

# Energijos tiekimo saugumo vertinimo metodų analizė

Juozas Augutis<sup>1,2</sup>,

Vaida Matuzienė<sup>1</sup>,

Ričardas Krikštolaitis<sup>1,2</sup>,

Sigita Pečiulytė<sup>2</sup>,

Egidijus Norvaiša<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lietuvos energetikos institutas,  
Branduolinių įrenginių saugos  
laboratorija, Breslaujos g. 3,  
LT-44403 Kaunas

<sup>2</sup> Vytauto Didžiojo universitetas,  
Matematikos ir statistikos katedra,  
Vileikos g. 8, LT-44404 Kaunas

<sup>3</sup> Lietuvos energetikos institutas,  
Energetikos kompleksinių tyrimų  
laboratorija, Breslaujos g. 3,  
LT-44403 Kaunas

El. paštas: juozas@mail.lei.lt;  
vaida@mail.lei.lt; ricardas@mail.lei.lt;  
s.peciulyte@if.vdu.lt; norvaisa@mail.lei.lt

Energijos tiekimo saugumo užtikrinimas – prioritetinis energetikos ūkio, visos ekonomikos funkcionavimo klausimas, nacionalinio saugumo dalis. Egzistuoja skirtingas energetinio saugumo sąvokos supratimas. Nėra skelbiamos visaapimančios energijos tiekimo saugumo metodologijos, kurios pagalba moksliniais metodais būtų galima įvertinti energijos tiekimo saugumą.

Šiame straipsnyje analizuojamos dalinės ir bendros energijos tiekimo saugumo įvertinimo metodologijos, apimančios energijos tiekimo trikdžių scenarijų analizę, ekonominį bei patikimumo modeliavimą, pasekmių scenarijų analizę ir vertinimą tiek naudojant ekspertinius, tiek statistikos duomenis. Šio straipsnio tikslas – apžvelgti naudojamas energetinio saugumo metodologijas, išanalizuoti jų privalumus ir trūkumus, suformuluoti bendresnius energetinio saugumo vertinimo principus, pateiktų grėsmių ir trikdžių modelius, saugumo indikatorius bei galimų pasekmių vertinimo skalę.

Lietuvos energetikos institute kartu su partneriais iš Europos Jungtinio tyrimų centro (JRC) ir Septintosios bendrosios programos projekto *Energijos tiekimo saugumas atsižvelgiant į neapibrėžtumus, rizikas ir ekonominius poveikius (Security of Energy Considering Its Uncertainty, Risk and Economic Implications, SECURE)* yra kuriama apibendrinta energetinio saugumo vertinimo metodologija ir šiuo straipsniu yra pradedamas jos pristatymas.

**Raktažodžiai:** energijos tiekimo saugumas, energetinio saugumo vertinimo metodologija, saugumo matas, trikdžių analizė, pasekmių analizė

## 1. ĮVADAS

Pakankamas energijos tiekimo saugumo lygis yra gyvybiškai svarbus modernios ekonomikos funkcionavimui, nes pramonės veiklos užtikrinimui, gyventojų poreikiams patenkinti reikalingas patikimas energijos tiekimas. Energijos tiekimo saugumo užtikrinimas yra vienas svarbiausių šalies energetikos prioritetų, nes tai yra ir sudedamoji nacionalinio saugumo dalis [1]. Daug dėmesio šiam klausimui skiria Europos Sąjunga (ES), stabilaus energijos tiekimo užtikrinimas aljanso narėms yra strateginis Šiaurės Atlanto Sutarties Organizacijos (NATO) uždavinys.

Padidėjusį energetinio saugumo aktualumą lemia keli veiksniai. Visų pirma tai padidėjusi konkurencija dėl Rusijos energetinių išteklių pirkimo ir pačios Rusijos vykdoma politika, kurioje energetika naudojama kaip vienas pagrindinių svėrų jos tikslams pasiekti, taip pat kainų kilimas bei energijos vartojimo didėjimas. Lietuvos energetikai ir jos saugumui grėsmingas bendros ES energetikos politikos nebuvimas, energijos išteklių tiekimo alternatyvų stoka, atskirų regionų energetinė atskirtis ir būtinų integracinių jungčių trūkumas, ypač Baltijos šalių regione [2].

Reikia pažymėti, kad energijos tiekimo saugumo sąvoka įvairiuose šaltiniuose šiuo metu traktuojama gana skirtingai. Dažniausiai energetinis saugumas suprantamas kaip siekis užtikrinti atskirų energijos vartotojų energetinius poreikius, apsaugoti visuomenės ir valstybės ekonominius interesus nuo vidinių ir išorinių grėsmių. Manoma, kad šiai problemai spręsti reikia turėti kuo daugiau skirtingų energijos tiekimo galimybių iš skirtingų šalių tikintis, kad sutrikus energijos žaliavų tiekimui iš vienos šalies, bus galima kompensuoti šį trūkumą kitos šalies energijos išteklių sąskaita. Didžiausia energetinio saugumo grėsmė Lietuvai nurodoma labai stipri jos energetinių išteklių priklausomybė nuo vieno tiekėjo. Toks energijos tiekimo saugumo suvokimas iš esmės yra teisingas, tačiau apima tik vieną šios problemos dalį – grėsmes ir trikdžius. Analizuojant šalies energetinį saugumą būtina įvertinti ir tokių trikdžių pasekmes šalies energetikai, ekonomikai, socialiniam ir politiniam stabilumui. Tik įvertinus visas pasekmes galima nagrinėti ir optimizuoti bei priimti teisingus, ekonomiškai, politiškai ir techniškai pagrįstus sprendimus.

Tarptautinė energijos agentūra energetinį saugumą apibūdina kaip patikimą galimybę gauti reikiamą energijos kiekį priimtinais kainomis. Pasaulio energetikos tarybos apibrėžimas

energetiniam saugumui: tai piliečių, visuomenės, ekonomikos ir valstybės apsauga nuo grėsmių, kylančių patikimam kuro ir energijos tiekimui. Kembridžo energetikos tyrimų asociacija [3] apibrėžia, kad energetinio saugumo tikslas yra užsitikrinti patikimą energijos išteklių tiekimą prieinamomis kainomis nekenkiant svarbiausioms nacionalinėms vertybėms ir tikslams. Europos Komisijos išleistoje Žaliojoje knygoje energetinis saugumas apibrėžiamas [3] kaip šalies energetinė nepriklausomybė ir galimybė dalyvauti energijos rinkose, bendra išorinės energetikos politika. Paminėti energijos tiekimo saugumo apibrėžimai akcentuoja su energijos išteklių tiekimu susijusius nacionalinius interesus.

Apibendrintai galima sakyti, kad energijos tiekimo saugumas yra kompleksinė mokslinių tyrimų sritis, grindžiama energetikos raidos dėsningumų tyrimais, geopolitinės situacijos analize, ekonominių procesų modeliavimu, energetinių sistemų patikimumo ir atsparumo energijos tiekimo trikdžiams analize, statistiniu ir ekspertiniu avarinių situacijų ir sutrikimų energetinėje sistemoje tyrimu, rizikos analize, energijos tiekimo sutrikimų, techninių, socialinių, politinių ir kitų pasekmių vertinimu. Pagrindinė energijos tiekimo saugumo tyrimų užduotis yra įvertinti šalies ar regiono energetikos objektų patikimumą bei riziką, pateikti avarijų, energijos tiekimo sutrikimų, naujų energijos šaltinių įvedimo į sistemą, ekonominių blokadų, kainų krizių, terorizmo ir kitų energetikos trikdžių scenarijų tikimybinis įverčius ir matematinius modelius. Tyrimo pagal tokią metodiką rezultatas yra energetikos saugumo lygio indikatorių reikšmės kiekvienam energijos tiekimo sutrikimui, jų pasekmių analizė, saugos užtikrinimo veiksnių ekonominis ir techninis optimizavimas bei rezultatų neapibrėžtumo analizė.

