

# Sprendimų paramos sistemų taikymas hidroenergetikos plėtros procese

Petras PUNYS, Eligijus LAURINAVIČIUS (LŽŪU)

el. paštas: punys@eko.lzua.lt, elis@info.lzua.lt

## 1. Įvadas

Lietuva, lyginant su kitomis ES šalimis, pagal elektros energijos suvartojimą vienam gyventojui viena labiausiai atsilikusių šalių. Įstojus į ES, jis turėtų padidėti vidutiniškai 5 kartus. Pagal Lietuvos energetikos strategijos projektą, 2010 m. elektros energijos suvartojimas vienam gyventojui padidės 2 kartus. Lietuvos energetikos strategijos projekte bei ES direktyvose prioritetą teikiamas atsinaujinantiems elektros energijos šaltiniams. Lietuvoje iš atsinaujinančių elektros energijos šaltinių didžiausią potencialą turi hidroenergetika. Kita vertus, hidroenergetikos objektų plėtros procese bene akivaizdžiausiai reiškiasi priešprieša tarp ekonominių ir socialinių, gamtos apsaugos tikslų. Pagal pažangiausias HE projektų planavimo tendencijas privalu visapusiškai atsižvelgti į techninių ir ekonominių, aplinkosaugos ir socialinių priemonių visumą, tame tarpe ir į politinius motyvus. Projektuose turi būti numatytos visos galimos alternatyvos ir nustatyti projektų vertinimo kriterijai. Dėl šių priežasčių HE projektų vertinimas priklauso daugiakriterinių uždavinių klasei. Daugiakriterinių uždavinių sprendimui neretai naudojami įvairūs sprendimų paramos metodai. Šiame darbe pateikiamas pavyzdys galimų HE projektų vertinimo vienu iš sprendimų paramos metodų.

## Sprendimų paramos sistemos

Projektų įvertinimui plačiai taikomos sprendimų paramos sistemos. Tokių sistemų pagrindą sudaro matematiniai metodai, sistemos vartotojui pateikiami patogioje programinėje aplinkoje. Pagrindinėmis sprendimų paramos sistemų metodų idėjomis J.S. Hammond, R.L. Keeney, H. Raiffa (1976) buvo siekiama objektyvizuoti panaudojamą informaciją ir struktūrizuoti sprendimų priėmimo procesą daugiareikšmės naudos funkcijos pagrindu. Vienais pirmųjų pilnai matematiškai suformuluotų metodų laikytini AHP (Analytic Hierarchy Process), sukurtas T.L. Saaty (1980) ir SMART (Simple Multiattribute Rating Technique), kurio pradininkas W. Edwards (1977), metodai. Vėliau sukurti J.P. Brans, Ph. Vincke (1985) metodas PPOMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation) bei daugiausiai B. Roy (1991) pastangomis sukurtas metodas ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite). PPOMETHEE ir ELECTRE metodai buvo nuosekliai tobulinami ir dabar jau yra bent

po keletą šių metodų modifikacijų. Modifikacijų skirtumus lemia binarinių santykių logikos taisyklės, pagal kurias vienam projektui suteikiama pirmenybė prieš kitą. Iš esmės pagrindinis projektų vertinimo tikslas – nustatyti, kaip gerai projektas resursų vektorių transformuoja į produktų vektorių. Panašaus pobūdžio uždavinys sprendžiamas ir M. Farrell (1957) pasiūlytu, o vėliau A. Charnes, R.D. Banker (1984) išplėtotu DEA (Data Envelopment Analysis) metodu, todėl šis metodas vis dažniau taikomas sprendimų paramos sistemose. Tinkamo uždavinio sprendimui metodo pasirinkimas priklauso nuo daugelio veiksnių, tačiau, kaip pastebi L. Simpson [1], „akivaizdu, kad metodai turi skirtumų, bet nėra akivaizdu, kuris metodas geresnis už kitus“.

