



ALTERNATYVŲ VERTINIMO BŪDAI *TOPSIS* METODU, ESANT NEAPIBRĖŽTUMUI

Jurgita Antuchevičienė

*Statybos technologijos ir vadybos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva
El. paštas Jurgita.Antucheviciene@st.vtu.lt*

Įteikta 2005-09-05; priimta 2005-12-05

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama daugiakriterių sprendimų priėmimo (MADM) problema esant neapibrėžtumui. Kai kuriais atvejais tradiciniai metodai nėra tinkami realioms situacijoms modeliuoti. Dėl šios priežasties mokslinėje praktikoje taikomi neapibrėžtieji MADM metodai. Šiame straipsnyje analizuojamas išplėstas artumo idealiajam taškui (*TOPSIS*) metodas, pritaikytas naudoti neapibrėžtoje aplinkoje. Metode rodiklių reikšmės ir santykiniai reikšmingumai išreiškiami neapibrėžtaisiais skaičiais, aprašytai trikampėje priklausomumo funkcija. Santykinis kiekvienos alternatyvos artumas idealiajam sprendiniui gali būti skaičiuojamas skirtingais mokslinėje literatūroje aprašomais būdais. Publikacijoje pateikiamas skaičiavimų eksperimentas ir lyginami alternatyvų vertinimo rezultatai, gauti pritaikius tris skirtingus neapibrėžtojo *TOPSIS* metodo algoritmus.

Raktažodžiai: alternatyvų prioriteto nustatymas, *TOPSIS*, neapibrėžtumas, neapibrėžtųjų aibių teorija.

EVALUATION OF ALTERNATIVES APPLYING *TOPSIS* METHOD IN A FUZZY ENVIRONMENT

Jurgita Antuchevičienė

*Dept of Construction Technology and Management, Vilnius Gediminas Technical University,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania
E-mail: Jurgita.Antucheviciene@st.vtu.lt*

Received 5 September 2005; accepted 5 December 2005

Abstract. The paper analyses the problem of multiple attribute decision-making (MADM) under fuzzy environment. In some cases the crisp value is inadequate to model real-life situations. For this reason some fuzzy MADM methods have been developed. The extended *TOPSIS* (Technique for the Order Preference by Similarity to Ideal Solution) to fuzzy environment is presented in the current paper. Weights and ratings of each criterion are described in triangular fuzzy numbers. The relative closeness to the ideal solution of each alternative is calculated applying different approaches that were presented in different scientific papers. A computational experiment is presented to compare the results of a multiple attribute analysis that uses three modifications of fuzzy *TOPSIS* method in a particular situation.

Keywords: ranking of alternatives, *TOPSIS*, fuzzy environment, fuzzy sets.

1. Įvadas

Įvairiuose ūkinės ir ekonominės veiklos sektoriuose siekiama strateginių, ekonominių, techninių, socialinių, kokybinių ir kitų tikslų, kurie išreiškiami kiekybiniais ir kokybiniais vertinimo kriterijais, apibūdinančiais alternatyvius sprendimus, esamą išorinės aplinkos situaciją, suinteresuotų grupių tikslus ir galimybes. Norint apibrėžti, pagrįsti ir pasiekti šiuos tikslus, taikomi daugiatikslės analizės metodai ir sprendimų paramos sistemos [1].

