



**K A U N O
TECHNOLOGIJOS
UNIVERSITETAS**

Sutartis Nr. 8436/8-249

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Elektros ir valdymo inžinerijos fakultetas
Elektros sistemų katedra

**PASKIRSTYTOS GENERACIJOS
INTEGRACIJA Į ELEKTROS ENERGETIKOS
SISTEMĄ IR ĮTAKA ENERGIJOS TIEKIMO
PATIKIMUMUI**

(Ataskaita)

2007 m. gruodžio mėn. 01 d.

© Visos teisės rezervuojamos

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Elektros ir valdymo inžinerijos fakultetas
Elektros sistemų katedra

**PASKIRSTYTOS GENERACIJOS INTEGRACIJA Į
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMĄ IR ĮTAKA
ENERGIJOS TIEKIMO PATIKIMUMUI**

(Ataskaita)

Temos vadovas: prof. Rimantas Deksnys _____

Vykdytojai: prof.dr. R.P. Deksnys

lektor. dr. R. Staniulis

dr. D. Šulga

Ataskaita parengta 2007 m. gruodžio mėn. 01 d.

Elektros ir valdymo inžinerijos _____
fakulteto dekanas prof. J.Daunoras

Elektros sistemų _____
katedros vedėjas doc. A. Morkvėnas

Tyrimai atlikti pagal LR Ūkio ministerijos užsakymą
Sutartis Nr. **8436/8-249**

Kauno technologijos universitetas Elektros ir valdymo inžinerijos fakultetas Elektros sistemų katedra	REFERATYVINĖS	Nr. 8436/8-249
	INFORMACIJOS	
	LAPAS	
	Parengimo data 2007-12-01	LR Ūkio ministerija
	Užsakymo data 2007-06-13	

		UŽSAKOVAS: LR Ūkio ministerija	
Paskirstytos generacijos integracija į elektros energetikos sistemą ir įtaka energijos tiekimo patikimumui			
Autoriai: Rimantas Pranas Deksnys, Robertas Staniulis, Darius Šulga			
Referatas			
<p>Brangstant naftai bei dujoms, elektrai gaminti atsinaujinančiųjų šaltinių naudojimo ekonominis patrauklumas didėja ir Lietuvoje numatoma sparti, ypač mažųjų generatorių, pavyzdžiui, vėjo elektrinių, plėtra. ES remia paskirstytųjų ir atsinaujinančių šaltinių plėtrą. Tačiau parama atsinaujinantiems šaltiniams neturi būti sutapatinama su parama mažiesiems generuojantiems šaltiniams. Mažųjų generatorių daromas poveikis elektros tinklų srautams, įtampoms režimams, relinės apsaugos darbui ir kitiems techniniams veiksniams dar nėra pakankamai ištirtas. Tačiau žinoma, kad esant labai dideliame mažųjų generatorių kiekiui, ši gamybos rūšis turi prisiimti dalį elektros energetikos sistemos valdymo funkcijų, tokių kaip elektros srovės dažnio pirminis reguliavimas, dalyvavimas antriniame ir tretiniame sistemos balanso reguliavime, dalyvavimas teikiant aktyviosios ir reaktyviosios galios rezervų paslaugas.</p> <p>Darbe tiriama paskirstytojo generavimo įtaka energetikos sistemos saugumui, patikimumui, elektros kokybei, darbo režimams, sistemos dažniui ir įtampoms, taip pat aktyviosios ir reaktyviosios galios valdymui, galių balansams bei trumpojo jungimo srovėms ir prijungimo reikalavimams.</p>			
Raktiniai žodžiai: Paskirstytasis generavimas, elektros energija, elektros sistemų valdymas, elektros sistemų patikimumas, mažųjų generatorių prijungimas.			
Kvalifikacijos sistema			
Sistemos indeksas			
Papildomi bibliografiniai duomenys		ISSN	
		ISBN	
	Kalba (lietuvių)	Lapų skaičius	Kopijų skaičius
	lietuvių	62	3

TURINYS

Įvadas 5

1. Paskirstytojo generavimo vystymo tendencijos ir plėtra Europos Sąjungoje ir pasaulyje	6
1.1. Paskirstytosios energijos gamybos technologijos	6
1.2. Paskirstytasis generavimas Europoje ir Pasaulyje.....	8
1.3. Paskirstytojo generavimo vystymo galimybės Lietuvoje.....	11
1.4. Paskirstytojo generavimo šaltiniai Lietuvoje	13
2. Paskirstytojo generavimo vystymo galimybės ir skverbties tendencijos ir įtaka darbo režimams ir patikimumui	18
2.1. Paskirstytojo generavimo privalumai ir trūkumai	18
2.2. Skyriaus išvados	21
3. Teisinis paskirstytojo generavimo reglamentavimas	22
3.1. Įstatyminis ir ekonominis reguliavimas	22
3.2. Gamintojų patekimas į rinką	22
3.3. Gamintojų prisijungimas prie tinklų.....	23
3.4. Skirstomųjų tinklų papildomos išlaidos ir nauda	24
3.5. Skyriaus išvados	24
4. Aktyviosios galios ir dažnio valdymo energetikos sistemoje su paskirstytuoju generavimu ir mažų galių generatorių įtaka sistemos dažniui ir įtampoms bei galios balansams.....	26
4.1. Paskirstytojo generavimo šaltinių dažnio ir įtampos valdymo bendrieji reikalavimai ..	26
4.2. Vėjo elektrinės ir pirminio dažnio valdymo aspektai.....	30
4.3. Kitų paskirstytojo generavimo šaltinių įtaka sistemos dažniui	31
4.4. Skyriaus išvados	32
5. Reaktyviosios galios ir įtampos valdymo sistemoje su paskirstytuoju generavimu tyrimas	33
5.1. Paskirstytuoju generavimo reaktyviosios galios ir įtampos valdymas.....	33
5.2. Paskirstytųjų elektrinių reaktyviosios galios valdymo reikalavimai	34
5.3. Skyriaus išvados	34
6. Paskirstytojo generavimo mažų galių generatorių prijungimo prie elektros tinklo galimų vietų nustatymo kriterijai bei įtaka patikimumui ir darbo režimams	35
6.1. Nagrinėjamųjų režimų aprašymas	36
6.2. Režimų analizė ir mazgų jautrio skaičiavimas	38
6.3. Skaičiavimo rezultatų analizė.....	41
6.4. Skyriaus išvados	41
7. Mažos galios elektrinių įtaka trumpojo jungimo srovėms elektros tinkluose	42
7.1. Elektrinių su keitikliais nusistovėjusiojo režimo trumpojo jungimo srovės	42
7.2. Vėjo elektrinių trumpųjų jungimų eksperimentinė analizė	44
7.3. Skyriaus išvados	48
8. Paskirstytojo generavimo šaltinių prijungimo techniniais reikalavimai, užtikrinantys elektros sistemos darbo patikimumą.....	49
8.1. Bendrieji reikalavimai	49
8.2. Mažųjų generatorių elektrinių atestavimo dokumentas (sertifikatas)	50
8.3. Mažųjų generatorių elektrinių aktyviosios galios valdymo reikalavimai	51
8.4. Mažųjų generatorių elektrinių reaktyviosios galios valdymo reikalavimai	52
8.5. Mažųjų generatorių elektrinių generuojamos įtampos kokybės reikalavimai	53
8.6. Mažųjų generatorių elektrinių metrologiniai reikalavimai.....	54
8.7. Mažųjų generatorių elektrinių informaciniai reikalavimai.....	55
8.8. Mažųjų generatorių elektrinių eksploatacijos pradžios bandymų reikalavimai	56
8.9. Baigiamosios nuostatos	57
8.10. Skyriaus išvados	57
IŠVADOS	58
Literatūra.....	60

ĮVADAS

Paskirstytojo generavimo šaltiniai yra pasiskirstę po visą elektros sistemą, dažnai yra arti tiesioginių elektros vartotojų ir gali būti prijungti tiesiogiai prie perdavimo arba skirstomųjų tinklų. Vieni jų naudoja atsinaujinančiosios energijos išteklius, o kiti neatsinaujinančius.

Paskirstytojo generavimo šaltiniai gali būti centralizuotai dispečerio valdomi arba nevaldomi, prijungti arba prie vietinio vartotojo tinklo, prie skirstomojo tinklo ir prie perdavimo tinklo. Energijos šaltinių tipai yra gana įvairūs: vėjo, saulės, mažos galios hidro, geoterminiai: atliekinės šilumos, biomasės, kogeneruojantys, dujų mikroturbinos, kuro baterijos ir pan. Šių šaltinių galia yra palyginti nedidelė galia ir gali siekti iki 100 MW, iki 30 MW arba iki 10 MW. Viskas priklauso nuo energetikos sistemos galios ir elektros vartotojų koncentracijos.

Globalinis gamtos atšilimas ir su tuo susijusi pasaulio visuomenės veikla lemia atsinaujinančiųjų energijos šaltinių panaudojimą, tačiau pasaulio energetikai [1] perspėja, kad atsinaujinančiosios energijos šaltiniai, bent jau kol kas, gali pakeisti tik nedidelę tradicinės energetikos dalį. Pirminės energijos vartojimo taupymas, perdavimo sąnaudų mažinimas ir vartojimo efektyvumo didinimas yra daug naudos atnešančios priemonės, tačiau atsinaujinantys energijos, o ne paskirstytojo generavimo šaltiniai, vis labiau įtakos energijos tiekimo įvairovę, emisijų sumažinimą ir tinkamą energijos naudojimą. Artimiausiu metu šiuolaikiniai atsinaujinantys energijos išteklių sudarys gana mažą pramoninių valstybių energijos dalį ir tik papildys organinio kuro ir branduolinės energijos šaltinius, bet jų nepakeis.

Svarbiausias atsinaujinančių energijos išteklių uždavinys yra sumažinti šiltnamio dujų emisijas, didinti ES nepriklausomumą, bei tuo pačiu mažinti organinio kuro importą, taip pat turėtų būti svarstomi ir kiti būdai, kuriais pasiekiami tie patys tikslai. Pirminės energijos vartojimo sumažinimas, padidinant energijos transformacijos, transportavimo ir naudojimo efektyvumą gali atnešti žymios naudos. Kuklūs energijos taupymo pastatuose, pramonėje ir transporte potencialo apskaičiavimai kai kuriose šalyse rodo, kad bent trečdalis sunaudotos pirminės energijos gali būti sutaupyta nekeičiant galutinio vartojimo technologijų. Investavimas į švarias organinio kuro technologijas dažnai gali duoti kur kas didesnę aplinkosauginę naudą, nei nebrandžių atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo technologijų rėmimas, ypač rinkose su perteklinėmis galiomis. Vandenilinės energetikos priešininkai perspėja, kad neišvengiami dideli grynojo vandenilio nuotėkiai į atmosferą yra ozono sluoksnį ardantis veiksnys.

1. PASKIRSTYTOJO GENERAVIMO VYSTYMO TENDENCIJOS IR PLĖTRA EUROPOS SAJUNGOJE IR PASAULYJE

Šiuo metu pasaulinė energetikos sistema yra sąlygojama ir įtakojama didelių skirtumų tarp disponavimo energija bei aplinkosauginių, ekonominių ir geopolitinių problemų ir reikalavimų. Labai svarbi pasaulinės energetikos problema yra nepatikimas energijos tiekimas. Daugelis šalių yra labai pažeidžiamos dėl energijos tiekimo nutraukimo. Antropogeninė veikla energetikoje sąlygoja klimato kaitą, ypatingai šiluminę, ir su tuo susijusias globalines problemas. Vienu iš pagrindinių energetikos plėtros politikos tikslu yra energijos paslaugų teikimas mažinant energijos gamybos, perdavimo, skirstymo ir vartojimo poveikį aplinkai, didinant energijos efektyvumą ir tiekimo patikimumą, atsinaujinančių energijos išteklių ir pažangių energijos technologijų plėtra [2]. Tai galima pasiekti decentralizuotu energijos tiekimu, kai elektrinės yra šalia elektros energijos vartotojų. Paskirstytojo energijos generavimo jėgainės yra tiek atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios jėgainės (vėjo, hidro, saulės), tiek ir nedidelio pajėgumo (dažniausiai iki 10 MWe) kogeneracinės elektrinės (mikro ir mini dujų turbinos, vidaus degimo varikliai, kuro elementai, kt.).

