

Matematinis modeliavimas – energetikos strateginio planavimo pagrindas

Vaclovas Miškinis,

Arvydas Galinis,

Inga Konstantinavičiūtė,

Vidas Lekavičius,

Dalius Tarvydas

*Lietuvos energetikos institutas,
Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
El. paštas Vaclovas.Miskinis@lei.lt*

Rengiant Lietuvai reikšmingus energetikos sektoriaus perspektyvinės plėtros projektus ir strateginius dokumentus, labai svarbu įvairiapusiškai išnagrinėti energijos naudojimo ūkio šakose kaitos tendencijas, numatyti racionalius perspektyvinius energijos poreikius taikant modernius energetikos planavimo metodus ir matematinius modelius, pagrįsti racionalias energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo kryptis. Straipsnio tikslas – apibendrinti Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijoje sukauptą mokslinių energetikos perspektyvinio planavimo tyrimų patirtį, pateikti reikšmingiausių vykdytų tyrimų apžvalgą, atskleisti matematinio modeliavimo vaidmenį energetikos strateginio planavimo sistemoje formuojant šalies energetikos politiką, išryškinant ir nustatant Lietuvos energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo kryptis, geriausiai atitinkančias visuomenės lūkesčius, ambicingus ES energetikai keliamus tikslus ir globalius iššūkius.

Raktažodžiai: matematinis modeliavimas, energetikos sektoriaus raida, strateginis energetikos planavimas, galutinė energija, energijos poreikių prognozavimas, energetikos politika

ĮVADAS

Energetikos sektorius – labai svarbi modernios šalies ekonomikos sudedamoji dalis ir sudėtinga ūkio šaka, turinti daug įtakos valstybės ekonomikos raidai, jos augimo spartai, visuomenės gerovei. Energetikos paskirtis – užtikrinti energijos išteklių, jų tiekimo būdų įvairovę ir patikimumą, veiksmingą gamtinių energijos išteklių perdirbimą į vartotojams labiau tinkamas kuro rūšis, šių išteklių transformavimą į elektros energiją ir centralizuotai tiekiamą šilumą, taip pat įvairių energijos rūšių prieinamumą vartotojams tinkamu laiku ir priimtinais kainomis. Todėl energe-

tikos sektoriaus plėtros kryptys turi būti pagrįstos išsamia ir nuoseklia visų galimų energijos srautų analize, pradedant visų realiai galimų išteklių importu ar jų gavyba šalies teritorijoje ir baigiant šių išteklių ir / arba iš jų pagamintų atskirų energijos rūšių panaudojimu visuomenės poreikiams tenkinti, racionaliai panaudojant visas esamas technologijas, o ypač efektyviai integruojant naujas, potencialiai galimas, atsinaujinančius išteklius naudojančias ir kitas ateities technologijas, konkurencingas energijos rinkose.

Dėl energetikos sektoriaus specifikos (inertiškumo, modernizavimui ir plėtrai reikalingų didelių investicijų, globalių veiksnių įtakos ir gamtosaugos

bei kitų ribojimų) pasikeitimai vyksta palyginti lėtai, tačiau priimamų sprendimų įtaka tiek atskirų energetikos sistemų raidai ir funkcionavimui, tiek ir šalies ekonomikai yra ilgalaikė ir tęsiasi dešimtmečius. Todėl energetikos perspektyvinis planavimas turi būti pagrįstas kompleksiniu strateginiu požiūriu nagrinėjant gerokai ilgesnį nei politinis ciklas laikotarpį.

Kompleksinis energetikos sektoriaus matematinis modeliavimas yra būtina sąlyga siekiant įvairiapusiškai nustatyti strategines energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo kryptis, apibrėžti perspektyvinius energijos išteklių poreikius ir jų racionalią struktūrą, esamų ir ateities technologijų įdiegimo apimtis ir terminus, priimtinas investicijų apimtis, pirminės ir galutinės energijos kaitos tendencijas artimoje ir ilgalaikėje perspektyvoje, kad įvairiais motyvais, įskaitant siekį padidinti šalies energetinį saugumą, pagrindžiamų energijos išteklių visuma patenkintų šalies vartotojų poreikius mažiausiomis sąnaudomis, taip pat ir mažiausiomis energijos kainomis galutiniams vartotojams. Naujus iššūkius energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo modeliavimui kelia reikšmingi pokyčiai energijos rinkose, susiję su naujų pajėgumų, generuojančių elektrą ir šilumą iš atsinaujinančių energijos išteklių, integravimu, poreikiu išplėtoti nacionalinius tyrimus į regioninį lygmenį, modeliuoti energetikos poveikį makroekonomikai ir pan. Matematinio modeliavimo vaidmuo taip pat labai svarbus siekiant pagrįsti energetikos raidos strategines nuostatas, gerai derančias su ambicingais Europos Sąjungos (ES) klimato kaitos švelninimo tikslais, tenkinančias energetikos politiką apibrėžiančių direktyvų reikalavimus ir nepažeidžiančias priimtų tarptautinių Lietuvos įsipareigojimų.

Straipsnio tikslas – apibūdinti energetikos perspektyvinio planavimo metodinius principus, akcentuoti per pastarąjį dešimtmetį išplėtotus tyrimų metodus ir naujai sukurtus matematinis modelius, pateikti reikšmingiausių vykdytų tyrimų apžvalgą, atskleisti šių tyrimų vaidmenį kuriant energetikos sektoriaus strateginio planavimo sistemą, formuojant šalies energetikos politiką, išryškinant ir pagrindžiant racionalias Lietuvos energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo kryptis, kurios geriausiai atitinka globalias tendencijas ir visuomenės lūkesčius.

METODINIAI ANALIZĖS PRINCIPAI

Pagrindiniai energetikos sektoriaus raidos mokslinių tyrimų etapai, kurie taikomi Lietuvos energetikos instituto Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijoje ir apibendrinti [1–3], iš esmės atitinka klasikinę tyrimų schemą: 1) šalies ekonomikos raidos ir galutinės energijos naudojimo ūkio šakose tendencijų analizė, perspektyvinių energijos poreikių prognozavimas, 2) atskirų energetikos sistemų esamos būklės analizė, esamų, modernizuojamų ir galimų modernių technologijų techninių-ekonominių rodiklių įvertinimas, adekvačių matematinių modelių parengimas, energetikos sektoriaus raidos optimizavimas atsižvelgiant į aplinkosaugos reikalavimus ir šalies tarptautinius įsipareigojimus.

Galutinės energijos poreikių prognozavimas

Rengiant šalies energetikos ir ekonomikos plėtros strategijas, planuojant investicijų politiką, pagrindžiant naujų technologijų diegimo tikslumą, reikia turėti pakankamai informacijos apie įvairių energijos rūšių sąnaudas ir jų kaitos tendencijas. Šiam tikslui galima pasitelkti šalies energijos balansus, kuriuose pateikiama informacija apie ūkio šakose naudojamų energijos išteklių gamybą, eksportą, importą, atsargų pokytį, detalizuojant įvairių energijos rūšių sąnaudas pagal paskirtį (elektros energijai ir šilumai gaminti, perdirbti į kitas rūšis, neenergetinėms reikmėms) ir pagal vartotojų sektorius. Šių duomenų ir ypač galutinės energijos naudojimo ūkio šakose analizė yra labai svarbi energijos poreikių prognozėms, kurios rengiamos pasitelkiant imitacinius ir ekonometrinius prognozavimo modelius, neapibrėžtumų analizės bei kitus metodus. Esminiai įvairių prognozavimo modelių taikymo principai, įvertinant jų ypatumus pereinamosios ekonomikos šalių specifikai ir konkreitiems perspektyvinio planavimo uždaviniams spręsti, apibendrinti [2, 4, 5].

