

Metody wielokryterialnego podejmowania decyzji

Kierunki rozwoju, zastosowania

Jerzy Michnik



Uniwersytet
Ekonomiczny
w Katowicach

Plan

- 1 Wstęp
- 2 Decyzje oparte na wielu kryteriach
- 3 Podejście systemowe
 - Metoda ALMODES
 - Metoda WINGS
- 4 Kierunki rozwoju metod wielokryterialnych
 - Metody uwzględniające niepewność
 - Hybrydyzacja
- 5 Obszary zastosowań
- 6 Bibliografia



Plan

- 1 Wstęp
- 2 Decyzje oparte na wielu kryteriach
- 3 Podejście systemowe
 - Metoda ALMODES
 - Metoda WINGS
- 4 Kierunki rozwoju metod wielokryterialnych
 - Metody uwzględniające niepewność
 - Hybrydyzacja
- 5 Obszary zastosowań
- 6 Bibliografia



Motto

„No amount of sophistication allays the fact that all your knowledge is about the past and all your decisions are about the future”.

Ian E. Wilson



Plan

- 1 Wstęp
- 2 Decyzje oparte na wielu kryteriach**
- 3 Podejście systemowe
 - Metoda ALMODES
 - Metoda WINGS
- 4 Kierunki rozwoju metod wielokryterialnych
 - Metody uwzględniające niepewność
 - Hybrydyzacja
- 5 Obszary zastosowań
- 6 Bibliografia



Relacja preferencji

Relacja preferencji (słabej preferencji)

„A jest nie gorsze niż B” ($A \underset{p}{\succsim} B$)

Relacja preferencji

Relacja preferencji (słabej preferencji)

„A jest nie gorsze niż B” ($A \underset{p}{\succsim} B$)

Relacja równoważności

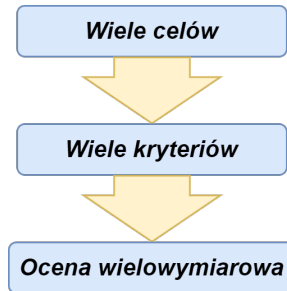
„A jest równoważne B” ($A \underset{p}{\sim} B$)

Relacja silnej preferencji

„A jest lepsze niż B” ($A \underset{p}{\succ} B$)



Ocena przy wielu kryteriach



Relacja dominacji

Wariant y dominuje wariant y' jeżeli dla każdej oceny cząstkowej y jest nie gorszy niż y' oraz istnieje przynajmniej jedna ocena cząstkowa, dla której y jest lepszy niż y' .

Czyli: W zbiorze ocen (wielowymiarowych) określona jest relacja **ostrego porządku** (przeciwwzrotna¹ i przechodnia), oznaczona $\succ$ i nazywana **relacją dominacji**, zdefiniowana następująco:

$$y \succ y' \iff \forall_i y \underset{p}{\succsim} y' \quad \wedge \quad \exists_i y_i \underset{p}{\succ} y'_i \quad (1)$$

¹ Relacja P jest przeciwwzrotna, gdy $\forall_{x \in X} \neg xPx$



Warianty niezdominowane

Wariant y , należący do zbioru wariantów dopuszczalnych Y , nazywamy **niezdominowanym** lub **optymalnym w sensie Pareto** wtedy i tylko wtedy, gdy w zbiorze Y **nie istnieje** wariant y' , który dominuje y , czyli

$$\neg \exists_{y' \in Y} y' \succ y \quad (2)$$

Warianty niezdominowane

Wariant y , należący do zbioru wariantów dopuszczalnych Y , nazywamy **niezdominowanym** lub **optymalnym w sensie Pareto** wtedy i tylko wtedy, gdy w zbiorze Y **nie istnieje** wariant y' , który dominuje y , czyli

$$\neg \exists_{y' \in Y} y' \succ y \quad (2)$$

Problem!

Rozwiązań niezdominowanych jest zwykle wiele; powstaje problem jak wybrać jedno z nich.

Metody agregacji

- **Kryterium syntetyczne** – przypisanie każdemu wariantowi pewnej oceny określonej na odpowiedniej skali $\Rightarrow$ pełne uporządkowanie za cenę łączenia zróżnicowanych kryteriów z różnymi skalami za pomocą trudnych do oszacowania parametrów (SAW, SMART, AHP, TOPSIS, VIKOR);
- **Syntetyczna relacja preferencji** (relacja przewyższania) – porównanie parami wariantów decyzyjnych z uwzględnieniem wszystkich przyjętych kryteriów $\Rightarrow$ bardziej naturalne, ale otrzymujemy tylko częściowe uporządkowanie (ELECTRE, MACBETH).