1.1. Paskirstytosios energijos gamybos technologijos

Labiausiai paplitusios paskirstytosios energijos gamybos technologijos yra technologijos, naudojant atsinaujinančius energijos išteklius (AEI):

1. Saulės fotoelektrinės. 1999 m. saulės energijos panaudojimas fotoelektrinėse jėgainėse pasaulyje peržengė 1 GW ribą. Po penkių metų, 2004 m. pabaigoje, ši galia jau buvo keturiskart didesnė – 4 GW. 2004 m. ši technologija pradėjo ypač sparčiai plėstis ir metinis galios prieaugis pasaulyje viršijo 1,1 GW. Manoma, kad 2006 – 2008 m. laikotarpiu fotoelektrinių jėgainių galia toliau didės panašiu tempu. Saulės fotoelektrinės yra dviejų tipų – vietinės (vieno vartotojo) ir pramoninės (tiekiančios elektros energiją į bendrą tinklą). Vietinės elektrinės labiausiai paplitusios Japonijoje, Vokietijoje ir JAV. Iki 2004 m. daugiau nei 400 tūkst. namų ūkių (pusė jų Japonijoje) šiose šalyse turėjo vietinius fotoelektrinius saulės kolektorius, įrengtus ant pastatų stogų. Metinis vietinių fotoelektrinių galios prieaugis pasaulyje 2000 – 2004 m. laikotarpiu buvo 17 %. Pramoninių fotoelektrinių metinis galios prieaugis tuo laikotarpiu buvo daug didesnis – 60 % (tai sparčiausiai besivystanti AEI panaudojimo technologija). 2004 m. pramoninių fotoelektrinių jėgainių pasaulyje instaliuota galia padidėjo nuo 1,1 GW iki 1,8 GW.

2. Vėjo elektrinės. Vėjo jėgainių metinis galios prieaugis pasaulyje 2000 – 2004 m. sudarė 28 % ir ši technologija yra antra sparčiausiai besivystanti technologija. Vėjo energetikos panaudojimas labiausiai paplitęs Danijoje, Ispanijoje ir Vokietijoje (šios šalys vien 2004 m. pastatė virš 2000 MW galios vėjo elektrinių) bei mažesniu mastu Indijoje, JAV ir Italijoje. Kai kurios šalys, pvz. Rusija, Kinija, Pietų Afrika, Brazilija, Meksika ir kt., šiuo metu tik pradeda įsisavinti šią technologiją.

3. Nedidelės hidroelektrinės. Nedidelių hidroelektrinių metinis galios prieaugis 2000 – 2004 m. buvo 10 %. Daugiau kaip pusė nedidelių hidroelektrinių galios yra sutelkta Kinijoje ir šiuo metu tokių projektų bumą šalyje vis dar tęsiasi (2004 m. buvo instaliuota 4 GW mažos galios hidroelektrinių). Kitos šalys, aktyviai diegiančios šią technologiją yra Australija, Kanada, Indija, Nepalas, Naujoji Zelandija.

4. Biomasės energija. Energijos gamybos iš biomasės metinis galios prieaugis 2000 – 2004 m. buvo 4 %. Pasaulyje ši technologija plinta, tačiau lėtai. Europoje, ypač Austrijoje, Suomijoje, Vokietijoje ir Jungtinėje Karalystėje šios technologijos panaudojimas auga sparčiausiai. Besivystančiose šalyse populiarios mažos galios žemės ūkio atliekų jėgainės, pvz. ryžių ar kokoso riešutų lukštų deginimo įrenginiai. Cukrų gaminančiose šalyse (Brazilijoje, Kolumbijoje, Kuboje, Indijoje, Filipinuose, Tailande) energijos gamybai plačiai naudojamos cukranendrių apdirbimo atliekos

5 Geoterminė energija. Geoterminės jėgainės yra bent 76 šalyse, o 24 šalyse gaminama ir elektra. 2002 – 2004 m. laikotarpiu kumuliacinis geoterminių jėgainių galios prieaugis pasaulyje buvo šiek tiek didesnis nei 1 GW – tai sudaro vidutiniškai 13 % kasmetinį prieaugį. Didžiausia

naujai instaliuotų geoterminių jėginių galios dalis tenka Prancūzijai, Islandijai, Indonezijai, Kinijai, Meksikai, Filipinams ir Rusijai. Pusę instaliuotos geoterminių jėginių galios sudaro šilumos siurblių, naudojamų pastatų šildymui, šaldymui ar karšto vandens ruošimui, galia.

6. Saulės šiluminės jėginės. Plačiausiai tokios sistemos naudojamos Kinijoje – skelbiama, kad šioje šalyje yra instaliuota 60 % viso pasaulio šios technologijos galių ir šioje pramonėje dirba apie 250 tūkst. žmonių. Kinijoje 2004 m. pastatų šildymo ir karšto vandens ruošimo įrenginių, naudojančių saulės energiją, galios prieaugis buvo 80 %. Pasaulio mastu 2000 – 2004 m. šių šiluminės energijos generavimo įrenginių bendros galios metinis prieaugis sudarė 17 %. Žymi šios technologijos rinka yra ir Europoje, Izraelyje, Turkijoje bei Japonijoje, mažesniu mastu ši technologija taikoma dar daugelyje šalių.

7. Etanolis. Etanolio produkcijos bei suvartojimo metinis prieaugis 2000 – 2004 m. laikotarpiu vidutiniškai buvo 11 %. Jau daugiau kaip 25 metus etanolio pramonėje lyderio poziciją užima Brazilija. 2004 m. Brazilija pagamino apie 15 mlrd. litrų etanolio ir tai sudaro pusę pasaulyje pagaminamo etanolio kiekio. Visos degalinės Brazilijoje parduoda tiek gryną etanolį (E95), tiek jo mišinį (E25) su benzinu (kuriame yra 25 % etanolio ir 75 % benzino). Iki 2005 m. vidurio Brazilijoje buvo daugiau kaip 340 cukraus gamybos įmonių, gaminančių etanolį. JAV, turinti daugiau nei 80 etanolio gamyklų, užima antrąją vietą pagal pagaminamo ir suvartojamo energijos gamybai etanolio kiekį. Kasmet JAV buvo pagaminta apie 14 mlrd. litrų etanolio. Kitos šalys šiuo metu gaminančios ir energijos gamybai naudojančios etanolį yra Australija, Kanada, Kinija, Kolumbija, Prancūzija, Vokietija, Indija, Jamaika, Lenkija, Ispanija, Švedija ir kt.

8. Biodyzelinas. Pasaulyje biodyzelino produkcijos bei suvartojimo metinis prieaugis 2000 – 2004 m. laikotarpiu buvo 25 %. Daugiausia biodyzelino pagaminama ir suvartojama Vokietijoje. Metinis biodyzelino gamybos prieaugis šioje šalyje siekė 50 % (tai sudaro beveik 2 mlrd. litrų). Daug biodyzelino pagaminama bei suvartojama Prancūzijoje, Italijoje, JAV, Austrijoje, Belgijoje, Švedijoje, Danijoje, Indonezijoje, Malaizijoje ir kt. Šiuo metu palyginti nedidelė biodyzelino gamybos apimtis Jungtinėje Karalystėje per ateinančius dvejus metus turėtų išaugti bent dvigubai [3].

Paskirstytojo generavimo šaltinius pagal išvystymo ir pritaikomumo lygius galima skirti į tris technologijų klases: a) brandžiosios, b) pusiau brandžios ir c) dabar tik atsiradusios technologijos.

Brandžiųjų technologijų generatorių darbas sistemoje didelių problemų nekelia ir techniniai bei ekonominiai parametrai žinomi.

Pusiau brandžios technologijas dar reikalauja išsamių mokslinių ir finansinių tyrimų. Pirmiausia tai būtų dujų turbininiai generatoriai. Jie pradėjo labai plisti. Europoje jau nupirkta virš 3000 įrenginių, tačiau instaliavimo išlaidos dar didelės: 1000 – 1200 EUR/kW. Papildomi tyrimai ir tobulinimo darbai turi padidinti šių įtaisų naudingumą virš 40 %, prailginti tarnavimo trukmę ir sumažinti instaliavimo investicijas iki 500 EUR/kW vertės, kartu išvystant galimybę naudoti įvairių dujinį ir skystą kurą. Kita pusiau brandi technologija yra fotoelektrinės. Pasaulyje jau veikia apie 2 GW suminės galios fotoelektrinių. Fotoelektros kaina dar labai aukšta: nuo 0,75 EUR/kWh iki 1,5 EUR/kWh, o taip pat dėl trumpos darbo trukmės (10 – 15 metų) šios elektrinės kol kas neatsiperka. Mokslinių tyrimų tikslas yra prailginti tarnavimo trukmę iki 30 ir daugiau metų, padidinti foto elementų efektyvumą ir patikimumą, sumažinti įrengimo kainą. Kaip rodo saulės elektrinių tyrimai, šių generatorių galia ypač priklauso nuo gamtos sąlygų. Užslinkus debesiai išėjimo galia krenta net 10 kartų, o tamsiu paros metu jos iš viso neveikia. Taigi per ūkanas ar vakaro prieblandoje iš fotoelektrinės naudos lieka nedaug. Vadinasi pagrindinė problema, kurią sistemai kels mažieji saulės energiją naudojančios ir po skirstomuosius tinklus pasiskirstę fotošaltiniai – yra jų darbo nepastovumas, trūkčiojimai ir įvairios trukmės pertraukos.

Netradiciniai elektros energijos kaupikliai: smagračiai, superkondensatoriai, superlaidūs selenoidai ir kt. baterijos taip pat priskiriamos šiai klasei. Tyrimų tikslas – sumažinti kainas ir tuo padidinti šių kaupiklių komercinį patrauklumą, nebenaudoti toksiškų medžiagų, padidinti sukauptą energijos kiekį.

Europoje ir kitose pasaulio šalyse (JAV, Japonija) labai daug pastangų dedama sukurti patikimą ir pigią kuro bateriją. Tiesioginis kuro naudojimas iš karto gaunant elektrą be garo katilo, turbinos ir generatoriaus, šią technologiją daro labai patrauklią. Tačiau dar daug mokslinių tyrimų

reikia kuro baterijoms ištobulinti. Jų labai didelės instaliavimo išlaidos nuo 2400 EUR/kW iki 30000 EUR/kW ir trumpa darbo trukmė – apie 9000 h. Atsiradus užsakymams, laukiamas staigus kainos sumažėjimas, tačiau tam reikalinga masinė gamyba.

Prie pradinės stadijos priskiriamos tik dabar pasirodžiusių technologijų okeano energijos išgavimo, saulės šilumos panaudojimo cheminiuose procesuose ir kai kurios biokuro technologijos.

1.2. Paskirstytasis generavimas Europoje ir Pasulyje

Europos Sąjungos šalyse paskirstytajai elektros gamybai priskiriamos atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios bei kogeneracinės jėgainės. Senosiose ES šalyse jau gerai suvokta ir įvertinta nauda, kurią gali suteikti decentralizuoti energijos šaltiniai, integruoti į elektros energetikos sistemą. Pagrindinis motyvas, skatinantis paskirstytosios energijos gamybos plėtrą, yra siekis naudoti pirminę energiją kiek įmanoma efektyviau, su kuo mažesniu poveikiu aplinkai, tuo pačiu užtikrinant, kad energijos tiekimas būtų saugus, patikimas, pakankamas ir už konkurencingą kainą [4]. Paskirstytoji elektros gamyba gali deramai prisidėti prie pagrindinių ES energetikos politikos tikslų įgyvendinimo, užtikrinti darnų vystymąsi, konkurencingumą ir energetinį saugumą.