Energijos sąnaudų kaitos analizei tarnauja kiekvienos kuro ir energijos rūšies srautų pokyčius atspindintys duomenys, pradedant jų gavyba (gamyba) ir baigiant galutiniu sunaudojimu vartotojų įrenginiuose, kurie griežtai ir nuosekliai fiksuojami metiniuose energijos balansuose. Šis principas užtikrina, kad bendrosiose šalies vidaus energijos sąnaudose įvertinamas ne tik tas energijos kiekis, kurį sunaudoja galutiniai

vartotojai, bet ir neišvengiami pirminės energijos išteklių praradimai kuro pakeitimo ir energijos transformavimo sektoriuje, patiriami gaminant elektros energiją, centralizuotai tiekiamą šilumą, naftos produktus, durpių briketus ir pan.

Pagal tarptautinių organizacijų, rengiančių apibendrintus energijos balansus, metodinius principus daugiausia dėmesio šiame etape skiriama galutinės energijos sunaudojimo tendencijų analizei. Galutinė energija vadinama ta pirminės energijos išteklių (akmens anglių, gamtinių dujų, naftos ir kt.) ir antrinės energijos išteklių (elektros energijos, naftos produktų, centralizuotai tiekiamos šilumos ir kt.) dalis, kurią tiesiogiai savo įrenginiuose sunaudoja galutiniai vartotojai (pramonės, žemės ūkio, transporto ir prekybos bei paslaugų sektoriaus įmonės, individualūs vartotojai ir pan.). Galutinės energijos sąnaudų ūkio šakose ir ekonomikos raidą apibrėžiančių rodiklių sąsajos yra esminė informacija tiek taikant imitacinį MAED modelį, tiek ir ekonometrinius bei kitus poreikių prognozavimo modelius.

Apskritai energijos poreikių kitimui didelės įtakos turi daugelis veiksnių, iš jų: makroekonominių rodiklių (bendrojo vidaus produkto (BVP) augimas, ūkio šakų struktūros kaita ir pan.) kitimas, kuro ir energijos kainų augimas, vartotojų reakcija į pajamų ir energijos kainų augimą, energijos vartojimo efektyvumo didinimas ir kt. Perspektyviniai energijos poreikiai bet kuriuo metu gali būti aprašomi kaip funkcija, kuri apibrėžia energijos naudojimo ryšius su pagrindiniais jų kitimą lemiančiais veiksniais. Siekiant korektiškai įvertinti ekonomikos augimo ir energijos sąnaudų tarpusavio ryšius, prognozės rengiamos remiantis arba išsamia šalies ūkio šakose sunaudojamos galutinės energijos, arba atskirų jos komponentų (elektros energijos, centralizuotai tiekiamos šilumos ir tiesiogiai galutinių vartotojų įrenginiuose sunaudojamo kuro) elastingumo rodiklių už galimai ilgesnį laikotarpį analize ir palyginamąja įvairių rodiklių bei jų kaitos tendencijų kitose šalyse analize.

Rengiant naujausias perspektyvinių energijos poreikių prognozes, buvo atnaujinta prognozavimo metodika taikant šiuos bendrus principus: 1) prognozė pagrindžiama išsamia elektros energijos, centralizuotai tiekiamos šilumos ir tiesiogiai ūkio šakose suvartojamo kuro esamos būklės ir kaitos tendencijų analize, įvertinant energijos

taupymo galimybes konkrečiose ūkio šakose, ir pasirinktų ekonomikos raidos scenarijų prielaidomis, 2) kiekviena galutinės energijos komponentė modeliuojama atskirai.

Prognozavimui taikant matematinius modelius, labai svarbu tinkamai įvertinti energijos vartojimo efektyvumo didinimo potencialą. Šiam tikslui gali pasitarnauti tiek įvairiapusė galutinės energijos intensyvumo rodiklių lyginamoji analizė, tiek ir lyginamųjų energijos naudojimo ES šalyse rodiklių kitimo tendencijų įvertinimas [6–9]. Aktyvi ES energetikos politika ir įvairiose direktyvose nustatyti ambicingi tikslai [10–12] įpareigoja tyrėjus labiau išgvildinti realias ES šalių narių galimybes nuosekliai didinti energijos naudojimo efektyvumą ir numatyti priemones keliamiems tikslams pasiekti.

Rengiant perspektyvinių energijos poreikių prognozes studijose, skirtose Nacionalinės energetikos strategijai atnaujinti [13, 14], taikyta nauja namų ūkiuose patalpoms šildyti sunaudojamos centralizuotai tiekiamos šilumos ir tiesiogiai sunaudojamo kuro taupymo efekto įvertinimo koncepcija. Galutinių vartotojų galimos šilumos ir kuro sutaupymo apimtys pagrindžiamos: 1) išsamia faktinių šiems reikmėms sunaudojamos energijos lyginamųjų rodiklių, kurie senos statybos pastatuose su prasta šilumine izoliacija yra keletą kartų didesni nei naujos statybos ir renovuotuose pastatuose, analize, 2) prielaidomis apie gyvenamųjų namų ir visuomeninių pastatų bei jų vidaus šildymo sistemų atnaujinimo apimtį ir spartą. Tokia analizė suteikia galimybę konkretizuoti prielaidas apie siektiną energijos naudojimo efektyvumo didinimo potencialą ir planuojamas pastatų atnaujinimo apimtis.

Energetikos sektoriaus raidos optimizavimas

Kompleksinis energetikos sektoriaus modeliavimas yra esminė sąlyga siekiant pagrįstai nustatyti strategines sektoriaus raidos kryptis, galimus pirminės energijos išteklių poreikius ir struktūrą, veiksmingiausių technologijų įdiegimo apimtį ir terminus, racionalias investicijų apimtis, pirminės energijos kaitos tendencijas ilgalaikėje perspektyvoje. Svarbiausias optimizacinių skaičiavimų rezultatas – įvairiais motyvais pagrindžiama tokia energetikos technologijų ir energijos išteklių visuma, kuri patenkina šalies vartotojų poreikius mažiausiomis sąnaudomis. Taip užtikrinamos ir

mažiausios energijos kainos galutiniams vartotojams nepažeidžiant ES direktyvų reikalavimų, prisiimtų tarptautinių Lietuvos įsipareigojimų ir atsižvelgiant į nustatytus šalies energetikos strateginius tikslus bei siektinus šalies energetinio saugumo reikalavimus. Būtent išsamus energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos modeliavimas yra būtinas energetinio saugumo naratyvinės analizės būdas, leidžiantis ne tik įvertinti su energetiniu saugumu susijusių objektų įtaką atskirose energetikos sistemose ir jose patiriamus kaštus, bet ir pasiūlyti kvantifikuojamus visuomenės interesus geriausiai atitinkančias energetinio saugumo užtikrinimo priemones.

Šalies energetikos sektorius apima sudėtingas tarpusavyje susijusias sistemas (elektros energetikos, dujų, naftos, centralizuoto šilumos ir kitų energijos rūšių tiekimo), kurias sudaro visuma įmonių ir įrenginių, skirtų įvairių energijos rūšių gavybai, gamybai, transformavimui, perdavimui, skirstymui ir tiekimui galutiniams vartotojams. Tik nuosekliai analizuojant visus galimus energijos išteklius, pradedant jų gavyba ar importu ir baigiant šių išteklių panaudojimu vartotojų įrenginiuose, galima nustatyti optimalią efektyviausių technologijų sudėtį ir kiekvienos energijos išteklių rūšies panaudojimo apimtį Lietuvoje bei jų kaitą nagrinėjamoju laikotarpiu, pagrindžiant ekonominiu, aplinkosaugos, socialiniu ir kitais aspektais.