### Hidroenergetikos projektų vertinimas

Daugiakriterinės analizės (DA) bazė – dvimatė duomenų matrica, kurioje pateikiami visi galimi projektai (alternatyvos) ir visi galimi kriterijai, pagal kuriuos vertinami projektai. Kriterijai įprastai matuojami įvairiais matais, tačiau jie turi kuo tiksliau atspindėti kriterijaus esmę. Vienu svarbiausių DA aspektų yra svorių sistema, parodanti santykinę kriterijų svarbą. Svorijų sistema išreiškia subjektyvųjį požiūrį, kurio dažnai neįmanoma išreikšti objektyvia informacija. Per svorių sistemą į sprendimus įvedami ir politiniai pasirinkimo prioritetai. Mūsų atveju, pradiniai Nemuno baseino hidroenergetikos plėtros projektų ir kriterijų duomenys parodyti 1 lentelėje.

Svoriai nustatyti ekspertų apklausos būdu, naudojant hierarchinį principą [2]. Ekonominių ir techninių kriterijų grupės – 60%, aplinkosaugos kriterijų grupės – 40%. Taip pat suteikiami svoriai kriterijams grupėje. Pavyzdžiui, aplinkosaugos kriterijų grupėje užlietų naudmenų (6) kriterijui iš septynių kriterijų teko 32% svoris. Bendras šio kriterijaus svoris:  $(40 \cdot 32)/(100 \cdot 100) = 0.128$ . Kriterijų svorių suma turi būti lygi 1. Kadangi kriterijų reikšmės nustatytos skirtingais mato vienetais, duomenys normuojami. Naudojant porinio palyginimo metodą geriausia duomenis naudoti iš uždaro intervalo  $[0;1]$ , todėl patogiu išėities duomenis normuoti taip:

$$r_{ij} = \frac{z_{ij} - \min_i z_{ij}}{\max_i z_{ij} - \min_i z_{ij}}$$

Atsižvelgus į kriterijų optimizavimo kryptį (min ar max), normuoti duomenys pateikti poveikių matricoje R (2 lentelė).

Projektų vertinimui panaudojome supaprastintą ELECTRE [3] metodą. Iš matricos R formuojama projektų atitikties (concordance) matrica. Pagrindinė formavimo procedūra – porinis projektų palyginimas kriterijų atitikties aibėje. Atitikties aibė  $C_{ik}$  sudaro visi kriterijai  $j$ , pagal kuriuos projektas  $i$  tinkamesnis nei projektas  $k$ :  $C_{ik} = \{j | r_{ij} > r_{kj}\}$ .

Atitikties indeksas  $c_{ik}$  apskaičiuojamas taip:  $c_{ik} = \sum_{j \in C_{ik}} w_j$ ,  $\forall i \neq k$ . T.y. visų kriterijų, priklausančių atitikties aibei  $C_{ik}$ , svorių reikšmės susumuojamos. Šio indekso reikšmei didžiausią įtaką turi (10) kriterijus – hidroelektrinės vandens saugyklos plotas, mažiausią (7) kriterijus – upės vientisumo pažeidimas. Atitikties indeksų  $c_{ik}$  matrica parodyta 3 lentelėje. Matricos stulpelio  $\Sigma_j$  reikšmė parodo projekto pranašumą prieš visus kitus projektus, o eilutė  $\Sigma_i$  – kiek visi kiti projektai pranašesni už jį. Bendras projekto atitikties (pranašumo) indeksas  $c_i = \Sigma_j - \Sigma_i$ .