Idealu, jei informacija yra tiksli, neabejotina, išsami. Tačiau dažnai realybėje informacija neturi išvardytų charakteristikų. Kartais tenka spręsti problemas ir uždavinius, susijusius su informacijos trūkumu. Dažnai objektyviai neįmanoma trūkstantį informaciją nustatyti tiksliais tyrimais ir po to priimti sprendimą. Neretai tam reikia daug laiko ir materialinių išteklių. Be to, neretai susiduriama su itin skirtingais savo prigimtimi ir įvertinimo būdu rodikliais. Pvz., aiškiai, kiekybiškai matuojami ekonominiai rodikliai sunkiai palyginami su kai kuriais socialiniais ar poveikio aplinkai aspektais. Dažnai nesutampa rodiklių laiko ir erdvės skalės (pvz., ekonominiai tikslai yra trumpalaikiai ar vidutinės trukmės, o poveikis gamtinei aplinkai ilgalaikis; ekonominiai rodikliai apibūdina didelę teritoriją, dažnai šalį ar regioną, o ekologinių rodiklių reikšmės gali kisti atskirame objekte). Toks informacijos trūkumas nėra siejamas su nesugebėjimu nustatyti sistemos būseną ateityje (stochastiniu neapibrėžtumu, kurį nagrinėja tikimybių teorija ir statistika). Neapibrėžtumas kyla dėl informacijos nevienareikšmiškumo. Todėl verta taikyti tokius sprendimų priėmimo metodus, kuriuose galimas informacijos trūkumas ieškant sprendimo. Ši problema literatūroje apibrėžiama kaip sprendimai esant neapibrėžtumui. Neapibrėžtoms (arba konfliktinėms) situacijoms dėl neišsamos, nenuoseklios, nepastovios informacijos spręsti taikoma neapibrėžtųjų aibių teorija. Ši teorija yra žinoma nuo 1965 m. paskelbtų L. A. Zadeh darbų [2, 3].

Taikant klasikinius daugiatikslus sprendimų priėmimo metodus, kyla dar viena problema – kiekybinės ir kokybinės informacijos derinimas. Reikia rasti tokį metodą ar metodų derinį, kurį taikant būtų galima atlikti operacijas su abiejų tipų duomenimis. Daugiatikslio vertinimo teorijoje kiekybiniai ir kokybiniai duomenys griežtai atskiriami, pagal duomenų tipą klasifikuojami metodai, pasižymintys tik tai metodų grupei būdingomis savybėmis. Taikant neapibrėžtųjų aibių teoriją, galima atlikti operacijas su kiekybiniais ir kokybiniais kintamaisiais, lingvistinius kintamuosius transformuoti į neapibrėžtų skaičių formą. Neapibrėžtųjų aibių teorijos elementų integravimo į daugiatikslus sprendimo priėmimo metodus metodologinius principus pasiūlė Triantaphyllou ir Lin [4, 5]. Šie metodai buvo plėtojami kitų mokslininkų darbuose ir taikomi įvairių sričių uždaviniams spręsti [6–11]. Šių publikacijų autoriai naudoja skirtingus algoritmus analogiškiems sprendimams priimti. No-

rint taikyti neapibrėžtųjų aibių teoriją praktiniam daugiatiksliam alternatyvų įvertinimui, reikia nustatyti uždavinio sprendimo metodikos įtaką rezultatams. Šiame straipsnyje aprašomo tyrimo tikslas – palyginti daugiatikslės analizės rezultatus, gautus artumo idealiajam taškui, esant neapibrėžtoms situacijoms, metodu (angl. *fuzzy TOPSIS*), naudojant skirtingus skaičiavimo algoritmus, ir įvertinti skaičiavimo būdo įtaką alternatyvų prioritetui nustatyti.

2. Artumo idealiajam taškui, esant neapibrėžtumui, metodas

2.1. Alternatyvų prioriteto nustatymas pagal artumo idealiajam taškui kriterijų

Hwang ir Yoon 1981 metais [12] sukūrė projektų alternatyvų prioriteto nustatymo teoriją, kuri teigia, kad potencialiai geriausia alternatyva yra mažiausiai nutolusi nuo idealaus sprendinio ir labiausiai nutolusi nuo idealiai neigiamo (blogiausio) sprendinio. Ši teorija vadinama variantų prioriteto nustatymo pagal artumo idealiajam taškui kriterijų metodu (angl. *TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). Lietuvoje *TOPSIS* metodas gerai žinomas ir taikomas statybos uždaviniams spręsti nuo 1986 metų [13–17 ir kt.].

Uždavinys formuluojamas, sudarant sprendimų matricą iš n alternatyvų, aprašytų m rodikliais. Sudaroma pradinė sprendimų priėmimo matrica $[F] = [f_{ij}]$, $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$.