Tokiai nuodugniai energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo analizei pasitelkiami specializuoti matematiniai modeliai, kurie realizuoti taikant MESSAGE, TIMES ar kitus panašius programinius paketus. Naudojami matematiniai modeliai, atsižvelgiant į sprendžiamus uždavinius, tarpusavyje gali labai smarkiai skirtis. Esminis bendras tokių modelių principas – galimybė visas energetikos technologijas, tiek esamas, tiek naujai diegiamas, betarpiškai įtraukti į energijos tiekimo grandinę, taip suformuojant perteklines energetikos technologijų aibes atskirose energijos tiekimo grandinės segmentuose. Optimizacinio proceso eigoje iš perteklinių technologijų aibių suformuojami pasirinkto kriterijaus atžvilgiu optimalūs technologijų poaibiai, tenkinantys galutinių vartotojų įvairių rūšių energijos poreikius, nepažeidžiant nustatytų reikalavimų (energetinio saugumo, aplinkosaugos, energetikos politikos ir kt.).

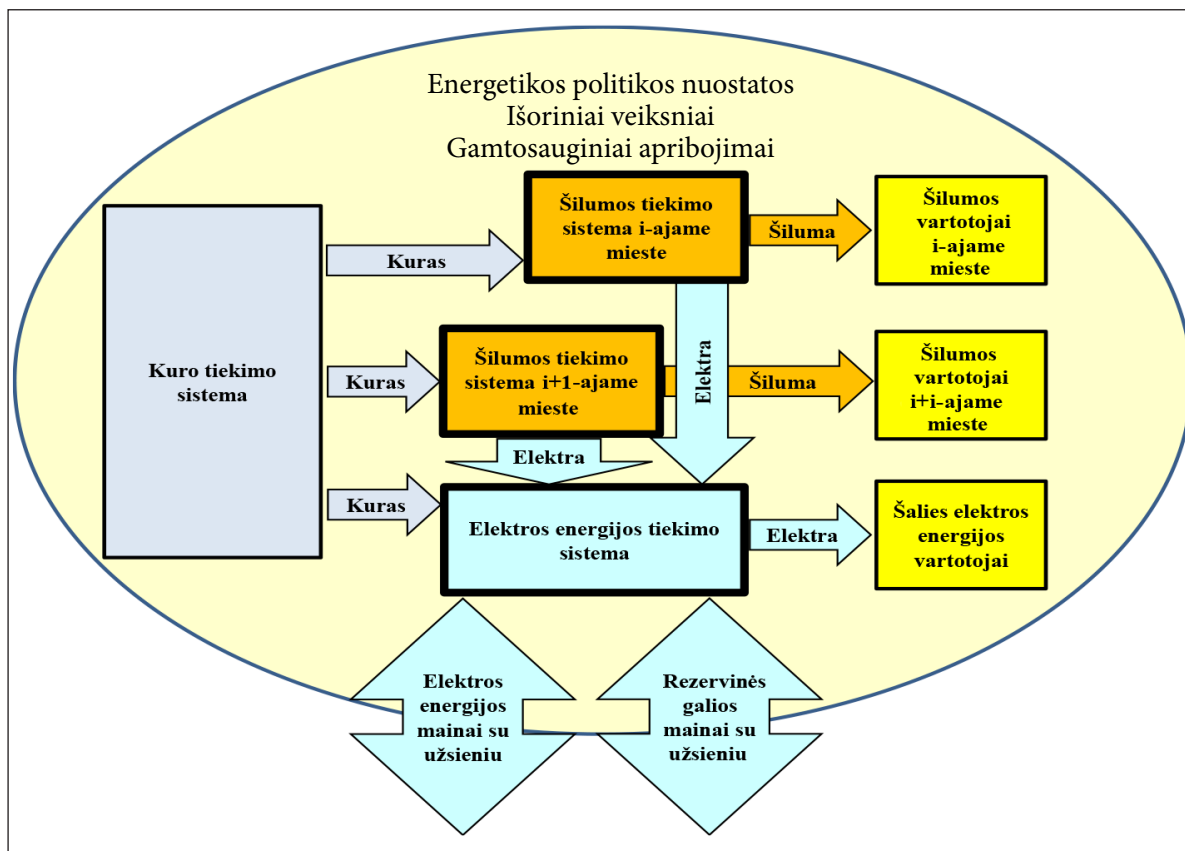
Energetikos sektoriui ar atskiroms energetikos sistemoms planuoti ilgoje laiko perspektyvoje

Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijoje taikomas Tarptautiniame sisteminės analizės institute sukurtas matematinio modeliavimo paketas MESSAGE [15]. Jo pagrindiniai principai, energijos balanso, energijos išteklių gavybos, poreikių tenkinimo, energijos ir galių sąryšio, technologijų skverbimosi į rinką ir kitų modelio lygčių ypatumai bei Lietuvos energetikos institute sukaupta modeliavimo patirtis apibendrinta [2, 16]. Didelės šio modelio galimybės apimties prasme ir jo lankstumas sudaro palankias prielaidas parengti ir taikyti įvairias šio modelio versijas, tinkančias labai plačiam sprendžiamų uždavinių spektrui.

Remiantis ilgamete patirtimi, laboratorijoje suformuota tokiai analizei keliamus reikalavimus atitinkanti energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos ir funkcionavimo analizės matematinio modelio struktūra, kuri suteikia galimybę tyrėjui kompleksiskai modeliuoti atskiras energetikos sistemas, įvertinant esminius vidaus ir išorės ryšius, energetikos politikos nuostatas, aplinkosaugos ribojimus ir kitus išorės veiksnius (1 pav.).

Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijoje pastarąjį dešimtmetį parengta daugiau kaip dešimt matematinių modelių, kuriuose įvairiems uždaviniams spręsti buvo taikytas MESSAGE matematinio modeliavimo programinis paketas. Parengti modeliai buvo taikyti konkrečioms problemoms spręsti, pakankamai adekvačiai aprašė šalies energetikos sektoriaus ar atskirų energetikos sistemų raidą ir funkcionavimą ilgalaikėje perspektyvoje. Tokių modelių apimtys dažnai viršija milijoną lygčių ir panašų skaičių kintamųjų. Net ir galingi kompiuteriai tokius optimizacinius uždavinius gali išspręsti tik per kelias ar kelias dešimtis valandų.

Matematinų modelių atnaujinimą metodiniu požiūriu ir naujų modelių kūrimo poreikį lėmė ambicingi tyrėjų tikslai siekiant: 1) užtikrinti energetikos sektoriaus, atskirų energetikos sistemų ar konkrečių procesų aprašymo adekvatumą, 2) parengti metodologiją, įgalinančią analizuoti ir nustatyti optimalią ateities technologijų integravimo į energetikos sektorių strategiją įvertinant šalies ir atskirų jos regionų specifiką, 3) atlikti nuodugnią šalies energetikos sektoriaus analizę strateginėms raidos ir funkcionavimo kryptims pagrįsti ir sukurti pagrindus ilgalaikio strateginio planavimo sistemai.



1 pav. Energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos ir funkcionavimo analizės matematinio modelio struktūra ir funkciniai ryšiai

Ateities energetikos technologijų integravimas į energetikos sektorių. Naujų energetikos technologijų integravimas į šalies energetikos sektorių reikalauja didelių investicijų tiek pačioms technologijoms įdiegti, tiek su jomis susijusiai infrastruktūrai plėtoti. Dažnai energetikos objektų techninio tarnavimo laikas, kaip ir investicijų atsipirkimo laikotarpis, yra ilgas. Investicijos į energetikos objektus ir technologijas mažina vartojimo galimybes einamuoju laikotarpiu, mažina investicinių lėšų į kitus ūkio sektorius apimtis ir taip keičia dabartinės ir ateities kartų vartojimo galimybes. Energija yra svarbus gamybinis veiksnys, o jos stygius neigiamai veikia šalies ekonomikos augimą. Siekiant korektiškai įvertinti ilgalaikių investicijų, užtikrinančių spartesnę šalies ekonomikos augimą, panaudojimo kryptis, nustatyti energijos išteklių naudojimo apimtis ir atskirų jų rūšių dalį perspektyvinio energijos balanso struktūroje, esamų ir naujų technologijų indėlį, studijoje [17] buvo parengta metodologija energetikos ir ekonomikos tarpusavio sąsajoms įvertinti, modeliuojant energetikos sektoriaus raidą.