1 lentelė. Hidroenergetikos plėtros projektų duomenys

Eil. nr.	Kriterijaus pavadinimas	Kriterijaus grupė	Tikslas	Kriterijaus svoris	Didelė HE Alytuje (A)	Maža HE Alytuje (B1)	Maža HE Krikkšionyse (B2)	Dvi mažos Alytuje ir Krikkšionyse (B1+B2)	HE nestatyti (C)
1	Laukiamos pajamos, mln.Lt	Eko	Max	0,06	25,2	6,4	7,1	13,5	0
2	Projekto kaina, mln.Lt	Eko	Min	0,12	255,4	129,4	129,4	258,8	0
3	Bendra elektros gamyba, GWh	Eko	Max	0,21	237,1	80,5	75,9	156,4	0
4	Pikinės elektros gamyba, GWh	Eko	Max	0,12	48	0	0	0	0
5	Užlietų sodybų skaičius, vnt	Apl	Min	0,064	9	0	0	0	0
6	Užlietų naudmenų plotas, ha	Apl	Min	0,128	1511	58,7	218,7	277	0
7	Upės vientisumo pažeidimas, %	Apl	Min	0,024	80	40	40	70	0
8	Užtvankos aukštis, m	Tech	Min	0,06	15	5,3	5,6	10,9	0
9	Pratakumas vandens saugykloje	Apl	Max	0,024	0,2	0,4	0,4	0,4	1
10	Vandens saugyklos plotas, km <sup>2</sup>	Apl	Min	0,092	26,02	5,36	7,54	12,9	0
11	Pietinis Alytaus apvažiavimas	Eko	Max	0,03	1	1	0	1	0
12	Potvynio valdymo galimybės	Apl	Max	0,052	1	0,2	0,2	0,2	0
13	Teršalų sulaikymas saugykloje	Apl	Max	0,016	1	0,6	0,6	1	0

Pastabos: 1. Eko, Apl, Tech – atitinkamai ekonominė, aplinkosaugos ir techninė kriterijų grupės.

2. Vandens pratakumas saugykloje, pietinis apvažiavimas, potvynio valdymo galimybės įvertintos skalėje (0–1).

2 lentelė. Poveikių matrica R

		Kriterijai												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Projektai	A	1	0,013	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	B1	0,254	0,5	0,340	0	1	0,961	0,500	0,647	0,250	0,794	1	0,2	0,6
	B2	0,282	0,5	0,320	0	1	0,855	0,500	0,627	0,250	0,710	0	0,2	0,6
	B1+B2	0,536	0	0,660	0	1	0,817	0,125	0,273	0,250	0,504	1	0,2	1
	C	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Svoriai→		0,064	0,128	0,024	0,024	0,092	0,052	0,016	0,060	0,120	0,210	0,120	0,030	0,060

Pagal šį indeksą projektai nuo geriausio išrikiuoti tokia tvarka: C, B1, A, (B1+B2), B2. Nesunku suvokti, kad atitikties indeksas labiau atspindi projektų pranašumą pagal kriterijų svorius nei pagal kriterijų reikšmes.

Projektų trūkumams įvertinti skaičiuojamas neatitikties (discordance) indeksas. Neatitikties aibę  $D_{ik}$  sudaro visi kriterijai  $j$ , pagal kuriuos projektas  $i$  nusileidžia projektui  $k$ :  $D_{ik} = \{j \mid r_{ij} < r_{kj}\}$ . Akivaizdu, kad  $C_{ik} = D_{ki}$ . Neatitikties indeksas  $d_{ik}$  rodo

3 lentelė. Atitikties indeksų matrica

	A	B1	B2	B1+B2	C	$\Sigma_j$	$c_i$
A	0	0,458	0,488	0,562	0,488	1,996	<b>0,068</b>
B1	0,512	0	0,52	0,424	0,158	1,614	<b>0,152</b>
B2	0,512	0,06	0	0,424	0,128	1,124	<b>-0,858</b>
B1+B2	0,392	0,286	0,316	0	0,368	1,362	<b>-0,496</b>
C	0,512	0,658	0,658	0,448	0	2,276	<b>1,134</b>
$\Sigma_i$	1,928	1,462	1,982	1,858	1,142	<b>8,372</b>	$\leftarrow \Sigma_c$

4 lentelė. Neatitikties indeksų matrica

	A	B1	B2	B1+B2	C	$\Sigma_j$	$c_i$
A	0	0,733	0,689	0,613	0,997	3,032	<b>-0,265</b>
B1	0,91	0	0,028	0,427	0,244	1,609	<b>0,029</b>
B2	0,924	0,112	0	0,495	0,287	1,819	<b>0,545</b>
B1+B2	0,527	0,322	0,269	0	0,606	1,725	<b>-0,251</b>
C	0,936	0,413	0,288	0,44	0	2,077	<b>-0,057</b>
$\Sigma_i$	3,297	1,58	1,274	1,976	2,135	<b>10,262</b>	$\leftarrow \Sigma_d$

