

SAW METODO ELEMENTŲ JAUTRUMO TYRIMAS

T. Dėjus

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Lietuva

1. Įvadas

Pataruoju metu projektuojant pastatų statybą vis plačiau taikomas variantinis projektavimas. Šiuo atveju statyba suprantama pačia plačiausia prasme ir apima tokias statybos stadijas: pastatų architektūros ir konstrukcijų projektavimą, pastatų statybos metodų parinkimą, statybos technologijos ir organizavimo projektavimą, investicijų tikslingumo į naują statybą ar esamų pastatų rekonstrukciją nustatymą, kaštų pastatams eksploatuoti per visą jų gyvavimo ciklą nustatymą ir t. t.

Daugiatiksliis variantinis statybos projektavimas rinkos sąlygomis neturi alternatyvos, nes tik suformavus pakankamą variantų aibę galima atrinkti jei ne optimalų, tai pakankamai racionalų variantą, kurį realizavus bus gauti iš anksto žinomi ar bent pakankamai artimi rezultatai. Kitu atveju tikimybė, kad projekto realizavimo rezultatai bus nepatenkinami labai padidėja ir tai gali reikšti ne tik konkretaus projekto žlugimą, bet ir klaidingus sprendimus priėmusių asmenų ar jų grupių tiek moralinį, tiek finansinį bankrotą.

Variantinio projektavimo algoritmas seniai žinomas ir pakankamai išdėliuotas [1, 3, 5, 7]: sudarius sprendimo priėmimo matricą ir nustatčius atskirų lyginamų rodiklių svarbą taikomi įvairūs, dažniausiai - matematiniai modeliai, kurių pagalba suformuojama variantų (alternatyvų) prioritetų eilutė.

Išanalizavus darbus [3, 4, 5,] nepavyko surasti tokių, kuriuose būtų nagrinėjama atskirų matematinių modelių ar jų segmentų įtaka galutiniam rezultatui - statybos projektų variantų prioritetų eilutei. Dalinai ši problema analizuojama [2, 3, 6,] darbuose, tačiau jų autoriai siūlo tik taikyti kitus analogiškus daugiatislio įvertinimo metodus rezultatų patikimimui didinti, nors nei vienu, nei kitų metodų matematinių instrumentų patikimumas nėra konkrečiai skaičiuotas, nurodytas ar bent aprašytas.

Žvelgiant į problemą iš kitos pusės šią situaciją galima pateisinti, nes tik pakankamai ilgą laiką tarpą naudojant daugiatislio statybos variantų įvertinimo metodus ir praktiškai atlikus didelį kiekį skaičiavimų išryškėja teoriniu požiūriu nenagrinėtos problemos.

Šiame straipsnyje siūloma analizuoti statyboje naudojamų atskirų daugiatislio įvertinimo metodų matematinio modelio patikimumą per jų segmentų (elementų) reikšnių ar dydžių įtaką galutiniam rezultatui, o nagrinėtinais elementais siūloma įvardinti tiek sprendimų matricos elementus, tiek ir atskirų rodiklių reikšmingumus, kurie iš esmės ir yra kintamieji visuose daugiatislio įvertinimo modeliuose.

2. Parametrų įtaka prioritetų eilutės nustatymui

Daugiatiksliio statybos projektų įvertinimo algoritmas gali būti suskirstytas į tokius, turinčius įtakos matematinio modelio elementų dydžiams, pagrindinius etapus:

- alternatyvų ir rodiklių skaičiaus nustatymas;
- sprendimo priėmimo matricos elementų reikšmių nustatymas;
- rodiklių reikšmingumų reikšmių nustatymas;
- lyginamų rodiklių pageidautinos kitimo krypties nustatymas.

Nurodyti kiekvieno etapo elementai ir bus naudojami nustatant jų įtaką galutiniam rezultatui. Tai atliekama dviem etapais. Pirmame etape, keičiant elemento reikšmę, nustatoma pokyčio įtaka, o antrame etape formuojamos įvairios skirtingos kombinacijos, keičiant dviejų ar keletos elementų reikšmes ir nustatoma jau elementų komplekso įtaka.