## 2. ENERGIJOS TIEKIMO SAUGUMO ANALIZĖS METODŲ APŽVALGA

Moksliniais principais pagrįstą energetikos saugumo analizę 1975 m. pirmieji pradėjo kurti JAV mokslininkai [5] po to, kai Amerikoje buvo susirūpinta padidėjusiu energijos vartojimu ir ypač dideliu importuojamos naftos kiekiu. Importuojamos naftos poreikio sumažinimui federalinė vyriausybė nutarė įvertinti energetikos tiekimo saugumą ir išanalizuoti jo padidinimo galimybes. Viena pagrindinių nagrinėtų alternatyvų buvo sintetinio kuro gamyba. Jungtinės mokslininkų pajėgos, sutelktos Stanfordo universitete (JAV), pradėjo kurti metodus ir programinę įrangą energetikos saugumo įvertinimui. Sukurtas SRI-Gulf modelis, pagrįstas tikimybiniais sprendimų medžiais, sudarė galimybes išanalizuoti ir palyginti daugybę scenarijų, įvertinant jų tikimybes ir pasekmes energetikai. Beje, analizė parodė, kad pakeisti naftos produktus sintetiniu kuru tuo metu buvo netikslinga.

Japonijos energetinio saugumo politikos pradžios ir tyrimų aktualumo šioje srityje [6] priežastys buvo menki iškastinio kuro išteklių, o naftos, anglių ir kt. energijos šaltinių valdymas buvo galimas tik užkariaujant ir paverčiant kolonijomis energetinių išteklių turtingas šalis. Po Antrojo pasaulinio karo Japonijos ekonomika buvo sutelkta anglių gamybai atstatyti ir modernizuoti, jos ekonomika išaugo kelis kartus ir tapo nepriklausoma nuo JAV ir kt. šalių anglies pramonės. 1978 m. įvykusi Irano revoliucija sumažino naftos tiekimą Japonijai. Tuomet Japonija ėmė keisti energetikos politiką, sutelkdama dėmesį gamtinėms dujoms ir branduoliniam kurui, taip pat energetikos efektyvumui, privačių

ir valstybinių naftos saugyklų statymui. A. Tanaka 1997 m. pateikė 5 saugumo politikos principus: kaštų padalijimas; kaštų minimizavimas; platus panaudojimas (tikslingumas); lankstumas; negrįžtamumo tikimybė. Kartu su Masačusetso technologijos institutu buvo išanalizuoti tokie energetinio saugumo klausimai, kaip pažeidžiamumo dėl užsienio grėsmių ar spaudimo sumažinimas, tiekimo krizių prevencija, ekonominių ir karinių krizių įtakos energijos tiekimui minimizavimas ir kt. [6].

Pastarųjų metų literatūroje paaštrėjus energetinio saugumo klausimams vis dažniau aptinkamas geopolitinis energijos tiekimo saugumo vertinimas. A. Molio, T. Jakeliūno, E. Motiekos darbuose gana detaliai sudaryti tikėtiniausi energijos tiekimo scenarijai, išanalizuoti veiksniai, galintys turėti įtakos energetiniam ir geoenergetiniam saugumui, bei įvardyti būdai ir prevencinės priemonės, kuriomis Lietuvos saugumas gali būti didinamas [7–9].

Energetiniam saugumui įvertinti naudojami įvairūs rodikliai. Europos Komisijos Žaliojoje knygoje [3] energijos tiekimo grėsmės suskirstytos į 4 grupes: fizinė rizika – laikini ar nuolatiniai fiziniai energijos tiekimo nutraukimai; ekonominė rizika – nereguliarūs energijos kainų svyravimai, sukelti galimus ekonominius nuosmukius; socialinė rizika – pašaliniai efektai, lemiami sukelti energijos netiekimo (nedarbas, energijos trūkumas); aplinkosaugos rizika – tiek trumpo (atsitiktiniai atsijungimai, avarijos ir t. t.), tiek ilgo laikotarpio (oro užterštumas, klimato pasikeitimas) energijos grandinės nepalankūs poveikis aplinkai. Literatūroje dabar galima rasti įvairių energijos tiekimo saugumo indikatorių, kurie laikomi matu energetiniam saugumui įvertinti. Pasaulio energetikos taryba pasiūlė energijos grėsmių indikatorių rinkinį: 5 indikatoriai ir sintetinis rodiklis, iš esmės paremtą Gnansonou darbu [10]. ECN ir Clingendael institutas Olandijoje pasiūlė 2 indikatorių sistemas, kurių viena paremta energijos tiekimo saugumo krizės sušvelninimo galimybės indikatoriais, o kita – pasiūlos–paklausos indikatoriais [11]. Jungtinės Karalystės pagrindiniai energetikos sektoriaus indikatoriai [12] apima energijos tiekimo patikimumą. Moldavų mokslininkė V. Bykova pateikė 7 blokų indikatorių sistemą [13], kurie gana išsamiai nuskaido energijos tiekimo ekonominę pusę. Darbe taip pat pasiūlytas ne tik ekspertinis, bet ir tarpusavio sąryšių metodas indikatorių reikšmėms įvertinti. Pagal šį metodą susiejami makroekonominiai rodikliai, tokie kaip BVP, ir energetikos indikatoriai, todėl vertinant energetinį saugumą išlieka glaudus viso šalies ūkio ir energetikos ryšys. Suomijos mokslininkai indikatoriais energetinį saugumą vertino per skirtingų infrastruktūrų tarpusavio priklausomybių ir grėsmių analizę [14]. Jie nustatė, kad tarptautinė prekyba energijos išteklių, tiekėjų diversifikacija, patobulinti tarpusisteminiai ryšiai, integruotos rinkos, patobulintos saugyklos taip pat yra patikimas, efektyvus ir ekonomiškai kelias energetinei nepriklausomybei užtikrinti. Šios dienos procesai akivaizdžiai rodo visuotinę tendenciją – energetikos internacionalizaciją, platumą regioninį bendradarbiavimą ir veiksnių koordinaciją. Bendrų energetikos sistemų formavimas, energetinių išteklių rinkos liberalizacija šį procesą globalizuoja ir bet kuri valstybė nelieka izoliuota, tačiau kartu ir priklausoma.

Vertinant energetinį saugumą pagal tam tikrus rodiklius, dažniausiai remiamasi ekspertiniu vertinimu. Labai išsamų ekspertinį vertinimą atliko Beccue ir Huntington [15]. Rizikos vertinime dalyvavo geopolitikos, karo, naftos rinkos ekspertai, kurie vertino skirtingų įvykių tikimybes ir jų atsakomąjį ryšį pagrįs-

diniams trikdžiams naftos rinkoje. Vertinimas atliekamas šiais etapais: kolektyvinis naujų idėjų svarstymas (angl. *brainstorm*), pagrindinių įvykių suskirstymas į regionus, įvykių ryšių nustatymas diagramomis, kiekvieno įvykio būsenoms apibrėžiamos skalės, tikimybių nustatymas kiekvienai būsenai, gautų derinių matematinis analizavimas, tikėtiniausių įvertinimų atrinkimas taikant matematinis metodus. Seminarų metu buvo įvertinti pagrindiniai globalūs įvykiai energetikos sektoriuje, regioniniai veiksniai, energijos deficitas regionuose, energijos deficito trukmė, prognozuojama naftos gavyba, naftos perviršio kiekis.

Dar viena energetinio saugumo darbų grupė aptinkama literatūroje – ekonominė scenarijų analizė. Pirmasis toks darbas – minėta japonų studija [6]. Joje nagrinėti du scenarijai: bazinis ir alternatyvusis, kuris apima atominės jėgainės pakeitimą anglimis ir dujomis galutinio vartojimo sektoriuose ir elektros gamyboje, didelį efektyvumo pagerinimą galutiniame vartojime ir atsinaujinančiųjų išteklių naudojimą visuose sektoriuose. Pagrindiniai tyrimo objektai: pažeidžiamumo mažinimas dėl užsienio šalių spaudimo ir grėsmių; energijos tiekimo krizių stabdymas; ekonominių ir karinių tiekimo krizių, jei jos įvyksta, įtakos minimizavimas. Lietuvoje atlikta studija „Energijos tiekimo scenarijų ir energijos tiekimo patikimumo Baltijos šalyse analizė“, kur labai detalai išnagrinėti įvairiausi galimi tiekimo scenarijai, pasitelkiant planuojamą statyti jėgainių ar jungčių galią, prognozuojant energijos kainas pagal pasaulinės rinkos dėsnius [16]. Tokie modeliai labai išsamiai gali atspindėti realią situaciją, tačiau dėl imlumo darbui ir apimčiai sunkoka apimti didesnę spektrą tikėtinų situacijų.