Energetikos sektoriaus plėtra turi reikšmingos įtakos prekybai su užsienio šalimis, šalies mokėjimų balansui, gamtinei aplinkai, mokslo tiriamiesiems darbams ir kt. Todėl energetikos sektorius turėtų būti plėtojamas ir naujos technologijos įdiegiamos taip, kad ši plėtra ne tik netrukdytų, bet ir stimuliuotų šalies ekonomikos augimą. Optimaliai tarpusavyje suderinus energetikos ir kitų ekonomikos sektorių veiklą, per ilgą laikotarpį galima pasiekti šalyje maksimalią diskontuotą socialinę gerovę, išreiškiamą lygtimi:

$$F = W = \int_{\tau_1}^{\tau_2} e^{-\rho t} U(D(t)) dt \rightarrow \max, \quad (1)$$

čia: F – skaliarinė tikslo funkcija, W – skaliarinis gerovės matas, U – gerovės funkcija, $D(t)$ – gerovę nusakančių kriterijų (kintamųjų) vektorius, ρ – diskonto norma, τ_1 ir τ_2 – nagrinėjamojo laikotarpio pradžia ir pabaiga. Nagrinėjamas laikotarpis $T = \tau_2 - \tau_1$ turėtų būti pakankamai ilgas (30–50 metų ir ilgesnis), kad būtų galima įvertinti naujų technologijų eksploatavimo efektyvumą, o

vartojimo nebūtų galima laikinai padidinti kapitalo nudėvėjimo sąskaita.

Apskritai socialinė gerovė yra labai plati ir sunkiai išmatuojama sąvoka, o (1) lygtis yra daugiakriterinė tikslo funkcija. Kriterijų pasirinkimas priklauso nuo to, kaip suprantama gerovė ir nemaža dalimi nuo to, kiek jos užtikrinimui, pavyzdžiui, asmeniniam ir visuomeniniam vartojimui, galima skirti lėšų iš šalies bendrojo vidaus produkto.

Atsižvelgiant į galimas energetikos sektoriaus plėtros ir funkcionavimo matematinio modelio apimtis ir jo ryšių su ekonomikos modeliu užtikrinimo būdus, studijoje [17] tokiai analizei skirtą energetikos sektoriaus raidos modelį rekomenduojama formuoti blokiniu principu, turinčiu technologinę ir teritorinę dimensijas. Atskiruose modelio blokuose modeliuojamos pirminės energijos išteklių tiekimo sistemos, šių išteklių konvertavimo į antrinės energijos rūšis sistemos, energijos vartojimo efektyvumo didinimo atskiruose sektoriuose priemonės ir kt. Naudojantis ta pačia modelio duomenų baze, galima generuoti skirtingo agregavimo lygio sistemas, reprezentuojamas atskiruose modelio blokuose. Tai leidžia vieną ar kelias nagrinėjamas sistemas modeliuoti gana išsamiai, o kitos sistemos, kurių raidos analizei skiriama mažiau dėmesio, gali būti reprezentuojamos agreguotai.

Energetikos sektoriaus modeliavimo platesnis poveikis. Energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo ilgalaikėje perspektyvoje analizė susiduria su globalizacijos, rinkų integracijos, neatidėliotinais klimato kaitos švelninimo ir kitais iššūkiais, kurie išplečia bendrą tyrimų aprėptį (2 pav.):

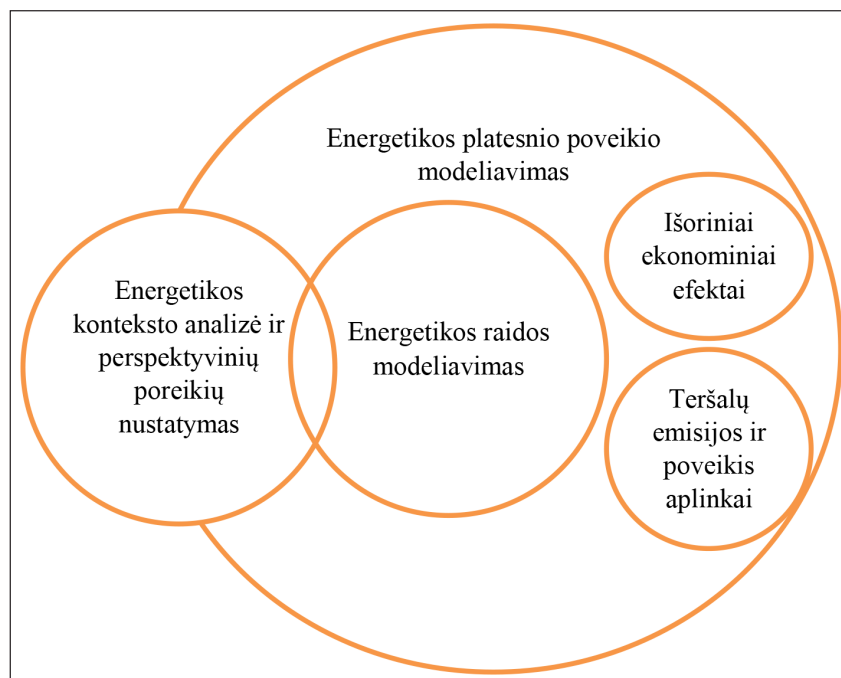
- įvairiapusė energetikos sektoriaus bendro konteksto analizė, įvertinanti geopolitinius aspektus, tikėtinas energijos naudojimo tendencijas, siekius maksimaliai padidinti energijos naudojimo efektyvumą, teisinės aplinkos pokyčius ir pan.;

- energetikos platesnio poveikio tyrimai, akcentuojantys gilesnius energetinio saugumo, energetikos ir ekonomikos sąsajų bei išorinių ekonominių efektų, taip pat ir aplinkosaugos ribojimų tyrimus;

- energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo modeliavimas ir svarbiausius valstybės tikslus bei interesus atitinkančių strategijų formavimas.

Toks energetikos sektoriaus raidos modeliavimo principas pasižymi įvairiapusiškumu, kompleksišku, universalumu ir leidžia nuodugnai analizuoti ir sudaryti prielaidas subalansuotai atskirų šalies energetikos sistemų plėtrai įvertinant jų poveikį šalies ekonomikai.

Energetikos ir ekonomikos sąsajų modeliavimas. Energetikos sektoriaus raida yra susijusi ne



2 pav. Energetikos sektoriaus raidos modeliavimo aprėptis

tik su energijos transformavimo technologijomis, jų elgsena energetikoje ir poveikiu energijos produktų kainoms, bet ir su platesniais efektais, turinčiais įtakos visam šalies ūkiui (3 pav.). Į tokius efektus būtina atsižvelgti tiek nustatant strategines energetikos raidos kryptis, tiek ir formuojant energetikos politiką.

