

# Elektros energijos gamybos technologijų darnumo vertinimas, taikant integruotus rodiklius

**Dalia Štreimikienė,**

**Asta Mikalauskienė,**

**Jūratė Zaikienė**

*Lietuvos energetikos institutas,  
Breslaujos g. 3,  
LT-44403 Kaunas  
El. paštas: dalia@mail.lei.lt*

Analizuojami elektros energijos gamybos technologijų darnumo vertinimo klausimai. Straipsnyje atliktas elektros energijos gamybos technologijų darnumo vertinimas Europos Sąjungoje (ES), remiantis daugiakriteriniais analizės metodais. Darnumo vertinimui pritaikyti integruoti technologijų darnumo rodikliai, leidžiantys įvertinti elektros energijos gamybos technologijas pagal socialinius, aplinkosauginius ir ekonominius darnumo vertinimo rodiklius ir kiekvienai technologijai suteikti vieną įvertį bei suskirstyti elektros energijos gamybos technologijas pagal jų indėlį įgyvendinant darnaus energetikos vystymosi tikslus ES. Elektros energijos gamybos technologijų vertinimui ES panaudoti ES atliktų empirinių studijų rezultatai. Tyrimas parodė, kad pažangiausios elektros energijos gamybos technologijos yra paremtos atsinaujinančiais energijos išteklių.

**Raktažodžiai:** elektros energijos gamybos technologijos, darnumo vertinimas, rangavimas

## ĮVADAS

Didėjanti Europos priklausomybė nuo energijos importo, klimato kaita bei energijos kainų augimas vis dažniau verčia diskutuoti apie alternatyvas energetiniame sektoriuje. Darnaus vystymosi įgyvendinimas tampa aiškiu energetikos prioritetu pasaulyje. Žinoma, kad ekonominiams ir socialiniams vystymuisi labai svarbus saugus ir patikimas energijos tiekimas priimtinomis ir stabiliomis kainomis – tai turėtų tapti neatšiejama moksliskai pagrįstos ir nuoseklos energijos politikos dalimi. Todėl bendra Europos energetikos politika tampa strateginės svarbos dalyku. Darnios energetikos sistemos yra reali siekiamybė, tačiau daugybė klausimų turi būti neatidėliotinai sprendžiami, kad šis darnumas būtų pasiektas.

Kad energetikos politika įneštų savo indėlį į darnų vystymąsi, reikia sukurti glaudesnes energetikos politikos, aplinkos apsaugos ir mokslinių tyrimų politikos sąsajas. Svarbiausia yra pagrįsti įvairius energetikos plėtros ir valstybės vykdomos politikos sprendimus bei juos harmonizuoti, remiantis darnaus vystymosi koncepcija. Daugelis įgyvendinamų valstybės politikos priemonių, siekdamas konkrečių tikslų, daro neigiamą poveikį kitiems strateginiams šalies prioritetams, ir įgyvendinamos politikos dažnai viena kitai prieštarauja. Taigi labai svarbus klausimas yra energetikos ir aplinkos politikų harmonizavimas, būtinas priimant konkrečius sprendimus dėl energetikos sektoriaus plėtros.

Keliami tikslai energetikos sektoriuje, priimant sprendimus, yra daugialypiai ir konfliktuoja tarpusavyje: minimizuoti kaštus, poveikį aplinkai, užtikrinti energijos tiekimo patikimumą ir kt. Todėl priimant strateginius sprendimus dėl energetikos sektoriaus plėtros būtina taikyti daugiakriterinę analizę arba daugiakriterinį vertinimą, leidžiantį įvertinti reikiamą kriterijų svarbą sprendimus priimančiam asmeniui, kai yra derinami ekonominiai, aplinkosauginiai, socialiniai ir kt. kriterijai, bei parinkti tinkamiausią sprendimą atsižvelgiant į visus kriterijus. Taigi *daugiakriteriniai* vertinimo arba sprendimų priėmimo metodai yra bandymas vienu metu vertinti kelis alternatyvius sprendimus pagal keletą vienas kitam prieštaraujančių kriterijų. Priimant sprendimus energetikos sektoriuje dažnai susiduriama su skirtingų interesų grupėmis, skirtingais tikslais ir skirtingomis informacijos rūšimis. Tai paaiškina, kodėl daugiakriteriniai vertinimo metodai priimant sprendimus svarbiais energetikos plėtros klausimais tampa vis populiariesni.

Sprendimai energetikos sektoriuje apima tiek sprendimus, susijusius su energetikos sektoriaus plėtros scenarijais arba strateginių šalies energetikos plėtros prioritetų nustatymu (makrolygmuo), tiek su sprendimais dėl konkrečių energijos gamybos technologijų parinkimo arba dėl konkrečių energetikos projektų įgyvendinimo (mikrolygmuo). Analizuojant sprendimų alternatyvas skirtinguose lygmenyse labai svarbu parinkti tinkamus alternatyvų vertinimo kriterijus

bei jų kiekybinio vertinimo rodiklius. Sprendimų paramos sistemoms sudaryti taikomi sprendimų priėmimo metodai. Taigi planuotojams ir sprendimų priėmėjams energetikos sektoriuje tenka spręsti sudėtingus klausimus – kokius energijos nešėjus bei energijos konversijos technologijas panaudoti arba kaip apjungti įvairius energijos išteklius su įvairiomis technologijomis, kad geriausiai užtikrintų dabartinius ir ateities energijos poreikius? Siekiant pagrįsti šiuos sprendimus taikomi daugiakriteriniai sprendimų paramos modeliai.

Vienas svarbiausių sprendimų energetikos sektoriuje yra tinkamiausių elektros energijos gamybos technologijų parinkimas. Šios problemos sprendimui taikoma keletas alternatyvų rangavimo metodikų [1]. Šios grupės uždavinių pagrindinis tikslas yra nustatyti prioritetingas energijos gamybos technologijų alternatyvas, vėliau parengti energetikos sektoriaus plėtros planus bei parinkti politikos priemones, skirtas šių technologijų skverbimuisi į rinką paskatinti. Daugelis straipsnių bei studijų, skirtų šio tipo uždavinių grupei nagrinėti, daugiausia dėmesio skyrė branduolinės energijos palyginimui su tradiciniais energijos gamybos šaltiniais arba su atsinaujinančiais energijos šaltiniais [2–6]. Šių studijų tikslas buvo greičiau sukurti metodus problemai spręsti, o ne rasti atsaką, kuri technologija yra geriausia, nes problemos sprendimui turėjo būti atliktos suinteresuotųjų šalių apklausos, siekiant nustatyti, kuriems kriterijams, ranguojant technologijas, daugiausia svarbos skiria visuomenės grupės. Devintojo dešimtmečio pabaigoje dėl perdėtos rizikos priskyrimo atominėi energetikai ir klimato kaitos problemų aštrėjimo buvo atlikta keletas studijų, skirtų elektros energijos technologijų rangavimui pagal tam tikrus energetikos politikos nulemtus kriterijus, siekiant pagrįsti atsinaujinančiųjų energijos išteklių panaudojimo plėtrą [7–10].

Daugiakriteriniai vertinimo metodai pastaruoju metu plačiai taikomi darnumo vertinimui. Darnumo vertinimo metodus galima suskirstyti į keturias pagrindines grupes: rodikliai ir indikatoriai, darnumo vertinimo instrumentai produktų (gamybos būdų) lygmenyje, projektų bei šalių lygmenyje [11]. Pirmąją grupę įrankių darnumui vertinti sudaro rodikliai. Rodikliai yra paprastas įrankis, leidžiantis įvertinti ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius šalies plėtros tikslus. Jeigu aplinkosauginiai, socialiniai ir ekonominiai rodikliai yra integruoti į vieną rodiklį, tai jie sudaro indeksą. Rodikliai turi pasižymėti tokiais savybėmis: paprastumas, plati aprėptis, kiekybinio įvertinimo galimybė, leidžianti nustatyti tendencijas.

Straipsnio tikslas – įvertinti elektros energijos gamybos technologijų darnumą ES, remiantis prioritetingais energetikos ir aplinkos politikos tikslais. Siekiant nurodyto darbo tikslo, yra iškeliami šie uždaviniai:

- išanalizuoti energetikos ir aplinkos politikos prioritetingus tikslus ir nustatyti elektros energijos technologijų darnumo vertinimo kriterijus;
- remiantis elektros energijos gamybos technologijų darnumo vertinimo kriterijais parinkti technologijų darnu-

mo rodiklius, leidžiančius palyginti ir suranguoti elektros energijos gamybos technologijas pagal jų teigiamą įtaką darniai energetikos plėtrai;

- įvertinti elektros energijos gamybos technologijų darnumą, apskaičiuojant technologijų darnumo rodiklius konkrečioms elektros energijos gamybos technologijoms, remiantis empirinių studijų, atliktų ES, rezultatais;
- suskirstyti elektros energijos gamybos technologijas pagal jų teigiamą įtaką, įgyvendinant darnios energetikos plėtros prioritetus.