Energetiniam saugumui labai svarbus ir techninis energetinių sistemų ar objektų patikimumas. Pagal Tarptautinės atominės energijos agentūros reikalavimus yra atliekami atominų elektrinių patikimumo ir rizikos vertinimai. Lietuvoje AE bei elektros ir šilumos tinklų patikimumo skaičiavimus bei analizę rengia Lietuvos energetikos institutas, Kauno technologijos universitetas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas ir pačios įmonės. Dažnai visapusiška vidinių ir išorinių veiksnių įtakos ir patikimumo analizė atliekama atominėms elektrinėms, elektros tinklams, tačiau visos energetinės sistemos patikimumas nėra analizuotas.

Reikia pažymėti, kad nors skelbiamų energetinio saugumo analizės studijų daugėja, nėra visaapimančios metodologijos, kuri analizuotų visus galimus trikdžius, jų įtaką energetinei sistemai ir techninėms, ekonominėms bei sociopolitinėms pasekmėms.

### 3. ENERGIJOS TIEKIMO SAUGUMO VERTINIMO METODOLOGIJA

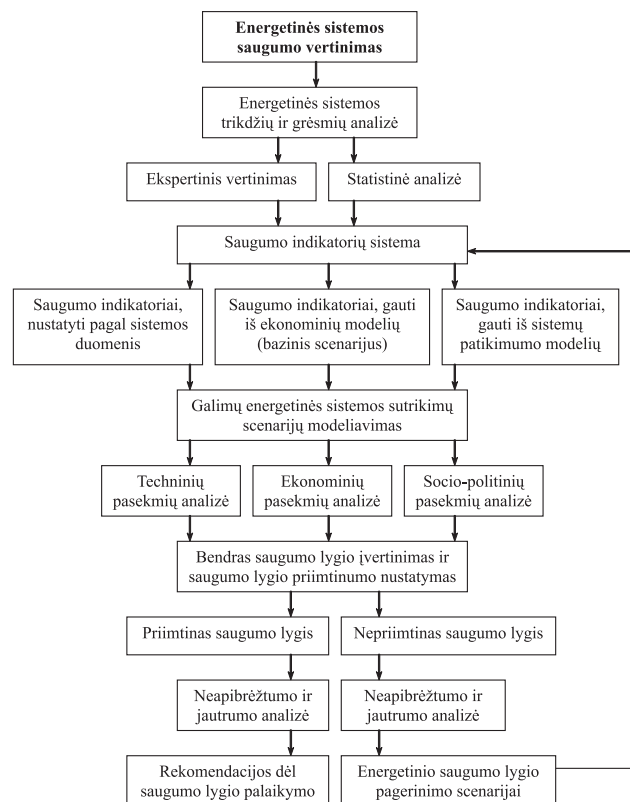
Jau iš anksčiau aptartų energetinio saugumo analizių yra aišku, kad viena svarbiausių energetinio saugumo vertinimo metodologijos problemų yra nustatyti energijos tiekimo galimus sutrikimus arba trikdžius, kurie gali pažeisti normalų sistemos darbą ir vystymąsi. Svarbu ne tik atskleisti trikdžių galimas priežastis, bet ir nustatyti jų fizinius parametrus bei įvertinti pasirodymo tikimybes. Dažnai aptinkamuose politologiniuose energetinio saugumo vertinimuose tokia analizė praleidžiama ir išvados daromos remiantis tik ekspertiniais vertinimais. Trikdžių pasekmių analizė turi būti sudėtinė energetinio saugumo vertinimo dalis ir joje analizuojama ne tik techninės bei ekonominės energijos tiekimo sutrikimo, bet ir socialinės bei politinės pasekmės.

Atliekant energetinio saugumo vertinimą būtina turėti ir tam tikrus saugumo priimtumo kriterijus. Kitaip tariant, turi būti suformuluoti, kokio lygio energetinio saugumo yra siekiama ir kokios lėšos galėtų būti investuojamos per tam tikrą laiką, siekiant norimo saugumo lygio.

Bendrą energijos tiekimo saugumo metodologiją galima aprašyti tokia schema, kuri pateikta 1 paveiksle.

Kaip minėta, viena sudėtingiausių energetinio saugumo vertinimo dalių yra galimų energetinių trikdžių, tokių kaip techninės energetikos sistemos avarijos, stichinės nelaimės ir katastrofos, terorizmo aktai, energijos šaltinių staigus sumažėjimas, energijos žaliavų tiekimo sutrikimai, ekonominės blokados, ekonominės bei politinės krizės ir pan. scenarijų, jų tikėtumo ir dažnumo analizė, taip pat šių trikdžių tikimybių modelių sukūrimas. Nagrinėjant energetinių trikdžių, avarijų ar krizių scenarijus būtina turėti modeliavimo priemones, kurios leistų adekvačiai vertinti vykstančius energijos gamybos, tiekimo bei persikirstymo tarp skirtingų energijos rūšių procesus, galimo energijos sumažėjimo ar nutraukimo įtaką kitoms pramonės šakoms, energijos kainų kilimą, nepateiktos energijos vartotojams kiekius ir dinamiką, patirtus nuostolius atskiroms pramonės šakoms ir bendram energetikos ūkiui.

Kita tyrimų kryptis, kurią apima energijos tiekimo saugumo vertinimo metodologija, yra energetikos objektų, energijos generatorių, perdavimo ir skirstomųjų tinklų, vamzdynų ir pan. patikimumo įvertinimas bei avarijų pasekmių analizė. Šis uždavinys yra svarbus tuo, kad kompleksiskai būtų įvertinta visos energetikos sistemos patikimumas ir atlikta rizikos analizė, atsižvelgiant į dabartinę sistemos būvį, jos elementų senėjimą ir degradaciją, techninius gedimus ir avarijas, žmonių klaidas, energijos žaliavų kainų šuolius, pirminės energijos tiekimo trumpalaikius ir



1 pav. Metodologijos schema

ilgalaikius pertrūkius, nepalankius gamtos reiškinius bei galimus terorizmo aktus. Modeliavimo rezultatai leidžia nustatyti nepateiktos energijos kiekius ir energijos nutraukimo laikus, energetinės sistemos gedimų „kaskadinius“ efektus, surasti mažiausiai patikimas sistemos grandis, įvertinti sistemos atstatymo laikus po įvairių avarių ar energijos tiekimo trikdžių ir t. t. Šie tyrimai apimtų ir energetikos sistemos reikiamo patikimumo lygio palaikymo priemonių analizę, energetinės sistemos plėtros projektų įvertinimą patikimumo aspektu, energijos tiekimo atsarginių variantų, avarių metu, efektyvumo patikrą ir pan. Plačiausias patikimumo ir rizikos studijas paprastai turi atominės elektrinės, hidroelektrinės ir kiti didesnį pavojaus laipsnį turintys energetikos objektai [17].

Energetinio saugumo lygiui matuoti yra naudojama indikatorių sistema. Pagal šią sistemą kiekvieno scenarijaus modeliavimo rezultatai yra pervedami į saugumo lygio skaitinę vertę. Saugumo matas yra integralinis ir apima svarbiausius energetikos tiekimo techninius, ekonominius, aplinkosauginius, politinius kriterijus. Pagal tiekimo saugumo skalės vertes energetinių trikdžių scenarijai yra palyginami, atlikus neapibrėžtumų ir jautrumo analizę, atrenkami pavojingiausi, suskaičiuojamas bendras energetinio saugumo lygis. Gautą šalies energijos tiekimo saugumo lygį būtina palyginti su kitų šalių energijos tiekimo saugumo lygiais.

Paskutinė energetikos saugumo metodikos dalis skirta energetinio saugumo lygio priimtimumo nustatymui ir saugumo padidavimo priemonių parinkimui, jų analizei bei efektyvumo įvertinimui. Visi pavojingiausi energetiniai trikdžiai turi turėti atsarginius energijos tiekimo scenarijus, kurių efektyvumas patikrinamas metodikos modeliais ir ekspertų vertinimais. Ilgalaikiam energetiniam saugumui užtikrinti yra nagrinėjamos energijos šaltinių pasirinkimo, energijos transportavimo ir paskirstymo strategijos.