Norint palyginti skirtingų dimensijų rodiklius, sprendimų matrica normalizuojama, skirtingų dimensijų rodiklius perskaičiuojant į bedimensius. Klasikiniame *TOPSIS* metode naudojamas vektorinis normalizavimas [1, 5, 12]:

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n f_{ij}^2}}, \quad (1)$$

čia r_{ij} yra normalizuotas matricos elementas, $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$.

Pasverta normalizuota sprendimų priėmimo matrica sudaroma, normalizuotą matricą dauginant iš rodiklių reikšmingumo vektoriaus, t. y. kiekvienas matricos elementas dauginamas iš atitinkamo rodiklio reikšmingumo q_i :

$$v_{ij} = q_i \cdot r_{ij}, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n. \quad (2)$$

TOPSIS metodas išsiskiria iš daugelio daugiatikslio alternatyvų vertinimo metodų tuo, kad nėra jokių apribojimų, nustatant rodiklių reikšmingumus ir rodiklių reikšmingumų suma nebūtinai turi būti lygi vienetui [18].

Nustatomi idealūs a^* ir neigiamai idealūs a^- variantai

pagal pateiktas (3) ir (4) formules [1, 5, 12]:

$$a^* = \left\{ \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I \right), \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I' \right), j=1, 2, 3, \dots, n \right\} = \{v_{1^*}, v_{2^*}, \dots, v_{n^*}\}, \quad (3)$$

$$a^- = \left\{ \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I \right), \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I' \right), j=1, 2, 3, \dots, n \right\} = \{v_{1^-}, v_{2^-}, \dots, v_{n^-}\}, \quad (4)$$

čia $I = \{i=1, 2, 3, \dots, m\}$ – maksimizuojamų rodiklių aibė, $I' = \{i=1, 2, 3, \dots, m\}$ – minimizuojamų rodiklių aibė.

Nustatomas kiekvienos alternatyvos artumas idealiajam variantui:

$$S_{j^*} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_{i^*})^2}, \quad j=1, 2, 3, \dots, n. \quad (5)$$

Nustatomas kiekvienos alternatyvos artumas neigiamai idealiam variantui:

$$S_{j^-} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_{i^-})^2}, \quad j=1, 2, 3, \dots, n. \quad (6)$$

Nustatomas santykinis kiekvienos alternatyvos artumas idealiajam variantui:

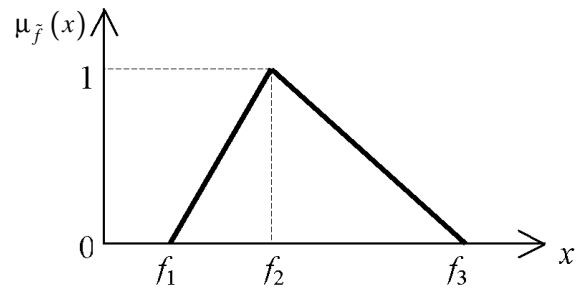
$$C_{j^*} = \frac{S_{j^-}}{S_{j^*} + S_{j^-}}, \quad j=1, 2, 3, \dots, n, \quad (7)$$

čia $0 \leq C_{j^*} \leq 1$.

Pagal C_{j^*} reikšmes sudaromas alternatyvų prioritetų vektorius bei apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos santykinis naudingumas. Geriausia alternatyva yra ta, kurios C_{j^*} reikšmė didžiausia.