ES priimtoje „Atsinaujinančių energijos išteklių direktyvoje“ (2001/77/EC) nurodoma, kad atsinaujinančių energijos išteklių dalis 2010 m. pasiektų 12 % bendro vidaus energijos suvartojimo ir 22 % elektros energijos suvartojimo. Naujoje ES energetikos politikoje nustatytas naujas tikslas – 2020 metais 20 % elektros energijos gaminti atsinaujinančiuose šaltiniuose. Elektros energijos gamybos iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių didinimas, siekiant įgyvendinti Baltosios knygos, JT klimato kaitos konvencijos, Kioto protokolo ir kt. aplinkosaugos reikalavimus, yra ES prioritetas. Tuo pačiu siekiama energijos tiekimo saugumo ir įvairovės bei socialinių problemų sprendimo. Pagrindinis direktyvos tikslas – sukurti liberalizuotoje vidaus elektros rinkoje bendrus principus ir nustatyti valstybių elektros gamybos iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių dydį. Šios užduotys turi derintis su minėtais ES tikslais ir valstybių galimybėmis. Didžiausia dalis elektros energijos paskirstytosios gamybos elektrinėse 2004 m. buvo pagaminta Danijoje, Vokietijoje, Olandijoje, Portugalijoje ir Ispanijoje. Šios šalys remia ir skatina šį elektros gamybos būdą jau ilgą laiką. Kuro, naudojamo įvairiose šalyse paskirstytajai elektros gamybai, struktūra labai skiriasi. Pavyzdžiui, Danijoje didelę šiam tikslui naudojamo kuro dalį sudaro dujas deginančios mažos galios termofikacinės elektrinės, prijungtos prie centralizuoto šilumos tiekimo tinklų. Švedijoje ir Suomijoje plačiai naudojamos biomasę deginančios termofikacinės elektrinės. Vėjo jėgainės statomos daugumoje ES šalių (ypač Vokietijoje ir Ispanijoje), taip pat auga mažųjų hidroelektrinių ir fotoelektros gamybos modulių įrengtoji galia. Numatyta, kad 2010 m. elektros gamyba iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių turi siekti: Austrijoje 78,1 %, Belgijoje 6 %, Danijoje 29 %, Suomijoje 35 %, Prancūzijoje 21 %, Vokietijoje 12,5 %, Graikijoje 20,1 %, Airijoje 13,2 %, Italijoje 25 %, Liuksemburge 5,7 %, Olandijoje 12 %, Portugalijoje 49,6 %, Ispanijoje 29,4 %, Švedijoje 60 % ir Jungtinėje Karalystėje 10 %. Elektros gamyba vien iš atsinaujinančiųjų ir atliekinių energijos šaltinių Europos Sąjungos šalių elektros energijos balanse 2010 m. su didelėmis HE vidutiniškai sudarytų apie 22,1 %, o be didelių HE (>10 MW), kurios šioje direktyvoje nenagrinėjamos, nes manoma, kad gali konkuruoti su tradiciniais elektros gamybos šaltiniais, turėtų sudaryti 12,5 %. Tokiu atveju, be didelių HE, atitinkamai sumažėtų ir atskirų valstybių elektros gamybos iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių užduotys.

ES-15 šalyse plačiai naudojamas paramos mechanizmas fiksuotais arba nuo laiko priklausančiais supirkimo tarifai. Fiksuotų tarifų paramos schema iš pradžių buvo labai veiksminga, tačiau didėjant paskirstytosios gamybos užimamai rinkos daliai jos efektyvumas mažėja. Atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios elektrinės elektrą gamina ne dėl jos poreikio, o dėl aukšto supirkimo tarifo. Todėl dabartiniu metu ieškoma naujų paramos mechanizmų, kurie geriau tiktų rinkos sąlygomis.

Nepaisant decentralizuoto energijos tiekimo privalumų ir trūkumų atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) panaudojimas sparčiai auga, nes yra skatinamas politinėmis ir ekonominėmis priemonėmis [5]. Vėjo jėgainės ir saulės fotoelektrinės jėgainės yra sparčiausiai besivystančios AEI naudojančios technologijos (1.1 lentelė).

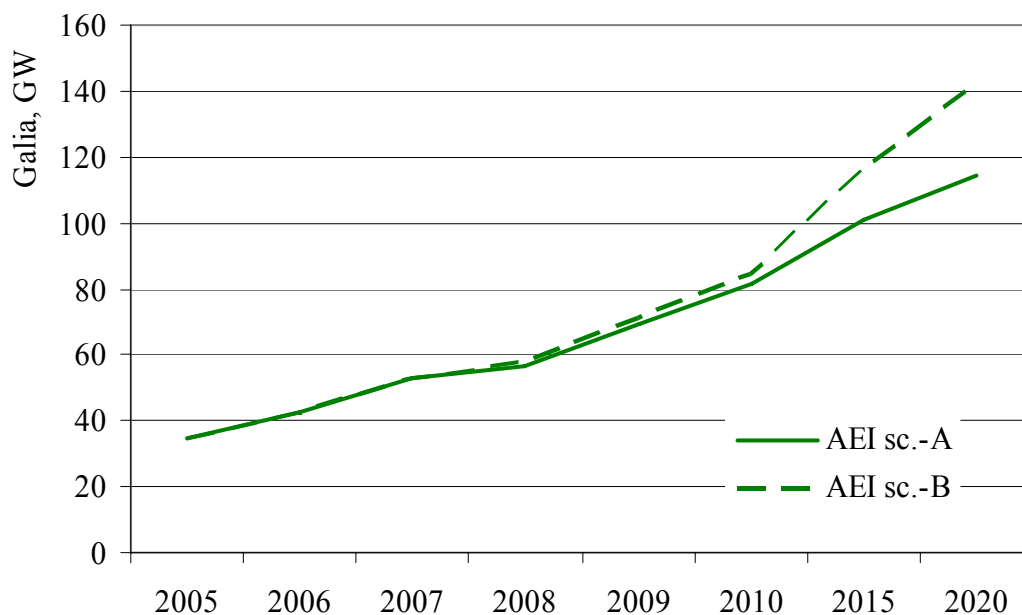
1.1 lentelė. AEI instaliuota galia 2004 m. pabaigoje

AEI elektrinės	Galia, GW
Mažosios hidroelektrinės	61
Vėjo elektrinės	48
Biomasės elektrinės	39
Geoterminės elektrinės	8,9
Vartotojų saulės fotoelektrinės	2,2
Pramoninės fotoelektrinės	1,8
Vandenyno (potvynių - atoslūgių) jėgainės	0,3
Bendra AEI galia	160
AEI karštam vandeniui ruošti ir šildymui	Galia ir skaičius
Biomasės šiluminės jėgainės	220 GWš
Saulės energijos kolektoriai	77 GWš
Geoterminės jėgainės	13 GWš
Geoterminiai šilumos siurbliai	15 GWš
Namų ūkio saulės energijos kolektoriai	40 mln., vnt
Pastatai su geoterminiais šilumos siurbliais	2 mln., vnt.
Automobilių kuras	Tūris, l/metus
Etanolis	31 mlrd.
Biodyzelinas	2,2 mlrd.

UCTE šalių atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios elektrinės greitai vystosi ir perspektyvos tempai yra pakankamai dideli (1.2 lentelė ir 1.1 pav.).

1.2 lentelė. UCTE šalių atsinaujinančios energijos elektrinių galia 2005-2020 m., GW

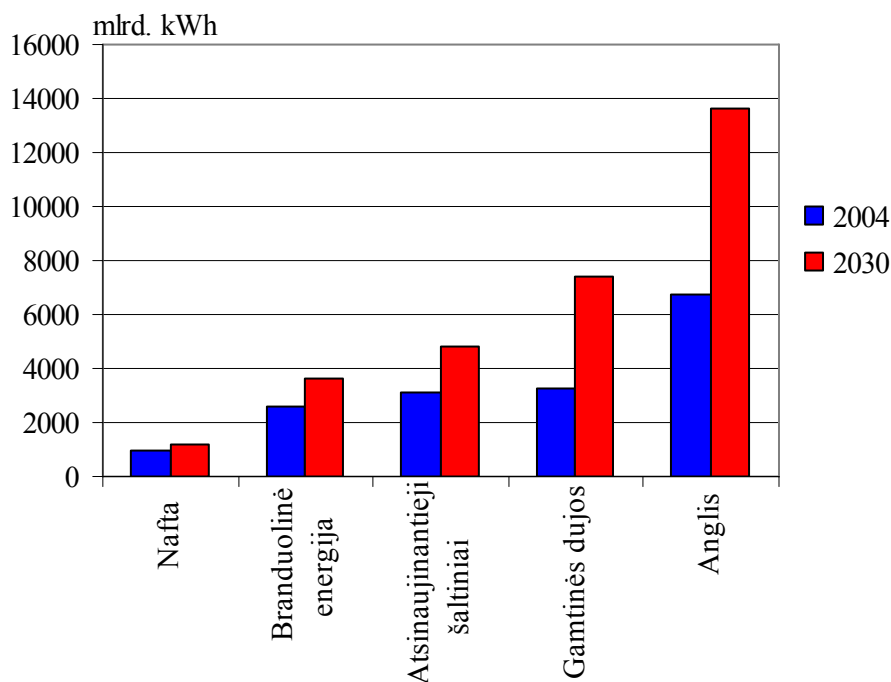
Scenarijus	2005	2006	2007	2008	2010	2015	2020
AEI sc.-A	34,4	42,3	53,0	56,4	81,8	101,0	114,4
AEI sc.-B	34,4	42,3	53,1	57,8	84,7	116,1	142,3



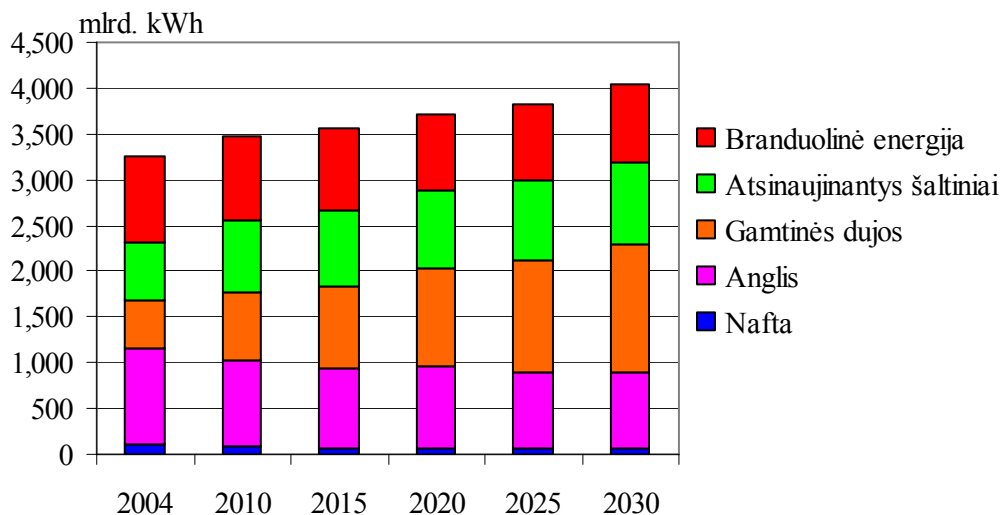
1.1 pav. UCTE šalių atsinaujinančios energijos elektrinių galia 2005-2020 m

Prognozuojama, kad 2020 m. atsinaujinančios energijos elektrinių galia, priklausomai nuo vystymosi tempų, gali pasiekti 114,4–142,3 GW.

1.2 ir 1.3 paveiksluose parodytos elektros energijos gamyba pagal kurą Pasaulyje ir Europoje 2004 ir 2030 metais.



1.2 pav. Elektros energijos gamyba pasaulyje pagal kurą 2004 ir 2030 metais [8]



1.3 pav. Elektros energijos gamyba Europoje pagal kurą 2004–2030 metais [8]

Naujose ES narėse paskirstytosios gamybos šaltinių dalis elektros balanse šiuo metu yra nedidelė ir jų įtaka elektros energetikos sistemų darbo režimams yra menka. Tarp naujų ES šalių didžiausias paskirstytosios gamybos elektrinių indėlis dabartiniu metu yra Čekijoje, Vengrijoje, Slovakijoje ir Slovėnijoje. Pastaraisiais metais daugumoje naujų ES šalių auga elektros gamyba iš atsinaujinančių energijos išteklių. Taip pat šiose šalyse yra nemažai nedidelės galios termofikacinių elektrinių, kurių dalis gali būti priskirta paskirstytosios gamybos elektrinėms [9].