## ELEKTROS ENERGIJOS GAMYBOS TECHNOLOGIJŲ DARNUMO VERTINIMO KRITERIJAI

Energijos gamybos technologijų darnumo vertinimas ir skirstymas pagal tai, kaip jos užtikrina prioritetingus energetikos politikos tikslus, yra svarbus parengtos daugiakriterinių sprendimų paramos energetikos sektoriuje metodikos aspektas. Planuojant elektros energetikos sektoriaus plėtrą, rengiant energetikos sektoriaus plėtros scenarijus bei parinkant ateities elektros generavimo technologijas labai svarbu nustatyti perspektyviausias elektros energijos gamybos technologijas, leisiančias mažiausiomis sąnaudomis užtikrinti energetikos politikos prioritetingus tikslus. Nustačius tokias technologijas, pirmiausia jas galima įtraukti į elektros energetikos plėtros planus bei parinkti klimato kaitos švelninimo ir kitas politikos priemones, skatinančias šių technologijų skverbimąsi į elektros rinkas. Toliau pateiktas elektros generavimo technologijų vertinimo ir skirstymo, taikant integruotus darnumo indikatorius, pavyzdys leis nustatyti elektros energijos gamybos technologijas, geriausiai atitinkančias energetikos politikoje nustatytus prioritetingus tikslus.

Europos Komisijos 2007 m. sausį parengtu komunikatu *Europos energetikos politika* Europos valstybės skatinamos imtis veiksmų ir įgyvendinti darnios, konkurencingos ir saugios energetikos principus. Pagrindiniai tikslai:

- suformuoti naująją Europos energetikos politiką, kuri turi būti ambicinga, ilgalaikė ir naudinga visiems europiečiams;
- iki 2020 m. bent 20 %, palyginti su 1990 m., sumažinti į atmosferą išskiriamų šiltnamio reiškinių sukeliančių dujų kiekį ir užkirsti kelią klimato kaitai;
- sumažinti ES pažeidžiamumą dėl didėjančio dujų ir naftos importo iš kitų šalių;
- skatinti ekonomikos augimą ir naujų darbo vietų kūrimą, užtikrinant energijos priimtinomis kainomis tiekimą vartotojams;
- iki 2020 m. atsinaujinančiųjų energijos išteklių dalį visos ES suvartojamos pirminės energijos struktūroje padidinti iki 20 %;
- iki 2020 m. įgyvendinti energijos vartojimo efektyvumo didinimo veiksmų planą ir sumažinti energijos sąnaudas 20 %;

- iki 2020 m. bent trečdalį visos ES elektros energijos pagaminti naudojant atsinaujinančiuosius energijos išteklius;
- skatinti biokuro gamybą ir naudojimą, siekti, kad 2020 m. biokuro dalis sudarytų 10 % visų transporto priemonių sunaudojamų degalų kiekio.

Remiantis ES energetikos politikos prioritetiniais tikslais formuojama rodiklių sistema socialiniams ekonominiams ir aplinkosauginiams energijos gamybos technologijų darnumo vertinimo kriterijams išreikšti (1 lentelė). Dauguma 1 lentelėje pateiktų rodiklių buvo įvertinti bei panaudoti kai kuriuose ES projektuose, todėl paskutiniame lentelės stulpelyje yra pateikti duomenų šaltiniai, panaudoti rodikliams įvertinti.

### ELEKTROS ENERGIJOS GAMYBOS TECHNOLOGIJŲ DARNUMO VERTINIMO RODIKLIAI

Elektros energijos gamybos technologijų vertinimo rodikliai, parinkti svarbiausiems ES energetikos politikos tikslams atspindėti, yra vertinami taikant gyvavimo ciklo metodiką (angl. *LCA*). *LCA* metodas remiasi holistiniu įvertinimu viso energijos ir medžiagų srauto, susijusio su tam tikra sistema ar procesu, t. y. įvertinimui naudojamas platesnis požiūris, apimantis ne tik su technologijos procesu susijusius poveikius, bet ir kuro iškasimą, transportavimą ir kuro bei kitų medžiagų paruošimą, jėgainės statymą, atliekų sutvarkymą ir jėgainės sustabdymą.

**Ekonominiai rodikliai.** Ekonominė elektros energijos gamybos technologijų darnumo vertinimo dimensija yra labai svarbi, nes energijos tiekimo kaštai yra pagrindinis veiksnys, lemiantis technologijos išsiskverbimą į rinkas. Elektros energijos gamybos technologijų vertinimui yra parinkti 5 rodik-

liai: privatūs kaštai, vidutinė apkrova, prijungimo prie tinklo kaštai, atsakas į pikinę apkrovą, tiekimo patikimumas. Ne visi vertinimo rodikliai yra vienodai svarbūs. Svarbiausiais rodikliais galima laikyti privačius kaštus, apkrovos veiksnį bei prijungimo prie tinklo kaštus.

*Privatūs kaštai, išreikšti EURct / kWh*, remiasi vidutinių pasvertų elektros energijos generavimo kaštų metodologija. Pagal šią Tarptautinės energetikos agentūros (TEA) sukurtą metodiką, generavimo kaštai yra įvertinti, remiantis grynąja elektra, pateikta į tinklą, ir išlaidų diskontavimu į jų dabartinę grynąją vertę 2005 m. Šie metai parinkti kaip baziniai, taikant 5 % diskonto koeficientą.

Taigi vidutiniai pasverti gyvavimo ciklo kaštai GWh pagamintos elektros energijos yra įvertinami pagal (1) formulę:

$$ALLGC = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{[I_t + M_t + Ft]}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{[E_t]}{(1+r)^t}} ; \quad (1)$$

čia  $I_t$  – investicinės išlaidos  $t$  metais;  $M_t$  – eksploatacijos ir priežiūros kaštai  $t$  metais;  $Ft$  – išlaidos kurui  $t$  metais;  $E_t$  – elektros energijos generavimas  $t$  metais;  $r$  – diskonto koeficientas.

Investicinės išlaidos kiekvienais metais apima statybos, atnaujinimo ir uždarymo išlaidas. Pagal TEA metodiką, statybos kaštai yra įvertinti taip, lyg jėgainė būtų pastatyta per vieną naktį (angl. *overnight costs*). Eksploatacijos ir priežiūros kaštai sudaro nedidelę visų kaštų dalį. Fiksuoti eksploatacijos ir priežiūros kaštai apima personalo kaštus, draudimą, mokesčius ir kt. Kintantys eksploatacijos ir priežiūros kaštai apima įrenginių priežiūros ir remonto kaštus, medžiagų kaštus, atliekų šalinimo (dirbant normaliu režimu) kaštus ir kt. (išskyrus radioaktyviųjų atliekų laidojimo kaštus).

1 lentelė. Elektros energijos gamybos technologijų darnumo vertinimo rodikliai

Žymėjimas	Rodiklis	Matavimo vienetas	Informacijos ir duomenų šaltiniai
<b>Ekonominiai kriterijai</b>			
PRIVATŪS KAŠTAI	Privatūs kaštai (investicijos ir operaciniai kaštai)	EURct/kWh	ES 6BP projektas CASES
APKROVA	Vidutinis apkrovos arba patikimumo faktorius	%	ES 6BP projektas EUSUSTEL
SAUGUMAS	Tiekimo saugumas	Balai (0–5)	ES 7BP projektas NEEDS
TINKLO KAŠTAI	Prijungimo prie tinklo kaštai	Balai (0–5)	ES 6BP projektas CASES
PIKINĖ APKROVA	Pikinės apkrovos atsakas	Balai (0–5)	ES 7BP projektas NEEDS
<b>Aplinkosauginiai kriterijai</b>			
CO <sub>2</sub> -eq	ŠD emisijos	kg/kWh	ES BP 6 projektas CASES
APLINKA	Aplinkosauginiai išoriniai kaštai	EURct/kWh	ES 6BP projektas CASES
RADIACIJA	Radionuklidų išoriniai kaštai	EURct/kWh	ES 6BP projektas CASES
SVEIKATA	Poveikio žmogaus sveikatai išoriniai kaštai	EURct/kWh	ES 6BP projektas CASES
<b>Socialiniai kriterijai</b>			
UŽIMTUMAS	Technologijos suteikiamos įdarbinimo galimybės	Žmogaus metai/kWh	PSI Ecoinvent bazė
MAISTO RIZIKA	Maisto tiekimo rizika	Balai (0–5)	ES 6BP projektas CASES
INCID PRAEITYJE	Incidentai praeityje	Incidentai/kWh	PSI Ecoinvent bazė
INCID ATEITYJE	Incidentai ateityje	Balai (0–5)	ES 7BP projektas NEEDS

Kuro kainos yra įvertintos, remiantis ES projektu EUSU-STEEL [12]. Techninis jėgainių tarnavimo laikas yra įvertintas taip pat remiantis EUSUSTEEL projekto rezultatais. Vertinant TE bei vėjo ar saulės jėgainių elektros energijos gamybos kaštus buvo atlikti papildomi įvertinimai, tokie kaip TE gaminamos šiluminės energijos kaštai bei rezervinių galių kaštai, būtini saulės, vėjo ir vandens jėgainėms. Visi kaštai įvertinti be mokesčių, siekiant išvengti iškraipymų. Praktiškai visose ES atliktose energijos gamybos technologijų vertinimo studijose (EUSUSTEEL [12], CASES [13, 14], NEEDS [15–17], PLANETS [18, 19] ir kt.) buvo pavartotas šis rodiklis. ES studijose elektros energijos gamybos technologijų vertinimui šioje ataskaitoje panaudoti ES vidutiniai pasverti elektros energijos generavimo kaštai 2020 m.