Kryterium syntetyczne – założenia addytywnej funkcji agregacji

- 1 **Decydowalność.** Decydent jest w stanie porównywać warianty i ich oceny.
- 2 **Przechodność.** Jeżeli decydent preferuje wariant A nad B i wariant B nad C, to również powinien preferować wariant A nad C.
- 3 **Sumowanie.** Jeżeli decydent woli A od B i B od C, to siła preferencji A w stosunku do C musi być większa od siły preferencji A do B (lub B do C).
- 4 **Skończone górna i dolne granice wartości.** Oceny najlepszego i najgorszego wariantu muszą mieć skończone wartości.
- 5 **Niezależność preferencji.** Oceny wariantów względem każdego atrybutu nie zależą od wartości przyjmowanych przez pozostałe atrybuty.

(Goodwin i Wright 2011)



Kryterium syntetyczne – addytywna funkcja agregacji

- $\mathcal{A}$ – skończony zbiór wariantów decyzyjnych:

$$\mathcal{A} = \{a^1, a^2, \dots, a^m\},$$



Kryterium syntetyczne – addytywna funkcja agregacji

- $\mathcal{A}$ – skończony zbiór wariantów decyzyjnych:

$$\mathcal{A} = \{a^1, a^2, \dots, a^m\},$$

- $\mathcal{F}$ – skończony zbiór kryteriów, względem których oceniane są warianty decyzyjne:

$$\mathcal{F} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\},$$



Kryterium syntetyczne – addytywna funkcja agregacji

- $\mathcal{A}$ – skończony zbiór wariantów decyzyjnych:

$$\mathcal{A} = \{a^1, a^2, \dots, a^m\},$$

- $\mathcal{F}$ – skończony zbiór kryteriów, względem których oceniane są warianty decyzyjne:

$$\mathcal{F} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\},$$

- $f_k(a^i)$, – ocena wariantu a^i względem kryterium f_k .



Kryterium syntetyczne – addytywna funkcja agregacji

- $\mathcal{A}$ – skończony zbiór wariantów decyzyjnych:

$$\mathcal{A} = \{a^1, a^2, \dots, a^m\},$$

- $\mathcal{F}$ – skończony zbiór kryteriów, względem których oceniane są warianty decyzyjne:

$$\mathcal{F} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\},$$

- $f_k(a^i)$, – ocena wariantu a^i względem kryterium f_k .
- $w_k > 0$, – waga odzwierciedlająca względne znaczenie przypisywane przez decydenta kryterium f_k , przy czym: $\sum_{k=1}^n w_k = 1$.

$$V(a^i) = \sum_{k=1}^n w_k f_k(a^i) \quad (3)$$



Plan

- 1 Wstęp
- 2 Decyzje oparte na wielu kryteriach
- 3 Podejście systemowe**
 - Metoda ALMODES
 - Metoda WINGS
- 4 Kierunki rozwoju metod wielokryterialnych
 - Metody uwzględniające niepewność
 - Hybrydyzacja
- 5 Obszary zastosowań
- 6 Bibliografia



Nieustrukturyzowane problemy decyzyjne

- Nowa sytuacja, brak regularności i odniesień do poprzednich problemów.
- Nie jest znany pełny zbiór wariantów.
- Nie wszystkie konsekwencje wyboru wariantu są znane.
- Wielu interesariuszy.
- Niejasne preferencje i cele.
- Rozmyte granice systemu.
- Zmiany w czasie.

Nieustrukturyzowane problemy decyzyjne

- Nowa sytuacja, brak regularności i odniesień do poprzednich problemów.
- Nie jest znany pełny zbiór wariantów.
- Nie wszystkie konsekwencje wyboru wariantu są znane.
- Wielu interesariuszy.
- Niejasne preferencje i cele.
- Rozmyte granice systemu.
- Zmiany w czasie.