Estijoje ir Latvijoje paskirstytajai elektros gamybai priskiriamos mažos pramonės įmonių termofikacinės elektrinės ir jėgainės, elektrai gaminti naudojančios atsinaujinančius energijos išteklius. Estijoje paskirstytosios gamybos dalis elektros energijos gamyboje 2002 metais sudarė tik

0,45 %. Dėl vėjo jėgainių plėtros sparčiai didėjo elektros gamyba naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, kurios dalis 2005 metais elektros gamyboje išaugo iki 1,2 %. 2010 metais šių elektrinių dalis turi išaugti iki 5,1 %, o apie pusė visos elektros, pagamintos naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, turėtų pagaminti biomasę deginančios elektrinės. Nuo 2003 metų Estijoje elektros energija, pagaminta naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, yra superkama privaloma tvarka, nepriklausomai nuo pirminės energijos rūšies yra nustatyta 52 EUR/MWh supirkimo kaina. Be to, Estijoje įvesta savanoriška atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo skatinimo, išduodant žaliuosius sertifikatus, tvarka.

2005 metais Latvijoje buvo apie 150 veikiančių mažų hidroelektrinių, kurių bendra įrengtoji galia sudarė apie 26 MW. Taip pat yra virš 20 mažų termofikacinių elektrinių pramonės ir šilumos tiekimo įmonėse, kurios gali būti traktuojamos kaip paskirstytosios gamybos elektrinės. Elektros, pagamintos paskirstytosios gamybos elektrinėse, dalis 2000 metais buvo 2,9 %, o 2004 metais 4,9 %. Nuo 2003 metų Latvijoje elektra, pagaminta naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, buvo superkama dvigubai didesniu nei vidutinė elektros gamybos kaina tarifu. Šiuo metu supirkimo kainos yra gerokai žemesnės ir kasmet koreguojamos, kartu nustatant naujų atsinaujinančių energijos išteklių naudosiančių elektrinių statybos kvotą. Vėjo ir hidroenergijos supirkimo tarifai 2005 metais buvo 49 EUR/MWh.

Problemos, su kuriomis susiduria paskirstytoji elektros gamyba daugumoje naujųjų ES šalių, yra panašios. Pavyzdžiui, naujiems gamintojams šiose šalyse sunku patekti į rinką ir konkuruoti su didelėmis kompanijomis, kadangi daugumoje jų didžiausias elektros gamintojas užima daugiau negu 50 % elektros rinkos. Taip pat daugelyje naujųjų ES šalių narių elektros gamybos, transportavimo ir tiekimo veiklos dar nėra visiškai atskirtos, gamintojams sudėtinga ir brangu prisijungti prie esamų tinklų ir pan.

1.3. Paskirstytojo generavimo vystymo galimybės Lietuvoje

Kaip rodo Lietuvos energetikos statistiniai duomenys, Lietuvoje 2005-2006 m. vietinių ir atsinaujinančiųjų energijos šaltinių panaudojimas (mediena, durpės ir hidroenergija) bendrame energijos, daugiausia šilumos, balanse sudarė 9 %. Taigi, pagal reikalavimą, kad 2010 m. atsinaujinančiųjų energijos šaltinių dalis balanse sudarytų 12 %, Lietuvai trūksta 3 %. Pastačius iki 2010 metų 200 MW galios planuojamų vėjo elektrinių, bei bioelektrines atsinaujinančių energijos šaltinių dalis balanse sieks ir viršys 12 %. Tačiau, dėl sudėtingo ir ilgo planavimo proceso, ilgo įrenginių gavimo laikotarpio statant vėjo elektrines, labai tikėtina, kad vėjo elektrinių bendra galia 2010 metais bus mažesnė nei 200 MW.

Remiantis „Atsinaujinančių energijos išteklių direktyva“ (2001/77/EC), o taip pat Kioto susitarimu, Lietuvoje numatoma sparti atsinaujinančiųjų energijos šaltinių plėtra. Dabartinė būklė nėra bloga, nes veikia Kauno HE, visa eilė mažųjų hidroelektrinių ir atliekinės šilumos elektrinių, sparčiai diegiamos vėjo elektrinės. Sparti mažų generuojančių šaltinių plėtra išstumia kitą, tradicinę gamybą, kuri yra elektros rinkos pagrindas. Mažieji generuojantys šaltiniai nedalyvauja elektros rinkoje, o jų gaminama elektros energija turi kaip taisyklė pirmenybę prieš kitų gamybos šaltinių gaminamą elektros energiją, jai nustatytos žymiai aukštesnė, nei elektros rinkos kaina. Remiamai elektros energijos gamybai sudarant žymią dalį elektros energijos balanse, elektros energijos rinka praktiškai būtų neįmanoma.

Lietuvoje esamų elektrinių įrengta galia siekia beveik 5000 MW, iš kurių vyrauja šiluminė (51 %) ir branduolinė (26 %) elektrinės. Hidroelektrinių dalis sudaro 21 % (įvertinant ir Kruonio hidroakumuliacinės elektrinės galią). Lietuvos elektrinių galios 2006 m. pradžioje pateiktos 1.3 lentelėje [10].

1.3 lentelė. Lietuvos elektrinių įrengtosios/disponuojamos galios ir į tinklą patiekta elektros energija 2006 m.

Elektrinės	Įrengtoji/ Disponuojamoji galia, MW	Elektra, GWh
Ignalinos AE	1300 / 1183	7944,6
Lietuvos elektrinė	1800 / 1732	884,0
Mažeikių elektrinė	160 / 148	159,1
Vilniaus elektrinė	384 / 367	596,5
Kauno elektrinė	170 / 160	580,2
Kauno energija	9 / 8	-1,3
Klaipėdos energija	11 / 10	20,63
Iš viso šiluminėse elektrinėse:	2534 / 2425	2243,76
Kauno hidroelektrinė	101 / 90	337,4
Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė	900 / 760	405,1
Mažosios hidroelektrinės	27/25	55,8
Iš viso hidroelektrinėse:	1026 / 875	798,3
Pramonės įmonių ir kitos elektrinės, iš jų:	102 / 70	387,4
biomasės	3,18	
vėjo	54,9	13,7
Iš viso:	4962 / 4553	11409,6
Kitos elektrinės prijungtos prie ST		6,63
<i>Elektrinės, naudojančios atsinaujinančius energijos išteklius</i>		95,0
<i>Iš viso elektrinės, naudojančios atsinaujinančius energijos išteklius</i>		837,5

Lietuvos elektros energetikos sistemoje vyrauja centralizuotas elektros tiekimas. Paskirstytajai elektros gamybai Lietuvoje priskiriamos pramonės ir šilumos tiekimo įmonių nedidelės galios termofikacinės elektrinės bei atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios elektrinės, t.y. biomasę deginančios termofikacinės elektrinės, mažosios hidroelektrinės, jau veikiančios vėjo jėgainės. Šios elektrinės (1.4 lentelė) 2004 metais pagamino 5,38 %, 2005 metais 5,82 % ir 2006 metais 5,51 % nuo šalies bendrųjų elektros sąnaudų (nevertinant sąnaudų vandeniui pakelti Kruonio HAE). Uždarius Ignalinos AE susidarys didesnės galimybės plėtoti paskirstytąją gamybą padidės nedidelės galios termofikacinių elektrinių indėlis, išaugs vėjo elektrinių galia ir elektros gamyba.

1.4 lentelė. Elektros energijos gamyba paskirstytosios gamybos elektrinėse [9]

	2000	2004	2005	2006
Mažosios HE, GWh	26,6	61,5	66,1	55,8
Vėjo elektrinės, GWh	0	1,2	1,8	13,6
Mažosios TE, GWh	146	549	590	563
Bendroji gamyba, GWh	11425	19274	14784	12482
Bendrosios sąnaudos (nevertinant Kruonio HAE užkrovos), GWh	9663	11360	11307	11487
Paskirstytoji gamyba, % nuo sąnaudų	1,79	5,38	5,82	5,51
Paskirstytoji gamyba, % nuo gamybos	1,51	3,17	4,45	5,07

Elektrinių, naudojančių atsinaujinančius energijos išteklius, rėmimas yra vienas iš pagrindinių būdų vystyti paskirstytąją gamybą. Gamintojams, naudojantiems atsinaujinančius energijos

ištekliai, nustatytos stabilios jų pagamintos elektros supirkimo kainos. Mažųjų hidroelektrinių ir biomasės elektrinių pagamintai energijai yra nustatyta 20 ct/kWh, o vėjo elektrinių 22 ct/kWh supirkimo kaina. Skatinimo Tvarioje [9] numatyta, kad šios kainos bus išlaikomos iki 2020 m. gruodžio 31 d. Lietuva yra išsipareigojusi 2010 metais pagaminti 7 % šalies bendrųjų elektros energijos sąnaudų, naudojant atsinaujinančius energijos išteklius. Didžiausia dalis elektros, pagamintos naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, dabartiniu metu tenka hidroenergijai. 2005 metais hidroelektrinės pagamino 451 GWh arba 98 % „žaliosios“ elektros, tačiau 2006 metais HE gamyba sumažėjo iki 397 GWh, o jų dalis elektros, pagamintinos naudojant atsinaujinančius išteklius, struktūroje sudarė 91 %. Mažosios hidroelektrinės (kurių galia iki 10 MW) 2005 metais pagamino 66,1 GWh, 2006 metais - 55,8 GWh. 2004 metais Lietuvoje buvo pastatytos pirmosios vėjo jėgainės, kurių indelis 2005 metais dar buvo labai mažas. Instaliuota galia buvo 3,55 MW ir jos pagamino tik 1,8 GWh elektros energijos. Šalia Palangos pastačius pirmą stambų vėjo jėgainių kompleksą, suminė įrengtoji 37 vėjo elektrinių galia 2006 metų pabaigoje sudarė 54,9 MW, gamyba – 13,7 GWh. Elektrinių, atsinaujinančių energijos išteklių, elektros dalis Lietuvoje pagamintos elektros balanse 2005 metais sudarė 3,1 %, o 2006 metais padidėjo iki 3,5 %. Nors hidroelektrinės 2006 metais pagamino mažiau elektros energijos nei 2005 metais, tačiau pradėjo augti kitų elektrinių, naudojančių atsinaujinančius energijos išteklius, indėlis. Vilniaus antrojoje elektrinėje įrengus kaitinto smėlio sluoksnyje biomasę ir durpes deginančią 60 MW šiluminės galios katilą, biokuras tampa svarbus ne tik šilumai, bet ir elektros energijai gaminti. Vien per 2007 metų pirmą ketvirtį vėjo elektrinės ir biomasę deginančios elektrinės pagamino atitinkamai 28,5 ir 17 GWh elektros energijos. Iki 2010 metų bus įgyvendinta bendros 200 MW galios vėjo elektrinių statybos programa, o panaudojus modernias technologijas termofikacinėse elektrinėse elektros energijai ir šilumai gaminti bus naudojamos miško kirtimo atliekos, žemės ūkyje nepanaudojami šiaudai, energetinių želdinių plantacijos, komunalinės atliekos ir kt.

Kaip jau buvo minėta, paskirstytosios elektros gamybos plėtros perspektyvos priklauso nuo daugelio veiksnių, tokių kaip teisinis ir ekonominis reguliavimas, prisijungimo prie tinklų ir patekimo į rinką sąlygos. Pasaulinė praktika rodo, kad plečiantis tokiai gamybai, natūraliai atsiranda arba yra dirbtinai suformuojami įvairūs barjerai.

1.4. Paskirstytojo generavimo šaltiniai Lietuvoje

Lietuva turi palyginti nedaug vietinių energijos išteklių, tačiau jų dalis bendrame pirminės energijos balanse 1990–2000 m. padidėjo daugiau kaip 4 kartus ir dabar siekia apie 13 proc., išskiriant vietinę naftą. Pagrindinė jų dalis tenka medienai ir kitam kietajam kurui, kurį naudojant padengiama apie 8,5 proc. šalies kuro poreikių.

Vietinės naftos gamyba siekia apie 300 tūkst. t, o tai sudaro apie 10 proc. šalies ūkio naftos poreikių.

Šalyje plečiamas kitų vietinių, atsinaujinančių ir atliekinių energijos išteklių naudojimas. Kiti vietiniai išteklių – tai mediena ir medžio apdirbimo atliekos (žievė, šakos, pjuvenos ir kt.), žemės ūkio gamybos atliekos (šiaudai, spalvai ir kt.), durpės, hidroenergija, geoterminė energija. Kaip matyti iš 1.5 lentelės, durpių ir šiaudų kuro, kuris naudojamas nedidelėse vietinės reikšmės katilinėse, sunaudojama nedaug. Tam tikrą vietą vietinių išteklių naudojimo balanse pradeda užimti biodujos. Biodegalų etanolio ir rapsų aliejaus pagrindu gamyba, kurią numatoma pradėti artimiausiu metu, taip pat turėtų augti. Vietiniam kurui šalyje gali būti naudojamos ir komunalinės bei pramonės atliekos. Vienas iš svarbesnių atsinaujinančių energijos išteklių yra hidroenergija. Naudotina ir geoterminė energija. Didžiausias vėjo energijos potencialas yra Vakarų bei Šiaurės Lietuvoje, ypač Baltijos pajūrio ruože. Tam tikrą energijos gamybos potencialą ateityje turės ir saulės energija. Realiai per artimiausius 10–15 metų 12–13 % pirminės energijos poreikių gali patenkinti biokuras ir kiti atsinaujinantys bei atliekiniai energijos išteklių [4].