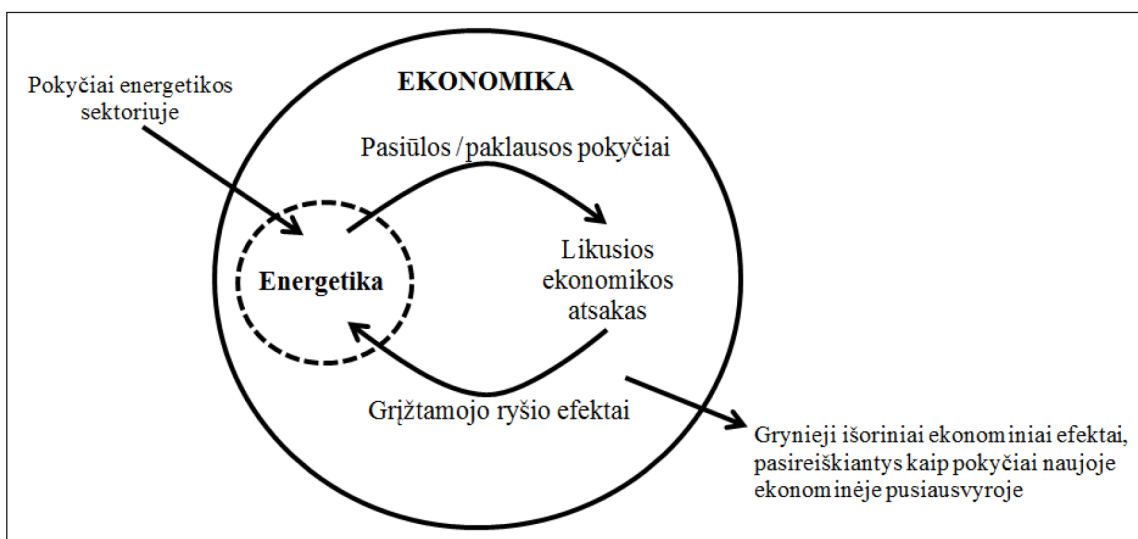
Šie efektai reikšmingai priklauso ir nuo energetikos (generuojančių technologijų, energijos tiekimo infrastruktūros), ir nuo ekonomikos struktūros. Energetikos struktūra lemia, kokie ištekliai yra naudojami energetikoje siekiant pagaminti ir pateikti vartotojams energiją, o ekonomikos struktūra apibūdina energijos naudojimą, tarpsektorinius ryšius ir kitus veiksnius, lemiančius socialinių ir makroekonominių efektų formavimąsi. Šių efektų vertinimas yra gana sudėtingas uždavinys, kurio sprendimą [18] rekomenduojama atlikti pagal 4 pav. pateiktą schemą:

Šiam uždaviniui spręsti pirmą kartą Lietuvoje buvo sukurtas originalus dinaminis bendrosios pusiausvyros modelis. Jis apima 4 energetikos produktus, 19 kitų produktų ir ekonominės veiklos rūšių, įmonių, valdžios ir namų ūkių sektorius bei užsienio prekybą. Modelyje agreguotai atspindima mokesčių sistema ir kitos transakcijos, įskaitant socialinio draudimo įmokas. Išskirtiniai modelio ypatumai – detalai modeliuojamas elektros energijos, centralizuotai tiekiamos šilumos, gamtinių dujų ir biokuro naudojimas ūkio šakoje ir galutinio vartojimo segmentuose; kintamoji

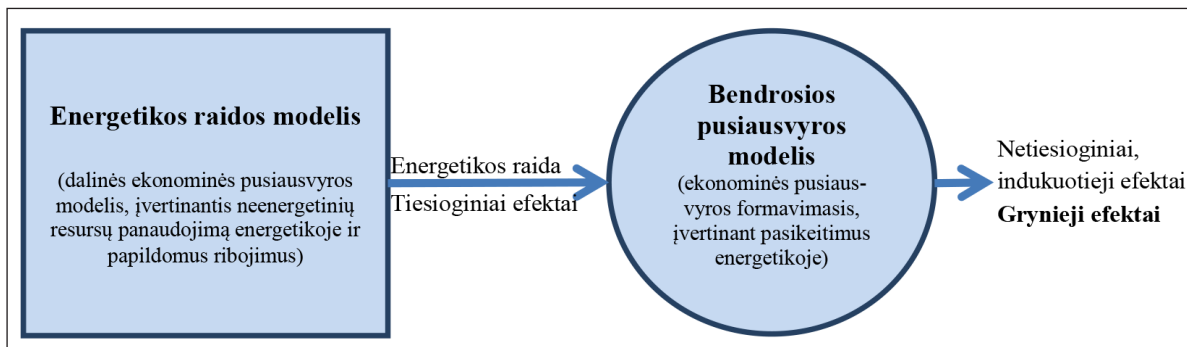
energetikos produktų gamybos dedamoji modeliuojama taikant koeficientus, apibūdinančius energetikos produktų kaštų struktūrą kiekvienais nagrinėjamais metais; itin daug dėmesio skiriama energetikos infrastruktūrai modeliuoti. Praktiniam modelio taikymui sėkmingai pasitarnavo sukurti pradiniai duomenų ir rezultatų apdorojimo įrankiai.

Taikant sukurtąjį modelį įvertintas Lietuvos energetikos raidos scenarijų socialinis ir makroekonominis poveikis laikotarpiu iki 2050 m., apimantis įtaką ūkio šakose sukuriama pridėtinei vertei ir bendrajam vidaus produktui, įvairių rūšių mokesčiams, socialinio draudimo įmokoms ir tarptautinei prekybai [19].

Energetikos sektoriaus poveikio aplinkai vertinimas. Energetikos sektorius neabejotinai turi didelį poveikį aplinkai. Nors Lietuvoje į atmosferą išmetama palyginti nedidelis šiltnamio reiškinių sukeliančių dujų kiekis, šalies indėlis yra svarbus bendriems ES siekiams švelninti klimato kaitos pasekmes ir stabilizuoti šiltnamio dujų koncentraciją atmosferoje taip, kad 2050 m. nebūtų viršyta jų riba, apibrėžiama 550 ppm CO₂ ekvivalento. Pažanga, kurią Lietuva, kaip ir kitos pasaulio šalys, pasiekė įgyvendindama Jungtinių Tautų Bendrąją klimato kaitos konvenciją (JTBKKK) bei Kioto protokolu nustatytus reikalavimus, fiksuojama kiekvienais metais pateikiamose į atmosferą išmetamų šiltnamio dujų apskaitos ataskaitose. Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijos



3 pav. Energetikos išorinių ekonominių efektų formavimasis



4 pav. Energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos išorinių ekonominių efektų vertinimas

ekspertai nuo 2011 m. kasmet rengia nacionalines į atmosferą išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų apskaitos energetikos sektoriuje ataskaitas. JTBBKK sekretoriui pateikiamų duomenų patikimumui ir skaidrumui užtikrinti taikomi nacionaliniai emisijų rodikliai pagal deginamo kuro rūšis energijos gamybos sektoriuje ir kitose ūkio šakose, kurie periodiškai atnaujinami [20].

Sukaupta šiltnamio dujų emisijų apskaitos ir vertinimo patirtis tiesiogiai panaudojama apibrėžiant aplinkosaugos ribojimus, kurie taikomi sprendžiant energetikos sektoriaus raidos optimizavimo uždavinį, taip įvertinant ES klimato kaitos švelninimo tikslų įgyvendinimo galimybes. Kita vertus, Lietuvos galimybės prisidėti prie bendrų klimato švelninimo pastangų, prisiimti ES kiekybiškai nustatytus rodiklius ar spręsti kitas aplinkosaugos problemas turi būti analizuojamos įvertinant specifinius šalies energetikos ir kitų ūkio šakų ypatumus. Tokios analizės svarbą patvirtino studijoje [21] atliktas į atmosferą išmetamų šiltnamio dujų kiekio kitimo iki 2020 m. prognozių ir Lietuvos galimybių sumažinti jų kiekį 20 % vertinimas. Šiuo tikslu buvo atlikta išsami energetikos sektoriaus anglies dioksido emisijų į atmosferą kitimo analizė taikant MESSAGE programinį paketą ir atsižvelgiant į tikėtinus energetikos sektoriaus raidos scenarijus.