### 3.1. Energetiniai trikdžiai

Analizuojant energetinius trikdžius energijos tiekimo saugumo prasme svarbesniais tampa ilgalaikiai trikdžiai ir jų scenarijai, kuriuose reikia įvertinti naujų technologijų (pvz., naujų jėgainių, tarp jų naujų atominų reaktorių) atsiradimo įtaką energijos tiekimo saugumui. Trumpalaikių scenarijų pagalba galima geriau išanalizuoti dabartinę situaciją ir trumpus tiekimo nutrūkimus dėl perdavimo sistemos gedimų, gamtinių neigiamų poveikių ir pan.

Energetinių trikdžių aprašymui ir modeliavimui šioje metodologijoje sukurtas nukrypimų nuo bazinio scenarijaus metodas. Baziniu scenarijumi laikome tokią energetikos sektoriaus vystymosi raidą, kai pirminės energijos nutraukimų ar tiekimo trikdžių nėra (pvz., iki 2025 metų). Pagal šį scenarijų kuro ir pirminės energijos tiekama atitinkamai pagal prognozuojamus poreikius elektros energijos ir centralizuotai tiekiamos šilumos gamybai, taip pat iki 2025 metų pirminės energijos šaltinių kainos kinta pagal vidutines kuro kainų prognozes. Lietuvos atveju šis laikotarpis yra labai svarbus, kadangi 2009 m. uždaroma Ignalinos AE, planuojama naujos AE statyba, ruošiami elektros tinklo sujungimo su Vakarų Europos valstybėmis projektai.

Vienu svarbiausių parametru aprašant trikdžių scenarijus yra pirminės energijos tiekimo apimtys sumažėjimas procentais nuo bazinio tiekimo scenarijaus. Kiekvienai pirminės energijos rūšiai galimas tiekimo sumažinimas nuo 0 iki 100 procentų, lyginant

su bazinio scenarijaus tiekimo apimtimis atitinkamu laikotarpiu. Antras svarbus parametras yra pirminės energijos išteklių ar kuro tiekimo nukrypimo nuo bazinio scenarijaus trukmė. Šis parametras parodo, kiek laiko tęsiasi energijos nutraukimas. Trečias parametras – tai kuro ar pirminės energijos kainos nukrypimas nuo baziniame scenarijuje prognozuojamos kainos. Šio trikdžio scenarijuje taip pat fiksuojama, kokiam laikotarpiui numatomas kainos padidėjimas. Ketvirtas parametras yra bet kurio trikdžio pradžios momentas. Šis parametras svarbus naujų technologijų įvedimui, pvz., naujų jėgainių statyba, naujų tinklo jungčių pastatymas, naujų vartotojų prijungimas ir pan.

Parentant parametru reikšmių tikimybes turi būti atsižvelgiama į realią šalies situaciją: pvz., dujų tiekimo sumažėjimo tikimybė Lietuvai yra didesnė nei naftos ar jos produktų tiekimo, nes abiejų kuro rūšių tiekimo apribojimų priežastys yra labai panašios, tačiau naftos tiekimas galimas iš įvairių pasaulinių rinkų per Būtingės terminalą, tuo tarpu dujos dėl esamų vamzdžių jungčių ir nesant saugyklų gali būti tiekiamos tik iš Rusijos.

Pavyzdžiui, atsižvelgiant į geopolitines Lietuvos energijos tiekimo grėsmes, galima sudaryti tikėtinausios energetikos trikdžių scenarijus. Viena didžiausių grėsmių dujų sektoriui – visiškas dujų tiekimo nutraukimas [1]. Labai pavojingas Lietuvai būtų elektros energijos tiekimo nutraukimas iš kitų šalių [7]. Elektros energijos tiekimas gali sutrikti (nutrūkti) dėl technologinių avarių, taip pat elektros energijos tiekėjų bei Rusijos ir Baltarusijos Vyriausybės sprendimų, tačiau tokio scenarijaus tikimybę mažina techninės šio veiksmo galimybės, tokios kaip Kaliningrado srities elektros tinklo priklausomybė nuo Lietuvos tinklų ir kai kurios kitos priežastys.

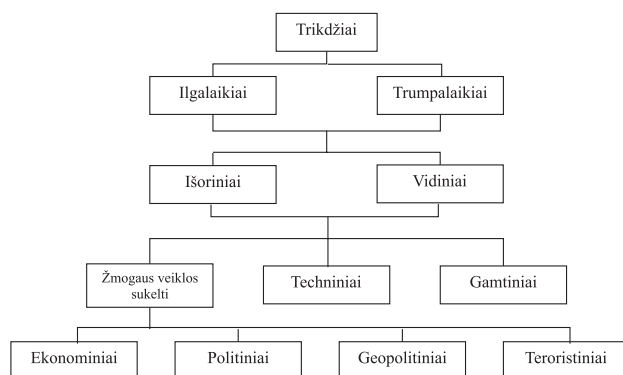
Naftos produktų tiekimo ilgalaikis sutrikimas Lietuvai yra mažai tikėtinas, kadangi, kaip jau minėta, yra galimybė importuoti naftą iš pasaulinės naftos rinkos per Būtingės terminalą. Daug didesnė grėsmė yra naftos ir jos produktų kainų staigus padidėjimas santykinai ilgiems laikotarpiams.

Energijos tiekimo patikimumui gana didelę įtaką turi energijos tiekimo sutartys, jų ilgalaikiškumas, nutraukimo sąlygos taip pat šalies investicijų lygis energijos žaliavų gavybos, transportavimo ir perdavimo įmonėse.

Formaliai kiekvieną energetinį trikdį galima aprašyti tokia parametrine funkcija:

$$T(\varphi, \delta, \tau, \sigma, t);$$

čia  $\varphi$  – apriboto tiekimo kuro rūšis;  $\delta$  – tiekimo nukrypimas procentais nuo bazinio tiekimo scenarijaus;  $\tau$  – tiekimo nukryp-



2 pav. Trikdžių skirstymo schema

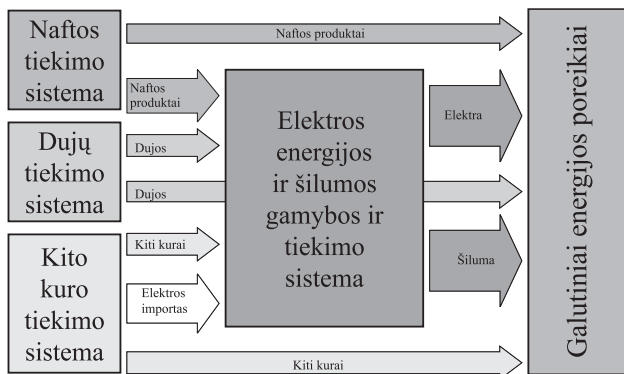
pimo trukmė;  $\sigma$  – kainos nukrypimas procentais nuo prognozės,  $t$  – trikdžio pradžios laikas.

Įvairių grėsmių analizės pagrindu galima sudaryti labai pavojingus energijos tiekimo nutraukimo scenarijus, kai apribojamas dujų, mazuto arba elektros importas ar nutraukiamas dviejų iš šių energijos išteklių tiekimas, pvz., 2015 (kai nauja atominė elektrinė dar negali būti eksploatuojama) arba 2017 (kai jau galėtų būti pastatyta ir eksploatuojama nauja AE) metais. Tačiau visais atvejais išlieka nemaža problema, kaip įvertinti šių scenarijų tikimybes. Taikant įvairius matematinius metodus, pvz., Wilks formulę [18, 19] arba SUSA programinę priemonę, galima sumodeliuoti baigtinių skaičių parametrų rinkinių, kurie apimtų visus galimus scenarijus su tam tikru tikslumu.

### 3.2. Ekonominis energetinių trikdžių scenarijų modeliavimas

Ekonominiu aspektu energijos tiekimo saugumas gali būti apibrėžiamas kaip būtino energijos kiekio tiekimas valstybės ūkio šakoms už kainą, kuri gali būti nustatoma tiriant energijos paklausos ir pasiūlos procesus. Taškas, kuriame susikerta paklausos ir pasiūlos priklausomybių nuo kainos kreivės, galėtų būti laikoma ekonomiškai optimalia ir saugia kaina. Tačiau energijos tiekimo trikdžiai iškraipo šią situaciją ir kiekvieną tiekimo sutrikimo scenarijų reikia modeliuoti ir analizuoti atskirai.