2.2. Neapibrėžtųjų aibių teorijos elementų naudojimas daugiatiksliam uždaviniui spręsti

Kai uždavinys modeliuojamas neapibrėžtoje aplinkoje, pradiniai sprendimo priėmimo matricos duomenys, t. y. rodiklių reikšmės ir santykiniai reikšmingumai, išreiškiami neapibrėžtųjų aibių elementais. Neapibrėžtuosius dydžius išreikšti matematine forma leidžia priklausomumo funkcija. Tai būtina, kad kokybinius duomenis galėtume taikyti kiekybiniams sprendimų priėmimo metodams. Neapibrėžtųjų aibių teoretikai Dubois, Prade, Zimmermann, Gutsche ir kt. [19–23] nagrinėja įvairių tipų tiesines ir netiesines priklausomumo funkcijas: sigmoidinę arba S-pavidalo kreivės, logistinę arba L kreivę, β kreivę, π kreivę, Gauso, trikampę, trapecijos ir kt. Šioje publikacijoje visais nagrinėjama atvejais pradiniais duomenimis aprašyti taikoma trikampė priklausomumo funkcija. Jei kiekvieną elementą \tilde{f} sudaro trys skaitinės reikšmės (f_1, f_2, f_3) , jo grafinis vaizdas parodytas 1 pav., o jo priklausomumo funkcija $\mu_{\tilde{f}}$ aprašoma taip [4, 6, 9]:



1 pav. Neapibrėžtasis elementas \tilde{f} , turintis trikampę priklausomumo funkciją (pagal [9])

Fig 1. A triangular fuzzy number \tilde{f} (according to [9])

somumo funkcijas: sigmoidinę arba S-pavidalo kreivės, logistinę arba L kreivę, β kreivę, π kreivę, Gauso, trikampę, trapecijos ir kt. Šioje publikacijoje visais nagrinėjama atvejais pradiniais duomenimis aprašyti taikoma trikampė priklausomumo funkcija. Jei kiekvieną elementą \tilde{f} sudaro trys skaitinės reikšmės (f_1, f_2, f_3) , jo grafinis vaizdas parodytas 1 pav., o jo priklausomumo funkcija $\mu_{\tilde{f}}$ aprašoma taip [4, 6, 9]:

$$\mu_{\tilde{f}}(x) = \begin{cases} \frac{x-f_1}{f_2-f_1}, & (f_1 \leq x \leq f_2), \\ \frac{f_3-x}{f_3-f_2}, & (f_2 \leq x \leq f_3). \end{cases} \quad (8)$$

Neapibrėžtųjų uždavinių rezultatai gaunami neapibrėžtųjų skaičių forma. Taikydami neapibrėžtųjų aibių elementus daugiatiksliam sprendimų priėmimui, susiduriame su rezultatų išreikštųjų neapibrėžtaisiais skaičiais, rangavimo problema. Mokslinėje literatūroje aprašomi keli neapibrėžtųjų skaičių rangų nustatymo būdai. Kiekvienas šių būdų turi trūkumų bei privalumų konkrečioje situacijoje. Sudėtinga nuspręsti, kuris iš būdų yra geriausias.

Šiame tyrime nagrinėjamas TOPSIS metodas, kuris priklauso deterministinių daugiatikslio vertinimo metodų grupei. Tokiuose metoduose variantų prioritetą nustatomas ne pagal neapibrėžtųjų aibių skaičių rangavimo taisyklę, o taikoma neapibrėžtųjų aibių elementų transformavimo į apibrėžtas reikšmes procedūra. Tokios procedūros tikslas – nustatyti geriausiai neapibrėžtą skaičių atitinkančią apibrėžtą reikšmę (angl. *BNP – the Best Non-fuzzy Performance value*) [8]. Taikomi įvairūs tokio transformavimo metodai, pvz., maksimalaus vidurkio (angl. *mean-of-maximum*), ploto centro (angl. *center-of-area*), α susikirtimo (angl. *α -cut*), bisektorinis ir kiti metodai [24, 25]. Metodo parinkimą lemia rezultato vienaprasmiškumas (nustatoma vienintelė unikali reikšmė), tikėtinumai (nustatoma reikšmė, apytikriai esanti srities viduryje) ir skaičiavimo paprastumas [26]. Šia-

me tyrime neapibrėžtųjų aibių elementams transformuoti į apibrėžtas reikšmes pritaikytas ploto centro metodas. Taikant šį metodą, neapibrėžtųjų elementų apibrėžta reikšmė randama pagal tokią formulę [8]:

$$BNP = [(f_3 - f_1) + (f_2 - f_1)] / 3 + f_1, \quad (9)$$

čia BNP – geriausiai neapibrėžtąjį skaičių atitinkanti apibrėžta reikšmė, f_2 – moda, f_1 ir f_3 – atitinkamai minimali ir maksimali neapibrėžtojo skaičiaus, aprašyto trikampyje priklausomumo funkcija, reikšmė.