Racionalios alternatyvos rinkimas taikant bet koki daugiatikslio vertinimo modelį atliekamas dviem etapais. Pirmame etape, naudojant konjunktyvinį metodą, formuojama alternatyvų, kurios atitinka norminius ar nustatytus (dažniausiai – techninius) parametrus, aibė, kurios elementai turi tenkinti tokią sąlygą:

$$X_{ij} \geq X_j^o, \quad j = 1, n,$$

čia $X_j^o \rightarrow X_{ij}$ – standartu reglamentuotas norminis arba nustatytas lygis. Po to suformuojama sprendimo priėmimo matrica.

Antrame etape nustatomi kuo tikslesni rodiklių reikšmingumai bei jų pageidaujamo kitimo kryptis ir naudojant pasirinktą metodą sudaroma prioritetų eilutė.

2.1. Sprendimų priėmimo matricos elementų ir rodiklių reikšmingumų jautrumas

Tai vienas iš dažniausiai taikomų, ir ne tik statyboje, daugiatikslio variantų įvertinimo metodų, kuris kartais [1] vadinamas paprastu adityvinio reikšmingumo nustatymo metodu. Autoriaus nuomone šio metodo populiarumą statybos specialistų tarpe lemia tai, kad jo matematinio modelio analitinė išraiška yra paprasta ir nesunkiai suvokiama atliekamų matematinių veiksmų seka.

Taikant SAW metodą [3, 5], sprendimo priėmimo matricos elementai normalizuojami pagal (2) arba (3) formules:

$$X_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j^{\max}}, \quad (2)$$

$$X_{ij} = \frac{X_i^{\min}}{X_{ij}}. \quad (3)$$

Racionali alternatyva A^* , nustatoma iš formulės

$$A^* = \{A_i / \max_i \sum_{j=1}^n W_j X_{ij} / \sum_{j=1}^n W_j\}, \quad (4)$$

čia W_j – rodiklių reikšmingumai, $W_j = (W_1, \dots, W_n)$, o būtina sąlyga:

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1, \quad (5)$$

ir dėl šio apribojimo SAW metodas analizuojamas atskirai.

Modelio elementų reikšmių įtakai galutiniam rezultatui nustatyti sudaromos *bandymų* matricos. Šios matricos – tai sprendimo priėmimo matricos analogas, kuriose variantų ir rodiklių skaičius bei jų reikšmės parinktos taip, kad naudojant jos duomenis būtų galima (lėtlikti pakankamą skaičiavimų kiekį ir gauti rezultatai leistų nustatyti tiek atskiro elemento, tiek ir jų kombinacijų įtaką nustatant variantų prioritetų eilutę. Bandymų matricos SAW1 elementų reikšmės pateikiamos 1 lentelėje.

1 lentelė. Bandymo matricos SAW1 elementų reikšmės
Table 1. Element values of the SAW1 test matrix

Altern.\Rodikliai	R1	R2
A1	1.00	1.00
A2	1.01	1.01
A3	1.02	1.02
A4	1.05	1.05
A5	1.10	1.10
A6	1.20	1.20
A7	1.50	1.50
A8	2.00	2.00
A9	5.00	5.00
A10	10.00	10.00
A11	20.00	20.00
A12	50.00	50.00
A13	100.00	100.00
A14	200.00	200.00

Analogiškai sudaroma rodiklių reikšmingumų bandymo matrica. Tačiau ją sudarant būtina atsižvelgti į tai, kad taikant SAW metodą ir nustatant rodiklių reikšmingumus būtina tenkinti sąlygą (5). Bandymų matricoje SAW1 nurodyti du kiekvienos alternatyvos rodikliai, todėl ir rodiklių reikšmingumų bandymų matricoje reikšmingumai aprašomi irgi dviems rodikliams. Rodiklių reikšmingumų bandymų matricos elementų reikšmės pateikiamos 2 lentelėje.

Atskirų matricos elementų įtaka skaičiavimo rezultatams siūloma nustatyti etapais.

