

IŠORINIŲ PASTATO ATITVARŲ VERTINIMAS TAIKANT  
DAUGIAKRITERINIUS METODUSMilena Medineckienė<sup>1</sup>, Modestas Kračka<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>Milena.Medineckiene@vgtu.lt; <sup>2</sup>Modestas.Kracka@vgtu.lt

**Santrauka.** Straipsnyje pateiktas išorinių atitvarų parinkimo modelis. Nagrinėjami 6 sienų ir langų plotų santykio variantai. Apskaičiuoti šių variantų parametrai: šilumos nuostoliai per pastato sienas, šilumos nuostoliai per pastato langus, šilumos nuostoliai per pastato ilginius šilumos tiltelius, šilumos nuostoliai dėl viršnorminės išorės oro infiltracijos, šilumos pritekėjimas į pastatą iš išorės, pastato suminės energijos sąnaudos, neįvertinus šildymo sistemos efektyvumo, taip pat išorinių atitvarų kainų santykis. Pagal turimus duomenis sudaryta pradinė duomenų matrica. Naudojant daugiakriterinio vertinimo metodus SAW (*Simple Additive Weight*), COPRAS (*COmplex PROportion ASsessment*), ir MEW (*Multiplicative Exponential Weighting*), buvo apskaičiuotas optimalus langų ir sienų santykio variantas.

**Reikšminiai žodžiai:** šilumos nuostoliai, atitvaros, alternatyvos, rodikliai, SAW, COPRAS, MEW.

### Įvadas

Statybos darbai gali būti ekonomiškai efektyvūs, atsižvelgiant tiek į pastato savikainą, tiek ir į pastato eksploataavimo sąnaudų prognozes. Greita statyba suteikia galimybę anksčiau įsikelti į patalpas ir sumažinti finansines išlaidas (Abdallah 2007). Šiuo metu trūksta iškastinio kuro, energijos kainų kilimas lemia pastatų energijos taupymo paklausą, daugelyje pasaulio šalių tai tampa aktualiausiu klausimu. Akivaizdu, jog viena iš geriausių priemonių energijos taupymo srityje yra numatyti kompleksinius tyrimus ir vystymus (Samarin *et al.* 2007). Plečiantis nekilnojamojo turto statybai, sparčiai tobulėjant technologijoms, atsirandant naujoms medžiagoms, didėjant informacijos srautams ir kylant vartotojų poreikiams, aktualu įvertinti supančios ergonomiškos darbo ir gyvenamosios aplinkos charakteristikas (Kalibatas *et al.* 2007).

Šilumos energijos taupymas tiesiogiai susietas su pastato šiluminiais nuostoliais. Autoriai atliko šilumos energijos nuostolių bei pastato suminės energijos sąnaudų per langų ir sienų konstrukcijas tyrimą. Atsižvelgiant į langų ir sienų statybos kainos santykį bei šių paviršių galimų plotų santykį sudaryta sprendimų priėmimo matrica, taikant daugiakriterinio vertinimo metodus nustatytas tinkamiausias variantas.

### Daugiakriterinio vertinimo metodai

Statinio daugiakriterinė analizė pagal kokybinius ir kiekybinius kriterijus yra gana sudėtingas procesas, vien ekspertinių sistemų nepakanka (Schroeder 2006), todėl

straipsnyje pateiktas uždavinys sprendžiamas keliais daugiakriterinio vertinimo metodais.

Esama įvairių metodų, paremtų daugiakriterinio naudingumo teorija: SAW – Simple Additive Weighting (MacCrimon 1968; Ginevicius *et al.* 2008a, b); MOORA – Multi-Objective Optimization on basis of Ratio Analysis (Brauers and Zavadskas 2006; Kalibatas and Turskis 2008); TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (Hwang and Yoon 1981), VIKOR – compromise ranking method (Opricovic 1993; Opricovic and Tzeng 2004), COPRAS – COmplex PROportional ASsessment of alternatives (Zavadskas *et al.* 2008, 2009), MEW – Multiplicative Exponential Weighting (Zanakis *et al.* 1998) ir kiti metodai (Turskis 2008; Turskis *et al.* 2009).