Energetikos sistemų ekonominio vystymosi modeliavimui ir analizei naudojami ekonominiai optimizaciniai energetikos sektoriaus modeliavimo įrankiai ar matematiniai modeliai. Vienas iš tokių įrankių yra MESSAGE modelis [20]. Ši programinė įranga leidžia matematinių lygčių pagalba aprašyti realias energetikos sistemas, t. y. jų struktūrą, techninius ir ekonominius rodiklius, įvairius procesus, kuro, energijos ir finansų srautus. Pagrindinis tikslas, kurio siekiama naudojant modelį, – įvertinti konkrečių sprendimų ar strategijų įtaką energetinei sistemai, ekonomikai ir aplinkai. Šio įrankio pagalba sukurti modeliai sudaryti iš energetikos sistemos struktūros aprašymo, pradinį duomenų, apibūdinančių nagrinėjamą sistemą, ir lygčių, tačiau skaičiavimas gali taikyti skirtingus matematinius metodus, aprašančius sistemos procesus ir srautus. Pasitelkus MESSAGE modelį Lietuvos energetikos institute sukurti Lietuvos energetikos sistemos matematiniai modeliai apima visą šalies energetikos sektorių, pradedant nuo atskirų kuro rūšių importo ar gamybos ir baigiant atskirų kuro ir energijos rūšių galutiniu suvartojimu. Lietuvos energetikos sektoriaus matematinio modelio struktūra parodyta 3 pav. Atlikus modeliavimą pateikiami energetinės sistemos



3 pav. Lietuvos energetikos sektoriaus modelio struktūra

eksploatacijos kaštai, energijos kainos, nepateiktos energijos kiekiai – labai svarbūs parametrai energetikos tiekimo saugumo įvertinimo skalei.

Sukurtos metodikos patikrai buvo panaudotas bazinis Lietuvos energetinės sistemos plėtros scenarijus priimant, kad laikotarpyje iki 2025 metų nebus jokių netikėtų kuro importo ir tiekimo vartotojams sutrikimų. Lietuvos energetikos sektoriaus plėtra modeliujama aprašant visas dabartines ir numatomas technologijas bei tarptautinius įsipareigojimus gamtos saugos srityje. Lietuvos energetikos modelis buvo išplėstas modeliavimo žingsnį sumažinant nuo penkerių iki vienerių metų siekiant išsamiau atspindėti modeliuojamus scenarijus ir gauti tikslesnius rezultatus.

Toliau pateiksime vieno trikdžio scenarijaus modeliavimo pavyzdį. Nagrinėjamas Lietuvos energetikos sistemos vystymasis 2010–2025 metais su sąlyga, kad pagal susitarimą su Europos Sąjunga Ignalinos AE bus uždaryta iki 2010 metų. Buvo priimta prielaida, kad nauja atominė elektrinė anksčiausiai galėtų būti pastatyta 2015 m. ir pradėta eksploatuoti 2016 m., jos maksimali galia galėtų būti iki 1600 MW. Numatyta, kad investicijos į šią elektrinę sudarys 2200 JAV dolerių / kW. Tenkinant minimalių kaštų ir būtinas aplinkosaugos prielaidas, pagal galios poreikį parenkamas optimalus sprendinys: ar statyti naują AE, kokio galingumo.

4 paveiksle pateikiama įvairių kuro rūšių suvartojimo dinamika bazinio scenarijaus atveju iki 2025 metų.

Kaip minėta, viena didžiausių grėsmių Lietuvos energetikai – dujų tiekimo nutraukimas ilgesniam laikotarpiui, paliekant tiekimą tik buitiniams vartotojams [1]. Grėsmės šaltiniais ilgalaikiam ar trumpalaikiam tiekimo nutraukimui taip pat galima laikyti technologinio pobūdžio trikdžius Lietuvoje, Rusijoje ar Baltarusijoje. Modeliuojant hipotetinį visišką dujų nutraukimą 2017 metais (kai galbūt bus pastatyta nauja AE) galima pastebėti, kad įvykus trikdžiui vyraujančia kuro rūšimi tampa branduolinis kuras, kuris toks išlieka ir atstačius dujų tiekimą (5 pav.).

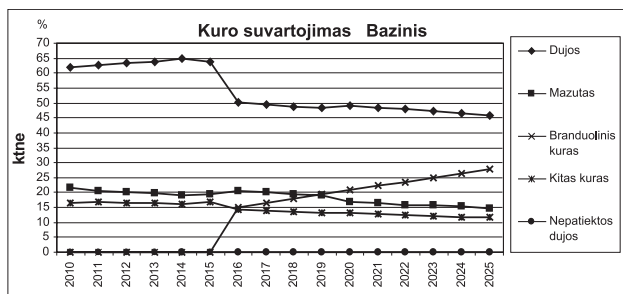
Lyginant bazinį scenarijų ir scenarijų, kai nutraukiamos dujos 2017 m., reikia atkreipti dėmesį į keletą dalykų. Pagrindinis skirtumas yra pilnų sistemos išlaidų ir energijos gamybos kaštų padidėjimas 2016 m. pastarajame scenarijuje. Tai sąlygoja vartojamų kuro rūšių pasikeitimas. Nuo 2017 m. dujų nutraukimo scenarijuje sumažėja tiek pilnos sistemos išlaidos, tiek energijos gamybos kaštai (per metus vidutiniškai 13%). Taigi toks scenarijus Lietuvos energetikai nėra kritinis.

### 3.3. Energetinių sistemų patikimumo modeliavimas

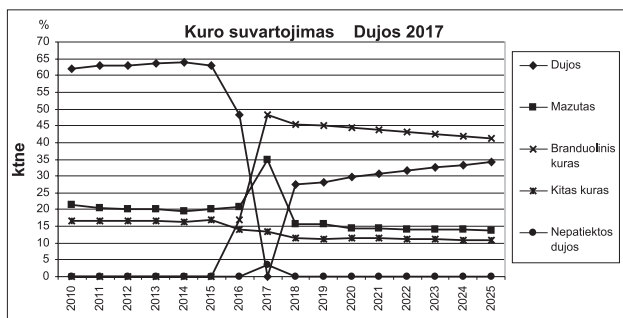
Energetikos objektų patikimumas turi gana ženkliai įtaką energetiniam saugumui, ypač per trumpalaikius trikdžius. Todėl patikimumo vertinimas yra sudedamoji energetinio saugumo dalis.

Patikimumo vertinimo tikslas yra apskaičiuoti tam tikrų pasirinktų patikimumo kriterijų arba rodiklių įverčius, panaudojant informaciją apie energetinės sistemos elementų gedimus ir sistemos struktūrą. Šie patikimumo kriterijai arba rodikliai gali būti labai įvairūs, priklauso nuo sistemos paskirties, tačiau pagrindiniai iš jų yra gedimo tikimybė, dažnis ir vidutinė gedimo būvio trukmė.

Yra keletas patikimumo kriterijų įverčių apskaičiavimo metodų, panaudojant sistemos elementų patikimumo duomenis. Pasirenkant metodą, reikia įvertinti sistemos apimtį ir struktūrą, elementų tarpusavio priklausomybę / nepriklausomybę, galimybę juos remontuoti tuoj pat įvykus gedimui, trukmės iki gedimo ir



4 pav. Kuro suvartojimas Lietuvoje pagal bazinį scenarijų



5 pav. Kuro suvartojimo pokyčiai nutraukus dujų tiekimą 2017 m.

avarinio remonto skirstinius, elementų gedimų tipus, eksploatacijos sąlygas bei aplinkos įtaką.

Analizuojant energetinį saugumą dažniausiai taikomi tinkliniai sistemų patikimumo metodai. Šių metodų pagrindą sudaro loginių schemų sukūrimas ir, pagal jas, sistemos gedimo tikimybės, gedimų dažnio, parengties koeficiento bei kitų rodiklių įverčių apskaičiavimas. Loginės schemas kartais vadinamos patikimumo struktūrinėmis schemomis. Energetiniam saugumui įvertinti yra svarbu, į kokį būvį patenka sistema po vieno ar kito gedimo, t. y. kokias funkcijas sistema gali vykdyti po gedimo. Taigi, vertinant sistemos patikimumą, pirmiausia būtina aprašyti sistemą jos būviais ir galimais perėjimais iš vieno būvio į kitą. Sistemos būvis apibrėžiamas kiekvieno jo elemento būviu: elementas gali būti veikiantis, sugedęs, profilaktiškai remontuojamas arba dar kokio nors būvio. Jeigu pasikeičia kurio nors elemento būvis, tai ir sistema pereina į naują būvį. Visi galimi sistemos būviai sudaro būvių erdvę, kurioje perėjimus tarp būvių galima grafiškai pavaizduoti sudarant erdvės būvių diagramą. Pagrindinis būvių erdvės metodo privalumas yra galimybė perėjimo iš vieno būvio į kitą procesą aprašyti Markovo modeliu [17]. Šio modelio panaudojimo sąlyga yra ta, kad perėjimo iš vieno būvio į bet kurį kitą tikimybė neturi priklausyti nuo sistemos praeities, t. y. nuo praityje buvusių būvių. Ši prielaida gali būti išpildoma, jeigu perėjimų iš vieno būvio į kitą intensyvumai  $\lambda_{ij}$  yra pastovūs, o laiko intervalai prieš visus įvykius, kurie sukelia sistemos būvių pasikeitimus, tenkina eksponentinį skirstinį [17].