Pirmame etape nustatoma ar turi įtakos rezultatams pasirinktas alternatyvų skaičius ir sprendimų matricos elementų skaitinių reikšmių dydis. Tuo tikslu formuojama *suvestinė* bandymų matrica iš bandymų matricos SAW1 ir rodiklių reikšmingumų bandymo matricos SAW10 bet kurio varianto, t.y. neanalizuojant reikšmingumo įtakos.

2 lentelė. Rodiklių reikšmingumą bandymo matricos SAW10 elementų reikšmės

Table 2. Values of elements of the SAW10 test matrix of index significance

Variantai\Rodiklių reikš.	r1	r2
q1	0,01	0,99
q2	0,02	0,98
q3	0,05	0,95
q4	0,1	0,9
q5	0,2	0,8
q6	0,3	0,7
q7	0,4	0,6
q8	0,5	0,5
q9	-0,4	0,6
q10	-0,4	-0,6
q11	0,2	-0,8
q12	0,45	0,55

čia – r1 ir r2 atitinkamų rodiklių reikšmingumai.

Suvestinės bandymų matricos SAW101 kodai ir skaičiavimo rezultatai pateikiami 3 lentelėje.

3 lentelė. Suvestinės bandymo matricos SAW101 kodai ir skaičiavimo rezultatai

Table 3. Codes and calculation results of the SAW101 summary test matrix

	Kodas	R1	R2	R3	R4
1	A1A2q8	0.9901	1.000		
2	A1A1A2q8	0.990	0.990	1.000	
3	A1A2A2q8	0.990	1.000	1.000	
4	A1A1A1A2q8	0.990	0.990	0.990	1.00
5	A1A1A2A2q8	0.990	0.990	1.000	1.00
6	A1A2A2A2q8	0.990	1.000	1.000	1.00

čia – R1, R2, R3, R4 atitinkamų alternatyvų racionalumas.

Atlikus šešis skaičiavimo ciklus keičiant alternatyvų skaičių nei vienos alternatyvos racionalumas nepakito. Tai leidžia daryti visiškai logišką išvadą, kad taikant SAW metodą galutinis skaičiavimo rezultatas yra visiškai nejautrus alternatyvų skaičiaus pokyčiui.

Nustatant, kiek skaičiavimo rezultatai jautrus sprendimų matricos elementų reikšmių pokyčiui sudaroma suvestinė bandymų matrica SAW102, kurios skaičiuotinių alternatyvų kodai ir skaičiavimo rezultatai pateikiami 4 lentelėje.

Atlikus penkiolika skaičiavimų ciklą buvo atlikta santykinų rodiklių analizė. Santykiniai rodikliai buvo

apskaičiuoti naudojant 1 ir 4 lentelių duomenis. Lyginant suskaičiuotus rodiklius buvo nustatyta, kad bandymų matricos reikšmių pokytis, apskaičiuotas iš bandymų matricos SAW1, visiškai atitinka alternatyvų racionalumo pokytį, kuris nurodytas suvestinėje bandymų matricoje SAW102.

4 lentelė. Suvestinės bandymo matricos SAW102 kodai ir skaičiavimo rezultatai

Table 4. Codes and calculation results of the SAW102 summary test matrix

	Kodas	R1	R2
1	A1A2q7	0,9901	1,000
2	A2A3q7	0,9902	1,000
3	A5A6q7	0,9167	1,000
4	A10A11q7	0,5	1,000
5	A12A13q7	0,5	1,000
6	A8A9q7	0,4	1,000
7	A9A11q7	0,25	1,000
8	A6A7q7	0,8	1,000
9	A3A5q7	0,927	1,000
10	A1A13q7	0,0100	1,000
11	A8A14q7	0,01	1,000
12	A4A5q7	0,9545	1,000
13	A4A5q10	1,000	0,9545
14	A4A6q7	0,875	1,000
15	A2A4q7	0,9619	1,000

Be to, matricoje SAW102 panaudojus skirtingus, nei matricoje SAW101, rodiklių reikšmingumus (q8 pakeistas į q7 visuose penkiolikoje skaičiavimo ciklą), bei tryliktame skaičiavimo cikle pakeitus abiejų rodiklių pageidautino kitimo kryptį (lyginamų rodiklių maksimizavimas pakeistas į minimizavimą) visi santykiniai dydžiai išliko nepakitę. Tai leidžia daryti išvadą, kad taikant SAW metodą alternatyvų racionalumai nėra jautrus rodiklių reikšmingumų dydžiams ar pageidautinos rodiklio kitimo krypties pokyčiui.