Lietuvoje yra tokie atsinaujinančios energijos šaltiniai, kurie yra tinkami paskirstytosios energijos gamybai:

Hidroenergija. Hidroenergetika yra energetikos dalis, kuri apima vandens išteklių naudojimą elektros energijai gaminti, siekiant užtikrinti ekonomiškumo ar kitais kriterijais (pvz., tarptautiniais įsipareigojimais) pagrįstą jų dalį šalies elektros energijos gamybos balanse.

Hidroenergijos išteklių skirstomi į potencinius (teorinius), techninius ir ekonominius. Visu Lietuvos upių, ilgesnių negu 20 km (378 upės), potenciniai hidroenergijos išteklių įvertinti 5,1 mlrd. kWh per metus. Apytikriai techniniai hidroenergijos išteklių – 2,1 mlrd. kWh/m, o ekonominiai – 1,5 mlrd. kWh/m., tačiau maksimali gamyba gali siekti tik 0,6–0,7 mlrd. kWh.

Pagrindinė hidroenergijos išteklių dalis Lietuvoje yra sukoncentruota Nemuno ir Neris upėse (apie 85 % viso hidroenergijos potencialo). Lietuvoje yra tik dvi upės, kurių bendra potencinė galia viršija 100 MW, 7 upės – 10 MW ir 42 upės – 1 MW. Šiuo metu Lietuvoje veikia 80 hidroelektrinių.

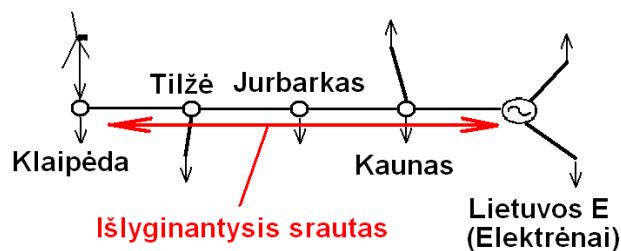
Reikia sudaryti naujas, šiandienos reikalavimus atitinkančias Nemuno ir Neris kompleksinio naudojimo schemas, kadangi ankstesnėse numatytų hidroelektrinių galios buvo per didelės ir nebuvo reikiamai įvertinti aplinkosaugos reikalavimai. Siūlytos statyti Birštono ir Alytaus HE sulaukė didelio visuomenės pasipriešinimo ir Vyriausybė priėmė nutarimą uždrausti Nemuno hidroelektrinių statybą.

Geoterminė energija. Vakarinėje Lietuvos dalyje yra du perspektyvūs vandeningi horizontai. Pirmasis – 700–1100 m gylyje (30–45 °C) ir antrasis – 1700–2200 m gylyje (60–95 °C). Jie galėtų būti panaudojami Klaipėdos, Šilutės, Palangos, Gargždų miestų centriniams šildymui. Elektros energijai gaminti šie energijos išteklių netinka dėl žemos temperatūros. Technologiniams reikalams panaudoti trukdo didelis druskingumas ir žema temperatūra.

Vėjo energija. Vėjo elektrinės ir jų junginiai, vadinami vėjo parkais, atitinka ir atsinaujinančios energetikos ir paskirstytojo generavimo sąvokas bei gali būti vadinami mažaisiais generatoriais, jei diegiamas vėjo parkas yra mažos galios ir jungiamas prie skirstomųjų tinklų. Iki 2007 metų birželio mėn. Lietuvoje pastatytos 37 vėjo elektrinės, kurių suminė galia siekė 55 MW. Iki 2010 metų numatyta įgyvendinti bendros 200 MW galios vėjo elektrinių statybos programą šalies vakarinėje dalyje. Vėjo elektrinių spartų galių vystymą pradeda riboti ir 110 kV linijų galių pralaidumas. Tolesni vėjo elektrinių plėtros planai siejami su jūrinių vėjo elektrinių statyba Baltijos jūroje ir įvairiais perdavimo tinklo plėtros, bei kitų rezervinių elektros linijų ir elektrinių statybos planais. Tačiau vėjo elektrinių statytojai susiduria su visa eile sunkumų rengiant detaliuosius planus, atliekant poveikio aplinkai vertinimą, užsakant vėjo jėgaines iš gamintojų, dėl ko visas vėjo elektrinės statybos procesas užtrunka žymiai ilgiau, nei buvo tikėtasi. Tikėtina, kad iki 2010 bus pastatyta ne 200 MW, o tik viso labo apie 80 MW galios vėjo elektrinėse dėl visų šių priežasčių. Dėl didelės vėjo jėgainių paklausos ir gamintojų ribotų galimybių pagaminti prašomą kiekį vėjo jėgainių, 200 MW galios vėjo elektrinių statyba iki 2010 metų gali būti nepasiekiamas tikslas, net ir išsprendus vietines problemas dėl detaliųjų planų rengimo, bei poveikio aplinkai vertinimo.

Vėjo energetikos suminė instaliuotoji galia turi išlikti elektros sistemos dažnio reguliatorių galios lygyje, kol sistemos dažnio reguliavimo pajėgumai su vėjo elektrinių galių atsiradimu ir vėl pranykimu susidoroja.

Vėjo energetikos poveikis elektros sistemai ir visai visuomenei yra dvejopas. Pirmiausia, vėjo panaudojimas leidžia taupyti iveržtinio kuro sąnaudas elektrai gaminti, sukelia tam tikras energetinio savistovumo mintis, gerina šalies gamtos saugojimo ir šiltnamio efekto mažinimo įvaizdį. Kita pusė yra priešinga. Lietuvos sistemos galią turės papildomai balansuoti šiluminės elektrinės. Dalis generatorių turės dirbti priverstinuose nenašiuose režimuose,



1.4 pav. VE galių kitimą išlyginantysis srautas Elektrėnai – Klaipėda ir atgal

Sistemos galių balansą išlyginantysis srautas savo ruožtu sukels įtampų reguliavimo ir reaktyviosios galios balanso Klaipėdos mazge problemą. Reikalingos naujos elektros energetikos valdymo priemonės –pavyzdžiui, 150 MVA reaktyviosios galios kompensatorius Klaipėdoje ir nauji informacinės sistemos tobulinimo sprendiniai.

Vėjo energetika dėl gaunamų subsidijų, elektros energijos kainos didesnės už rinkos kainą, didina gaminamos elektros savikainą. Planuojamos iki 2010 metų pastatyti suminės 200 MW galios vėjo elektrinės pagamins apie 0,4 TWh energijos per metus ir pareikalaus apie 24 mln. Lt. subsidijų, kurias mokės elektros vartotojai per padidintą elektros padavimo kainą. Vėjo elektrinės rezervuojančiųjų galių pirkimas dar papildomai padidins šią kainą maždaug 32 mln. Lt.

Saulės energija. Nors saulėtų dienų Lietuvoje nedaug, tačiau saulės energijos kiekis artimas Europos vidurkiui ir sudaro apie 1000 kWh/m² per metus. Šios elektrinės kainą padidina elektros akumuliatorinis kaupiklis ir valdymo elektronika. Perspektyvi vandens skaidymo į vandenilį ir deguonį, tiesiogiai taikant saulės spinduliuotę, technologija. Susidarančios vandenilio dujos jau gali būti naudojamos tamsiuoju paros laiku elektrai kuro baterijoje gauti. Elektrai gaminti Lietuvoje kol kas ją naudoti dar neekonomiška.

Municipalinės atliekos. Iš Lietuvos sąvartynų per metus galima būtų išgauti apie 40 milijonų m³ metano. Atliekas galima deginti, dujofikuoti, panaudojant elektrai ir šilumai gaminti ir skystam metanolui gaminti maišymui su benzinu (automobilių varikliams). Nacionalinės energetikos strategijos įgyvendinimo priemonių plane numatyta, kad iki 2012 metų Klaipėdoje bus pastatyta 25 MW galios kogeneracinė elektrinė, naudojanti komunalines atliekas, o Vilniuje ir Kaune tokių elektrinių galia sudarys atitinkamai 20 ir 15 MW.

Biodujos. Lietuvoje veikia arba veikė trys bendros 2,1 MW biodujų elektrinės: 1,5 MW galios elektrinė perdirbanti „Semos“ spirito gamybos atliekas Panevėžyje, 0,3 MW galios elektrinė, perdirbanti Utenos miesto valymo įrengimų nuotekas ir 0,3 MW galios elektrinė perdirbanti kiaulių mėšlą „Vyčios“ žemės ūkio bendrovėje Kauno rajone, AB „Rokiškio sūris“ įmonėje ir pan. Šios elektrinės pakeičia 1800 t deginamo mazuto, kurio nedeigiant, į atmosferą nepatenka apie 5800 t. CO₂, 90 t. SO₂, 6 t. NO_x, 1,6 t. kietųjų dalelių. Tačiau eksploatuojant pastarąją elektrinę, nepavyko išspręsti susidarančių dujų nurūgštinimo problemos ir susidaranti druskos rūgštis greitai naikina įrenginius.

Biokuras. Lietuvos miškų plotas apie 2100 tūkst. ha (apie 32 % visos teritorijos). Taip pat gali būti naudojami šiaudai, spalviai ir įvairios žemės ūkio atliekos (vandens šildymo katilams).

Šiuo metu vienas perspektyviausių atsinaujinančių energijos šaltinių yra įvairių rūšių bioenergija. Tai mediena: malkos, skiedros, pjuvenos, briketai, miško ruošos bei medienos perdirbimo gamybos atliekos, energetinės plantacijos, taip pat šiaudai, biodujos, sąvartynų dujos. Didžiausi ištekliai ir plačiausiai naudojamas įvairių rūšių medienos kuras. Lietuvoje yra gana daug miškų (30,7 %). Taigi medienos kuro platų naudojimą ir dėkingas vartojimo plėtros perspektyvas lemia pakankamai dideli ištekliai, pakankamai nedidelė kaina, nesudėtingos ir santykinai nebrangios deginimo technologijos, mažiau teršalų išmetamuose degimo produktuose. Elektrai gaminti medienos energija buvo vartojama energetikos aušroje. Dabartiniais laikais ji yra paplitusi tik vietinėse municipalinėse ar visai mažose atskirų namų katilinėse šilumai gaminti, išskyrus Vilniaus TE-2.

Bio energetika gali būti pakankamai perspektyvi šaka ir žemės ūkio šakai. Mažėjant paramai ūkininkams augintiems įvairius augalus, užsiimantiems gyvulininkyste, persiorientavimas bio augalų, miško auginimo gali būti labai patrauklus.

Durpių kuras. energetikoje buvo naudojamas iki XX amžiaus septintojo dešimtmečio. Dabar svarstomos galimybės vėl naudoti durpes.

Mažosios kombinuoto ciklo elektrinės. Daugelis ekonominio modeliavimo rezultatų rodo, kad didelę perspektyvą turi naujų kombinuoto ciklo dujinių šiluminių elektrinių statyba [10]. Minimos galimos statybos vietos veikiančioje Lietuvos elektrinės Elektrėnuose teritorijoje ir uždaromos Ignalinos AE teritorijoje. Po 2014 metų galima tikėtis tolesnės tokių elektrinių statybų plėtros Vakarų Lietuvoje, tačiau šiems planams gali sutrukdyti nepaprastai brangstanti nafta ir jos kainos palydovė – dujų kaina. Jei dujos ir toliau išliktų panašios kainos ar toliau brangtų, į pirmą plano eilutę pakyla naujos atominės elektrinės statyba, greičiausiai buvusios Ignalinos AE vietoje.