*Prijungimo prie tinklo kaštai (0–5 balai)* yra kokybinis rodiklis, atspindintis prijungimo prie tinklo kaštus, nes privatus kaštai jų neįvertina, o tai yra svarbus ekonominis rodiklis, vertinant elektros energijos gamybos technologijas. Kadangi elektros energiją gaminančios jėgainės pasižymi skirtingais prijungimo prie tinklo kaštais, pvz., vėjo jėgainės jūroje turi labai aukštus prijungimo prie tinklo kaštus, šis rodiklis bus įvertintas balais. Kuo didesnis yra vertinimo balas, tuo didesnė aukštų prijungimo prie tinklo kaštų rizika. Šis rodiklis buvo panaudotas ES BP 6 projekte CASES [13, 14].

*Atsakas į pikinę apkrovą (0–5 balai)* yra kokybinis rodiklis, atspindintis greitą technologijos reagavimą į didelę trumpalaikę poreikio kaitą. Ši technologijų savybė labai patraukli esant liberalizuotai elektros rinkai. Bazinės apkrovos technologijos bei atsinaujinančiuosius energijos išteklius naudojančios technologijos, kurios labai priklauso nuo klimato sąlygų, tokios kaip vėjo ar hidroelektrinės, nepasižymi šia teigiama savybe ir pagal šitą kokybinį rodiklį vertinamos labai mažu balu. Šis rodiklis buvo pritaikytas daugelyje ES šalių atliktų energijos gamybos technologijų vertinimo studijų (NEEDS [15–17], GaBE [19], CASES [13, 14], PLANETS [18]). Analizuojant minėtas studijas pastebėta, kad technologijų vertinimui pagal šį kokybinį kriterijų taikomos labai įvairios balų skalės. GaBE studijoje (0–100), NEEDS [15] projekte (1–10), PLANETS [18] projekte (0–5).

*Vidutinis apkrovos veiksnys, išreikštas %*, išmatuoja atskirų technologijų vidutinę apkrovą per metus. Šis rodiklis

2 lentelė. Elektros energijos gamybos technologijų atsako į pikinę apkrovą vertinimas [18]

Energijos rūšis	Balas
Atominė energija	0,5
Kuro elementai	0,5
Anglys	2,5
Lignitas	1
Mazutas	5
Gamtinės dujos	5
Hidroelektrinė	1,5
Biomasės jėgainė	5
Saulės fotoelektra	0
Vėjo jėgainė	0

buvo taikomas EUSUSTEEL [12], NEEDS [16], GaBE [19] ir PLANETS [18] projektuose, vertinant energijos gamybos technologijas. Elektros energijos gamybos technologijų vertinimui šioje ataskaitoje panaudotos vidutinės rodiklių reikšmės ES 2020 m.

*Tiekimo saugumo rodiklis (0–5 balai)* yra labai svarbus, siekiant atspindėti ES energetikos politikos prioritetinę kryptį – energetinę nepriklausomybę. Tiekimo saugumas elektros energijos tiekime gali būti vertinamas kaip ilgalaikė nepriklausomybė nuo energijos tiekimo iš užsienio arba elektros energijos gamybos autonomijos laipsnis. Šis rodiklis buvo pritaikytas NEEDS [16] ir PLANETS [18] projektuose. Vertinimas balais priklauso nuo to, ar kuras, naudojamas elektros energijos gamybai, yra importuojamas ar vietinis, ar jo atsargos yra baigtinės ar ne. Technologijų vertinimas pagal naudojamą kurą ir elektros energijos gamybos autonomiją pateiktas 3 lentelėje.

*Aplinkosauginiai rodikliai.* Pagrindiniai keturi aplinkosauginiai rodikliai elektros energijos gamybos technologijų vertinimui yra: ŠD emisijos, aplinkosauginiai išoriniai kaštai, išoriniai poveikio žmogaus sveikatai kaštai, išoriniai radionuklidų kaštai. Visi aplinkosauginiai rodikliai yra įvertinti taikant LCA metodologiją ir įvertina viso kuro ciklo ŠD emisijas bei išorinius kaštus.

*ŠD emisijos, išreikštos kg (CO<sub>2</sub>-eq.) / kWh*, yra vienas svarbiausių aplinkosauginių rodiklių vertinant elektros energijos gamybos technologijas. Šis rodiklis pavartotas vietoje išorinių ŠD emisijų kaštų dėl to, kad išorinių kaštų dėl klimato kaitos vertinimai pasižymi dideliu neapibrėžtumu. Šis rodiklis buvo pritaikytas visose ES studijose, skirtose energijos gamybos technologijų vertinimams. Elektros energijos gamybos technologijų vertinimui šioje ataskaitoje panaudotos vidutinės rodiklio reikšmės ES 2020 m.

*Aplinkosauginiai išoriniai kaštai, išreikšti EURct / kWh*, atspindi žalą ekosistemoms dėl kietųjų dalelių, dujų ir kitų teršalų emisijos į atmosferą, dirvą ir vandenį. Šie kaštai buvo įvertinti tokių ES BP projektų kaip Externe [20], NEEDS [16] ir CASES [13] metu bei panaudoti daugelyje kitų energijos gamybos technologijas analizuojančių projektų. Aplinkosauginiai išoriniai kaštai yra apskaičiuoti piniginiiais vienetais, įvertinus teršalų neigiamą įtaką pasėliams, medžiagoms bei bioįvairovės nuostolius dėl rūgštėjimo. Buvo įvertinta žala aplinkai dėl šių teršalų emisijos: amoniakas (NH<sub>3</sub>), nemetaminiai lakieji organiniai junginiai (NMVOC), azoto oksidai

3 lentelė. Nepriklausomybė nuo energijos tiekimo iš užsienio [16]

Energijos rūšis	Balas
Importuojamas kuras	0
Vietinė nafta	1
Vietinės gamtinės dujos	2
Vietinės akmens anglys	3
Vietinis uranas	4
Kuro celės	3
Vietiniai atsinaujinantieji energijos ištekliai	5



(NO<sub>x</sub>), kietosios dalelės (PPM), sieros dioksidas (SO<sub>2</sub>). Elektros energijos gamybos technologijų vertinimui šioje atskaitoje panaudotos vidutinės rodiklių reikšmės ES 2020 m.

*Išoriniai kaštai dėl poveikio žmonių sveikatai, išreikšti EURct / kWh*, atspindi žalą žmogaus sveikatai dėl kietųjų dalelių, dujų ir kitų teršalų emisijos į atmosferą, vandenį ir dirvožemį. Išoriniai kaštai dėl žalos žmonių sveikatai yra įvertinti piniginiiais vienetais. Žala buvo įvertinta dėl šių teršalų emisijų: amoniakas (NH<sub>3</sub>), nemetaniniai lakieji organiniai junginiai (NMVOC), azoto oksidai (NO<sub>x</sub>), kietosios dalelės (PPM), sieros dioksidas (SO<sub>2</sub>). Vertinimui panaudotos vidutinės rodiklių reikšmės ES 2020 m.

*Radionuklidų išoriniai kaštai, išreikšti EURct / kWh*, atspindi žalą žmonių sveikatai dėl radionuklidų emisijos į atmosferą, vandenį ir dirvožemį. Poveikis žmonių sveikatai dėl radionuklidų emisijos yra išmatuotas piniginiiais vienetais. Įvertintas šių radionuklidų neigiamas poveikis žmonių sveikatai: aerzoliai, anglis-14; vandenilis-3, tritiumas, jodas-129, jodas-13, kriptonas-85, inertinės dujos, radonas-222, toris-230, uranas-234. Radionuklidų išoriniai kaštai buvo apskaičiuoti ES projektų ExternE [20], NEEDS [16] ir CASES [13] metu. Elektros energijos gamybos technologijų vertinimui šioje atskaitoje panaudotos vidutinės rodiklių reikšmės ES 2020 m.