Antrame etape, kuris prasideda tik nustačius, kad visų naudojamo metodo kintamųjų, išskyrus rodiklių reikšmingumą, reikšmių dydžiai neturi įtakos alternatyvų racionalumui, naudojant bandymo matricų skaičiavimo metodiką, nustatoma kiek kinta galutinis rezultatas pakeitus rodiklių reikšmingumus. Tuo tikslu formuojama

suvestinė bandymų matrica SAW103 iš matricų SAW1 ir SAW metoda. SAW103 matricoje naudojamų alternatyvų kodai ir suskaičiuoti alternatyvų reikšmingumai pateikiami 5 lentelėje.

5 lentelė. Suvestinės bandymo matricos SAW103 kodai ir skaičiavimo rezultatai
Table 5. Codes and calculation results of the SAW103 summary test matrix

	Kodas	R1	R2
1	A2A3q8	0,9902	1.000
2	A2A3q1	0,9902	1.000
3	A5A6q8	0,917	1.000
4	A9A11q8	0,25	1.000
5	A9A11q1	0,25	1.000
6	A1A14q8	0,005	1.000
7	A1A14q1	0,005	1.000
8	A11A14q4	0,100	1,00
9	A9A11q5	0,25	1,000

Iš skaičiavimo rezultatų matyti, kad esant tokioms bandymų matricos reikšmėms, kokios nurodytos 1 lentelėje alternatyvų racionalumas kinta ir priklauso ne nuo atskiram rodikliui suteikto reikšmingumo dydžio, o nuo santykio tarp lyginamų rodiklių reikšmių. Esant vienodam santykiui tarp lyginamų rodiklių (pvz. alternatyvų A1A10 pirmojo rodiklio santykis yra 10 ir vertinant alternatyvas A11A14 su bet koku rodiklių reikšmingumu gaunamas vienodas rezultatas 0,1, kuris irgi skiriasi 10 kartų) rezultatas skiriasi tiek pat, kiek atskirų rodiklių reikšmės ir yra pastovus dydis, nors prioritetų matricos elementų reikšmės yra skirtingos (pvz. $0.05+0.2=0.1+0.15=0.25$). Esant tokiems skaičiavimo rezultatams daroma išvada, kad alternatyvose su vienodomis rodiklių reikšmėmis jų reikšmingumai neturi įtakos galutiniam rezultatui.

Skaičiavimai tęsiami sudarant kontrolinę bandymų matricą SAW2, kurioje alternatyvos rodiklių reikšmės yra skirtingos. Matricos elementų reikšmės pateikiamos 6 lentelėje.

Rodiklių reikšmingumų bandymų matricos SAW20 elementų reikšmės pateikiamos 7 lentelėje.

Sudaroma suvestinė kontrolinė matrica SAW202, kurios skaičiuotinių alternatyvų kodai ir skaičiavimo rezultatai pateikiami 8 lentelėje.

SAW10 elementų ir atliekami skaičiavimai naudojant

6 lentelė. Bandymo matricos SAW2 elementų reikšmės
Table 6. Element values of the SAW2 test matrix

Altern.\Rodikl.	R1	R2	R3	R4
A1	0,1	9,0	30,0	115,0
A2	0,2	4,0	75,0	0.3
A3	0,5	5,0	90,0	98,0
A4	0,75	12,0	18,0	435,0
A5	1	20,0	55,0	5.2