Atstumą d tarp dviejų neapibrėžtųjų aibių elementų $\tilde{f} = (f_1, f_2, f_3)$ ir $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$ galima nustatyti viršūnės (angl. *vertex*) metodu, kurio rezultatas – apibrėžta reikšmė [6, 9]:

$$d(\tilde{f}, \tilde{n}) = \sqrt{1/3 [(f_1 - n_1)^2 + (f_2 - n_2)^2 + (f_3 - n_3)^2]}. \quad (10)$$

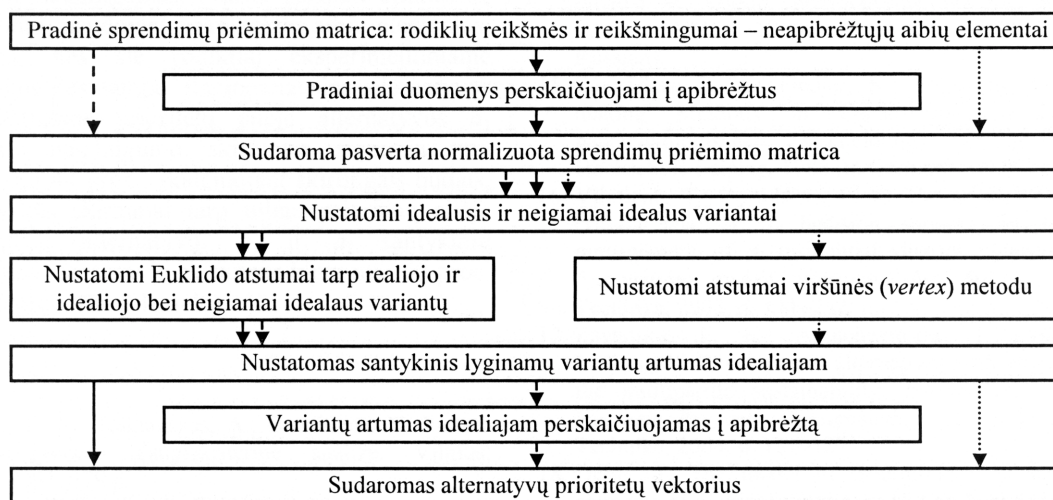
3. Alternatyvų prioriteto nustatymo būdai TOPSIS metodu esant neapibrėžtumui ir jų įtaka rezultatams

Šioje dalyje pateikiamo tyrimo tikslas – palyginti daugiatikslės analizės rezultatus, gautus tam pačiam daugiatiks-

liam sprendimo priėmimo metodui pritaikius skirtingus skaičiavimo, taikant neapibrėžtųjų aibių teorijos elementus, būdus. Eksperimentiniai skaičiavimai atlikti artumo idealiajam taškui, esant neapibrėžtumui, metodu, naudojant skirtingus skaičiavimo algoritmus, kuriuos taiko įvairių mokslinių publikacijų autoriai [4–11]. Skaičiavimų rezultatai palyginti ir įvertinta skaičiavimo būdų įtaka alternatyvų prioritetui nustatyti.

Atsižvelgiant į pradinių duomenų neapibrėžtumą, alternatyvius sprendimus aprašančių rodiklių reikšmės išreiškiamos neapibrėžtųjų aibių elementais. Tokiu būdu sudaroma pradinė neapibrėžtoji sprendimų priėmimo matrica. Galimi tolesni skirtingi skaičiavimo variantai, taikant TOPSIS ir neapibrėžtųjų aibių teorijos derinį, pavaizduoti blokinėje schemoje (2 pav.).

Atlikti eksperimentiniai skaičiavimai, taikant TOPSIS ir neapibrėžtųjų aibių elementų derinį trimis būdais, pagal 2 pav. pateiktą algoritmą. Skaičiuoti naudota eksperimentinė, neturinti fizinės prasmės sprendimų matrica (1 lentelė), sudaryta iš trijų alternatyvų a_j , aprašytų keturiais rodikliais f_i su santykiniais reikšmingumais q_i , $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$. Visi rodikliai maksimizuojami. Skaičiavimų rezultatai pateikti 2 lentelėje ir apibendrinti išvadose.