5 lentelė. Projektų įvertinimo rezultatai

Projektas	A	B1	B2	B1+B2	C
Projekto indeksas	0,284	0,128	-1,303	-0,291	1,181
Vieta	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>

svertinių kriterijų reikšmių pralošimą ir skaičiuojamas pagal formulę:

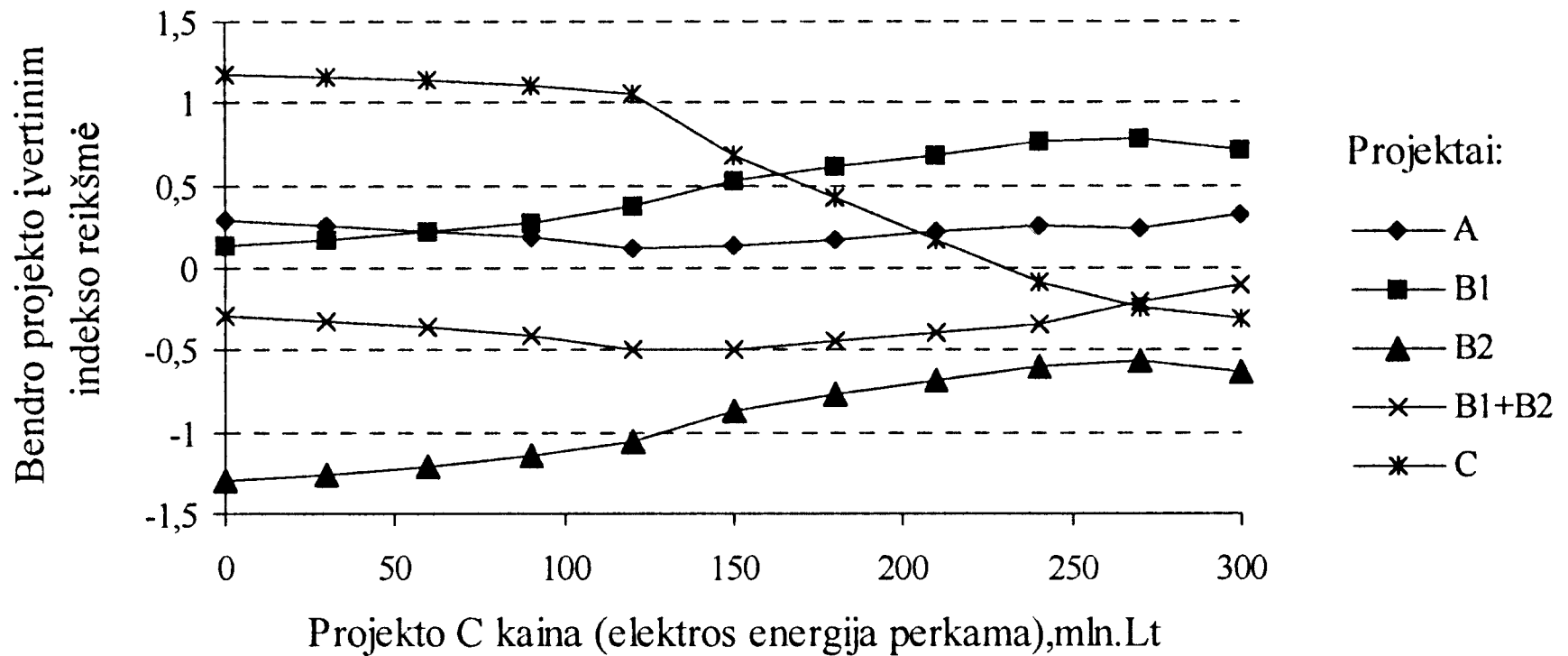
$$d_{ik} = \frac{\sum_{j \in D_{ik}} w_j \cdot |r_{ij} - r_{kj}|}{\sum_{j \in D_{ik}} w_j}$$

Neatitikties indeksų  $d_{ik}$  matrica parodyta 4 lentelėje. Priešingai atitikties indekso atvežiui, matricos stulpelio  $\Sigma_j$  reikšmė rodo bendrą projekto pralošimą prieš kitus projektus, o eilutė  $\Sigma_i$  – visų projektų pralošimą jam. Bendras projekto neatitikties (pralošimo) indeksas  $d_i = \Sigma_j - \Sigma_i$ .