**Socialiniai rodikliai.** Pagrindiniai keturi socialiniai rodikliai, parinkti elektros energijos technologijų vertinimui pagal ES energetikos politikos prioritetinius tikslus, yra: technologijų suteikiamos įdarbinimo galimybės, maisto tiekimo rizika, nelaimingi incidentai praeityje ir ateityje.

*Technologijos suteikiamos įdarbinimo galimybės (žmogaus metais / kWh)*. Šis rodiklis yra paremtas darbo jėgos, reikalingos 1 kWh elektros energijos pagaminti, įvertinimu. Rodiklis įvertinamas pagal LCA metodologiją ir atspindi darbo jėgos poreikį visoje energijos tiekimo grandinėje. PSI parengtoje Ecoinvent duomenų bazėje pateikti LCA darbo jėgos įvertinimai 8 elektros energijos tiekimo technologijų grandinėms (lignitui, bitumui, akmens anglis, naftai, gamtinėms dujoms, hidro-, vėjo ir saulės energija). Technologinės grandinės apima šiuos komponentus, kuriuose yra įvertinamas darbo jėgos poreikis: 1) kuro gavyba, 2) kuro tiekimas, 3) elektros gamybos jėgainės statyba, 4) elektros energijos gamyba, 5) jėgainės uždarymas. Elektros energijos gamybos technologijų vertinimui šioje atskaitoje panaudotos vidutinės rodiklių reikšmės ES 2020 m.

*Maisto tiekimo rizika, matuojama 0–5 balais*, yra kokybinis rodiklis, skirtas įvertinti biomasės panaudojimo elektros energijos gamybai neigiamas pasekmes, susijusias su neigiamu poveikiu maisto tiekimui bei jo kainų augimui. Šis rodiklis buvo pritaikytas CASES [13] ir PLANETS [18] projektuose ir šiuo metu labai aktualus, nes dėl vis daugiau biomasės naudojant energijos, ypač biodegalų, gamybai sparčiai auga maisto kainos.

*Nelaimingi incidentai praeityje, išreikšti žmonių mirtimis / kWh*. Šis rodiklis parodo fatališkų incidentų riziką, remiantis praeityje įvykusių fatališkų incidentų skaičiumi.

PSI (Paul Shrerer Institute) sukurta duomenų bazė ENSAD (Energy-related Severe Accidents Database), kurioje pateikti visų energijos gamybos technologijų vertinimai pagal nelaimingus atsitikimus praeityje. Šis rodiklis paremtas LCA metodika ir buvo pritaikytas daugelyje ES vykdytų technologijų vertinimo studijų (NEEDS [16], CASES [13], GaBE [19], PLANETS [18]). Elektros energijos gamybos technologijų vertinimui šioje atskaitoje panaudotos vidutinės rodiklių reikšmės ES 2020 m.

*Incidentai ateityje yra kokybinis rodiklis, matuojamas 0–5 balais*. Jis atspindi incidento ateityje tikimybę. Kuo aukštesnis yra šis rodiklis, tuo didesnė yra incidento galimybė. Šis rodiklis yra nustatytas, atliekant gyventojų apklausas ir nustatant jų požiūrį į incidento kilimo galimybę specifinę technologiją naudojančioje jėgainėje. Šis rodiklis buvo pritaikytas CASES [13], GaBE [19] ir NEEDS [16] projektuose.

## INTEGRUOTŲ RODIKLIŲ TAIKYMAS DAUGIAKRITERINĖJE ANALIZĖJE

Integruoti rodikliai yra formuojami, stengiantis atspindėti pagrindinius rodiklius viename rodiklyje, atliekant įvairių politikos dokumentų įgyvendinimo monitoringą [21]. Ypač svarbi šiuo aspektu yra Darnaus vystymosi strategija, kurioje nustatyta daugelis ekonominių, aplinkosauginių ir socialinių rodiklių, o atliekant jos įgyvendinimo monitoringą, būtina įvertinti, kaip šie visi tikslai yra vykdomi. Taip pat tiriant strategijoje numatytų politikos priemonių efektyvumą, būtina įvertinti šių priemonių poveikį konkrečioms iškeltiems tikslams. Integruoti rodikliai parodo tiriamų reiškinių įvairias svarbias kokybines puses ir šių rodiklių kitimo laike įtaką bendro integruoto rodiklio kitimui laike. Taigi integruotas darnumo rodiklis atspindi:

- Integruoto rodiklio struktūrinių rodiklių statines charakteristikas ir jų dinamiką retrospektyvos požiūriu;
- Integruoto rodiklio sudedamųjų dalių svorius arba svarbą, tiriant integruoto rodiklio tendencijas;
- Integruoto rodiklio struktūrinių rodiklių tendencijų prognozes;
- Koreliacinius struktūrinių rodiklių tarpusavio ryšius;
- Integruoto rodiklio statinę charakteristiką, dinamiką retrospektyvos požiūriu ir prognozes.

Statines integruoto rodiklio struktūros rodiklių dabartines reikšmes apibrėžia naujausių tyrimo metų statistinės struktūros rodiklių reikšmės. Struktūrinių rodiklių dinamiką apibūdina jų laiko eilutės nuo pasirinktų bazinių iki atskaitinių metų. Struktūrinių rodiklių prognozės yra gaunamos, taikant tiesinės regresijos lygtis, trendams prognozuoti.

Integruotas kompleksinis rodiklis tendencijų tyrimui yra formuojamas indeksų pagalba.

$$Q_n = \sum_{i=1}^n (w_i^* Q_{in}) \left( \sum_{i=1}^n w_i = 1 \right); \quad (2)$$

čia  $Q_n$  – integruotas kompleksinis indikatorius laiko momentu  $n$ , susidedantis iš  $i$  rodiklių;

$Q_{in}$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio indeksas laiko momentu  $n$ ;  
 $w_i$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio svoris, atspindintis santykinę kiekvieno rodiklio svarbą indikatoriuje.

Integruoto kompleksinio rodiklio sudedamosios dalys (arba struktūrinio rodiklio indeksai) yra apskaičiuojamos kaip indeksai:

$$Q_{in} = q_{ni} / q_{oi}; \quad (3)$$

čia  $Q_{in}$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio indeksas laikotarpiu  $n$ ;  
 $q_{ni}$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio reikšmė laikotarpiu  $n$ ;  
 $q_{oi}$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio reikšmė baziniais metais.

Jeigu formuojant integruotą rodiklį jį sudarančių tam tikrų rodiklių reikšmių augimas yra vertinamas kaip teigiamas ir pageidaujamas procesas, tokio rodiklio indekso kitimas nuo 0 iki bet kurių didesnių dydžių turėtų žymėti palankų procesą, o rodiklių, kurių mažėjimas yra pageidaujamas procesas, indeksai yra perskaičiuojami:

$$Q_{in} = 1 / Q_{in}. \quad (4)$$

Taip rodikliai įgyja lyginimui tinkamų balų turinį ir leidžia analizuoti integruoto rodiklio augimą, kaip pageidaujamą procesą.

Tuo tarpu politikos priemonių, energijos gamybos technologijų bei energetikos plėtros scenarijų daugiakriterinis vertinimas gali būti atliekamas formuojant integruotus energetikos plėtros scenarijų, energijos gamybos technologijų bei politikos priemonių vertinimo rodiklius, sudarytus iš atskirų rodiklių, atspindinčių energetikos sektoriaus plėtros prioritetinius tikslus, skirtus politikos priemonei, energetikos plėtros scenarijui ar energijos gamybos technologijai įvertinti.

Politikos priemonės ar energetikos plėtros scenarijaus įtaka tam tikram rodikliui gali būti nustatoma modeliavimo pagalba, taikant Bendrosios pusiausvyros arba Dalinės pusiausvyros energetikos sektoriaus plėtros modelius. Pavyzdžiui, tiriant anglies dvideginio mokesčio arba žaliųjų sertifikatų įvedimo efektyvumą, modeliavimo pagalba sudarant atskirus scenarijus, nustatoma tokio mokesčio bei žaliųjų sertifikatų sistemos įtaka šiltnamio dujų emisijų, energijos intensyvumo sumažėjimui, atsinaujinančiųjų energijos išteklių panaudojimo, energijos kainų, energijos importo augimui ir kitiems svarbiems tikslams. Parenkant tinkamiausius energetikos sektoriaus plėtros scenarijus, modeliavimo pagalba gauti duomenys vartojami aptartiesiems rodikliams – šiltnamio dujų emisijų sumažėjimas, energijos intensyvumo sumažėjimas, atsinaujinančiųjų energijos išteklių panaudojimo išaugimas, energijos importo sumažėjimas ir kt. – apskaičiuoti. Visi šie svarbūs kriterijai gali būti struktūriniais rodikliais, sudarančiais integruotą rodiklį, pagal kurį lyginamos politikos priemonės ir energetikos sektoriaus plėtros scenarijai. Energijos gamybos technologijos taip pat yra lyginamos, apskaičiuojant integruotą rodiklį, kurį sudaro tokie svarbūs struktūriniai rodikliai, kaip šiltnamio dujų emisijos (kWh), elektros energijos gamybos kaštai ir kt.