⇒ miękkie badania operacyjne (*soft MS/OR*), metody strukturyzacji problemu (*problem structuring methods*)



Podejście systemowe (strukturalne)

- Mapy przyczynowe/poznawcze (*causal/cognitive maps*) /George Kelly – *Psychology of Personal Constructs*/
- ISM (*Interpretive Structural Modeling*) ... SSE (Social Systems Engineering) /John Warfield/
- MICMAC (Cross-Impact Matrix – Multiplication Applied to Classification) /Michel Godet/
- SODA (*Strategic Options Development and Analysis*) /Colin Eden/
- SSM (*Soft Systems Methodology*) /Peter Checkland/
- ...
- System Dynamics /Jay Forrester/
- FCM (Fuzzy Cognitive Map /Bart Kosko/),
- ...



Podejście systemowe (strukturalne)

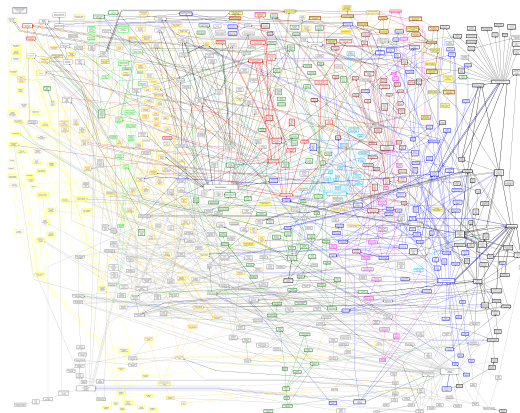
- Mapy przyczynowe/poznawcze (*causal/cognitive maps*) /George Kelly – *Psychology of Personal Constructs*/
- ISM (*Interpretive Structural Modeling*) ... SSE (Social Systems Engineering) /John Warfield/
- MICMAC (Cross-Impact Matrix – Multiplication Applied to Classification) /Michel Godet/
- SODA (*Strategic Options Development and Analysis*) /Colin Eden/
- SSM (*Soft Systems Methodology*) /Peter Checkland/
- ...
- System Dynamics /Jay Forrester/
- FCM (Fuzzy Cognitive Map /Bart Kosko/),
- ...



Myślenie systemowe



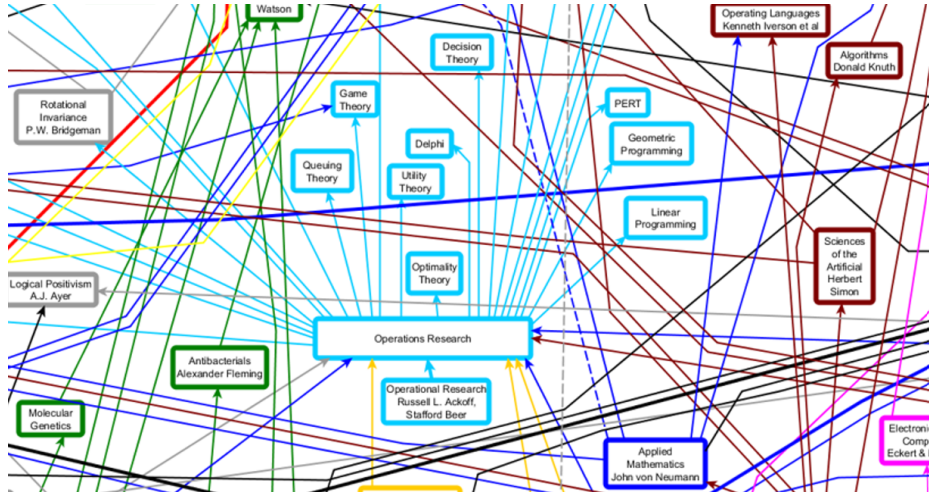
Myślenie systemowe



International Encyclopedia of Systems and Cybernetics



Myślenie systemowe – badania operacyjne



Założenia

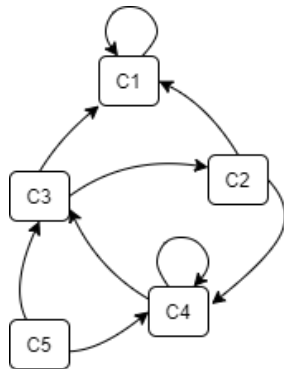
ALMODES – ALgebraiczne MODelowanie Ewolucji Systemu

- Relacja przyczynowo-skutkowa między składnikami systemu leży u podłoża zachowania systemu i zmian jego stanu w czasie.
- Złożone relacje występujące między składnikami systemu dadzą się przybliżyć oddziaływaniami:
 - dwuskładnikowymi,
 - zachodzącymi w izolowanych punktach czasu (model dyskretny).
- Oddziaływania pośrednie są opóźnione proporcjonalnie do liczby pośrednich składników.
- Oszacowanie wielkości oddziaływań wspiera się na psychologicznej teorii przyczynowości.