Įvairių žaidimų teorijos metodų taikymo galimybes, priimant statybos sprendimus, nagrinėjo E. K. Zavadskas, L. Ustinovičius, Z. Turskis, F. Peldschus, D. Messing. Autoriai sukūrė programinę įrangą, kurią naudojant galima atlikti skaičiavimus taikant min-max principus, išplėstinius min-max principus, Wald's taisykles, Savage kriterijus, Hurwicz's taisykles, Laplace's taisykles, Bayes's taisykles, Hodges-Lehmann's taisykles.

### Darbo metodika

Uždavinio sprendimui rasti naudojami trys daugiakriterinio vertinimo metodai: SAW (MacCrimon 1968), MEW (Zanakis *et al.* 1998) ir COPRAS (Zavadskas *et al.* 2008).

Kriterijų reikšmingumai ( $q_j$ ) apskaičiuoti, naudojant AHP (*Analytic Hierarchy Process*) porinio palyginimo metodą (Saaty and Erdener 1979; Podvezko 2009).

### Tyrimo objektas

Pateiktos šešios pastatų alternatyvos ( $A_i$ ), kiekvienos alternatyvos langų ir sienų plotų santykis yra skirtingas:

- pirmasis variantas ( $A_1$ ) – sienų 308,65 m<sup>2</sup>, langų 54,75 m<sup>2</sup>;
- antrasis variantas ( $A_2$ ) – sienų 353,80 m<sup>2</sup>, langų 9,60 m<sup>2</sup>;
- trečiasis variantas ( $A_3$ ) – sienų 341,86 m<sup>2</sup>, langų 21,54 m<sup>2</sup>;
- ketvirtasis variantas ( $A_4$ ) – sienų 276,85 m<sup>2</sup>, langų 86,55 m<sup>2</sup>;
- penktasis variantas ( $A_5$ ) – sienų 329,35 m<sup>2</sup>, langų 34,05 m<sup>2</sup>;
- šeštasis variantas ( $A_6$ ) – sienų 343,72 m<sup>2</sup>, langų 19,68 m<sup>2</sup>.

1 lentelėje pateikti šilumos nuostoliai pastate, kurie priklauso nuo langų ir sienų plotų santykio. Taip pat pateiktos pastato suminės energijos sąnaudos, neįvertinus šildymo sistemos efektyvumo ir įvertinus šildymo sistemos efektyvumą bei sienų ir langų kainos santykis.

Siekiant nustatyti išvardintų kriterijų reikšmingumus, ekspertams išdalintos porinio palyginimo lentelės, naudojant Saaty skalę, atliekamas porinis ekspertų palyginimas.

2 lentelėje pateiktas galutinis ekspertų porinio palyginimo variantas.

**2 lentelė.** Porinio palyginimo lentelė

**Table 2.** Pair-wise comparison table

	x1-4	x2	x3	x4
x1-4		1	0,14	0,14
x2	1		0,14	0,14
x3	7	7		0,333
x4	7	7	3	
	q1-4	q2	q3	q4
	0,036	0,038	0,423	0,501

Jau minėtu AHP metodu nustačius kriterijų reikšmingumus, sudaroma pradinė sprendimų priėmimo matrica, kurią sudaro šešios alternatyvos ir septyni šių alternatyvų kriterijai (3 Lentelė).

4 ir 5 lentelėse atitinkamai pavaizduota normalizuota sprendimų matrica ir normalizuota sprendimų priėmimo matrica pagal SAW metodą. Pateikta šio sprendimo prioritetiškumo eilė.

6 ir 7 lentelėse, naudojant tuos pačius pradinius duomenis, pateiktos sprendimų matricos skaičiuojant pagal MEW metodą. Gauti duomenys susisteminami, pateikiami prioritetiškumo eile.

8 lentelė vaizduoja pasvertąją normalizuotą matricą prioritetiškumo eile, išspręsta COPRAS metodu.

9 lentelėje pateikiamas sprendžiamų metodų variantų palyginimas.