Pagrindinė generatorių atnaujinimo priežastis – labai didėjantys dūmų valymo kaštai ir senųjų elektrinių mažėjančios konkurencijos galimybės. Elektrinių plėtrai taip pat didelę įtaką turės ir apribojimai dėl CO₂ išmetimų, kurie labiausia įtakoja į klimato kaitą. Atominės elektrinės išliks patraukliausiu pasirinkimu dėl mažo kuro kainos kitimo įtakos elektros energijos gamybos kaštams, CO₂ išmetimų nebuvimo, ilgo tarnavimo laikotarpio (50-60 metų), kas suteikia didesnio stabilumo elektros energijos kainai, bei ekonomikai, verslui.

1.5 lentelė. Vietinių, atsinaujinančių ir atliekinių energijos išteklių vartojimas ir prognozė tūkst. tne

Kuras	2000	2015
Medienos atliekos ir malkos	615	850
Durpės	11	50
Šiaudai	2,5	13
Biodujos	2,4	21
Biodegalai	0	30
Kietos buitinės ir pramonės atliekos	0	20
Vėjo energija	0	22
Saulės energija	0,03	0,4
Geoterminė energija	0	16
Hidroenergija	29,2	38
<i>Iš viso</i>	<i>660</i>	<i>1060</i>

Nacionalinė energetikos strategija (NES) apibrėžia pagrindines valstybės nuostatas ir jų įgyvendinimo kryptis iki 2025 metų, šias nuostatas ir kryptis ekonomiškumo, energetinio saugumo, aplinkosaugos ir valdymo tobulinimo aspektais visapusiškai derinant su didėjančiais valstybės poreikiais ir naujais tarptautiniais reikalavimais. Atsinaujinančių energijos išteklių dalis bendrame šalies pirminės energijos balanse 2005 metais padidėjo iki 8,7 %, o 2010 metais bus pasiektas vienas iš strateginių šalies tikslų – jų indėlis padidės iki 12 %. Pastatius visas vėjo elektrines, kurių statybos procesas jau prasidėjo, ir biokurą deginančias elektrines, 2010 metais daugiau kaip 7 % elektros energijos bus pagaminta naudojant atsinaujinančius energijos išteklius. Atsinaujinančių energijos išteklių dalį bendrame šalies pirminės energijos balanse 2025 metais numatyta padidinti ne mažiau kaip iki 20 %;

Siekiant didinti biokuro ir kitų vietinių energijos išteklių naudojimą, mažinant importuojamo kuro poreikį, NES numatyta parengti reikalingus teisės aktus, teisinėmis ir ekonominėmis priemonėmis skatinti daugiau naudoti vietinių energijos išteklių, iki 2010 metų įgyvendinti bendros 200 MW galios vėjo elektrinių statybos programą ir parengti nauja vėjo energijos panaudojimo Lietuvoje ilgalaikę programą;

Prognozuojama tolesnė elektros generatorių statyba šiluminės energetikos įmonėse, panaudojant esamų miestų šildymo katilinių rekonstrukcijų projektus, arba viską statant naujoje aikštelėje. Impulsą mažų elektrinių plėtrai sudarė padidintos elektros supirkimo kainos: 20 ct/kWh mažųjų hidroelektrinių elektrai, 22 ct/kWh vėjo elektrinių elektrai ir 20 ct/kWh biokuro elektrinių elektrai. Tačiau tolimesnę paskirstytosios generacijos plėtrą rekomenduojama sukurti konkurenciją šioje srityje.

Planuojant, kad 2010 metais elektros gamyba šalyje sieks 13 TWh, atsinaujinančiąją ir atliekinę energijas naudojančios elektrinės gamins apie 7 % elektros arba 0,7 TWh kiekį, todėl planai pakankami realūs. Ši elektra tenkins „žaliosios“ energijos sąvokos reikalavimus ir gali būti pardavinėjama atskirai pagal žaliųjų sertifikatų sistemos taisykles.

Žvelgiant į perspektyvą, galima sudaryti būsimų elektrinių sąrašą. Pirmiausia, pagrindinę dalį (didesnę pusę) elektros generuos pigius valymo įrenginius turinčios, arba jų net neturinčios

kombinuoto ciklo dujinės elektrinės. Jų statyba turėtų prasidėti tuoj po Ignalinos AE uždarymo, kai tik elektros gamybos kaina realiai šoktels. Lietuvos elektrinė po kelerių rekonstrukcijų ir dūmų valymo įrenginių statybos, bus nepajėgi konkuruoti su naujaisiais generatoriais ir kartu su kitomis šiluminėmis elektrinėmis, deginančiomis mazutą, gamins tik apie trečdalią reikiamos elektros. Likusią, maždaug šesštą dalį elektros gamins kitos elektrinės ir smulkūs generatoriai. Esant brangiai elektros energijos gamybos savikainai labai tikėtinas didelis elektros energijos importas iš kitų energetikos sistemų, tačiau tai gali būti apribota elektros tinklų pralaidumo galimybėmis bei atsirasiančiu elektros gamybos stygiumi kitose energetikos sistemose.

Tačiau mažų elektrinių planavimas yra praktiškai neįmanomas, kadangi įmonės, kurios planuoja statyti mažą generuojantį šaltinį, apie tai nieko neinformuoja ir stengiasi apie tai nusišnešti kiek galima iki arčiau statybos laikotarpio pradžios. Dažnai, įmonės, kurios gali statyti tokius mažus generuojančius šaltinius neprivalo iš anksto apie numatomus planus informuoti sistemos operatorių, tad informacija apie tai patenka pas sistemos operatorių pačiu paskutiniu momentu.

Į mažųjų generatorių kategoriją patenka visi 20 MW ir mažesnės galios generatoriai, darant išimtį Kauno HE ir būsimoms naujoms Nemuno HE, nes šių elektrinių panaudojimas Lietuvos elektros sistemos režimams valdyti yra ribojamas turimų vandens srautų, o jų savybės yra daugiau režimą stabilizuojančios ir reguliuojančios negu gadinančios.

1.6 lentelėje pateiktas disponuojamos galios kitimas 2005-2010 metais, iš kurios matyti, kad nuo 2007 iki 2010 m. atsinaujinančių energijos šaltinių dalis turėtų padidėti nuo 64 iki 223 MW, o pramonės ir kitų įmonių elektrinės nuo 74 iki 92 MW.

1.6 lentelė. Disponuojamos galios kitimas 2005-2010 metais, MW

Disponuojama galia, MW	2005 m.	2006 m.	2007 m.	2010 m.
Ignalinos AE	1183	1183	1183	0
Lietuvos elektrinė	1732	1732	1732	1450
Naujas Lietuvos elektrinės blokas	0	0	0	400
Mažeikių elektrinė	148	148	148	148
Vilniaus elektrinė	367	367	356	356
Kauno elektrinė	161	161	161	161
Petrašiūnų elektrinė	7	7	7	7
Klaipėdos energija	9	9	9	9
Panevėžio energija	2	2	2	35
Pramonės ir kitų įmonių elektrinės	74	74	74	92
Iš viso ŠE	2500	2500	2489	2658
Kauno hidroelektrinė	90	50	50	90
Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė	760	760	760	760
Mažosios hidroelektrinės elektrinės	20	25	25	29
Iš viso HE	870	835	835	879
Biomasės elektrinės	3	3	15	23
Vėjo elektrinės	1	31	49	200
Iš viso atsinaujinantys šaltiniai	4	34	64	223
IŠ VISO	4557	4552	4571	3760

2. PASKIRSTYTOJO GENERAVIMO VYSTYMO GALIMYBĖS IR SKVERBTIES TENDENCIJOS IR ĮTAKA DARBO REŽIMAMS IR PATIKIMUMUI

2.1. Paskirstytojo generavimo privalumai ir trūkumai

Daugelis ekspertų XXI amžių laiko decentralizuoto energijos tiekimo amžiumi. Labiausiai ribojantis paskirstytojo energijos tiekimo plėtrą veiksnyis yra brangios technologijos. Tačiau būtent technologijos yra ta sritis, kuri Pasulyje pastaruosiu metu vystosi greičiausiai. Vienos iš perspektyviausių decentralizuoto energijos tiekimo technologijų – kuro elementų kaina per pastaruosius 5 metus nukrito nuo maždaug 10 000 USD/kW. Daugelis ekspertų šią technologiją laiko optimalia decentralizuotam energijos tiekimui, įrengiant elektros generavimo pajėgumus netgi atskiruose pastatuose, įvertinant aukštą kuro elementų patikimumą, efektyvų, ekologišką ir tylų jų veikimą. Tikimasi, kad jau per artimiausius 6-9 metus kuro elementų jėgainių kaina, prasidėjus jų masinei gamybai, nukris iki 1000 USD/kW. Galima pastebėti ženklų vėjo jėgainių, saulės elementų jėgainių tobulėjimą ir santykinį šių technologijų kainų kritimą. Visgi paskirstytosios energijos tiekimas atspindi tam tikrus privalumus, kurie gal būt nėra matomi iš karto.

Pagrindiniai decentralizuotos energijos generavimo **privalumai**:

1. **Savalaikės investicijos.** Paskirstytosios energijos tiekimo atveju statomos nedidesnės galios jėgainės, todėl investicijos yra savalaikės, išvengiama galių pertekliaus arba deficito ir tuo pačiu energijos kainų staigių pokyčių bei pasiekiamas aukštas projekto ekonominis efektyvumas. Nauji energijos generavimo pajėgumai atsiranda būtent tuo metu, kai atsiranda jų poreikis.
2. **Mažesnės energijos transportavimo ir skirstymo sistemų vystymo investicijos.** Esant labiau diversifikuotam energijos generavimui, reikalingos mažesnės investicijos į centralizuoto energijos tiekimo tinklo įrengimą ir atkūrimą. Šios investicijos paprastai sudaro didelę visų energijos tiekimo ir skirstymo kaštų dalį, ypač žinant, kad energijos tiekimo pajėgumai vidutiniškai metų bėgyje yra išnaudojami mažiau nei 50%. Lietuvos sąlygomis šiuo požiūriu ypač palanki vieta naujų paskirstytojo elektros energijos tiekimo jėgainių įrengimui būtų Vakarų Lietuva, nutolusi nuo pagrindinių elektrinių Vilniuje, Kaune, Elektrėnuose ir Visagine.
3. **Efektyvus energijos tiekimas.** Vystantis decentralizuotam energijos tiekimui, mažėja energijos technologinės sąnaudos tinkle (tuo pačiu ir reikalinga jėgainių galia ir investicijos).
4. **Pagerėja tiekiamos energijos kokybė.** Esant paskirstytajai generacijai mažėja elektros energijos įtampos svyravimai, geriau subalansuojama reaktyvioji galia, ilgėja įrangos (ypač transformatorių) susidėvėjimo laikotarpis.
5. **Išauga energijos tiekimo patikimumas.** Decentralizuoto energijos tiekimo pajėgumams dirbant lygiagrečiai su bendru energijos tiekimo tinklu, ryškiai išauga energijos tiekimo patikimumas. Energijos tiekimo patikimumo ekonominę vertę yra pakankamai sudėtinga įvertinti ir labai priklauso nuo energijos vartotojo. Aišku, kad energijos tiekimo nutraukimo ekonominė žala kur kas didesnė yra komercinių ir pramoninių vartotojų atveju, nei gyventojų atveju. Kai kurios nepertraukimo proceso pramoniniai vartotojai vieno avarinio energijos tiekimo nutraukimo žalą JAV įvertino vertė iki 200 000 USD.
6. **Greitas jėgainių paleidimas.** Esant decentralizuotam energijos tiekimui, šalies ūkis tampa mažiau pažeidžiamas nuo įvairių ekologinių nelaimių ir teroristinių išpuolių.
7. **Išauga energijos generavimo efektyvumas ir sumažėja tarša.** Šio privalumo vertė priklauso nuo to su kokia elektrine yra palyginama. Jei vėjo paskirstytosios jėgainės pakeičia kondensaciniu režimu mazutą deginant generuojamą elektros energiją, bendras energijos tiekimo efektyvumas išauga ženkliai. Kitais atvejais efektyvumas gali būti ir ne toks ženklus. Esant dideliame kiekiui smulkių šaltinių ir vartotojų, mažesnė galia yra laikoma „karštame rezerve“. Tai irgi leidžia padidinti bendrą energijos generavimo efektyvumą.
8. **Informacinių technologijų įtaka elektros energijos rinkoje.** Be pačių decentralizuoto energijos tiekimo jėgainių technologijų tobulėjimo, pastebima yra ir kita tendencija –

informacinių technologijų (IT) auganti įtaka šioje rinkoje. Paskirstytojo energijos tiekimo efektyvumas gali būti ypač aukštas, derinant šią koncepciją su energijos akumuliacijos pajėgumų, vartojamos galios valdymu ir energijos poreikių nuolatinio prognozavimo sistema. Atsirado netgi naujas terminas – „virtuali elektros energijos generavimo jėgainė“. Tai yra nedidelių jėgainių, jų aptarnaujamų vartotojų, elektros energijos akumuliacijos įrengimų sisteminis valdymas, pasinaudojus naujausiomis duomenų perdavimo ISDN arba LAN tinklo pagalba technologijomis. Tokiu būdu vienu metu yra valdomos jėgainės ir vartotojai, geografiniu požiūriu esantys nutolę vienas nuo kito. Maždaug kas 15 minučių „virtualios jėgainės“ operatorius gauna prognozę apie energijos poreikių numatomą kitimą, klimato numatomą kitimą (su tuo susijusių saulės, vėjo jėgainių galimą išnaudojimą), elektros energijos momentinę (spot) kainą rinkoje. Šių duomenų ir kompiuterinių programų pagalba kiekvienu atskiru momentu yra randamas optimalus visų pajėgumų išnaudojimo režimas, atspindintis mažiausius energijos tiekimo kaštus būtent tuo momentu [3].