(Michnik 2021)



Model systemu – graf skierowany



Macierz oddziaływań: $\mathbf{A} = [a_{ij}]_{i,j=1,\dots,N}$, $a_{ij} \in \mathfrak{R}$.

- Wartość ścieżki określona jest przez iloczyn elementów odpowiadających łukom na ścieżce.
- Wyraz (i,j) kolejnych potęg tej macierzy $\mathbf{A}^2$, $\mathbf{A}^3$ itd. jest algebraiczną sumą wartości ścieżek o długościach 2 łuków, 3 łuków itd., łączących wierzchołek C_i z wierzchołkiem C_j .

Opis zmian systemu w czasie

Wektor stanu: $\mathbf{s}(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)]$,

gdzie: $s_i(t) \in \mathfrak{R}$, N – liczba składników systemu, $t = 1, 2, \dots$ kolejne momenty czasu.

$$\mathbf{s}(t) = \sum_{u=0}^t \mathbf{A}^u \mathbf{s}(0) = \mathbf{T}(t) \mathbf{s}(0), \quad \mathbf{s}'(t) = \sum_{u=0}^t \mathbf{s}'(0) \mathbf{A}^u = \mathbf{s}'(0) \mathbf{T}(t), \quad (4)$$

$\mathbf{s}'(t)$ – wektor transponowany do $\mathbf{s}(t)$, $\mathbf{T}(t) = \sum_{u=1}^t \mathbf{A}^u$.



Znaczenie macierzy $\mathbf{T}(t)$

Informacja o ewolucji składnika w czasie od początku analizy do chwili t

- zawarta w wierszu i macierzy $\mathbf{T}(t)$ odnosi się do wpływu składnika i na system, czyli **całkowity wpływ** składnika i na system po t okresach

$$[\mathbf{s}(t)]_i = \sum_{k=1}^n [\mathbf{T}^t]_{ik} = I_i(t), \quad (5)$$

- zawarta w kolumnie i macierzy $\mathbf{T}(t)$ odnosi się do wpływu systemu na składnik i , czyli **całkowita podatność** (zmiana stanu) składnika i w systemie, po t okresach

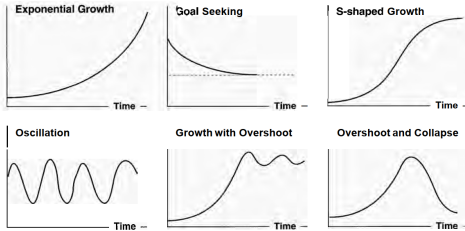
$$[\mathbf{s}'(t)]_i = \sum_{k=1}^n [\mathbf{T}^t]_{ki} = R_i(t). \quad (6)$$

Przyjmujemy $\mathbf{s}(0) = \mathbf{1}$, co nie ogranicza ogólności rozważań. [► Szczegóły](#)



Zachowanie systemu z pętlą zwrotną

FIGURE 4-1 Common modes of behavior in dynamic systems



(Sterman 2000)

- Różne przebiegi w zachowaniu systemu mogą być odtworzone w ALMODES z dwoma lub trzema wierzchołkami.
 - dwa składniki: wzrost wykładniczy, dążenie do celu, oscylacje.
 - trzy składniki: wzrost typu S, wzrost typu S z przeregulowaniem i oscylacją, przeregulowanie i zapadnięcie.
- Pojawiają się one jako wynik wzajemnego oddziaływania o wartościach:
 - dodatnich/ujemnych,
 - mniejszych/równych/większych od 1.

WINGS – Dodatkowe założenia

Weighted Influence Non-linear Gauge System

- Elementy macierzy a_{ij} , $i \neq j$ odzwierciedlają oszacowanie oddziaływań w abstrakcyjnym systemie reprezentującym problem decyzyjny, w szczególności wpływ (bezpośredni lub pośredni) **wariantów** na **cele**.
- Elementy a_{ii} – reprezentują „wewnętrzną siłę” składników (samooddziaływanie), w szczególności **znaczenie** celów dla decydenta (preferencje).
- Dzięki odpowiedniej normalizacji elementów a_{ij} , zapewniającej zbieżność szeregu potęg macierzy $\mathbf{A}$, system zawsze osiąga stabilność.
- Stan końcowy jest osiągany w czasie pomijalnie krótkim w stosunku do „momentu obserwacji”.