Praktinė energetikos plėtros ir funkcionavimo ilgalaikėje perspektyvoje modeliavimo patirtis

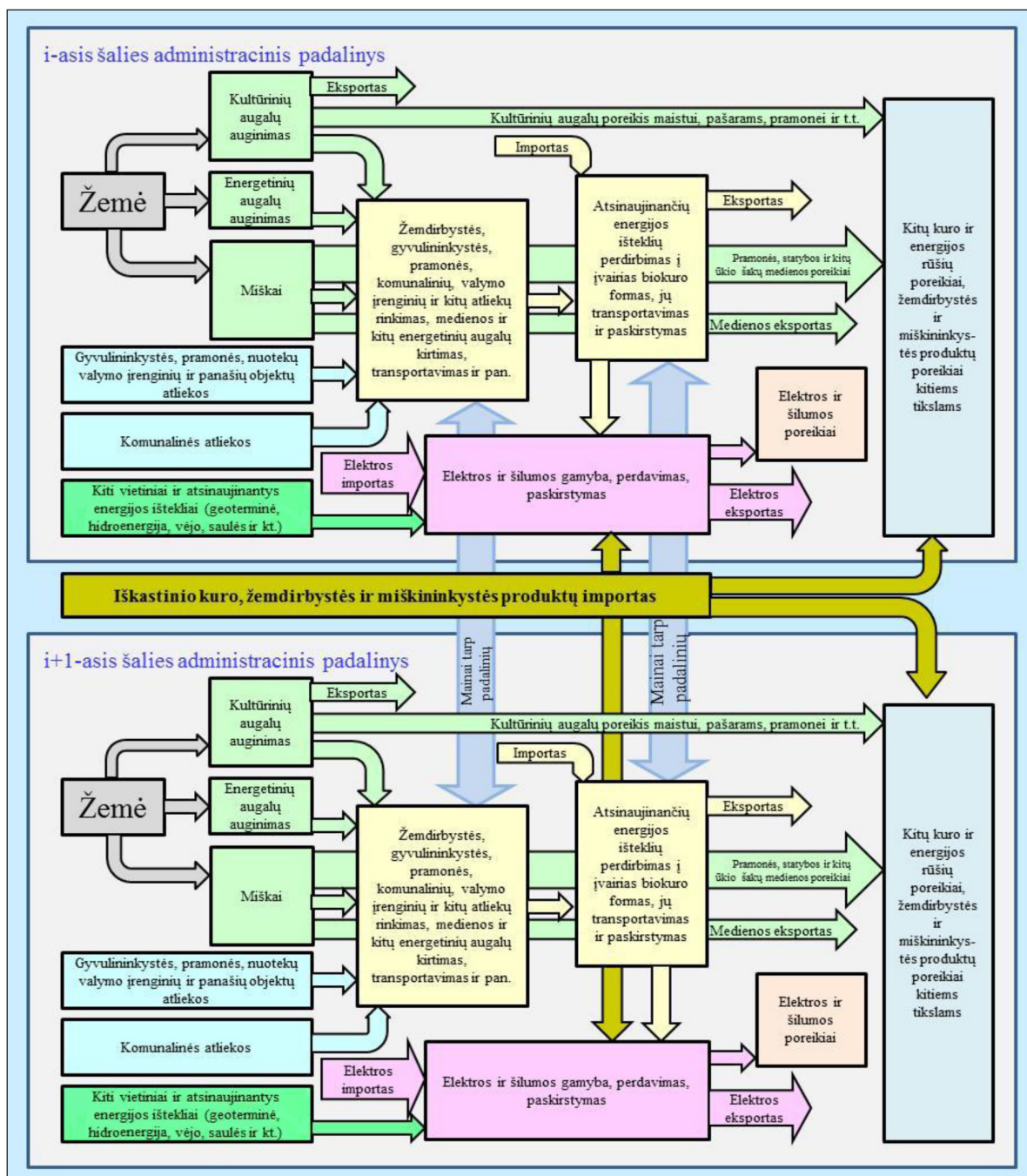
Labai reikšminga studija [22], skirta naujos Visagino atominės elektrinės ribinei bloko galiai įvertinti. Ši studija buvo rengta Lietuvos energetikos instituto Energetikos kompleksinių tyrimų

ir Sistemų valdymo ir automatizavimo laboratorijose, bendradarbiaujant su Kauno technologijos universiteto specialistais. Remiantis bendrojo vidaus produkto pokyčių ir elektros energijos naudojimo tendencijų tarpusavio ryšių Baltijos šalyse ir Lenkijoje analize, studijoje buvo parengta perspektyvinių elektros energijos poreikių ir maksimalių apkrovų Baltijos šalyse prognozė. Siekiant užtikrinti racionalų naujos atominės elektrinės ir visų trijų Baltijos šalių elektros energetikos sistemų darbą, jų raida ir funkcionavimas buvo optimizuojamas bendros sistemų raidos ir eksploatavimo mažiausių kaštų kriterijaus atžvilgiu. Analizė vykdyta taikant MESSAGE programinės įrangos pagrindu parengtą matematinį modelį, kuriame įdiegtas originalus rezervinių galių modeliavimo principas ir kartu išspręsta rezervinių galių išdėstymo atskirose regiono elektrinėse problema. Studijoje nustatyta optimali perspektyvinė Estijos, Latvijos ir Lietuvos elektros energetikos sistemų generuojančių galių struktūra, jų darbo režimai, įvertintos apsirūpinimo reikiamomis rezervinėmis galiomis (pirmine, antrine ir tretine) galimybės, elektros energijos importo-eksporto apimtys laikotarpiu iki 2045 m., įvertinant visus esamus ir būsimus ryšius su kontinentinės Europos, Skandinavijos šalių (Nordel) ir buvusios Sovietų Sąjungos (IPS/UPS) elektros energetikos sistemomis. Studijoje taip pat rekomenduoti Baltijos šalių elektros energetikos sistemų tarpusavio bendradarbiavimo principai, kurie gali būti reikšmingi siekiant užtikrinti reikiamas rezervines atsargas ir patikimą bei stabilų elektros energetikos sistemų darbą.

MESSAGE modelio lankstumo ir matematinės įrangos galimybės buvo sumaniai panaudotos

studijoje [23], kurioje išsamus atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo galimybių įvertinimas glaudžiai susietas su atskirų šalies administracinių regionų ypatumais. Šalies energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos ir funkcionavimo matematinio modelio dalies, atskleidžiančios atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo galimybių modeliavimo principus,

blokinė schema parodyta 5 pav. Atsinaujinančių energijos išteklių platesnio naudojimo galimybės pagrįstos nuoseklia visų galimų energijos srautų analize, pradedant nuo realiai galimų šalies išteklių išgavimo, įskaitant racionalų žemės naudmenų panaudojimą maistinių, pašarinių ir energetinių augalų bei miškų auginimui, ir baigiant atskirų energijos rūšių, gautų iš šių



5 pav. Energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos ir funkcionavimo matematinio modelio dalies, reprezentuojančios atsinaujinančių energijos išteklių tiekimą, schema

išteklių, panaudojimu visuomenės poreikiams tenkinti. Be to, kompleksiskai buvo analizuojami visi vietiniai ir importuojami (ir galimi importuoti) energetinėms ir neenergetinėms reikmėms naudojami neatsinaujinantys energijos ištekliai. Studijoje nustatyta, kaip galima racionaliai patenkinti energijos vartotojų poreikius mažiausiomis suminėmis sąnaudomis, atsižvelgiant į Lietuvos atsinaujinančių energijos išteklių potencialą, žemės ūkio ir miškininkystės galimybes, įsipareigojimus ES bei energetikos sektoriaus raidos strateginius tikslus.

Atskirų energijos išteklių panaudojimo apimtys ir ekonominis tikslingumas yra glaudžiai susiję su panaudojimo galimybėmis bei technologijų efektyvumu. Todėl studijoje [23] buvo išsamiai analizuojami visi galimi energijos ištekliai, pradedant jų gavyba ar importu, gamtinių išteklių perdirbimu ir transformavimu į vartotojui tinkamas energijos rūšis, baigiant jų transportavimu iki vartotojų ir galutiniu panaudojimu. Sukurtas optimizacinis modelis parengtas orientuoto tinklinio grafo, kurio šakos parodo galimas technologijas ar procesus, o mazgai – atskiras energijos ar kitų produktų formas, pagrindu. Optimizacinis modelis realizuotas taikant MESSAGE programinį paketą. Parengtas matematinis modelis suteikė galimybę kompleksiskai analizuoti per 60 skirtingų energijos rūšių ar produktų ir beveik 8 000 technologijų bei procesų, o racionalaus energijos išteklių panaudojimo galimybės buvo analizuojamos įvertinant atskirų savivaldybių specifinius ypatumus. Taikant šį modelį galima nustatyti efektyvias diegtinas technologijas ir kiekvienos energijos išteklių rūšies panaudojimo apimtis tiek Lietuvoje, tiek ir atskirose savivaldybėse, jas pagrindžiant ekonominiu, aplinkosaugos, socialiniu ir kitais aspektais.