9. **Bendra decentralizuoto energijos tiekimo ekonominė vertė.** Aišku, kad skirtingais atvejais, visi aukščiau išvardinti paskirstytojo energijos tiekimo privalumai pasireiškia nevienodai. Šios naudos santykis su galimomis papildomomis investicijomis labai priklauso nuo projekto finansavimo prielaidų. Komerciniams projektams vidutiniška investicijų grąža turi siekti virš 20% per metus, kai tuo tarpu – visuomeninių ilgalaikių projektų, siekiant mažiausių kaštų per ilgą (iki 30 metų) laikotarpį, investicijų grąža turi siekti apie 10 %. Naudojant šias prielaidas, galima įvertinti, kad paskirstytasis energijos tiekimas gali būti ekonomiškai efektyvus, esant investicijoms į paskirstytąsias jėgaines mažesnėmis kaip 2000-4000 USD/kW komercinių projektų atveju ir 4000-8000 USD/kW visuomeninių projektų atveju. Taigi, ekonomiškai jau dabar visuomenės atžvilgiu daugeliu atveju pasiteisina projektai, įrengiant sąlyginai brangesnes nedidelės galios decentralizuotas jėgaines. Be tiesioginės ekonominės naudos, paskirstytojo energijos tiekimo sektoriaus plėtra leidžia užtikrinti realią konkurenciją tarp skirtingų energijos tiekėjų rinkoje. Esant rinkos sąlygoms, visas energetikos ūkis vystosi greičiau ir efektyviau, nei esant centralizuoto planavimo sąlygoms, kadangi šiuo atveju prioritetą gauna patys efektyviausi rinkoje galimi sprendimai.

Pati decentralizuoto energijos tiekimo koncepcija yra dar pakankamai jauna. Ji atsirado tik pradėjus ženkliai vystyti technologijas, sumažinusioms smulkių jėginių santykinės investicijas, padidinusioms jų efektyvumą. Nežiūrint technologijų pažangos decentralizuotas energijos tiekimas turi ir savo **trūkumus**:

1. Investicijos į paskirstytos generacijos šaltinius dar yra ženkliai didesnės už stambių elektrinių. Jei kombinuoto ciklo stambių (virš 250 MW) elektrinių įrengimo kaina yra 400-700 USD/kW ribose, tai smulkių elektrinių sąlyginės investicijos gamtinėmis dujomis dirbančių vidaus degimo variklių 600-1000 USD/kW, vėjo elektrinių 1000-1200 USD/kW, dujų mikroturbinų 1200-1600 USD/kW, kuro elementų 3500-4500 USD/kW ir saulės foto elementų 3000-6500 USD/kW ribose.
2. Smulkių elektrinių generavimo efektyvumas dažnai nusileidžia šiuolaikinių kombinuotu ciklu dirbančių stambių kogeneracinių elektrinių efektyvumui.
3. Kuro kaina nedideliams vartotojams paprastai yra didesnė, nei kuro kaina stambioms elektrinėms.
4. Smulkūs energijos tiekėjai susiduria su problemomis, norėdami patiekti elektros energiją į bendrą sistemą, mokėdami didelius galios rezervavimo mokesčius. Būtent todėl tik apie 5% naujų elektros generavimo pajėgumų, įrengiamų visame Pasulyje per metus, tenka decentralizuotam energijos tiekimui.

Šių dienų technologijos yra žymiai pigesnės, patikimesnės ir dauguma atveju prieinamesnės nei buvusios prieš dvidešimt metų. Suprantant klimato kaitos svarbumą, reikia skatinti technologijas, siūlančias optimalius sprendinius tiek finansiškai (ct/kWh), tiek laiko atžvilgiu (metų/MW) tiek ir ekologiniu požiūriu. Nepaisant daugelio kliūčių paskirstytosios energijos plėtros kelyje, šis energijos gamybos būdas daro ryškiają pažangą pasaulinėje rinkoje - kartu su efektyviu energijos vartojimu šis būdas neturi rimtesnių varžovų.

Dideli skirtumai tarp šios technologijos įsisavinimo įvairiose šalyse ar net vienos šalies skirtinguose regionuose rodo, kad dar labai daug reikia padaryti norint pašalinti dirbtines kliūtis šiai technologijai ir užtikrinti garbingą kovą tarp įvairių technologijų energijai gaminti, nepriklausomai nuo jų tipo, kuro, dydžio, savininkų ir kt. Nepaisant to, nedidelės galios energijos šaltinių ekonominiai principai žada vis greitesnę didelių centralizuotų jėgainių pakeitimą nedidelėmis reikiama dydžio jėgainėmis, esančiomis reikiamoje vietoje (netoli vartotojų).

Atsinaujinančiajai energijai sparčiai plisti yra daug trukdančiųjų barjerų. Pirmiausia ji yra gamtoje labai išsklaidyta, todėl jai panaudoti reikia žymiai sudėtingesnių ir tuo pačiu brangesnių technologijų. Tuo pačiu brangių technologijų atsiperkamumas ir ateities eksploatavimo perspektyvos tampa neaiškios, kas lėtina šį procesą. Antra priežastis tai nepakankamas gerų pavyzdžių kiekis bei visuomenės švietimas. Trečia problema yra paskirstytųjų mažųjų generatorių įtakos pačiai elektros sistemai prognozavimas ir įvertinimas.

Atsinaujinantieji šaltiniai turi suvaidinti savarankiškumo didinimo vaidmenį, nes planuojama, kad per sekančius 25 metus Europos importuojamo kuro dalis didės nuo 50 % iki 70 %. Todėl mokslinių tyrimų kryptis į šių šaltinių plėtrą leistų didinti jų dalį nuo planuojamų 2010 metais 12 % iki 24 %. Šis energetinį savarankiškumą didinantis užmojis panaudoti išsisklaidžiusią atsinaujinančiąją energiją yra labai brangus. Planuojami darbai ir tyrimai 6-oje Bendrojoje programoje gali kainuoti kelis šimtus milijonų eurų.

Plačiai panaudoti atsinaujinančiuosius energijos šaltinius trukdo šie barjerai:

1) Integravimasis į energijos rinką. Šių remiamų energijos šaltinių panaudojimas mažina elektros rinkos dalį, o jų gaminama elektros energija yra brangesnė už kitų rinkos sąlygomis veikiančių elektrinių. Ateityje gali būti patobulinti veikiančios elektros rinkos modeliai siekiant, kad elektros rinkos sąlygomis dalyvautų ir maži generuojantys šaltiniai bei atsinaujinantys energijos šaltiniai.

2) Taisyklių pertvarkymas, energetikos sistemų valdymo principų pertvarkymas. Perdavimo sistemų operatoriai ir rinkos administratoriai turi pertvarkyti elektros energetikos sistemos valdymo ir rinkos taisykles taip, kad nepablogėtų energetikos sistemos veikimo patikimumas stipriai išaugus mažųjų generuojančių šaltinių daliai ir labai sumažėjus stambiujų generuojančių šaltinių daliai. Pagal ankstesnius energetikos sistemų kūrimo principus esant Tarybų Sąjungai, mažiems šaltiniams buvo neprivalomi reikalavimai, taikomi dideliems šaltiniams.

3) Prijungimo prie elektros tinklų technologijos. Mažųjų generuojančių šaltinių prijungimas prie elektros tinklų dažniausiai nėra sudėtingas, tačiau mažųjų generuojančių šaltinių darbo neapibrėžtumas sukelia sunkumų užtikrinant aukštą elektros energijos kokybę vartotojams, bei mažina elektros tinklų veikimo efektyvumą. Mažieji generuojantys šaltiniai, nesant rezervavimo galimybių per elektros tinklus iš kitų šaltinių, nedidina elektros energetikos sistemos veikimo patikimumo. Kaip ir kiek paskirstytųjų energijos generatorių galima prijungti prie esančių elektros tinklų taip, kad elektros vartotojams būtų užtikrintas tinkamas elektros kokybės ir saugos lygis?

4) Informacijos gavimas ir dispečerizavimas. Šių dienų aktuali problema yra informacijos apie elektros energijos gamybą, tiekimą į tinklą tiek realiame laike, tiek ir praėjus tam tikram laikotarpiui (parai, mėnesiui). Lietuvoje ir kitose Rytų Europos energetikos sistemose dažnai problema yra ir informacijos nebuvimas apie generuojančių šaltinių statinius bei dinaminčius parametrus. Visa ši paminėta informacija privalomai turi būti teikiama atitinkamiems sistemos operatoriams.

Atliktose studijose apie paskirstytosios generacijos šaltinių, ypač vėjo elektrinių, skverbtį elektros sistemose nurodoma, kad tinklo stabilumas gali būti pažeistas, jeigu su pertrūkiiais dirbančių atsinaujinančių šaltinių galia pasiekia 15 % sistemos galios. [11].

Energijos tiekėjų nuomone, su pertrūkiiais dirbančių šaltinių galiai pasiekus 15-20 % visos sistemos apkrovos, elektros tinklo stabilumas atsiduria pavojuje. [12]

2.2. Skyriaus išvados

- 2.1. Labiausiai ribojantis paskirstytojo energijos tiekimo plėtrą veiksnys yra brangios technologijos, tačiau stebimas ženklus vėjo ir saulės elementų jėginių, kuro elementų tobulėjimas ir santykinis šių technologijų kainų kritimas.
- 2.2. Pagrindiniai paskirstytojo energijos generavimo privalumai yra savalaikės investicijos, mažesnės energijos transportavimo sistemų vystymo investicijos, efektyvesnis energijos tiekimas, geresnė tiekiamos energijos kokybė, išaugęs energijos tiekimo patikimumas ir generavimo efektyvumas bei sumažėjusi tarša.
- 2.3. Pagrindiniai paskirstytojo energijos generavimo trūkumai yra palyginti didelės kapitalinės investicijos, smulkių elektrinių generavimo efektyvumas mažesnis už stambių kogeneracinių elektrinių efektyvumą, kuro kaina nedideliems vartotojams yra didesnė už kuro kainą stambioms elektrinėms, elektros energijos tiekimo į bendrą sistemą problemos, dideli galios rezervavimo mokesčiai ir energetikos sistemos darbo režimų ir parametrų išlaikymo problemos.
- 2.4. Nustatyta, kad paskirstytojo generavimo šaltinių, ypač vėjo elektrinių, galiai pasiekus 15 % elektros sistemos galios sistemos stabilumas gali būti pažeistas ir su pertrūkiais dirbančių šaltinių galiai pasiekus 15-20 % visos sistemos apkrovos, elektros tinklo stabilumas jau atsiduria pavojuje.