(Michnik 2013)



Inne pokrewne podejścia

- DEMATEL (DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory /Fontela, Gabus/),
- ANP (Analytic Network Process /Thomas Saaty/),
- Reasoning Map /Ackerman, Belton, Ensslin, Montibeller),
- FCM (Fuzzy Cognitive Map /Bart Kosko/),
- System Dynamics /Jay Forrester/



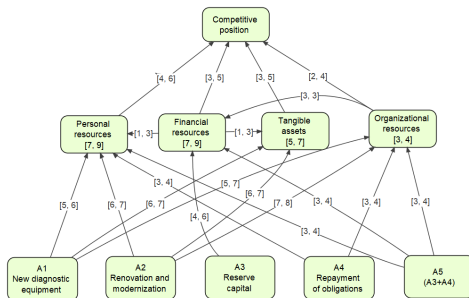
Plan

- 1 Wstęp
- 2 Decyzje oparte na wielu kryteriach
- 3 Podejście systemowe
 - Metoda ALMODES
 - Metoda WINGS
- 4 Kierunki rozwoju metod wielokryterialnych**
 - Metody uwzględniające niepewność
 - Hybrydyzacja
- 5 Obszary zastosowań
- 6 Bibliografia

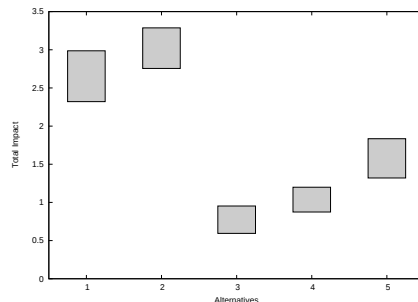


WINGS – arytmetyka przedziałowa

Niepewność oszacowania opisuje zmienna przedziałowa $[x] = [\underline{x}, \bar{x}]$, $\underline{x} \leq \bar{x}$, $\underline{x}, \bar{x} \in \mathfrak{R}$.
Ponieważ w metodzie WINGS wszystkie wyrazy macierzy oddziaływań są nieujemne, łatwo wykazać, że w wyniku otrzymujemy parę macierzy $\underline{\mathbf{T}}$ i $\bar{\mathbf{T}}$.



(Michnik i Grabowski 2020)

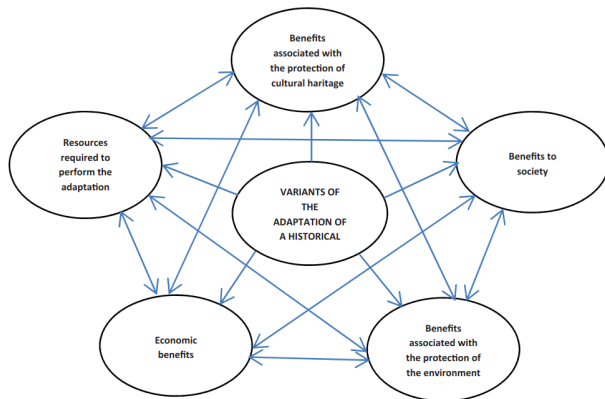


Ocena wrażliwości wałów ochronnych /WINGS + arytmetyka przedziałowa/

- Identyfikacja czynników wpływających na wrażliwość (16): poprzeczny rurociąg, przepust, erozja gleby, zwierzęta ryjące, roślinność, ściany nasypu, poziom wody,
- Oszacowanie wag i zależności jako liczb przedziałowych.
- Wykorzystanie WINGS do obliczenia znaczenia czynników (całkowite zaangażowanie).
- Aplikacja: wały ochronne systemu kanałów w Nadrenii-Północnej Westfalii.