Dar vienas patikimumo analizės metodas, tinkantis energetinio saugumo vertinimams, yra gedimų medžio sudarymas ir analizė. Iš esmės, gedimų medis yra galimų įvykių ir loginių ryšių tarp jų grafinė išraiška, o gedimų medžio analizė yra sisteminė analizė galimų įvykių, kurie gali sukelti sistemos, jos posistemių arba elementų gedimus. Tie įvykiai yra laikomi visos sistemos arba jos dalių gedimo priežastimis. Gedimų medžio struktūra padeda lengviau nustatyti algoritmus sistemos ir jos dalių gedimo tikimybei apskaičiuoti. Ši patikimumo vertinimo technologija vadinama tikimybine rizikos analize.

Didžiausias sudėtingų sistemų patikimumo apskaičiavimo analitiniais metodais trūkumas yra gauto sprendinio sudėtingumas bei reikalingi išteklių šiam sprendiniui gauti. Kompleksinių sistemų analizei naudojamas imitacinis modeliavimas. Monte-Karlo metodas, kurio metu atliekamas statistinis modeliavimas, panaudojant elementų gedimų imituojančius pseudoatsitiktinius skaičius su numatytais skirstiniais. Kitaip nei analitinis skaičiavimo metodas, imitacinis modeliavimas leidžia įvertinti sistemoje esančias apsaugas bei valdymo struktūras ir jų veikimą.

Kaip pavyzdį patikimumui skaičiuoti galima pateikti Lietuvos energetikos institute sukurtą elektros perdavimo tinklo patikimumo skaičiavimo programą NETPRAS [22]. Šia programa galima modeliuoti tinklo darbą esant tiek natūraliems, tiek dirbtiniams trikdžiams ir nagrinėti įvairių avarijų scenarijus, pvz., kai iš tinklo yra pašalinami (sugenda) atskiri jo elementai (perdavimo linijos, skirstyklos, elektros generatoriai). Pagrindiniai perdavimo tinklo patikimumo modeliavimo rezultatai yra nepateiktos energijos kiekis (vartotojų, likusių be energijos, kiekis), energijos nutraukimo trukmė, energetinių sistemų gedimų „kaskadiniai“ efektai, sistemos renovavimo laikas po gedimo.

### 3.4. Energijos tiekimo saugumo indikatorių sistema

Energetinis saugumas yra matuojamas tam tikrais indikatoriais, t. y. saugumo rodikliais. Jais galima vertinti ne tik visą šalies energijos tiekimo saugumo būseną, bet ir atskirus veiksnius, kurie neįtraukti į ekonominius ar patikimumo modelius, pavyzdžiui, šalies apsirūpinimo lygį iš savo šaltinių ar kuro dalį, sunaudojamą transporte.

Europos Sąjungos Žaliojoje knygoje [6] grėsmės energijos tiekimo saugumui yra skirstomos į keturias grupes: fizinę, ekonominę, socialinę ir aplinkos. Suformuota energijos tiekimo saugumo indikatorių sistema turėtų teikti informaciją apie šių galimų rizikų įtaką energijos tiekimo saugumui.

Pagal metodologijoje sukurtą energetinio saugumo vertinimo sistemą, kiekvieno scenarijaus modeliavimo rezultatai, pasinaudojant indikatorių sistema, yra pervedami į saugumo vertę. Saugumo matas yra integralinis ir apima svarbiausius energijos tiekimo techninius, ekonominius, aplinkosauginius, socialinius ir politinius kriterijus. Dažniausiai vartojami tokie indikatorių blokai: kuro suvartojimo, energijos gamybos, kuro tiekimo, kainų blokas ir kiti.

Energijos tiekimo saugumo vertinimo indikatorių sistemos gali būti įvairios. Vienas galimų indikatorių sistemos pavyzdžių pateiktas lentelėje. Aišku, kad ši indikatorių sistema gali būti praplėsta. Indikatoriai nusakomi jų pavadinimais, bazinėmis ir slenkstinėmis vertėmis. Bazinė indikatoriaus vertė (lentelė) – tai reikšmė, kai indikuojamos sistemos būseną yra prieškritinė ar kritinė. Pavyzdžiui, jei kuro suvartojimas vienam gyventojui (žr. lentelę, 1.1 indikatorius) sumažėja iki 60%, palyginti su baziniame energetikos vystymosi scenarijuje apskaičiuota verte, tai šis indikatorius rodo prieškritinę būseną. Konkrečios indikatorių slenkstinės reikšmės gali būti apskaičiuojamos naudojant įvairius būdus, pavyzdžiui, ekspertinio įvertinimo ar funkcionaliųjų sąryšių [22] ir pan. Kai kurių indikatorių reikšmės yra nustatomos tik ekspertinio įvertinimo metodu.

Kadangi skirtinguose blokuose indikatoriai matuojami vis kitais matavimo vienetais, todėl indikatorių reikšmės suvedamos į vieningą formą, t.y. apskaičiuojamos normalizuotos kiekvieno indikatoriaus reikšmės:

$$X_{ij}^n = \frac{X_{ij}}{X_{kij}}; \tag{1}$$

čia  $X_{ij}$  – faktinė indikatoriaus reikšmė,  $X_{ij}^n$  – normalizuota indikatoriaus reikšmė,  $X_{kij}$  – kritinė indikatoriaus reikšmė,  $i$  – bloko numeris,  $j$  – indikatoriaus eilės numeris bloke. Taip pat, apskaičiuojamos ir normalizuotos prieškritinės indikatorių reikšmės  $X_{pkij}^n$ :

$$X_{pkij}^n = \frac{X_{pkij}}{X_{kij}}; \tag{2}$$

čia  $X_{pkij}$  – prieškritinė indikatoriaus reikšmė. Normalizuotos kritinės indikatorių reikšmės  $X_{kij}^n = 1$ .

Toliau, taikant indikatorių įvertinimo metodą, apskaičiuojamos indikatorių slenkstinės reikšmės. Jos gali būti nustatomos ekspertinio įvertinimo metodu, atsižvelgiant į esamą energijos tiekimo būseną. Be to, indikatorių slenkstinės reikšmės gali būti gaunamos taikant funkcionalių sąryšių metodą. Tokiu atveju reikia įvesti pagrindinį indikatorių. Pagrindiniu indikatoriumi gali būti energijos tiekimo sistemos kaštai, bendrasis vidaus produktas (BVP) ir kt.

Normalizuotos indikatorių slenkstinės reikšmės nustato ribą, kada sistema pereina į prieškritinę ir kritinę būsenas. Sistemos būsenai nustatyti naudojama skalė, kuri suskirstyta į tris pagrindines dalis – normalią, prieškritinę ir kritinę būsenas. Savo ruožtu prieškritinė skalės dalis dar skirstoma į pradinę (ppk), besivystančią (bpk) ir kritinę (kpk), o kritinė – į nestabilią (nk), pavojingą (pk), kritinę (kk) ir ypatingą (yk) dalis. Prieškritinė zona dalijama į tris lygias dalis, o kritinė zona dalijama į smulkesnes dalis, pasinaudojant svoriniais koeficientais 1,2; 1,4 ir 1,6 [13], ir visiems indikatoriams šios dalys yra tokios pačios: nk – 1-0,83 (5 taškai), pk – 0,83-0,71 (6 taškai), kk – 0,71-0,63 (7 taškai), yk – 0,63-0 (8 taškai). Kiekviena skalės dalis įvertinta balais nuo 1 iki 8 (žr. 6 pav.).