**1 lentelė.** Šilumos nuostoliai ir šilumos pritekėjimai pastate (kWh/m<sup>2</sup>·metai)

**Table 1.** Energy heating losses and energy heating inflows in the building (kWh/m<sup>2</sup> per year)

Nr.	Kriterijų pavadinimai	Mato vnt.	1 var.	2 var.	3 var.	4 var.	5 var.	6 var.
			Skaičiuojamos reikšmės					
1	Šilumos nuostoliai per pastato sienas	kWh/m <sup>2</sup> ·metai	33,95	38,9	37,59	30,44	36,21	37,8
2	Šilumos nuostoliai per pastato langus	kWh/m <sup>2</sup> ·metai	23,78	4,17	9,36	37,59	14,79	8,55
3	Šilumos nuostoliai per pastato ilginis šiluminius tiltelius	kWh/m <sup>2</sup> ·metai	11,45	6,32	8,23	13,91	9,17	7,97
4	Šilumos nuostoliai dėl viršnorminės išorės oro infiltracijos	kWh/m <sup>2</sup> ·metai	39,97	0	4,35	74,08	17,77	2,35
5	Šilumos pritekėjimai į pastatą iš išorės	kWh/m <sup>2</sup> ·metai	-29,44	-4,29	-10,22	-45,1	-17,06	-9,25
6	Pastato suminės energijos sąnaudos, neįvertinus šildymo sistemos efektyvumo	kWh/m <sup>2</sup> ·metai	167,12	132,52	136,71	198,34	148,3	134,83
7	Kainų santykis: sienos/ langai		3,852	25,184	10,845	2,186	6,610	11,935

**3 lentelė.** Pradinė sprendimų priėmimo matrica

**Table 3.** Initial decision making matrix

Alternatyvos	Kriterijai						
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$A_1$	33,95	23,78	11,45	39,97	29,44	167,10	3,85
$A_2$	38,90	4,17	6,32	1,00	4,29	132,52	25,18
$A_3$	37,59	9,36	8,23	4,35	10,22	136,71	10,85
$A_4$	30,44	37,59	13,91	74,08	45,10	198,34	2,19
$A_5$	36,21	14,79	9,17	17,77	17,06	148,30	6,61
$A_6$	37,80	8,55	7,97	2,35	9,25	134,83	11,94
Optimalumo rodiklis	min	min	min	min	max	min	max
$q_j$	0,009	0,009	0,009	0,009	0,038	0,424	0,502
Optimali reikšmė	30,44	4,17	6,32	1,00	45,10	132,52	25,18

**4 lentelė.** Normalizuota sprendimų priėmimo matrica (SAWmetodui)

**Table 4.** Normalised decision making matrix (for SAW method)

Alternatyvos	Kriterijai						
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$A_1$	0,8966	0,1754	0,5520	0,0250	0,6528	0,7931	0,1529
$A_2$	0,7825	1,0000	1,0000	1,0000	0,0951	1,0000	1,0000
$A_3$	0,8098	0,4455	0,7679	0,2299	0,2266	0,9694	0,4309
$A_4$	1,0000	0,1109	0,4543	0,0135	1,0000	0,6681	0,0870
$A_5$	0,8407	0,2819	0,6892	0,0563	0,3783	0,8936	0,2625
$A_6$	0,8053	0,4877	0,7930	0,4255	0,2051	0,9829	0,4742

**5 lentelė.** Pasverta-normalizuota sprendimų priėmimo matrica (SAW metodas)

**Table 5.** Weighted-normalised decision making matrix (SAW method)

Alternatyvos	Kriterijai							Optimalumo funkcijos reikšmė	Prioritetskumo eilė
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$		
$A_1$	0,0081	0,0016	0,0050	0,0002	0,0248	0,3363	0,0768	0,4527	5
$A_2$	0,0070	0,0090	0,0090	0,0090	0,0036	0,4240	0,5020	0,9637	1
$A_3$	0,0073	0,0040	0,0069	0,0021	0,0086	0,4110	0,2163	0,6562	3
$A_4$	0,0090	0,0010	0,0041	0,0001	0,0380	0,2833	0,0437	0,3792	6
$A_5$	0,0076	0,0025	0,0062	0,0005	0,0144	0,3789	0,1318	0,5419	4
$A_6$	0,0072	0,0044	0,0071	0,0038	0,0078	0,4167	0,2380	0,6852	2

**6 lentelė.** Normalizuota sprendimų priėmimo matrica (MEW metodui)

**Table 6.** Normalised decision making matrix (for MEW method)

Alternatyvos	Kriterijai						
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$A_1$	0,8966	0,1754	0,5520	0,0250	0,6528	0,7931	0,1529
$A_2$	0,7825	1,0000	1,0000	1,0000	0,0951	1,0000	1,0000
$A_3$	0,8098	0,4455	0,7679	0,2299	0,2266	0,9694	0,4309
$A_4$	1,0000	0,1109	0,4543	0,0135	1,0000	0,6681	0,0870
$A_5$	0,8407	0,2819	0,6892	0,0563	0,3783	0,8936	0,2625
$A_6$	0,8053	0,4877	0,7930	0,4255	0,2051	0,9829	0,4742