(Marsili i in. 2021); "Vulnerability Assessment of Aging Levees with WINGS and Interval Arithmetic"

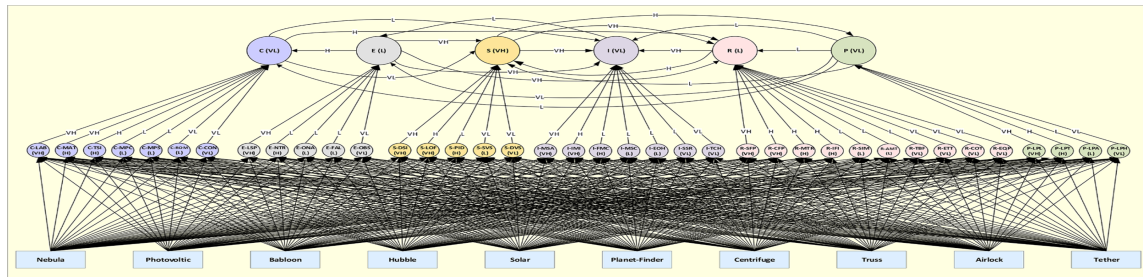
Fuzzy WINGS – wybór sposobu adaptacji historycznego budynku



(Radziszewska-Zielina i Śladowski 2017b); "Supporting the selection of a variant of the adaptation of a historical building with the use of fuzzy modelling and structural analysis"



Fuzzy WINGS – ocena zaawansowanych technologii w NASA



(Tavana, Mousavi i in. 2021); "A fuzzy weighted influence non-linear gauge system with application to advanced technology assessment at NASA"

Bariery logistyki odwrotnej w przemyśle motoryzacyjnym

- Identyfikacja barier: ekonomicznych, w łańcuchu dostaw, wiedzy, rynku i konkurencji, zarządzania, polityki i strategii (metoda Delphi).
- Oszacowanie wag (Best-Worst Method, BWM /Jafar Rezaei/; ograniczone porównania parami).
- Modyfikacja wag z uwzględnieniem zależności (WINGS).
- Analiza wyników metody WINGS (profil zaangażowanie-rola).
- Aplikacja: przemysł motoryzacyjny w Iranie.

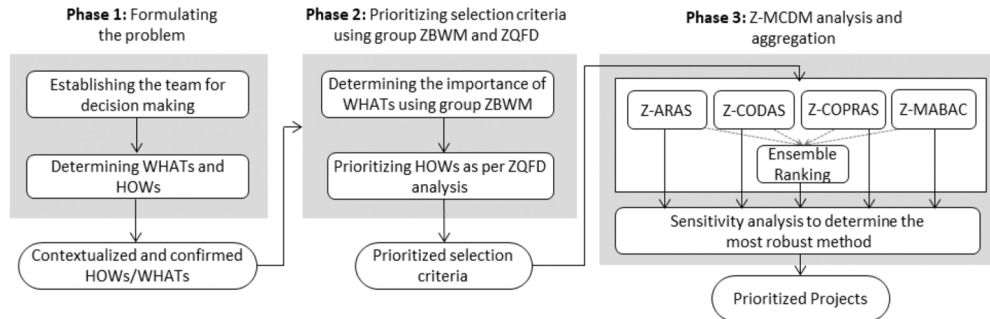
(Kaviani i in. 2020); "An integrated framework for evaluating the barriers to successful implementation of reverse logistics in the automotive industry"

Partnerstwo publiczno-prywatne

- Identyfikacja wag kryteriów ekonomicznych, środowiskowych, społecznych i technologicznych (BWM).
- Analiza powiązań między kryteriami (WINGS).
- Ranking i selekcja partnerów prywatnych (TOPSIS, Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution).
- Aplikacja: Inicjatywa PPP na rzecz zrównoważonego rozwoju, gentryfikacji i rewitalizacji sąsiedztwa oraz rozwoju gospodarczego w północno-wschodnim mieście w USA.

(Tavana, Khalili Nasr i in. 2021); "A private sustainable partner selection model for green public-private partnerships and regional economic development"

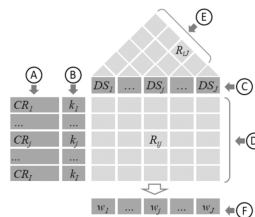
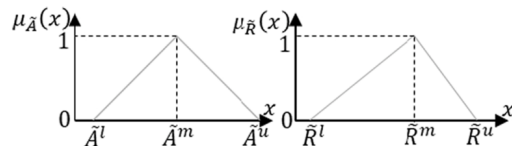
Zarządzanie portfelem projektów



(Jafarzadeh i in. 2022); A project prioritization approach considering uncertainty, reliability, criteria prioritization, and robustness

ZPP c.d.