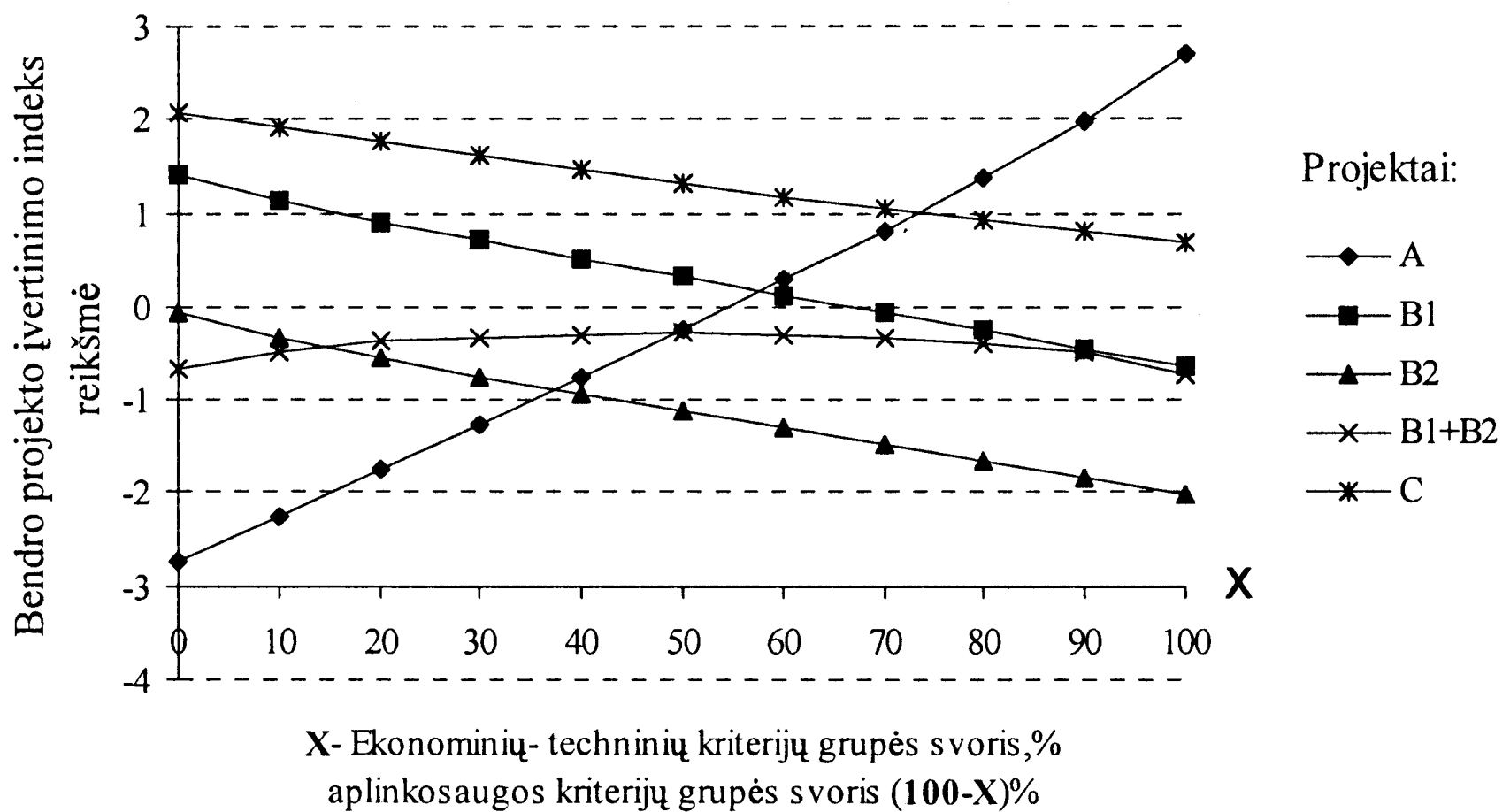
Pagal neatitikties indeksą geriausias projektas A. Toliau (B1+B2), C, B1, B2. Bendras projekto įvertinimo indeksas  $p_i = c_i - d_i \cdot \frac{\Sigma_c}{\Sigma_d}$ . Pagal šį indeksą projektų įvertinimas pavaizduotas 5 lentelėje.

