.H. Zanakis, A. Solomon, N. Wishart, S. Dublish, European Journal of Operational Research 107 (1998) 507–529.

[23] J. Friginal, M. Martínez, D. de Andrés, J.-C. Ruiz, Journal of Systems and Software 111 (2016) 105–118.

[24] N. Jaini, S. Utyuzhnikov, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 24 (2017) e1600.

[25] T. Özcan, N. Çelebi, Ş. Esnaf, Expert Systems with Applications 38 (2011) 9773–9779.

[26] P. Ziemba, Applied Energy 309 (2022) 118232.

[27] P. Ziemba, J. Wątróbski, in: K. Nermend, M. Łatuszyńska (Eds.), Selected Issues in Experimental Economics, Springer International Publishing, 2016, pp. 203–225.

[28] F. Sari, Forest Ecology and Management 480 (2021) 118644.

[29] M. Moradian, V. Modanloo, S. Aghaiee, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) 6 (2019) 526–534.

[30] A. Siva Bhaskar, A. Khan, Expert Systems with Applications 209 (2022) 118268.

[31] P. Ziemba, Sustainability 11 (2019) 1555.

[32] N. Kokaraki, C.J. Hopfe, E. Robinson, E. Nikolaidou, Renewable and Sustainable Energy Reviews 112 (2019) 991–1007.

[33] R. Sun, Z. Gong, G. Gao, A.A. Shah, International Journal of Disaster Risk Reduction 51 (2020) 101768.

[34] P. Ziemba, Energies 14 (2021) 7786.

[35] A. Guitouni, J.-M. Martel, European Journal of Operational Research 109 (1998) 501–521.