- Z-numbers: para liczb rozmytych (niepewność, wiarygodność).
- QFD (Quality Function Deployment) & HOQ (House of Quality).
- ranking zespołowy (ensemble ranking):
 - Additive Ratio Assessment (ARAS),
 - Combinative Distance-based Assessment (CODAS),
 - Complex Proportional Assessment of Alternatives (COPRAS),
 - Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC).



Blocks in HOQ:

- (A) Customer Requirements (CR) or WHATs
- (B) Important Score of CRs
- (C) Design Specification (DS) or HOWs
- (D) Relationship between CR_i and DS_j
- (E) Correlation among DSs
- (F) Importance rating of DSs

Plan

- 1 Wstęp
- 2 Decyzje oparte na wielu kryteriach
- 3 Podejście systemowe
 - Metoda ALMODES
 - Metoda WINGS
- 4 Kierunki rozwoju metod wielokryterialnych
 - Metody uwzględniające niepewność
 - Hybrydyzacja
- 5 Obszary zastosowań**
- 6 Bibliografia



Ocena warunków determinujących rekultywację materiałów kamiennych i ich wykorzystanie w rewaloryzacji obiektów zabytkowych

- Cel: Efektywne gospodarowanie materiałami pozyskanymi z rozbiórek w zakresie rewaloryzacji obiektów zabytkowych.
- Analiza czynników wpływających na rekultywację i ponowne wykorzystanie materiałów (WINGS):
 - ochrona środowiska, warunki techniczne, ochrona zabytków, warunki finansowe, ograniczenia czasowe.
- Aplikacja: Rewaloryzacja zewnętrznego dziedzińca na Wawelu.



(Radziszewska-Zielina i Śladowski 2017a); "Assessment of the Conditions that Determine the Reclaiming of Stone Materials and their Use in the Revalorisation of Historical Buildings"



Wybór technologii budowy obiektów w centrach aglomeracji miejskich

- Analiza znaczenia i wzajemnych zależności warunków mających wpływ na wybór technologii (WINGS):
 - wpływ otoczenia na budynek, aktywność parasejsmiczna, gleba i wody gruntowe, warunki logistyczne w miejscu budowy i otoczeniu, wpływ budowy na otoczenie, ochrona zabytków, ochrona środowiska, niedogodności dla otoczenia miejskiego, głębokie wykopy, wymogi administracyjne.

(Radziszewska-Zielina, Śladowski i Kania 2018); "Structural analysis of conditions determining the selection of construction technology for structures in the centres of urban agglomerations"



Kryteria wyboru wariantów funkcji użytkowych w adaptacji zabytkowej architektury regionalnej

- Problem: wybór nowej funkcji dla obiektu zabytkowego.
- Kryteria: termomodernizacyjne, komfort użytkowania, względy finansowe, korzyści społeczne, ochrona dziedzictwa kulturowego.
- Analiza zależności między pod-kryteriami dla kryteriów: korzyści społeczne, ochrona dziedzictwa kulturalnego (WINGS).
- Aplikacja: „Stara Polana” w Zakopanem
- Poprzednia praca: podejście hybrydowe (DEMATEL, ANP) w zastosowaniu do wszystkich kryteriów.



(Fedorczak-Cisak i in. 2019); "Evaluation of the Criteria for Selecting Proposed Variants of Utility Functions in the Adaptation of Historic Regional Architecture"



Plan

- 1 Wstęp
- 2 Decyzje oparte na wielu kryteriach
- 3 Podejście systemowe
 - Metoda ALMODES
 - Metoda WINGS
- 4 Kierunki rozwoju metod wielokryterialnych
 - Metody uwzględniające niepewność
 - Hybrydyzacja
- 5 Obszary zastosowań
- 6 Bibliografia**



Wybrane pozycje literatury I

- Fedorczak-Cisak, Małgorzata i in. (2019). "Evaluation of the Criteria for Selecting Proposed Variants of Utility Functions in the Adaptation of Historic Regional Architecture". W: *Sustainability* 11.4. Number: 4 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, s. 1094. ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su11041094. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/4/1094>.
- Goodwin, Paul i George Wright (2011). *Analiza decyzji*. Warszawa: Wolters Kluwer Polska.



Wybrane pozycje literatury II

Jafarzadeh, Hamed i in. (1 maj. 2022). "A project prioritization approach considering uncertainty, reliability, criteria prioritization, and robustness". *W: Decision Support Systems* 156, s. 113731. ISSN: 0167-9236. DOI: 10.1016/j.dss.2022.113731. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923622000021> (term. wiz. 14.04.2022).