7 lentelė. Pasverta-normalizuota sprendimų priėmimo matrica (MEW metodas)

Table 7. Weighted-normalised decision making matrix (MEW method)

Alternatyvos	Kriterijai							Optimalumo funkcijos reikšmė	Prioritetškumo eilė
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>		
A <sub>1</sub>	0,9990	0,9845	0,9947	0,9674	0,9839	0,9064	0,3896	0,3288	5
A <sub>2</sub>	0,9978	1,0000	1,0000	1,0000	0,9145	1,0000	1,0000	0,9125	1
A <sub>3</sub>	0,9981	0,9927	0,9976	0,9869	0,9451	0,9869	0,6553	0,5963	3
A <sub>4</sub>	1,0000	0,9804	0,9929	0,9620	1,0000	0,8428	0,2935	0,2316	6
A <sub>5</sub>	0,9984	0,9887	0,9967	0,9744	0,9637	0,9534	0,5110	0,4501	4
A <sub>6</sub>	0,9981	0,9936	0,9979	0,9923	0,9416	0,9927	0,6876	0,6311	2

8 lentelė. Pasverta-normalizuota sprendimų priėmimo matrica (COPRAS metodas)

Table 8. Weighted-normalised decision making matrix (COPRAS method)

Alternatyvos	Kriterijai							Optimalumo funkcijos reikšmė	Prioritetškumo eilė
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>		
A <sub>1</sub>	0,0014	0,0022	0,0018	0,0026	0,0097	0,0772	0,0319	0,1169	5
A <sub>2</sub>	0,0016	0,0004	0,0010	0,0001	0,0014	0,0612	0,2085	0,3097	1
A <sub>3</sub>	0,0016	0,0009	0,0013	0,0003	0,0034	0,0632	0,0898	0,1887	2
A <sub>4</sub>	0,0013	0,0034	0,0022	0,0048	0,0149	0,0916	0,0181	0,0951	6
A <sub>5</sub>	0,0015	0,0014	0,0014	0,0011	0,0056	0,0685	0,0547	0,1471	4
A <sub>6</sub>	0,0016	0,0185	0,0113	0,0002	0,0030	0,0623	0,0989	0,1703	3

9 lentelė. Sprendimų metodų rezultatų palyginimas

Table 9. The comparison of the methods' results

SAW metodo rezultatai		MEW metodo rezultatai		COPRAS metodo rezultatai		100% sutapimas
Opt. reikšmė	Prioritetškumo eilė	Opt. reikšmė	Prioritetškumo eilė	Opt. reikšmė	Prioritetškumo eilė	
0,4527	5	0,3288	5	0,1169	5	√
0,9637	1	0,9125	1	0,3097	1	√
0,6562	3	0,5963	3	0,1887	2	
0,3792	6	0,2316	6	0,0951	6	√
0,5419	4	0,4501	4	0,1471	4	√
0,6852	2	0,6311	2	0,1703	3	

## Išvados

Tyrimo metu naudojant SAW, MEW ir COPRAS daugiakriterinius metodus buvo apskaičiuotas ir išrinktas optimalus variantas iš pateiktų šešių langų ir skirtingų išorinių sienų dydžių variantų. Geriausi variantai gauti naudojant aukščiau paminėtus metodus: A<sub>2</sub> (sienų 353,80 m<sup>2</sup>, langų 9,60 m<sup>2</sup>), A<sub>6</sub> (sienų 343,72 m<sup>2</sup>, langų 19,68 m<sup>2</sup>) ir A<sub>3</sub> (sienų 341,86 m<sup>2</sup>, langų 21,54 m<sup>2</sup>). Nors daugiakriterinių metodų skaičiavimo eiga skyrėsi, tačiau rezultatai kito nežymiai. COPRAS metodo galutinių rezultatų eiliškumas išsidėstė

skirtingai nei SAW ar MEW, tačiau optimalaus varianto išrinkimui įtakos tai neturėjo.

Atliktas tyrimas parodė kad sprendimų priėmimas naudojant daugiakriterinius metodus yra naudingas pastatų projektavimo eigoje ir gali būti naudojamas daugybėje sferų, nepriklausomai nuo alternatyvų ar rodiklių skaičiaus ir dimensijų reikšmių.