7 lentelė. Rodiklių reikšmingumų bandymo matricos SAW20 elementų reikšmės

Table 7. Values of elements of the SAW20 test matrix of index significance

Altern.\Rodikl. r.	r1	r2	r3	r4
q21	0.25	0.25	0.25	0.25
q22	0.24	0.26	0.25	0.25
q23	0.2	0.3	0.25	0.25
q24	0.02	0.48	0.25	0.25
q25	0.01	0.49	0.25	0.25
q26	0.3	0.2	0.2	0.3
q27	0.3	0.2	0.1	0.4
q28	0.3	0.2	0.02	0.48
q29	0.3	0.2	0.01	0.49

8 lentelė. Suvestinės bandymo matricos SAW202 kodai ir skaičiavimo rezultatai

Table 8. Codes and calculation results of the SAW202 summary test matrix

	Kodas	R1	R2	K1	K2
1	A1A2q21	0.6125	0.6118	0.13	0.111
2	A1A2q22	0.7300	0.6062	0.120	0.116
3	A1A2q23	0.75	0.584	0.1	0.133
4	A1A2q24	0.84	0.484	0.01	0.213
5	A1A2q25	0.845	0.4784	0.005	0.218
6	A4A5q26	0,7105	0,8283	0,065	0,128
7	A4A5q27	0,7777	0,771	0,033	0,171
8	A4A5q28	0,8315	0,7252	0,007	0,205
9	A4A5q29	0,8383	0,7195	0,003	0,21
10	A4A5-q29	0,7195	0,8383	0,21	0,003

čia – K1 ir K2 atitinkamai pirmo ir antro keičiamo rodiklio daliniai reikšmingumai.

Mažėjant pirmo rodiklio reikšmingumui nuo 0,25 iki 0,01, jo dalinis reikšmingumas taip pat proporcingai mažėja, kisdamas nuo 0,13 iki 0,005. Tuo pat metu pirmos alternatyvos racionalumas auga, nes tam turi įtakos antro rodiklio reikšmingumo (kinta nuo 0,25 iki 0,49) ir reikšmės ($9,0 > 4,0$) kitimas.