Pagal sutartį su LR Vyriausybės kanceliarija 2014 m. parengta studija [13], kurios sudedamoji dalis buvo tyrimas dėl didelio naudingumo termofikacijos plėtros ir centralizuotai tiekiamos šilumos sektoriaus raidos galimybių. Vykdamas šiuos tyrimus, centralizuoto šilumos tiekimo sistema buvo nagrinėjama kaip sudėtinė ir neatskiriama vieningo energetikos sektoriaus dalis, technologiniais ir energijos srautų ryšiais glaudžiai susijusi su elektros energetikos sistema, kuro tiekimo (ypač gamtinių dujų) ir kito-

mis sistemomis. Centralizuoto šilumos tiekimo sistemų perspektyvinė raida ir funkcionavimas nagrinėtas taikant šiam tikslui parengtą matematinį modelį. Modeliavimas suteikė galimybę nustatyti tolesnės biokuro panaudojimo ir termofikacinių elektrinių plėtros tikslingumą šilumos ir elektros energijos gamybai didžiuosiuose miestuose ir šalies energetiniam saugumui, numatyti šilumos ir elektros energijos gamybos termofikacinėse elektrinėse, sunaudojamo kuro ir reikiamų investicijų apimtis. Atlikus analizę buvo pateikti pasiūlymai Nacionalinei šilumos ūkio plėtros 2014–2020 m. programai. Galutinėje darbo ataskaitoje LR Vyriausybės kanceliarijai pateikta: šalies geopolitinės aplinkos analizė; energetikos strateginiai tikslai; ekonomikos raidos scenarijai ir su ekonomikos augimu susieti elektros energijos, centralizuotai tiekiamos šilumos ir tiesiogiai ūkio šakose sunaudojamo kuro perspektyviniai poreikiai; kuro kainų prognozės; energetikos sektoriaus esamos būklės analizė; jo raidos ir funkcionavimo ilgalaikėje perspektyvoje modeliavimo koncepcija; elektros energetikos sistemos ir centralizuoto šilumos tiekimo sistemų plėtros kryptys; generuojančių galių, elektros ir šilumos gamybos bei sunaudojamo kuro struktūros kaitos dinamika; investicijų apimtys; teršalų išmetimai; ES paramos skirstymo principai ir racionalios paramos apimtys atskirioms technologijoms. Nuodugni ir įvairiapusė Lietuvos energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo scenarijų analizė ir optimizacinių skaičiavimo rezultatų apibendrinimas buvo svarbus etapas atnaujintai šalies Nacionalinės energetikos strategijai parengti.

Siekiant atnaujinti 2012 m. patvirtintą Nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategiją, 2015 m. LR Energetikos ministerijos užsakymu parengta studija [14], kurioje Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijos ekspertai suformulavo naują energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo analizės koncepciją, atliko išsamią energetikos sektoriaus raidos laikotarpiu iki 2050 m. analizę, įvertindami esminius pokyčius integracijos į ES energetikos sistemas aspektu (pradėtos eksploatuoti naujos jungtys LitPol Link ir NordBalt, veikia suskystintų ir gamtinių dujų terminalas, sustiprinta dujų tiekimo sistemos infrastruktūra ir kt.), naujas ES energetikos politikos nuostatas, aplinkosaugos ribojimus

ir kitus reikšmingus vidaus ir išorės veiksnius. Atlikti tyrimai leido įvertinti realias Lietuvos galimybes prisidėti prie Konkurencingos mažo anglies dioksido kiekio technologijų ekonomikos sukūrimo iki 2050 m. plane ir Europos Komisijos komunikate „2020–2030 m. klimato ir energetikos politikos strategija“ nustatytų tikslų įgyvendinimo, optimaliai plėtojant elektros energetikos ir centralizuotai tiekiamos šilumos sistemas, racionaliai panaudojant atsinaujinančių energijos išteklių plėtros galimybes, gerokai padidinant energijos vartojimo efektyvumą. Remiantis matematinio modeliavimo rezultatų analize, nustatytos Lietuvos energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos kryptys, racionalūs energetikos sektoriaus plėtros ilgalaikėje perspektyvoje scenarijai ir apibendrinti pagrindiniai energetikos raidą apibūdinantys rodikliai. Šios studijos rezultatai, išsamiai juos išdiskutavus su energetikos ekspertais, asociacijomis, politikais ir visuomene, taps LR Vyriausybei tinkamu pagrindu pagrįsti esmines šalies energetikos raidos strategines nuostatas ir teikti LR Seimui tvirtinti atnaujintą Nacionalinės energetikos strategijos projektą, kuriame apibrėžtos pagrindinės valstybės nuostatos dėl energetikos sektoriaus raidos laikotarpiu iki 2030 m. ir gairės iki 2050 m. Šios nuostatos ir kryptys pagrįstos ekonomiško, energetinio saugumo, energetikos poveikio šalies ekonomikai analize, aplinkosaugos ir valdymo tobulinimo aspektais, visapusiškai jas derinant su valstybės poreikiais ir naujausiais tarptautiniais reikalavimais.

Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijoje sukaupia ilgametę atliekamų energetikos sektoriaus raidos, taikant modernius perspektyvinio planavimo metodus ir kuriant naujus matematinius modelius, patirtis gali reikšmingai pasitarnauti Nacionalinės energetikos strategijos projekte numatyto energetikos kompetencijos centro ir ilgalaikio strateginio planavimo sistemos sukūrimui. Nuosekli ir lanksti Lietuvos energetikos sektoriaus kompleksinės analizės ir strateginio planavimo sistema, apimanti reikiamas valstybės institucijas, mokslo organizacijas, energetikos įmones ar asociacijas ir visuomenės institucijas, sukurtą pagrindą objektyviam, operatyviam ir veiksmingam atsakui į energetikos srityje kylančius naujus iššūkius suformuoti. Nuolatinė stebėseną, atnaujinami matematiniai

modeliai, reikiamų duomenų bazė ir profesionalūs tyrimai leistų sumažinti valstybės išlaidas, skiriamas atskiroms energetikos problemoms spręsti, užtikrintų energetikos politikos tęstinumą, padidintų siūlomų sprendimų objektyvumą ir pagrįstumą.

IŠVADOS

1. Esminiai mokslinių tyrimų energetikos strateginio planavimo srityje elementai yra bendro energetikos konteksto analizė ir perspektyvinių energijos poreikių nustatymas, energetikos sektoriaus raidos ir funkcionavimo modeliavimas bei platesnio energetikos poveikio vertinimas. Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijoje sukaupia ilgametę patirtis leidžia kokybiškai nagrinėti šiuos aspektus ir pasiūlyti racionalias rekomendacijas sprendimų priėmėjams.

2. Energetikos konteksto analizė apima aplinką, kurioje veikia energetika, pradedant nuo persipynusių ryšių su kitomis ūkio šakomis ir baigiant globalia aplinka bei vis daugiau reikšmės įgyjančiais geopolitiniais veiksniais, kuro kainų kaita, energijos naudojimo tendencijas lemiančių veiksnių analize ir perspektyvinių energijos poreikių prognozėmis, aplinkosaugos ribojimais, energetikos politikos nuostatomis ir pan.