## Literatūra

- Abdallah, A. 2007. Managerial and economic optimizations for prefabricated building system, *Technological and Economic Development of Economy* 13(1): 83–91.
- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics* 35(2): 445–469.
- Ginevicius, R.; Podvezko, V.; Bruzge, S. 2008a. Evaluating the effect of state aid to business by multicriteria methods, *Journal of Business Economics and Management* 9(3): 167–180. doi:10.3846/1611-1699.2008.9.167-180
- Ginevicius, R.; Podvezko, V.; Raslanas, S. 2008b. Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods, *Journal of Civil Engineering and Management* 14(4): 217–226. doi:10.3846/1392-3730.2008.14.20
- Hwang, C. L.; Yoon, K. S. 1981. *Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Kalibatas, D.; Krutinis, M.; Viteikienė, M. 2007. Multi-Objective evaluation of microclimate in dwelling, *Technological and Economic Development of Economy* 13(1): 24–31.
- Kalibatas, D.; Turskis, Z. 2008. Multicriteria evaluation of inner climate by using MOORA method, *Information Technology and Control* 37(1): 79–83.
- MacCrimon, K. R. 1968. *Decision making among multiple attribute alternatives: A survey and consolidated approach*. Rand Memorandum, RM-4823-ARPA.
- Opricovic, S. 1993. Dynamic compromise programming with application to water reservoir management, *Agricultural Systems* 41(3): 335–347. doi:10.1016/0308-521X(93)90008-P
- Opricovic, S.; Tzeng, G. H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research* 156(2): 445–455. doi:10.1016/S0377-2217(03)00020-1
- Podvezko, V. 2009. Application of AHP technique, *Journal of Business Economics and Management* 10(2): 181–189. doi:10.3846/1611-1699.2009.10.181-189
- Saaty, T. L.; Erdener, E. 1979. A new approach to performance measurement the analytic hierarchy process, *Design Methods and Theories* 13(2): 62–68.
- Samarin, O.; Lushin, K.; Paulauskaite, S. 2007. Energy savings efficiency in public buildings under market conditions in Russia, *Technological and Economic Development of Economy* 13(1): 67–72.
- Schroeder, A. T. Jr. 2006. Digitizing a real estate document library, *Records Management Journal* 16(1): 34–50.
- Turskis, Z. 2008. Multi-attribute contractors ranking method by applying Ordering of feasible alternatives of solutions in terms of preferability technique, *Technological and Economic Development of Economy* 14(2): 224–239. doi:10.3846/1392-8619.2008.14.224-239
- Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Peldschus, F. 2009. Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction design and Management, *Inzinerine Ekonomika – Engineering Economics* (1): 7–17.
- Zanakis, S. H.; Solomon, A.; Wishart, N.; Dublisch, S. 1998. Multi-attribute decision making: A simulation comparison of selected methods, *European Journal of Operational Research* 107(3): 507–529. doi:10.1016/S0377-2217(97)00147-1
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamosaitiene, J. 2009. Multi-Attribute Decision-Making Model by Applying Grey Numbers, *Informatika* 20(2): 305–320.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamosaitiene, J.; Kalibatas, D. 2008. Assessment of indoor environment applying COPRAS method with attributes determined in intervals, in *The 7th International conference “Environmental engineering”: selected papers, May 22–23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vol. 2*. Vilnius: Technika, 907–912. ISBN 9789955282648

## BUILDING EXTERNAL PARTITIONS ASSESMENT USING MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS

M. Medineckienė, M. Kračka

### Abstract

The paper presents a model for selection of building's external elements. Were analyzed 6 variations of walls and windows area ratio. The authors determined the criteria of those alternatives, which are as follows: heat losses through the building external walls, heat losses through the building windows, heat losses through the bearer thermal bridges, heat losses above the rated air infiltration, external heat inflows in the building from the outside, the building's energy consumption without consideration of heating system performance, and walls and windows price ratio. According to available data, the initial matrix of a problem was determined. By the use of multiple assessment methods, such as SAW (Simple Additive Weight) COPRAS (Complex Proportion Assessment) and MEW (Multiplicative Exponential Weighting) were calculated the optimal variant of a window and wall area variation.

**Keywords:** heat loss, partitions, alternatives, objectives, SAW, COPRAS, MEW.