Pasinaudojant indikatorių būsenų įvertinimo skale, nustatoma indikatorių būseną kiekvienais metais ir vertinama balais nuo 1 iki 8:

Taigi indikatoriaus būseną laikoma:

- normalia, kai  $X_{ij}^n \geq X_{pkij}^n$ ;
- prieškritine, kai  $X_k^n \leq X_{ij}^n \leq X_{pkij}^n$ ;
- kritine, kai  $X_{ij}^n \leq X_{kij}^n$ .

Toliau nagrinėjamas Lietuvos energijos tiekimo saugumo įvertinimo pagrindiniai aspektai ir bazinio scenarijaus įvertinimo rezultatai. Tuo tikslu buvo suformuota vienuolikos indikatorių, kurie suskirstyti į keturis blokus, sistema (žr. lentelę). Šie indikatoriai aprašo Lietuvos energijos tiekimo sistemą. Skaičiavimuose baziniais metais laikyti 2005 metai. Indikatorių reikšmės skaičiuojamos kas penkeri metai (2005, 2010, 2015, 2020 ir 2025). Lietuvos energijos tiekimo saugumas buvo vertinamas baziniam scenarijui, kuris buvo sumodeliuotas pasinaudojant ekonominiu modeliu MESSAGE.

Slenkstinės indikatorių  $X_{11}$ - $X_{23}$  reikšmės buvo paimtos iš [13]. Kitų indikatorių slenkstinės reikšmės buvo vertinamos, atsižvelgiant į dabartinę Lietuvos energijos tiekimo būseną. Taikant funkcionalių sąryšių metodą indikatorių slenkstinių reikšmių nustatymui šiuo atveju pagrindinis indikatorius yra energijos sistemos kaštų pokytis  $I_{esk}$ . Daroma prielaida, kad per analizuojamą periodą energijos tiekimo sistemos kaštai neturėtų padidėti daugiau kaip 25% nuo 2005 m. (bazinių metų lygio), t.y.  $I_{esk} = 0,25$ . Taip pat, skaičiuojant indikatoriaus  $I_{esk}$  reikšmę, kiekvienais metais įvedama 8% diskonto norma. Indikatoriaus  $I_{esk}$  reikšmės pateiktos 2 lentelėje. Prieškritinės ir kritinės indikatorių reikšmės yra skaičiuojamos atsižvelgiant į atitinkamų metų indikatoriaus  $I_{esk}$  reikšmę.

Atsižvelgiant į blokų svorius ir į blokų būsenų įvertinimą balais, vertinama Lietuvos energijos tiekimo saugumo būseną baziniam scenarijui (7 pav.). Analizuodami gautus rezultatus, matome, kad Lietuvos energijos tiekimo saugumo būseną (taikant bazinį scenarijų) kinta nuo normalios 2005 m. iki besivystančios prieškritinės 2025 m. Taikant funkcionalių sąryšių metodą indikatorių slenkstinėms reikšmėms nustatyti, energijos tiekimo saugumo būsenos įvertinimas yra jautresnis, nei taikant ekspertinio įvertinimo metodą.

Lentelė. Blokai ir indikatoriai

Indikatorius	Matavimo vienetas	Bazinė indikatoriaus reikšmė (%)	Slenkstinės indikatorių reikšmės	
			Prieškritinė (%)	Kritinė (%)
1. Kuro suvartojimo blokas:				
1.1. Kuro suvartojimas vienam gyventojui	ktne	100	70	50
1.2. Vyraujančio kuro rūšies dalis suminiame kuro kiekyje	ktne	0	40	60
2. Gamybos blokas:				
2.1. Elektros energijos gamyba	GWh	100	70	55
2.2. Šilumos energijos gamyba	GWh	100	75	60
2.3. Elektros energijos importas	GWh	0	30	50
3. Kuro tiekimo blokas:				
3.1. Mazuto tiekimas	ktne	100	70	50
3.2. Gamtinių dujų tiekimas	ktne	100	80	60
3.3. Branduolinio kuro tiekimas	ktne	100	70	50
4. Kainų blokas:				
4.1. Mazuto tiekimo kaina	EUR/GJ	0	30	50
4.2. Gamtinių dujų tiekimo kaina	EUR/GJ	0	20	40
4.3. Branduolinio kuro tiekimo kaina	EUR/GJ	0	30	50

Taigi energijos tiekimo saugumo lygį vertinant indikatoriais pradinių duomenų surinkimui ir jų analizei galima taikyti tiek ekspertinį vertinimą, tiek funkcionalių sąryšių metodą.

### 3.5. Pasekmių analizė

Paskutinė, bet labai svarbi energetinio saugumo metodologijos dalis yra energijos tiekimo trikdžių pasekmių analizė. Šioje metodologijoje energijos tiekimo pasekmės skirstomos į technines, ekonomines, sociopolitines.

Techninės energetinio saugumo pasekmės tiesiogiai nusako energijos tiekimo galimybes matuojamas nepateikta energija tam tikriems vartotojams per tam tikrą laiką, ir šių įvykių tikėtinumą. Daugiausia informacijos apie technines energijos tiekimo sutrikimų pasekmes gaunama iš patikimumo modelių ir ekspertinių vertinimų.

Ekonominės energijos tiekimo sutrikimų pasekmės (ekonominiai nuostoliai) yra labai svarbios, nes leidžia įvertinti energetinį saugumą pagal visuotinai aiškų kriterijų – energetinės sistemos kaštus, energijos kainas, pelną ir nuostolius bei įtaką ūkio vystymuisi. Ekonominės trikdžių pasekmės nustatomos iš energetinės sistemos ekonominio modeliavimo rezultatų.

Gana sunkiai vertinamos, tačiau neabejotinai reikšmingos yra socialinės energijos tiekimo sutrikimų pasekmės. Tai nepatenkinti vartotojų poreikiai, paslaugų, darbo, laisvalaikio formos pasikeitimai, energijos vartotojų nukentėjimo lygis, įvairių visuomenės sluoksnių socialinės įtampos, galimų socialinių neramumų pobūdis ir tikėtumas įvairiuose visuomenės sluoksniuose. Šių pasekmių vertinimui sudaromi specialūs sociologiniai modeliai ir klausimynai, imituojantys dėl energetinių trikdžių susidariusias situacijas.

Energijos tiekimo istorijoje žinoma nemažai atvejų, kai politiniais motyvais nutraukta energija sukelia politinį spaudimą energiją importuojančiai šaliai. Politinės pasekmės skirstomos į

valdomas egzistuojančios politinės sistemos (pvz., vietiniai streikai) ir nevaldomas (pvz., tarpvalstybiniai gyventojų neramumai, streikai, siekiantys pokyčio valdžios veiksmuose, vidinės ir išorinės grėsmės šalies savarankiškumui bei politinei sistemai). Labai kritiškiems energetiniams trikdžiams tokios pasekmės irgi yra vertinamos. Tai atliekama politologų, sociologų, saugumo specialistų ekspertiniais vertinimais.

Politinių, socialinių ir ekonominių pasekmių pavyzdžiu Lietuvai galima laikyti 1990-ųjų Lietuvos ekonominę blokadą, kai dėl politinių priežasčių Sovietų Sąjungos valdžia nutraukė naftos tiekimą, apribojo degalų pardavimą, sustabdė traukinius su jau siunčiamomis prekėmis ir žaliavomis. Šiuo atveju reikia pabrėžti tokias pasekmes kaip nacionalinio saugumo pažeidimas, blokados metu prarasta apie 11% BVP, šešėlinės ekonomikos paaštrėjimas, kainų pakilimas dėl blokados ir dotacijų nutraukimo, streikai, mėsos eksporto nutraukimas.

Pagrindinę įtaką pasekmių vertinimui turi atskiri indikatoriai ir jų integraliniai įverčiai. Tačiau vien pagal indikatorių reikšmes galima įvertinti technines ir ekonomines pasekmes. Socio-politinėms pasekmėms nustatyti atliekami papildomi ekspertiniai vertinimai, taip pat kuriami sociologiniai modeliai ir apklausų sistemos, kurie leidžia nustatyti, kokio dydžio ir pobūdžio energetikos trikdžiai turės įtakos socialiniam ir politiniam šalies gyvenimui, kokias socialines bei politines įtampas gali sukelti šie trikdžiai ir pan.