Integruotą politikos priemonės, energetikos sektoriaus plėtros scenarijaus ar energijos gamybos technologijos daugiakriterinio vertinimo rodiklį sudaro pagrindinių struktūrinių rodiklių nuokrypio nuo vidurkio suma. Toks integruotas politikos priemonės efektyvumo vertinimo rodiklis yra formuojamas alternatyvių politikos priemonių, energetikos sektoriaus plėtros scenarijų ar energijos gamybos technologijų palyginimui, o ne tendencijų analizei, kaip integruotas rodiklis, skirtas strategijų ir programų monitoringui:

$$Q_j = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot Q_{ij}), \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1; \quad (5)$$

čia  $Q_j$  – integruotas kompleksinis rodiklis priemonei (scenarijui, technologijai), susidedantis iš  $i$  rodiklių;

$Q_{ij}$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio indeksas priemonei (scenarijui, technologijai)  $j$ ;

$w_i$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio svoris, atspindintis santykinę kiekvieno rodiklio svarbą integruotame rodiklyje.

Rodiklio nuokrypis arba indeksas nuo vidurkio apskaičiuojamas:

$$Q_{ij} = q_{ij} / q_{vid}^i \quad (6)$$

čia  $Q_{ij}$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio indekso reikšmė priemonei (scenarijui, technologijai)  $j$ ;

$q_{ij}$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio reikšmė priemonei (scenarijui, technologijai)  $j$ ;

$q_{vid}^i$  –  $i$ -ojo struktūrinio rodiklio reikšmių visoms priemonėms (scenarijams, technologijoms) vidurkis.

Analogiškai kaip integruotų tendencijų tyrimo rodiklių atveju, jeigu formuojant integruotą rodiklį jį sudarančių rodiklių reikšmių augimas yra vertinamas kaip teigiamas ir pageidaujamas procesas, tokio rodiklio indekso kitimas nuo 0 iki bet kurių didesnių dydžių turėtų žymėti palankų procesą arba kokybės augimą, o rodiklių, kurių mažėjimas yra pageidaujamas procesas, indeksai yra perskaičiuojami pagal (6) formulę:

$$Q_{ij} = 1 / Q_{ij}. \quad (7)$$

Aprašytas integruotų rodiklių metodas gali būti nesunkiai pritaikytas aplinkos apsaugos politikos priemonių, energetikos sektoriaus plėtros scenarijų, energijos gamybos technologijų vertinimui bei Nacionalinės energetikos plėtros strategijos monitoringui.

## ELEKTROS ENERGIJOS GAMYBOS TECHNOLOGIJŲ DARNUMO VERTINIMAS

Pagrindinės elektros energijos gamybos technologijos, numatomos taikyti 2020 m., pateiktos 4 lentelėje. Šis technologijų sąrašas yra sudarytas, remiantis kitose ES atliktose studijose, skirtose ateities elektros energijos gamybos technologijų analizei, pateiktais elektros energijos gamybos technologijų aprašymais.

4 lentelė. Elektros energijos gamybos technologijos [13]

Technologijos ir kuras elektros energijos gamybai		
Branduolinis kuras		EPR
		PBMR
Organinis kuras	nafta	Kondensacinė jėgainė
		Dujų turbina
	anglys	Kondensacinė jėgainė
		Integruoto dujofikavimo kombinuotojo ciklo jėgainė (IDKC)
	lignitas	IDKC su anglies dioksido atskyrimu ir saugojimu (AAS)
		Kondensacinė jėgainė
IDKC		
IDKC su AAS		
gamtinės dujos	Kombinuotojo ciklo jėgainė	
	Kombinuotojo ciklo jėgainė su AAS	
Hidroenergija	derivacinė	Dujų turbina
		<10 MW
		<100 MW
	vagos	>100 MW
		hidroakumuliacinė
		bangų
Vėjo energija	krante	
	jūroje	
Saulės fotoelektra	stogas	
	atvira erdvė	
Saulės šiluma		
Termofikacinės jėgainės		
Termofikacinė jėgainė su kondensacine garo turbina	Gamtinės dujos	Kombinuotojo ciklo dujų turbina (KCDT)
		KCDT su anglies dioksido atskyrimu ir saugojimu (AAS)
	Anglys	IDKC
Termofikacinė jėgainė su priešslėgine garo turbina	Gamtinės dujos	IDKC su anglies dioksido atskyrimu ir saugojimu (AAS)
	Anglys	
Biomosės termofikacinė jėgainė su kondensacine garo turbina	Šiaudai	
	Medienos granulės	
Kuro elementai	Gamtinės dujos	Lydytų karbonatų kuro elementai
		Kietakūnio oksido kuro elementai
	Biodujos	Lydytų karbonatų kuro elementai

Elektros energijos gamybos technologijos buvo įvertintos pagal 13 rodiklių rezultatus. Šie 13 rodiklių susideda iš 5 ekonominių rodiklių (privatūs kaštai, tinklo kaštai, apkrovos veiksnys, atsakas į pikinę apkrovą ir tiekimo saugumas), 4 aplinkosauginių rodiklių (išoriniai aplinkosauginiai kaštai, radionuklidų išoriniai kaštai, poveikio žmogaus sveikatai išoriniai kaštai, ŠD emisijos) ir 4 socialinių rodiklių (technologijų suteikiamos įdarbinimo galimybės, maisto tiekimo rizika, incidentai praeityje bei incidentai ateityje). Visi rodiklių įvertinimai pateikti 2020 m. bei taikomi ES vidutiniai duomenys.

Kadangi svariais ekonomiais rodikliais pasižyminčioms technologijoms ne visada būdingi aukšti aplinkosauginiai ir socialiniai rodikliai, o atvirkščiai, todėl siekiant nustatyti geriausiai ES energetikos politikos tikslus atitinkančias elektros energijos technologijas, būtina atlikti daugiakriterinę analizę. Ją atliksime taikydami integruotą darnumo rodiklių metodą. Integruotas technologijų darnumo indikatorius kiekvienai

technologijai yra apskaičiuojamas, taikant (3) formulę. Kuo mažesnis darnumo indikatorius, tuo geriau elektros energijos gamybos technologija atitinka ES energetikos politikos tikslus.

Jeigu vertinant elektros energijos gamybos technologijas rodiklio didėjimas (vidutinis apkrovos veiksnys, atsakas į pikinę apkrovą, tiekimo saugumas, užimtumas) yra vertinamas kaip teigiamas, taikoma (4) formulė. Tuo tarpu jeigu pageidaujamas yra rodiklio mažėjimas (privatūs kaštai, prijungimo prie tinklo kaštai, poveikis žmogaus sveikatai, aplinkosauginiai išoriniai kaštai, radionuklidų išoriniai kaštai, ŠD emisijos, incidentai praeityje bei incidentai ateityje), taikoma (5) formulė. Integruotą darnumo rodiklį kiekvienai technologijai sudaro 13 struktūrinių rodiklių, pateiktų 1 lentelėje.

Siekiant atlikti jautrumo analizę, nes nebuvo atlikta ekspertų apklausa rodiklių svoriams nustatyti, elektros energijos gamybos technologijų darnumas bus vertinamas taikant

keturis vertinimo scenarijus, skirtus nustatyti, kaip aplinkosauginių, ekonominių ir socialinių rodiklių svorio keitimas veikia elektros energijos gamybos technologijų rangavimo rezultatus. Atlikti tokie elektros energijos gamybos technologijų rangavimo scenarijai:

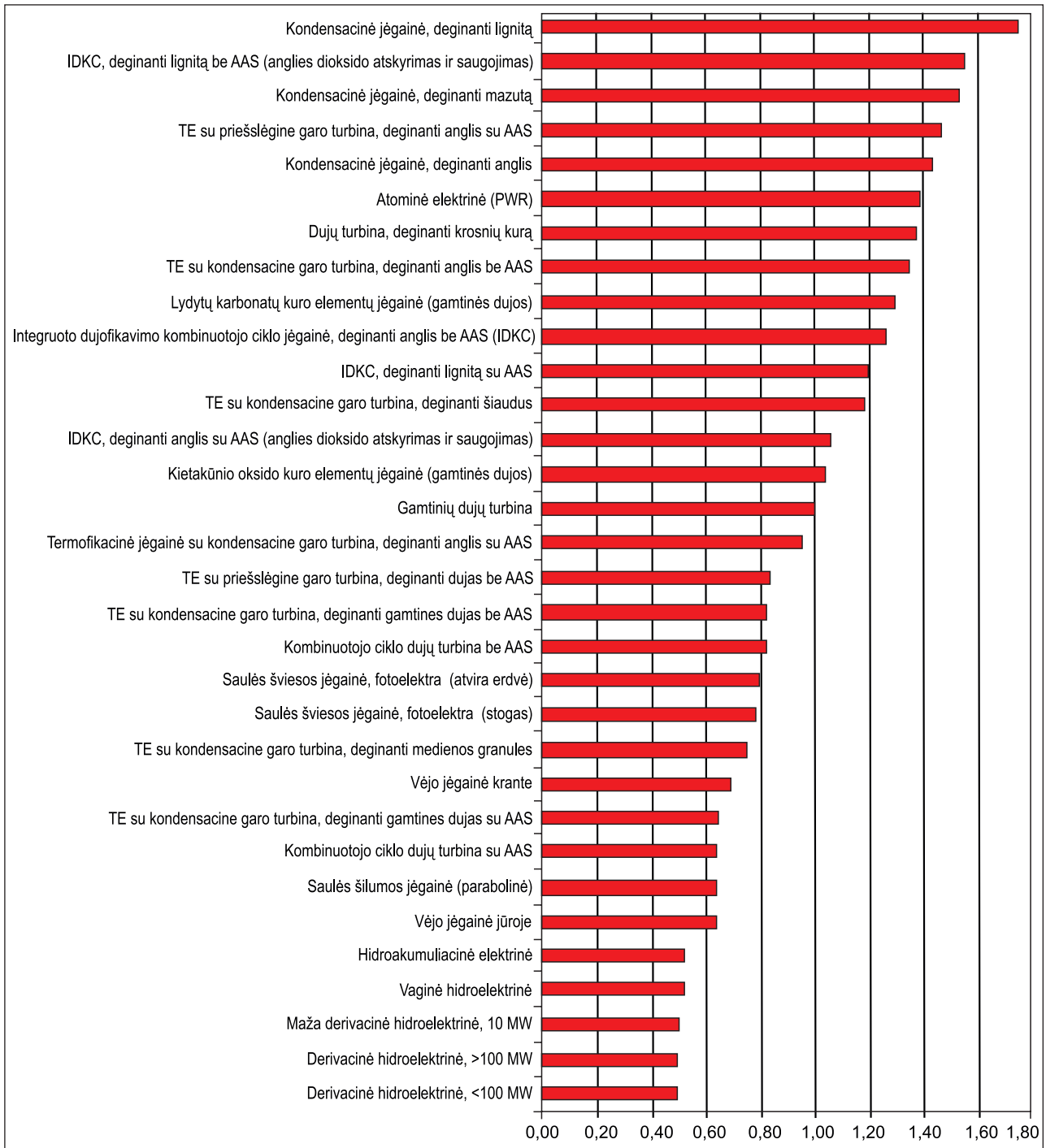
1) Scenarijus, kai visiems rodikliams integruotame indikatoriuje suteikiamas vienodas svoris;

2) Į aplinkosauginius rodiklius orientuotas scenarijus: aplinkosauginiams rodikliams suteiktas 80 % svoris, o ekonominiams ir socialiniams rodikliams – po 10 %;

3) Į ekonominius rodiklius orientuotas scenarijus: ekonominiams rodikliams suteiktas 80 % svoris, o aplinkosauginiams ir socialiniams rodikliams – po 10 %;

4) Į socialinius rodiklius orientuotas scenarijus: socialiniams rodikliams suteiktas 80 % svoris, o ekonominiams ir aplinkosauginiams rodikliams – po 10 %.

1 pav. parodytas elektros energijos gamybos technologijų rangavimas pagal pirmą scenarijų, ekonominiams, socialiniams ir aplinkosauginiams kriterijams suteikus vienodus svorius.



1 pav. Elektros energijos gamybos technologijų rangavimas pagal 1-ąjį scenarijų (1 lentelėje pateiktiems rodikliams suteiktas vienodas svoris)

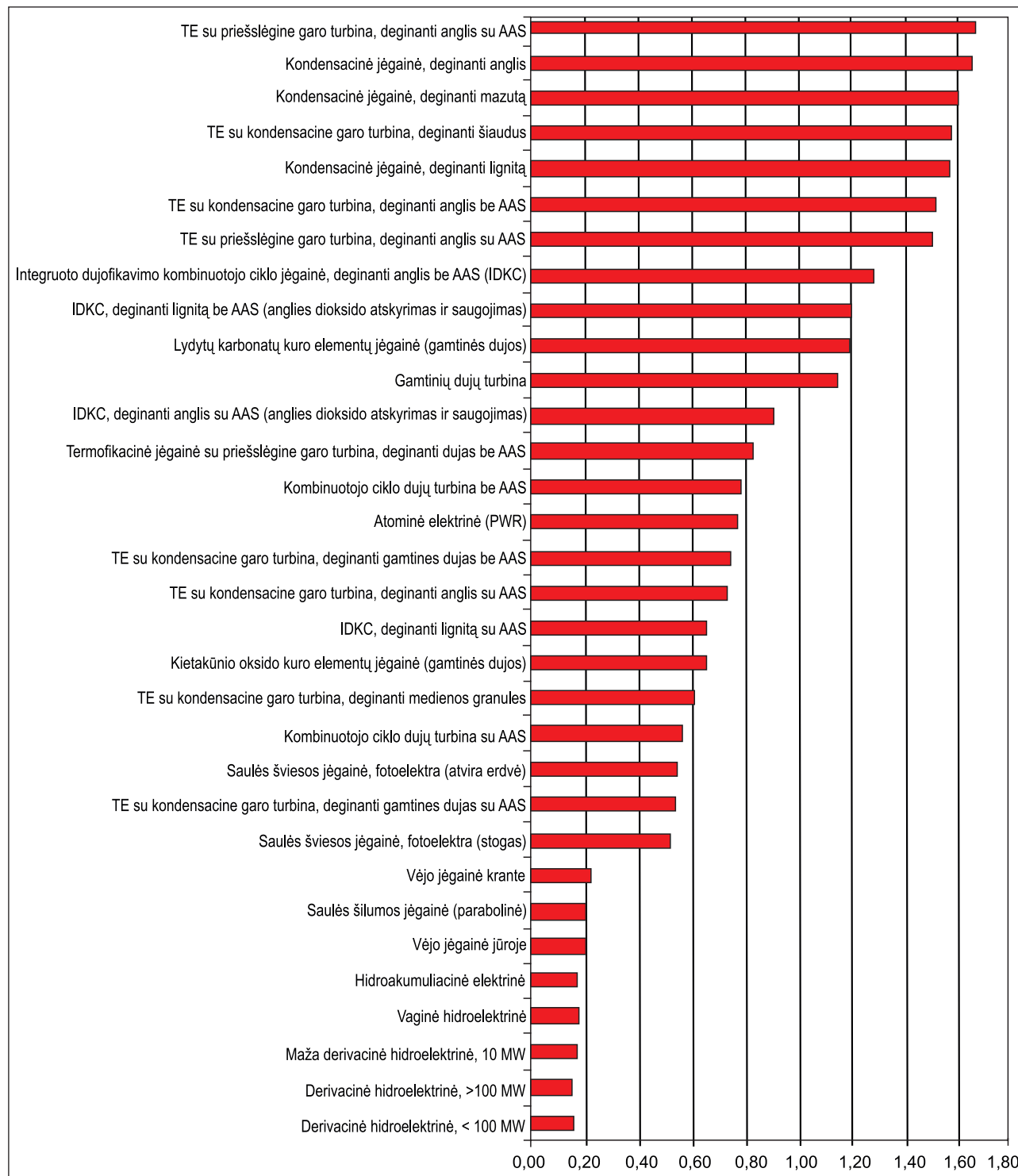


Kaip matyti iš 1 pav. pavaizduotų duomenų, geriausiai ES energetikos politikos tikslus atspindinčios technologijos yra paremtos atsinaujinančiais energijos ištekliais, o blogiausiai – deginamomis anglimis. Tai yra susiję su dideliais šių elektrinių išoriniais aplinkosauginiais ir žmonių sveikatos kaštais.

2 pav. parodytas elektros energijos gamybos technologijų rangavimas pagal antrąjį (aplinkosauginį) rangavimo

scenarijų, kai 4 aplinkosauginiams rodikliams, pateiktiems 4 lentelėje, suteiktas 80 % svoris (arba po 20 % kiekvienam aplinkosauginiam rodikliui), o ekonominiams bei socialiniams rodikliams suteiktas 20 % svoris (po 10 % kiekvienai rodiklių grupei).