Kaviani, Mohamad Amin i in. (2020). "An integrated framework for evaluating the barriers to successful implementation of reverse logistics in the automotive industry". *W: Journal of Cleaner Production* 272, s. 122714. ISSN: 0959-6526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122714. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262032761X>.



Wybrane pozycje literatury III

Marsili, Francesca i in. (2021). "Vulnerability Assessment of Aging Levees with WINGS and Interval Arithmetic". W: *18th International Probabilistic Workshop*. Red.

José C. Matos i in. Cham: Springer International Publishing, s. 841–852. ISBN: 978-3-030-73616-3. DOI: 10.1007/978-3-030-73616-3_65.

Michnik, Jerzy (2013). "Weighted Influence Non-linear Gauge System (WINGS) – An analysis method for the systems of interrelated components". W: *European Journal of Operational Research* 228.3, s. 536–544. ISSN: 0377-2217. DOI:

10.1016/j.ejor.2013.02.007. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221713001252>.



Wybrane pozycje literatury IV

Michnik, Jerzy (2021). "Algebraic Modeling of Social Systems Evolution – ALMODES". W: XLVIII Symposium on Operational Research. Red. Dragan Urošević, Milan Dražić i Zorica Stanimirović. Banja Koviljača, Serbia: University of Belgrade, Faculty of Mathematics, s. 641–646. ISBN: 978-86-7589-151-2.

Michnik, Jerzy i Artur Grabowski (2020). "Modeling Uncertainty in the Wings Method Using Interval Arithmetic". W: *International Journal of Information Technology & Decision Making* 19.1. Publisher: World Scientific Publishing Co., s. 221–240. ISSN: 0219-6220. URL: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0219622019500494>.



Wybrane pozycje literatury V

- Radziszewska-Zielina, Elżbieta i Grzegorz Śladowski (2017a). "Assessment of the Conditions that Determine the Reclaiming of Stone Materials and their Use in the Revalorisation of Historical Buildings". W: XXVI Russian-Slovak-Polish Conference, Theoretical Foundation of Civil Engineering. Warszawa.
- (2017b). "Supporting the selection of a variant of the adaptation of a historical building with the use of fuzzy modelling and structural analysis". W: *Journal of Cultural Heritage*. ISSN: 1296-2074.



Wybrane pozycje literatury VI

- Radziszewska-Zielina, Elżbieta, Grzegorz Śladowski i Ewelina Kania (2018). "Structural analysis of conditions determining the selection of construction technology for structures in the centres of urban agglomerations". W: *Open Engineering* 8.1. Publisher: De Gruyter Open Access, s. 463–469. ISSN: 2391-5439. DOI: 10.1515/eng-2018-0054. URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/eng-2018-0054/html>.
- Sterman, John (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin/McGraw-Hill. 982 s. ISBN: 978-0-07-231135-8.



Wybrane pozycje literatury VII

- Tavana, Madjid, Arash Khalili Nasr i in. (2021). "A private sustainable partner selection model for green public-private partnerships and regional economic development". W: *Socio-Economic Planning Sciences*, s. 101189. ISSN: 0038-0121. DOI: 10.1016/j.seps.2021.101189. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012121001816>.
- Tavana, Madjid, Hossein Mousavi i in. (2021). "A fuzzy weighted influence non-linear gauge system with application to advanced technology assessment at NASA". W: *Expert Systems with Applications* 182, s. 115274. ISSN: 0957-4174. DOI: 10.1016/j.eswa.2021.115274. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417421007053>.



Uproszczenie formuł

- Elementy systemu są w rzeczywistości złożonymi obiektami, które tylko na potrzeby modelu traktowane są jako niepodzielne i jednorodne składniki.
- Dlatego, w olbrzymiej większości przypadków, **nie będzie możliwe** określenie mierzalnej wielkości, opisującej ich stan.
- Dodatkowo, naszym celem jest uzyskanie informacji o **względnych** zmianach stanu elementów systemu wynikających z wzajemnych relacji.
- Dlatego przyjmujemy, że stany początkowe wszystkich elementów są takie same i, dla prostoty, równe 1.
- Założenie to nie zmniejsza ogólności uzyskanych wyników i pozwala łatwo przejść do przypadku ogólnego z dowolnym stanem początkowym.

[◀ Powrót](#)