2 pav. Alternatyvų prioriteto nustatymo schema

Fig 2. Stages for determining the preference of alternatives

1 lentelė. Pradinė neapibrėžtoji sprendimų priėmimo matrica

Table 1. The initial fuzzy decision-making matrix

q_i	f_1	f_2	f_3	f_4
	(0,13; 0,20; 0,31)	(0,08; 0,15; 0,25)	(0,29; 0,40; 0,56)	(0,17; 0,25; 0,38)
a_1	(0,08; 0,25; 0,94)	(0,25; 0,93; 2,96)	(0,34; 0,70; 1,71)	(0,12; 0,24; 0,92)
a_2	(0,23; 1,00; 3,10)	(0,13; 0,60; 2,24)	(0,03; 0,05; 0,09)	(0,12; 0,40; 1,48)
a_3	(0,15; 0,40; 1,48)	(0,13; 0,20; 0,88)	(0,62; 1,48; 3,41)	(0,24; 1,00; 3,03)

2 lentelė. Daugiatikslio alternatyvų įvertinimo rezultatai**Table 2.** The results of multi-attribute evaluation of alternatives

Daugiatikslių analizės rezultatai	Algoritmo variantai		
	1*	2**	3***
Alternatyvų prioriteto eilė	$a_3 \succ a_1 \succ a_2$	$a_3 \succ a_1 \succ a_2$	$a_3 \succ a_1 \succ a_2$
Alternatyvos a_1 artumas idealiajam variantui	0,69	0,37	0,51
Alternatyvos a_2 artumas idealiajam variantui	0,20	0,27	0,46
Alternatyvos a_3 artumas idealiajam variantui	0,81	0,80	0,91
Alternatyvos a_1 naudingumo laipsnis	85 %	46 %	56 %

4. Išvados

1. Daugiatiksliams inžineriniams uždaviniams, susijusiems su informacijos trūkumu ir neapibrėžtumu, spręsti siūloma taikyti klasikinius daugiatikslių analizės metodus, papildytus neapibrėžtųjų aibių teorijos elementais.

2. Atlikti eksperimentiniai skaičiavimai, taikant TOPSIS ir neapibrėžtųjų aibių elementų derinį, parodė, jog racionaliausiai alternatyvai išrinkti ir alternatyvų prioritetai nustatyti skirtingų nagrinėtų algoritmų naudojimas įtakos neturi. Pateiktame pavyzdyje visais trimis nagrinėtais būdais nustatyta alternatyvų prioritetai eilė sutapo: $a_3 \succ a_1 \succ a_2$.

3. Jei sprendžiant uždavinį svarbus kiekvieno varianto santykinis naudingumas, svarbu parinkti atitinkamą skaičiavimo, naudojant neapibrėžtųjų aibių elementus, algoritmą, nes šie rodikliai eksperimentiniame skaičiavime nesutampa. Racionaliausios alternatyvos a_3 ir antrosios prioritetai eilėje alternatyvos a_1 santykinio naudingumo skirtumas svyruoja nuo 15 proc. iki 44 proc., skaičiuojant skirtingais būdais. Ypač ryškūs skirtumai tarp toliau prioritetai eilėje išsidėsčiusių alternatyvų: a_1 ir a_2 santykinio naudingumo tarpusavio skirtumas kinta nuo 60 proc. iki vos 5 proc. (žr. 2 lentelę).