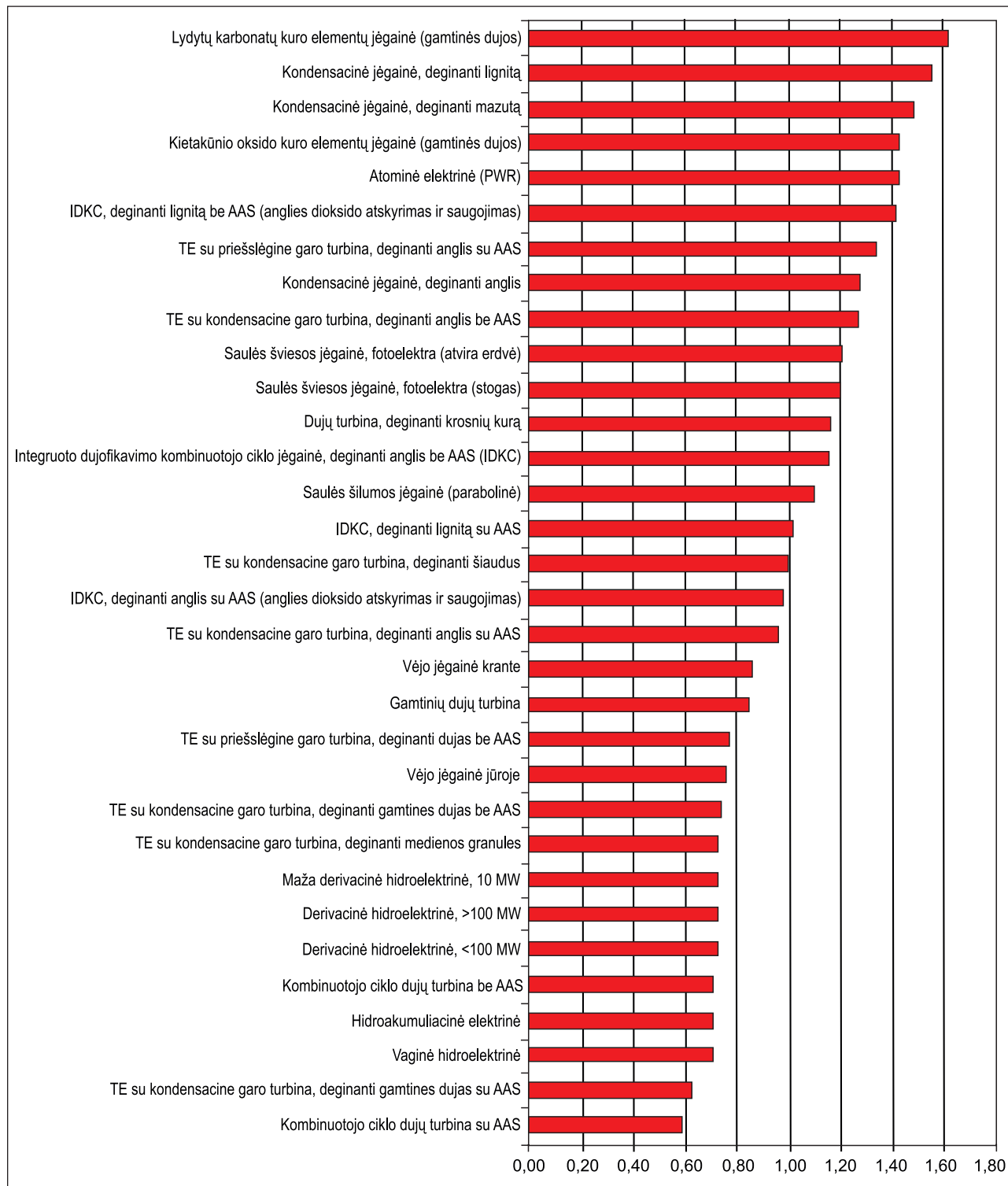
Kaip matyti iš 2 pav. pateiktų duomenų, aplinkosauginio scenarijaus atveju gauti panašūs rezultatai, kaip ir pirmojo scenarijaus, kai visiems rodikliams taikomi vienodi svoriai:



2 pav. Elektros energijos gamybos technologijos rangavimas pagal 2-ąjį (aplinkosauginį) scenarijų

geriausios technologijos yra paremtos atsinaujinančiais energijos ištekiais, o blogiausios pagal ES energetikos politikos tikslų atitikimą yra technologijos, naudojančios akmens anglis. Tai patvirtina anksčiau pateiktą pastabą, kad aplinkosauginių rodiklių poveikis nusveria kitų rodiklių poveikį ranguojant elektros energijos gamybos technologijas.

Elektros energijos gamybos technologijų rangavimas pagal trečiąją (ekonominių) scenarijų parodytas 3 pav. Pagal šį scenarijų, 5 ekonominiams elektros energijos gamybos technologijų vertinimo rodikliams yra suteiktas 80 % svoris, tuo tarpu visiems kitiems socialiniams ir aplinkosauginiams rodikliams vienodai paskirstytas 20 % svoris integruotame technologijų darnumo vertinimo indikatoriuje.

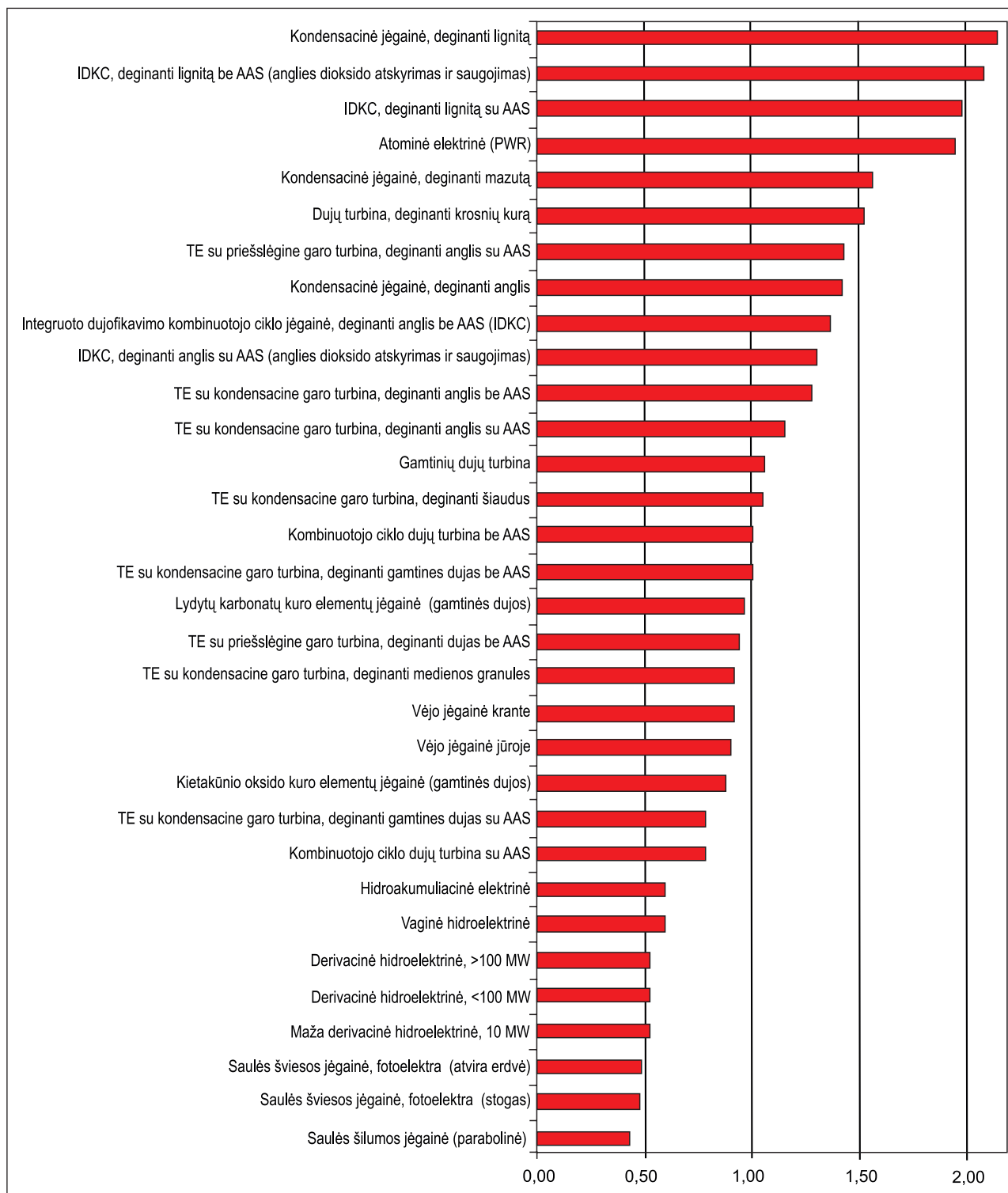


3 pav. Elektros energijos gamybos technologijos rangavimas pagal 3-įjį (ekonominių) scenarijų

Kaip matyti iš 3 pav. pateiktų duomenų, geriausiai ES energetikos politikos tikslus atitinkančios technologijos yra kombinuotojo ciklo jėgainės, deginančios gamtines dujas. Blogiausias technologijos yra kuro elementų bei kondensacinė jėgainės, deginančios lignitą ir mazutą. Tai yra susiję su aukštais naujų elektros energijos gamybos technologijų, naudojančių kuro elementus, kaštais.