### Vertinimo ir analizės galimybės

Iš pateikto projektų vertinimo pavyzdžio nesunku įsitikinti, kokią svarbią vietą sprendimų paramos sistemose užima pradinės duomenų matricos ir svorių sistemos



1 pav. Projektų vertinimų priklausomybės nuo perkamos elektros energijos.



2 pav. Projektų vertinimų priklausomybės nuo kriterijų grupių svorio.

formavimas. Be abejo, visapusiškesnį vaizdą galima susidaryti praplėtus alternatyvių projektų aibę atominės, vėjo ir šiluminės energetikos ateities projektais. Ekspertai ekonomistai ir aplinkosaugininkai tikriausiai galėtų pasiūlyti dar ne vieną papildomą vertinimo kriterijų, o labiausiai diskutuotų dėl kriterijų svorių reikšmių. Be to, vertinimo metodą labai supaprastinome, nes ELECTRE metodo binarinėje logikoje nepanaudojome atitikties aibių formavimo slenkstinių reikšmių ir patikimumo lygmenų tikimybių. Tam irgi reikalinga ekspertų parama.

Gauti vertinimo rezultatai rodo, kad geriausiai nestatyti jokios HE (projektas C). Ignalinos atominė elektrinė, dabar tiekianti apie 85% visos reikalingos elektros energijos, bus uždaryta. Kaip projektų vertinimai keistųsi, nestatant HE, o perkant elektros energiją? Išėities duomenų matricoje keičiant kriterijaus 2 reikšmę projektui C gautami projektų vertinimai, parodyti 1 pav. Matome, kad statyti mažą HE Alytuje (B1)

jau apsimoka, kai perkamos elektros energijos kaina viršija 170 mln. Lt. Perkant daugiau kaip už 210 mln.Lt, jau apsimoka statyti ir didelę HE Alytuje (A). Mažiausiai priimtinas variantas statyti mažą HE Krikštonyse (B2).

Vertinimo pavyzdyje ekonominės-techninės bei aplinkosaugos kriterijų grupių svoriai atitinkamai lygūs 60% ir 40%. 2 pav. parodyta, kaip kinta projektų vertinimai, kai keičiamos šių grupių svorių reikšmės, išlaikant svorių sumą lygią 100%.

Kriterijaus svorio reikšmė grupėje išlieka pastovi. Prioritetą teikiant aplinkosaugos kriterijams, geriausia nieko nestatyti (projektas C) arba pasitenkinti maža Alytaus HE (B1). Didelės HE Alytuje projektas ypač jautrus ekonominiams-techniniams reikalavimams.

### Literatūra

1. L. Simpson, Do decision makers know what they prefer? MAVT and ELECTRE, *J. Operat. Res. Soc.*, **47**, 919–926 (1996).
2. P. Salminen, J. Hokkanen, R. Lahdelma, Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems, *European J. Operat. Res.*, **104**(3), 485–496 (1998).
3. J. Hokkanen, P. Salminen, ELECTRE III and IV decision aids in an environmental problem, *J. Multi-criteria Dec. Anal.*, **6**, 215–226 (1997).

### SUMMARY

***P. Punys, E. Laurinavičius. Applying the decision aids systems for hydropower expand process***

The ELECTRE method is used for the projects evaluation and outranking. The Nemunas river hydropower station projects are taken into account. The case study of sensitivity analysis on the weighted criteria is presented.

*Keywords:* multiple criteria, decision making, project ranking.