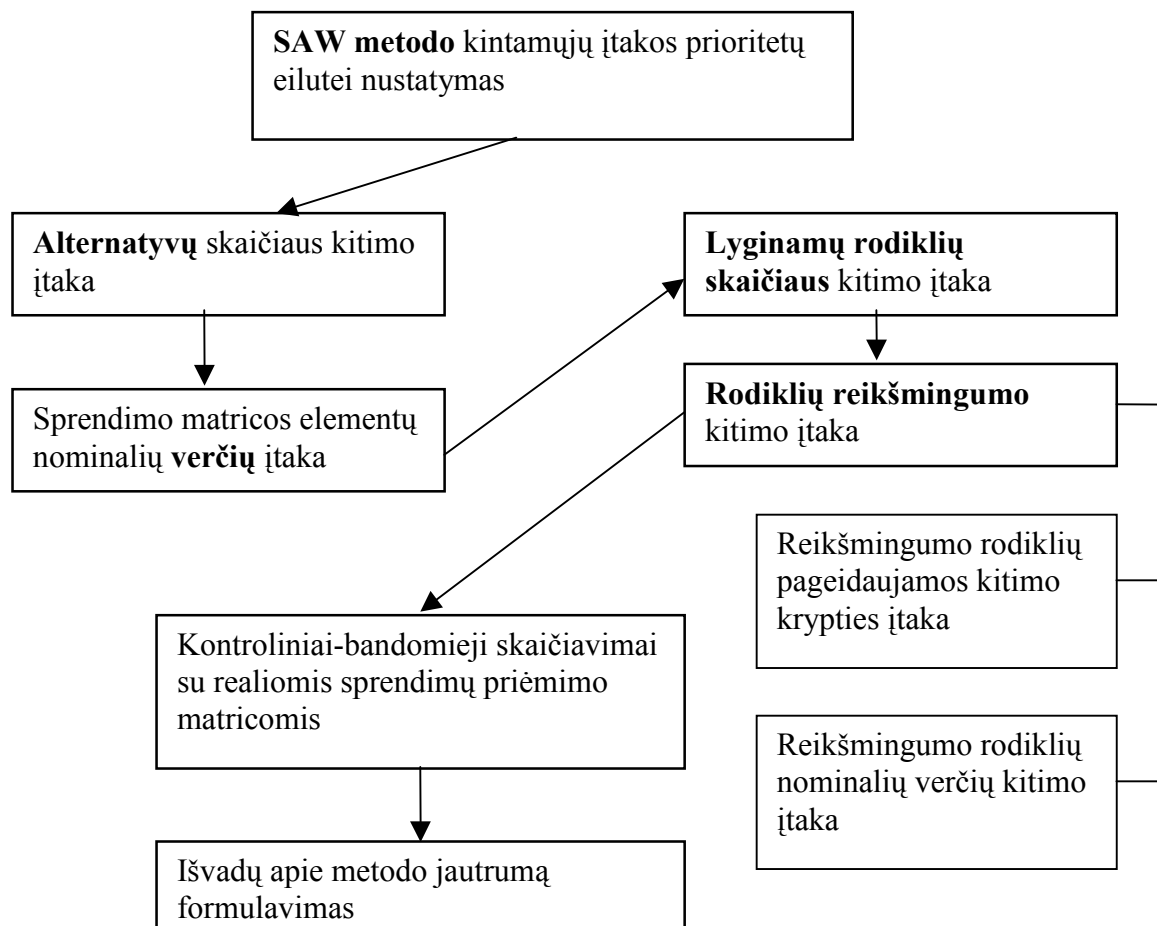
Iš pateiktų duomenų ir atlikus atsitiktine tvarka suformuotų sprendimo priėmimo matricių skaičiavimus (viso – virš 250 kartų) nei vienu atveju nebuvo nustatyta, kad rodiklių reikšmingumų reikšmių dydžiai turėtų kitokios nei aptarta įtakos galutiniams skaičiavimo rezultatams, t.y. SAW metodas yra visiškai nejautrus nominaliems reikšmingumų dydžiams. Tai reiškia, kad taikant šį metodą tiek sprendimų matricos elementų, tiek reikšmingumų reikšmėms neturėtų būti taikomi apribojimai.

2. 2. Parametrų įtakos nustatymo algoritmas.

Sukaupta informacija ir aukščiau pateikti tyrimo rezultatai leidžia siūlyti SAW metodo elementų jautrumo nustatymo modelio algoritmą, kurio principinė schema pateikiama 1 pav.

Komentuojant siūlomą daugiatislio vertinimo metodo jautrumo nustatymo algoritmą būtina pažymėti, kad siūlomo modelio algoritmas turi du etapus: pirmame nustatomas rezultatų pokytis keičiant sprendimo priėmimo matricos elementus, o antrame – rodiklių reikšmingumų matricos elementus.

Atliekant statybos variantų daugiatislį įvertinimą naudojami ir kiti panašaus lygio metodai: idealaus taško, entropijos, ELEKTRE ir pan. Siūloma algoritmo schema turėtų tikti nustatant ir jų jautrumą, tačiau tokiu atveju būtina atsižvelgti į specifinį SAW metodo požymį – rodiklių skaičiaus ir jų reikšmingumų ryšį – ir kitų metodų specifiką.



1 pav. SAW metodo jautrumo nustatymo algoritmo schema
Fig 1. The sensitivity determination scheme for SAW method