Elektros energijos gamybos technologijų rangavimas pagal 4-ąją (socialinį) scenarijų yra parodytas 4 paveiksle. Pagal šį scenarijų 4 socialiniams rodikliams yra suteiktas 80 % svoris, o likusiems ekonominiams ir aplinkosauginiams rodikliams vienodai paskirstytas 20 % svoris.

Kaip matyti iš 4 pav. parodytų duomenų, geriausiai ES energetikos politikos tikslus atitinkančios yra saulės ir



4 pav. Elektros energijos gamybos technologijos rangavimas pagal 4-ąją (socialinį) scenarijų

hidrojėgainės, o blogiausiai – lignitą ir anglis deginančios jėgainės. Kadangi saulės ir hidroelektrinės rezultatai yra teigiami, susiję su įdarbinimo galimybėmis, šios technologijos pagal socialinį scenarijų yra vertinamos geriausiai.

## IŠVADOS

1. Elektros energijos gamybos technologijų vertinimas ir rangavimas pagal rodiklius, nustatytus remiantis ES energetikos politikos prioritetais taikant įvairius rangavimo scenarijus ir keičiant rodiklių svorį integruotame darnumo indikatoriuje, parodė, kad geriausios technologijos yra paremtos atsinaujinančiųjų energijos išteklių naudojimu, o blogiausios, paremtos akmens anglių bei lignito naudojimu. Kai kurių rangavimo scenarijų rezultatai apibendrinti toliau.

2. Elektros energijos gamybos technologijų rangavimo pagal darnumo kriterijus scenarijaus, kai visiems darnumo rodikliams buvo suteiktas vienodas svoris, atveju geriausia technologija yra hidrojėgainės, o blogiausia – kondensacinės ir IDCK be AAS, deginančios lignitą, bei kondensacinės jėgainės, deginančios mazutą.

3. Ekonominio scenarijaus atveju geriausios elektros energijos gamybos technologijos yra kombinuotojo ciklo ir TE jėgainės, deginančios gamtines dujas. Po to seka hidrojėgainės. Blogiausios technologijos pagal šį scenarijų yra kuro elementais pagrįstos technologijos. Po jų seka kondensacinės jėgainės, deginančios lignitą ir mazutą.

4. Aplinkosauginio scenarijaus atveju geriausios technologijos yra hidroelektrinės, vėjo ir saulės jėgainės, o blogiausios technologijos – akmens anglis deginančios kondensacinės bei termofikacinės jėgainės.

5. Socialinio scenarijaus atveju geriausia elektros energijos gamybos technologija yra saulės, po to seka hidrojėgainės. Blogiausios technologijos – kondensacinė jėgainė, deginanti lignitą, ir IDCK, deginanti lignitą be AAS.

Tyrimą finansuoja Lietuvos mokslo taryba (sutarties Nr. ATE-01/2011)

Gauta 2011 05 16

Priimta 2011 06 22

## Literatūra

- Roy B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- Siskos J., Hubert Ph. Multicriteria analysis of the impacts of energy alternatives: A survey and a new comparative approach. *European Journal of Operational Research*. 1983. N 13. P. 278–299.
- Güngör Z., Arıkan F. A fuzzy outranking method in energy policy planning. *Fuzzy Sets and Systems*. 2000. N 114. P. 115–122.
- Hämäläinen R., Karjalainen R. Decision support for risk analysis in energy policy. *European Journal of Operational Research*. 1992. N 56. P. 172–183.
- Hämäläinen R. A decision aid in the public debate on nuclear power. *European Journal of Operational Research*. 1990. N 48. P. 66–76.
- Hämäläinen R., Seppäläinen T. The Analytic Network Process in energy policy planning. *Socio-Economic Planning Science*. 1986. N 20. P. 399–405.
- Beccali M., Cellura M., Ardente D. Decision making in energy planning: The ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology. *Energy Conversion Management*. 1998. N 39. P. 1869–1881.
- Akash B., Al-Jayyousi O., Mohsen M. Multicriteria analysis of nonconventional energy technologies for water desalination in Jordan. *Desalination*. 1997. N 114. P. 1–12.
- Kablan M. Prioritization of decentralized electricity options available for rural areas in Jordan. *Energy Conversion Management*. 1997. N 38. P. 1515–1521.
- Mamlook R., Akash B., Nijmeh S. Fuzzy sets programming to perform evaluation of solar systems in Jordan. *Energy Conversion Management*. 2001. N 42. P. 1717–1726.
- Ness B., Urbel-Piirsalu E., Anderberg S., Olsson L. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics*. 2007. N 3. P. 498–508.
- EU FM 6 Project. *EUSUSTEL. European Sustainable Electricity; Comprehensive Analysis of Future European Demand and Generation of European Electricity and Its Security of Supply*. Final technical report, 2007.
- EU FM 6 Project. *CASES. Cost Assessment of Sustainable Energy System*. Development of a set of full cost estimates of the use of different energy sources and its comparative assessment in EU countries, 2008.
- EU FM 6 Project. *CASES. Cost Assessment of Sustainable Energy System*. Report on Policy Instruments Assessment Methods and Comparative Analyses, 2008.
- EU FM 7 Project. *NEEDS. New Energy Externalities Developments for Sustainability*. Survey of criteria and indicators, 2005.
- EU FM 7 Project. *NEEDS. New Energy Externalities Developments for Sustainability*. Final Report on Technology Foresight Method, 2006.
- EU FM 7 Project. *NEEDS. New Energy Externalities Developments for Sustainability*. Environmental, economic and social criteria and indicators for sustainability assessment of energy technologies, 2007.
- EU FM 7 Project. *PLANETS*. Report on Technology Assessment-II, 2009.
- Hirschberg S., Dones R., Heck T., Burgherr P., Schenler W., Bauer C. Sustainability of Electricity Supply Technologies under German Conditions: A Comparative Evaluation. GaBE. PSI-Report No. 04–15. Villigen: Paul Scherrer Institut, Switzerland, 2004.
- European Commission. *ExternE – Externalities of Energy*. Vol. 7. Methodology 1998 Update. Luxemburg, 1999.
- Štreimikienė D., Mikalauskiene A. Integruotų rodiklių taikymas Nacionalinės energetikos strategijos monitoringu. *Energetika*. 2009. T. 55. Nr. 3. P. 158–167.



Dalia Štreimikienė, Asta Mikalauskienė, Jūratė Zaikienė

#### SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF ELECTRICITY GENERATION TECHNOLOGIES IN THE EU BY APPLYING INTEGRATED INDICATORS

##### *Summary*

The paper deals with the sustainability assessment of electricity generation technologies in the EU, which was performed by applying the multi-criteria analysis approach. Integrated indicators for sustainability assessment of electricity generation technologies were calculated for specific technologies. These integrated indicators were obtained by summing up the normalized social, economic and environmental indicators for specific electricity generation technologies. The electricity generation technologies were ranked according to their positive impact on sustainable energy development in the EU, based on these integrated indicators. Sustainability assessment indicators for specific technologies were evaluated by applying results of empirical studies conducted in the EU. The sustainability assessment performed in the present study has indicated that the best technologies in terms of sustainability in the energy sector are technologies based on renewables.

**Key words:** electricity generation technologies, sustainability assessment, ranking

Даля Штреймикене, Аста Микалаускене,  
Юрате Зайкене

#### ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЕС ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

##### *Резюме*

В статье рассматривается устойчивость технологий производства электроэнергии в ЕС. Эта устойчивость оценивается путем многокритерного анализа. Комплексные интегрированные показатели для оценки устойчивости технологий производства электроэнергии были рассчитаны для конкретных технологий. Значения показателей были получены суммированием нормированных социальных, экономических и экологических показателей для конкретных технологий производства электроэнергии. Технологии производства электроэнергии были ранжированы по их позитивному влиянию на устойчивое развитие энергетики в ЕС, исходя из этих интегрированных показателей. Показатели энергетической устойчивости конкретных технологий были оценены по результатам эмпирических исследований, проведенных в ЕС. Анализ устойчивости показал, что лучшие технологии с точки зрения устойчивости в энергетическом секторе – технологии, основанные на возобновляющихся источниках.

**Ключевые слова:** технологии производства электроэнергии, оценка устойчивости, рейтинг