Literatūra

- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Banaitienė, N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė. Vilnius: Technika, 2001. 379 p.
- Zadeh, L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, Vol 8, 1965, p. 338–353.
- Bellmann, R. E.; Zadeh, L. A. Decision – making in a fuzzy environment. *Management Science*, Vol 17, 1970, p. 141–164.
- Triantaphyllou, E.; Lin, Ch.-T. Development and evaluation of five fuzzy multiattribute decision-making methods. *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol 14, 1996, p. 281–310.
- Triantaphyllou, E. Multi-criteria Decision Making Methods: a Comparative Study. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Li, D.-F.; Yang, J.-B. Fuzzy linear programming technique for multiattribute group decision making in fuzzy environments. *Information Sciences*, Vol 158, 2004, p. 263–275.
- Chu, T. Ch. Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decisions. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, Vol 10, No 6, 2002, p. 687–701.
- Tsaur, S.-H.; Chang, T.-Y.; Yen, Ch.-H. The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM. *Tourism Management*, Vol 23, 2002, p. 107–115.
- Chen, Ch.-T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol 114, 2000, p. 1–9.
- Chu, T.-Ch.; Lin, Y.-Ch. Improved extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Journal of Information & Optimization Sciences*, Vol 23, No 2, 2002, p. 273–286.
- Tsao, Ch.-T.; Chu, T.-Ch.. An improved fuzzy MCDM model based on ideal and anti-ideal concepts. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol 45, No 2, 2002, p. 185–197.
- Hwang, C. L.; Yoon, K. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981.
- Zavadskas, E. K. The method of ranking of construction-technological alternatives on the basis of the distance from the ideal solution. In: New construction technology for buildings and structures (Межвуз. темат. сб. тр. Новая технология возведения зданий и сооружений). Leningrad, 1986, p. 52–57 (in Russian).
- Zavadskas, E. K. Complex Evaluation and Selection of Resource-saving Decisions in Construction (Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве). Vilnius: Mokslas, 1987. 210 p. (in Russian).
- Zavadskas, E. K.; Fiedler, K.; Peldschus, F. Decision-making Methods in Construction (Methoden der bautechnologischen Entscheidung). Leipzig: Technische Hochschule Leipzig, 1986 (in German).
- Vilutienė, T.; Zavadskas, E. K. The application of multi-criteria analysis to decision support for the facility management of a residential district. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol 9, No 4. Vilnius: Technika, 2003, p. 241–252.
- Zavadskas E. K.; Antuchevičienė, J. Evaluation of buildings' redevelopment alternatives with an emphasis on the multipartite sustainability. *International Journal of Strategic Property Management*, Vol 8, No 2. Vilnius: Technika, 2004, p. 121–127.
- Dėjus, T. The model of determining the sensitivity of elements of multiple criteria evaluation methods. *Journal of Civil En-*

- gineering and Management*, Vol 8, No 4. Vilnius: Technika, 2002, p. 263–268.
19. Dubois, D.; Prade, H. Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications. *Mathematics in Science and Engineering*, Vol 144. NY: Academic Press, 1980. 393 p.
 20. Zimmermann, H. J.; Gutsche, L. Multi-Criteria Analyse. Berlin, Heidelberg, 1991.
 21. Zimmermann, H. J. Fuzzy Set Theory and Its Applications. Third Revised Edition. Kluwer Academic Publishers, 1996.
 22. Witlox, F. J. A. A Relational Matching Approach Based on Fuzzy Decision Tables. Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde, 1998. 385 p.
 23. Robak, S.; Pieczynski, A. Application of fuzzy weighted feature diagrams to model variability in software families. *Artificial Intelligence and Soft Computing – ICAISC 2004. 7th International Conference*, Zakopane, Poland, 2004, p. 370–375.
 24. Van Leekwijck, W.; Kerre, E. E. Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol 108, 1999, p. 159–178.
 25. Bardossy, A.; Duckstein, L. Fuzzy Rule-Based Modeling with Applications to Geophysical, Biological and Engineering Systems. Boca Raton, FL: CRS Press, 1995.
 26. Al-Najjar, A.; Alsayouf, I. Selecting the most effective maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. *International Journal of Production Economic*, Vol 84, 2003, p. 85–100.

Jurgita ANTUCHEVIČIENĖ. Doctor, Associate Professor. Research interests: multi-attribute analysis and decision-making theory, sustainable development, redevelopment of buildings. Author and co-author of about 20 research papers.