## 4. REZULTATAI IR IŠVADOS

1. Šiame straipsnyje atlikta energetinio saugumo vertinimo metodikų ir priemonių apžvalga leidžia daryti išvadą, kad pilna energetinio saugumo metodika turi apimti energetinių sistemos trikdžių ir grėsmių analizę, jų poveikio sistemai modeliavimą ir ekspertinį vertinimą, energetinio saugumo lygio rodiklių arba indikatorių sistemos sudarymą ir vertinimo skalės parinkimą bei techninių, ekonominių ir sociopolitinių pasekmių vertinimą ir analizę.

2. Ilgo laikotarpio energijos tiekimo trikdžių aprašymui geriausia panaudoti bazinį tiekimo scenarijų, o trikdžių parametrais laikyti nukrypimus nuo bazinio scenarijaus.

3. Suformuluotų energijos tiekimo sutrikimų scenarijų ekonominiam modeliavimui galima naudoti optimizacinį ekonominį modelį. Lietuvos energetiniam saugumui vertinti tiksliausia naudoti MESSAGE matematinį modelį, kurio pagrindu Lietuvos energetikos institute yra sukurtas energetinės sistemos modelis.

## PADĖKA

Autoriai dėkoja Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui ir Tarptautinių mokslo ir technologijų plėtros programų agentūrai už dalinį mokslinių tyrimų finansavimą.

Gauta 2008 07 25

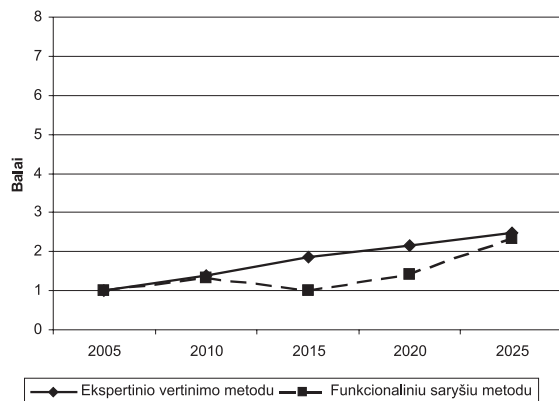
Priimta 2008 09 10

## Literatūra

1. Nacionalinė energetikos strategija. Patvirtinta pagal LR nutarimą Nr. X-1046, 2007, sausio 18 // [http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc\\_l?p\\_id=291371](http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=291371)



6 pav. Indikatorių būsenos įvertinimo skalė



7 pav. Lietuvos energijos tiekimo saugumo būseną baziniam scenarijui 2005–2025 m.



2. Miškinis V., Galinis A. Lietuvos nacionalinės energetikos strategijos gairės // Energetika. 2006. Nr. 3. P. 24–32.
3. Yergin D. Ensuring Energy Security // Foreign Affairs. 2006. Vol. 85(2). P. 69–82.
4. Green Paper: A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy, Brussels, 2006.
5. Generalized Equilibrium Modeling: The Methodology of the SRI-GULF Energy Model // Prepared by Cazalet E. G. and Stanford Research Institute. Final Report, May 1977.
6. Suzuki T., Hippen D. V. A framework for energy security analysis and application to a case study of Japan // Synthesis Report for the Pacific Asia Regional Energy Security (PARES) Project, Phase 1, 1998.
7. Molis A. Europos saugumo ir gynybos politikos ateities scenarijai bei mažųjų valstybių interesai // Politologija. 2006. Nr. 4. P. 54–83.
8. Jakeliūnas T., Molis A. Energy security of Lithuania: challenges and perspectives // Lithuanian Political Science Yearbook. 2005. P. 200–223.
9. Motieka E. EU External Energy Policy: Dilemmas and Challenges. Vilnius energy security conference 2007: responsible energy for responsible partners, October 10–11, 2007.
10. Gnansounou E. Monitoring the vulnerability of energy supply system // Proceedings of “15th Energy Day in Croatia – Energy Policy Scenarios for 2050”. Zagreb, 26 November 2006. <http://www.hed.hr/pdf/zbornik15.pdf>
11. Scheepers, Seebregts, de Jong and Maters, EU standards for energy security of supply, April, 2007. [http://www.clingendael.nl/publications/2007/20070400\\_ciep\\_misc\\_dejong-maters-et-al\\_update.pdf](http://www.clingendael.nl/publications/2007/20070400_ciep_misc_dejong-maters-et-al_update.pdf)
12. UK energy sector indicators 2008. Bureau of Business, Enterprise and Regulatory Reform, 2008. <http://www.berr.gov.uk/files/file48502.pdf>
13. Быкова Е. В. Методы расчета и анализ показателей энергетической безопасности. Кишинев, 2005.
14. Sivonen H. Calculating compound risk of failure based on interdependencies of critical infrastructures // EAPC / PFP Workshop on Critical Infrastructure Protection and Civil Emergency Planning in Zurich on 9–11 September 2004.
15. Beccue P. C., Huntington H. G. An assessment of oil market disruption risks // Final Report EMF SR 8, Energy Modeling Forum, Stanford University, Palo Alto, California, 2005 October 3.
16. Energijos tiekimo scenarijų ir energijos tiekimo patikimumo Baltijos šalyse analizė. LEI studija. 2004.
17. Augutis J., Ušpuras E. Technologijų rizika. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, Vytauto Didžiojo universitetas, 2006.
18. Wilks S. S. Determination of sample size for setting tolerance limits // Annals of Mathematical Statistics. 1941. Vol. 12(1). P. 91–96.
19. Wilks S. S. Statistical prediction with special reference to the problem of tolerance limits // Annals of Mathematical Statistics. 1942. Vol. 13(4). P. 400–409.
20. Model MESSAGE // Command Line User Manual. Version 0.18, 2001. [http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/MESSAGE\\_man018.pdf](http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/MESSAGE_man018.pdf)
21. Europos Sąjungos energetikos politikos įtaka Lietuvos elektros ir šilumos energetikos saugumui. Europos socialiniai, teisiniai ir ekonominiai projektai. Vilnius, 2005.
22. Matuzas V., Tarvydas D., Krikštolaitis R., Listopadskis N. Power network reliability analysis system // Advances in Safety and Reliability: Conference ESREL 2005, TriCity (Gdynia–Sopot–Gdansk), Poland, June 27–30, 2005. London, 2005. P. 1379–1383.
23. Augutis J., Krikštolaitis R., Matuzienė V., Pečiulytė S. Assessment of energy supply security indicators for Lithuania // Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications: Proceedings of the European safety and reliability conference (ESREL 2008), Valencia, Spain, September 22–25, 2008. London: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009. Vol. 1. P. 3101–3107.

Juozas Augutis, Vaida Matuzienė, Ričardas Krikštolaitis, Sigita Pečiulytė, Egidijus Norvaiša

#### ANALYSIS OF SECURITY OF ENERGY SUPPLY ASSESSMENT METHODS

##### Summary

The methodologies of security of energy supply are presented in the article. They consist of analysis of energy supply disturbances, economical and reliability modeling, analysis of consequences scenarios and assessment using statistical and expert data. The purpose of the article is to represent usable methodologies of energy security, to analyze their advantages and disadvantages, to formulate more general rules of energy security assessment, the models of proposed threats and disturbances, the indicators of security and the assessment scale of possible consequences.

It is possible to use long term scenario of energy supply for description of energy supply disturbances and to consider deviations from basic scenarios as parameters of disturbances. The optimization economic model fits for modelling energy supply disturbances well enough. Expert and functional interdependence methods are suitable for data gathering and their analysis then we assess the energy security level by indicators method.

**Key words:** methodology of security of energy supply assessment, security measure, disturbances analysis, consequences analysis

Йозас Аугутис, Вайда Матузене, Ричардас Крикштолайтис, Сигита Печюлите, Эгидиус Норвайша

#### ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

##### Резюме

В этой статье анализируются методологии безопасности энергоснабжения, охватывающие анализ сценариев помех энергоснабжения, экономическое моделирование, моделирование надежности, анализ сценариев последствий, используя как экспертные, так и статистические данные. Цель этой статьи – представить используемые методологии безопасности энергоснабжения, проанализировать их преимущества и недостатки, сформулировать более общие принципы оценивания безопасности энергоснабжения, представить модели помех и последствий, индикаторы безопасности и шкалу оценивания возможных последствий.

**Ключевые слова:** методология оценки энергетической безопасности, мера безопасности, анализ помех, анализ последствий