3. Per pastarąjį dešimtmetį laboratorijoje atlikti energetikos sektoriaus, atskirų energetikos sistemų raidos ir funkcionavimo modeliavimo tyrimai buvo skirti reiškinų aprašymo adekvatumui didinti ir pasižymėjo orientacija į praktinių mokslinių tyrimų pritaikomumą. Sukurta savita energetikos funkcionavimo ir raidos matematinio modeliavimo mokykla, išsiskirianti maksimaliai realistišku energetikoje vykstančių procesų atspindėjimu matematinuose energetikos planavimo modeliuose. Tai yra itin svarbu atsižvelgiant į pastaruoju metu pasaulyje vykstančias energetikos transformacijas (paskirtosios generacijos plėtra, sumanieji tinklai, energijos akumuliacijos vartotojų įrenginiuose ir pan.) ir sudaro prielaidas pakankamai adekvačiam naujų tendencijų bei technologinių sprendimų atspindėjimui matematinuose modeliuose.

4. Platesnio energetikos poveikio tyrimai laboratorijoje buvo nukreipti į energetikos poveikį gamtinei ir ekonominei aplinkai – veiksnius,

kurie turi įtakos ir pačios energetikos raidai. Sukurtas Lietuvos dinaminis bendrosios ekonominės pusiausvyros modelis leidžia kompleksiskai analizuoti energetikos raidos poveikį įvairiems socialiniams ir ekonominiams rodikliams. Šis modelis gali būti sėkmingai pritaikytas ne tik energetikos, bet ir kitų ūkio šakų platesnio poveikio tyrimams.

5. Sukaupta ilgametė atliekamų energetikos sektoriaus raidos taikant modernius perspektyvinio planavimo metodus ir kuriant naujus matematinis modelius patirtis gali reikšmingai pasitarnauti Nacionalinės energetikos strategijos projekte numatyto energetikos kompetencijos centro ir ilgalaikio strateginio planavimo sistemai sukurti. Nuosekli ir lanksti Lietuvos energetikos sektoriaus kompleksinės analizės ir strateginio planavimo sistema sukurtų pagrindą objektyviam, operatyviam ir veiksmingam atsakui į energetikos srityje kylančius naujus iššūkius suformuoti.

Gauta 2016 06 30
Priimta 2016 09 30

Literatūra

1. Miškinis V., Galinis A. Lietuvos nacionalinės energetikos strategijos gairės. *Energetika*. 2006. Nr. 3. P. 24–32.
2. Miškinis V., Galinis A., Vilemas J. Tyrimai energetikos sistemų optimizavimo srityje ir Nacionalinės energetikos strategijos evoliucija. *Lietuvos mokslas, 61 knyga, Lietuvos energetikos institutas – 50*. 2006. Vilnius. P. 70–106.
3. Miškinis V., Galinis A., Konstantinavičiūtė I. Challenges and options for development of the Lithuanian energy sector. *International Journal of Global Energy Issues*. 2010. Vol. 34. Iss. 1. P. 91–111.
4. Miškinis V. Energy demand forecasting in economies in transition. *Energy Studies Review*. 2002. Vol. 10. No. 2. P. 100–120.
5. Miškinis V., Konstantinavičiūtė I., Ušpuras E., Kaliačka A., Kopustinskis V. Neapibrėžtumo analizės taikymas energetikos ekonomikos vienmačių modelių uždaviniams. *Energetika*. 2006. Nr. 2. P. 1–9.
6. Miškinis V., Vilemas J., Konstantinavičiūtė I. Analysis of energy consumption and energy intensity indicators in Central and Eastern European countries. *Energy Studies Review*. 2006. Vol. 14. No. 2. P. 171–188.
7. Miškinis V., Baublys J., Konstantinavičiūtė I., Lekavičius V. Aspirations for sustainability and global energy development trends. *Journal of Security and Sustainability Issues*. 2014. Vol. 3(4). P. 17–26.
8. Miškinis V., Galinis A., Konstantinavičiūtė I., Lekavičius V. Energijos vartojimo Lietuvoje ir ES šalyse tendencijos. *Energetika*. 2014. T. 60. Nr. 2. P. 96–112.
9. Miškinis V., Baublys J., Konstantinavičiūtė I., Lekavičius V. Energy efficiency as precondition of energy security. *Journal of Security and Sustainability Issues*. 2015. Vol. 4. No. 3. P. 197–208.
10. Europos Parlamentas ir Europos Sąjungos Taryba (2009). Direktyva dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją, iš dalies keičianti bei vėliau panaikinanti Direktyvas 2001/77/EB ir 2003/30/EB, (2009/28/EB), L 140/16.
11. Europos Parlamentas ir Europos Sąjungos Taryba (2012). Direktyva dėl energijos vartojimo efektyvumo, kuria iš dalies keičiamos direktyvos 2009/125/EB ir 2010/30/ES bei kuria panaikinamos direktyvos 2004/8/EB ir 2006/32/EB, (2012/27/EB). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0027&from=LT>
12. Konkurencingos mažo anglies dioksido kiekio technologijų ekonomikos sukūrimo iki 2050 m. planas. Briuselis, 2011. http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm
13. Lietuvos energetikos sektoriaus perspektyvinės plėtros analizė atsižvelgiant į ES strategines iniciatyvas energetikos srityje: galutinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2014 (vadovas A. Galinis).
14. Lietuvos energetikos sektoriaus plėtros tyrimas: galutinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2015 (vadovas A. Galinis).
15. *Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact (MESSAGE)*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003. 246 p.
16. Galinis A., Miškinis V., Vilemas J., Tarvydas D. Analyses of energy supply options and security of energy supply in the Baltic States. *IAEA Technical Documents*, Vienna, 2007. 324 p.

17. *Ateities technologijų optimalaus integravimo į energetikos sektorių metodologijos sukūrimas*: galutinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2012 (vadovas A. Galinis).
18. *Energetikos sektoriaus raidos išoriniai ekonominiai efektai: kiekybinis vertinimas*: tarpinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2015 (vadovas A. Galinis).
19. *Energetikos raidos scenarijų socialinio ir makroekonominio poveikio vertinimas*: galutinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2015 (vadovas V. Lekavičius).
20. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų nacionalinių emisijų rodiklių energetikos sektoriuje atnaujinimas: galutinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2016 (vadovė I. Konstantinavičiūtė).
21. *Išmetamų į atmosferą šiltnamio dujų kiekio kiti- mo iki 2020 m. prognozių ir Lietuvos galimybių, įgyvendinant prisiimtus įsipareigojimus 20 proc. sumažinti šiltnamio dujų kiekį iki 2020 m., įvertinimo ir pasiūlymų parengimas*: galutinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2007 (vadovas V. Miškinis).
22. *Didžiausios vienetinės galios Lietuvos elektros energetikos sistemoje galimybių tyrimas*: galutinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2009 (vadovai A. Galinis, V. Radziukynas).
23. Šalies savivaldybėse esamų atsinaujinančių ener- gijos išteklių (biokuro, hidroenergijos, saulės energijos, geoterminės energijos) ir komunalinių atliekų panaudojimas energijai gaminti: galutinė ataskaita. Lietuvos energetikos institutas, 2009 (vadovas A. Galinis).

Vaclovas Miškinis, Arvydas Galinis,
Inga Konstantinavičiūtė, Vidas Lekavičius,
Dalius Tarvydas

MATHEMATICAL MODELLING AS THE FOUNDATION FOR THE STRATEGIC ENERGY PLANNING

Summary

A comprehensive analysis of the final energy consumption trends, preparation of energy demand forecasts and application of modern energy planning methods and mathematical models are very important stages of energy research directed to the preparation of studies on future development and operation of the energy sector and strategic energy policy documents as well as for the justification of rational energy development provisions. The aim of this paper is to summarise experience of the Laboratory of Energy Systems Research on energy planning, to present some findings from the major studies on long-term development and operation of the energy sector and separate energy systems and to discuss the role of mathematical modelling tools focused on the creation of the strategic energy planning system taking into consideration a necessity to meet ambitious goals of the EU on the deployment of renewable energy sources and requirements of climate mitigation policy, to react to global challenges.

Keywords: mathematical modelling, energy sector development, strategic energy planning, final energy, energy demand forecasting, energy policy