3. Išvados

1. Metodo jautrumui nustatyti siūloma naudoti skirtingas bandymų matricas ir skaičiavimus atlikti etapais, išvengiant neapibrėžtumo, kuris gali atsirasti keičiant iš karto kelis parametrus.
2. Alternatyvų racionalumai nėra jautrūs rodiklių reikšmingumų dydžiams ar pageidautinos rodiklio kitimo krypties pokyčiui, o bandymų matricos reikšmių pokytis, visiškai atitinka alternatyvų racionalumo pokytį.
3. Alternatyvų racionalumas kinta ir priklauso ne nuo atskiram rodikliui suteikto reikšmingumo dydžio, o nuo santykio tarp lyginamų lyginamų rodiklių reikšmių ir alternatyvose su vienodomis rodiklių reikšmėmis jų reikšmingumai neturi įtakos galutiniam rezultatui.
4. Atlikta SAW daugiatislio įvertinimo metodo analizė, kurios rezultatai duoda pagrindo teigti, kad minėto metodo atskirų parametrų kitimas nedaro jokios įtakos galutiniams skaičiavimo rezultatams. Tai reiškia, kad tik sprendimo priėmimo matricos elementų reikšmės ir rodiklių reikšmingumai turi pilnai išaiškintą įtaką nustatant alternatyvos racionalumą.
5. SAW metodas visiškai nejautrus atskirų parametrų pokyčiams.
6. Siūlomas metodo jautrumo atskirų parametrų pokyčiams nustatymo modelis, kuris leidžia padidinti naudojamo metodo tikslumą bei patikimumą ta prasme, kad sprendimą priimančias asmuo turi informaciją apie parametrų įtaką variantų racionalumui, ir gali būti taikomas kitiems daugiatislio vertinimo metodams.

Literatūra

1. E.Zavadskas, E.Vaigauskas. Sprendimų priėmimų teorijos metodų taikymas ruošiant statybą. Vilnius: VISI, 1985. 64 p.
2. E.K.Zavadskas, A.Kaklauskas. Pastatų sistemotechninis įvertinimas. V.:Technika, 1996. 279 p.
3. Ching - Lai Hwang, Kwang-Sun Yoon. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. Berlin, Heidelberg, New York: Springer – Verlag, 1981. 260 S.
4. E. K. Zavadskas, L. Simanauskas, A. Kaklauskas. Sprendimų paramos sistemos statyboje. Vilnius: Technika, 1998. 235 p.

5. F.Seo. “Organizational Aspects of Multicriteria Decision Making”. Lecture Notes in Economics and Mathematical System. Berlin, Heidelberg, New York, 1981. 363 - 379 p.
6. S.Mitkus, T. Dėjus. Kokybiniai tyrimo metodai. Mokomoji knygelė.V.: Vailinta, 1999. 44p.
7. F.Peldschus,E.K.Zavadskas. Matriciniai lošimai statybos technologijoje ir vadyboje. V.: Technika, 1997. 134 p.

Įteikta 2001 02 15

ANALYSIS OF SENSITIVITY OF PARAMETERS IN SAW METHOD USING

T. Dėjus

S u m m a r y

A multiple-criteria variational construction projecting under market conditions has no alternatives because only upon formation of a satisfactory number, or multitude, of variants it is possible to select, if not an optimum then a sufficiently rational variant, upon realization of which one may expect to obtain predetermined, or at least sufficiently close, results. The algorithm of a variational projecting has been known for a long time and has been specified in sufficient details [1, 3, 7]: upon formation of a decision-making matrix and determination of the magnitude of certain comparable indexes, various models, mostly mathematical ones, are used to create a series of priorities of the variants (alternatives).

Upon analysis of works [3, 4, 5,] we failed to find among them the ones that deal with the influence that certain mathematical models, or their segments, may have upon the final results - the series of priorities of the variants of a construction project. This problem is partially analysed in works [2, 6,], however, their authors are only proposing to use some other similar methods of multiple-criteria evaluation in order to increase the reliability of the results obtained, although the reliability of mathematical tools of neither the one method nor the other has been specifically calculated, specified or at least described.

An analysis of the SAW multiple-criteria evaluation method has been conducted, the results of which give the basis to maintain that the modification of certain parameters of the above-mentioned method have no influence on the final results of calculation. This means that only the significances of indexes have a fully examined impact as regards the determination of efficiency of an alternative.

.....
Titas DĖJUS. Doctor, Associate Professor. Dept of Building Technology and Management. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, 2040 Vilnius, Lithuania.

PhD degree awarded 1991. Research interests: the theory of multiple criteria decision – making in practise, occupational safety at building sites, improvement of study process. Author and co-author of more than 25 papers.