3. TEISINIS PASKIRSTYTOJO GENERAVIMO REGLAMENTAVIMAS

Šiuo metu Europos Sąjungos energetikos politikoje nėra nuostatų, kurios tiesiogiai skatintų plėtoti paskirstytąją elektros gamybą. Tačiau jos plėtrai turi įtakos veiksniai, kurie tiesiogiai arba netiesiogiai aptarti įvairiuose ES energetikos politiką formuojančiuose dokumentuose: „Elektros rinkos direktyvoje“ (2003/54/EB), „Atsinaujinančių energijos išteklių direktyvoje“ (2001/77/EC) ir „Termofikacinių elektrinių direktyvoje“ (2004/8/EC). Paskirstytosios energijos gamybos vaidmuo gali būti svarbus ir sprendžiant daugelį kitų ES tikslų: siekiant įvykdyti Kioto protokolo reikalavimus, didinant energijos vartojimo efektyvumą, siekiant padidinti energijos tiekimo patikimumą ir kuro įvairovę ir t.t. Todėl ES aktyviai skatina tyrimus minėtose srityse (tarp jų ir paskirstytosios energijos gamybos) 5-osios Bendrosios Programos ir 6-osios Bendrosios Programos projektuose [9].

Remiantis ekonominio reguliavimo, rinkos reikalavimo ir skatinimo mechanizmų analize galima teigti, kad ES įstatymai palieka daug erdves atskiroms šalims numatyti konkrečias priemones, savo nuožiūra formuoti ir įgyvendinti paskirstytosios gamybos skatinimo politiką. Pavyzdžiui, patekimo į rinką, prisijungimo prie elektros tinklų ir kitus svarbius klausimus, turinčius didelę įtaką paskirstytosios energijos gamybos plėtrai, atskiros šalys turi spręsti atsižvelgdamos į savo specifinius ypatumus. Todėl šiuo metu ES šalių įstatymuose galima išvelgti didelę paskirstytosios gamybos reguliavimo įvairovę. Dalis įvairiuose dokumentuose suformuluotų nuostatų gali būti nepalankios paskirstytosios elektros gamybos plėtrai. Visumoje šie reguliavimo aspektai, kurie numatyti ES įstatymuose, nacionalinėse energetikos strategijose ir kituose teisės aktuose, yra tarpusavyje tarpiai susiję ir turi įtakos ne tik esamam paskirstytosios elektros gamybos lygiui ES šalyse, bet ir tolesnei jos plėtrai.

3.1. Įstatyminis ir ekonominis reguliavimas

Lietuvos energetikos ūkį reguliuojančiuose įstatymuose ir poįstatyminiuose aktuose nėra nuostatų, remiančių paskirstytosios gamybos plėtrą ir skatinančių smulkių elektros gamintojų atsiradimą. Esamoje įstatyminėje bazėje numatyta parama tik atsinaujinančius energijos išteklius naudojančioms elektrinėms. Nei Energetikos įstatyme, nei Elektros energetikos įstatyme nėra straipsnių, skirtų tiesiogiai apibūdinti ir reglamentuoti paskirstytosios energijos gamybos šaltinių statybos aspektus. Kituose teisės aktuose (Elektros tinklų kodeksas, Vėjo elektrinių prijungimo techninės taisyklės) aptariamai atskiri klausimai, kurie iš dalies yra susiję su paskirstytąja gamyba, pavyzdžiui, generatorių prijungimo prie tinklų sąlygos ir pan.

Lietuvoje prie elektros rinkos sąlygų palaipsniui pereinama nuo 2002 metų sausio mėn., įsigaliojus Elektros energetikos įstatymo nuostatom, kurios įpareigojo restruktūrizuoti akcinę bendrovę „Lietuvos energija“ atskiriant elektros gamybos, transportavimo ir tiekimo veiklas. Nuo 2007 m. liepos 1 d. visi vartotojai šalyje pripažinti laisvaisiais ir turi teisę pasirinkti tiekėją atsižvelgiant į elektros kainą ir teikiamų paslaugų kokybę. Elektros veiklų atskyrimas yra vienas iš esminių veiksnių, kurių įgyvendinimo efektyvumas yra labai svarbi sąlyga, leidžianti naujam gamintojui prisijungti prie tinklų ir tuo pačiu patekti į rinką. Ekonomiškai efektyviam paskirstytosios gamybos galimybių panaudojimui reikia liberalizuoti mažmeninę rinką, t.y. elektros vartotojams suteikti teisę patiems gaminti elektrą arba ją pirkti iš tiekėjų priklausomai nuo jos kainos rinkoje. Jei liberalizuota tik didmeninė rinką, elektros vartotojai susiduria su monopolijomis elektros skirstymo lygmenyje. Skirstomieji tinklai gali įvairiais būdais trukdyti paskirstytosios gamybos diegimui, pavyzdžiui, nustatydami aukštas papildomų paslaugų kainas arba siūlydami labai mažas elektros supirkimo iš mažųjų gamintojų kainas.

3.2. Gamintojų patekimas į rinką

Paskirstytosios elektros gamybos poreikis ir neribojamas smulkių gamintojų patekimas į rinką yra pagrindiniai veiksniai, sudarantys prielaidas sėkmingai plėsti ją energetikos sistemoje. Paramos mechanizmai turi tikslą pagerinti paskirstytosios gamybos konkurencingumą lyginant su dideliais

elektros generatoriais ir skatinti jų išsiskverbimą į rinką. Todėl Lietuvoje, kaip ir daugelyje kitų valstybių (ypač naujųjų ES narių), elektra iš mažųjų gamintojų, naudojančių atsinaujinančius energijos šaltinius, superkama pagal reguliuojamą privalomo supirkimo tvarką, t.y. nustatant supirkimo kainas. Kai kurios šalys kartu su privalomu elektros supirkimu leidžia smulkiesiems gamintojams dalyvauti didmeninėje elektros rinkoje. Lietuvoje mažos galios elektrinės, gaminančios elektros energiją naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, elektros rinkoje nedalyvauja, tačiau iš jų superkama visa pagaminta elektra.

Nors ES-15 šalyse privalomas elektros supirkimas nustatytais kainomis buvo labai efektyvus skatinant paskirstytąją energijos gamybą, pastaruoju metu pastebima tendencija keisti šį rėmimo būdą ir taikyti labiau rinkai pritaikytus mechanizmus, pavyzdžiui, nustatant fiksuotą priemoką prie rinkos kainos. Tai galima paaiškinti tuo, kad didmeninė rinka tampa labai nelanksti, kai didelė dalis elektros produkcijos parduodama už fiksuotą kainą aplenkiant rinką. Šiuo metu pereiti prie naujų atsinaujinančių energijos išteklių rėmimo schemų, taikant priemokos prie rinkos kainos būdą ar kitus mechanizmus, Lietuvoje nenumatoma.

Paskirstytosios energijos gamybos šaltinių ekonominiai rodikliai galėtų būti pagerinti, jei jie teiktų papildomas elektros tiekimo paslaugas ir dalyvautų balansavimo rinkoje. Papildomos paslaugos (antrinio reguliavimo, reaktyviosios galios, besisukančio rezervo, stovinčio rezervo, juodo starto, avarių likvidavimų ir kt.) gali būti teikiamos perkant jas konkurenciniu būdu. Nors pagal Tinklų kodeksą visi generuojantys šaltiniai gali pasiūlyti ir palaikyti antrinio reguliavimo ir rezervo galia, šiuo metu Lietuvoje papildomų paslaugų rinka yra palyginti siaura. Pirminio reguliavimo paslauga iki šiol gaunama iš vienintelio tiekėjo Rusijos, o antrinio reguliavimo paslaugas teikia tik keletas Lietuvos gamintojų.

Vienas iš svarbių barjerų, stabdančių paskirstytosios generacijos plėtrą, yra didelė rinkos koncentracija, kadangi vienas elektros gamintojas užima didelę rinkos dalį. Iki 2010 metų Lietuvoje išliks įrengtosios galios energetikos sistemoje perteklius ir šalies elektros rinkoje dominuos Ignalinos AE, kur elektros energijos gamybos kaina yra mažesne nei organinį kurą naudojančiose elektrinėse. Todėl smulkūs gamintojai negalės lygiaverčiai konkuruoti rinkoje.

3.3. Gamintojų prisijungimas prie tinklų

Daugelis vartotojų, elektros energijos tiekėjų bei paskirstytosios gamybos technologijų kūrėjų kaip vieną iš pagrindinių barjerų paskirstytosios elektros gamybos plėtrai laiko prisijungimo prie tinklų aspektus, tarp jų išskiriant techninius ribojimus, institucinę praktiką bei reguliavimo politiką. Elektros tinklų veikla rinkos sąlygomis pirmiausiai sutelkta persiuntimo ir sisteminių paslaugų teikimui esamiems vartotojams bei naujų vartotojų (gamintojų) prijungimui. Elektros tinklų veiklos efektyvumas be įprastų patikimumo ir saugumo kriterijų dar gali būti vertinamas tiek, kiek ši veikla sukuria kuo geresnes sąlygas konkurencinei rinkai. Pagrindine sąlyga yra užtikrinti rinkos dalyviams kuo paprastesnius patekimo į rinką principus. Tiek gamintojams, tiek vartotojams turi būti nustatytos aiškios ir standartinės sąlygos, kurios reikalautų iš potencialių rinkos dalyvių tik minimalių investicijų. Šiuo metu Lietuvoje nauji dalyviai į rinką patenka sunkiai, tik įvykdžius tam tikras technines sąlygas, kurias kiekvienu konkrečiu atveju savo nuožiūra nustato tinklų operatorius ir kurios iš anksto nėra žinomos. Kaip rodo praktika, tokios sąlygos yra palyginti griežtos ir norintys patekti į rinką turi skirti dideles investicijas. Tai ypač svarbu smulkiems gamintojams, todėl būtina parengti standartines prisijungimo prie tinklų sąlygas. Tinklai turėtų užtikrinti gamintojams galimybę prisijungti, o prisijungimo tarifai turi būti ekonomiškai pagrįsti ir nediskriminuojantys.

Skaidraus ir nediskriminuojančio prisijungimo prie tinklų sąlyga yra viena iš pagrindinių siekiant vystyti paskirstytąją elektros gamybą. Nauji elektros vartotojai ir gamintojai turi sumokėti prisijungimo prie esamų elektros tinklų mokestį. Galima skirti tris skirtingus mažų elektrinių prisijungimo prie skirstomųjų tinklų mokesčio dydžius: maži mokesčiai, dideli mokesčiai ir vidutiniai mokesčiai. Mažų mokesčių atveju vertinamos tik tiesioginės generatoriaus prijungimo prie artimiausio taško tinkle išlaidos. Papildomos išlaidos, reikalingos tinklui atnaujinti ir sustiprinti, šiuo atveju padalinamos tarp visų tinklo vartotojų. Dideli mokesčiai reiškia, kad visas tinklo sustiprinimo išlaidas turi padengti generatoriaus savininkas. Vidutiniai mokesčiai yra minėtų

dviejų derinys, kai naujas gamintojas turi padengti tik tas išlaidas, kurios skirtos skirstomiesiems tinklams atnaujinti. Prisijungimo mokesčio dydis gali būti labai svarbus veiksnys smulkiems gamintojams, norintiems patekti į elektros rinką. Mažam elektros gamintojui didelis prisijungimo mokestis gali sudaryti ženkliai dalį bendrųjų investicijų. Vidutinio dydžio prisijungimo mokestis skatina paskirstytosios gamybos elektrinių statybos plėtrą, tačiau jis gali būti nepatrauklus skirstomųjų tinklų operatoriams. Lietuvoje iki šiol naujiems gamintojams paprastai nustatomi dideli prisijungimo mokesčiai.

3.4. Skirstomųjų tinklų papildomos išlaidos ir nauda

Bendruoju atveju paskirstytojo generavimo šaltinių integravimui į skirstomuosius tinklus neabejotinai reikia papildomų investicijų tinklams atnaujinti ir sudėtingesnei valdymo įrangai įsigyti. Todėl padidėja skirstomųjų tinklų operatorių kapitalinės investicijos ir eksploatacinės išlaidos:

- Kapitalinės investicijos trumpu laikotarpiu bus skirtos naujiems paskirstytosios gamybos šaltiniams prijungti, kadangi reikės didinti tinklų pralaidumą ir juos atnaujinti. Taip pat bus reikalingi nauji matavimo, valdymo ir komunikacijų įrenginiai paskirstytosios gamybos generatorių valdymui ir priežiūrai.
- Vidutinės ir ilgos trukmės kapitalo investicijos potencialiai gali sumažėti. Įrengus paskirstytosios gamybos generatorius žemesnės įtampos tinkle gali sumažėti investicijos tinklų plėtrai ir jų atnaujinimui arba jas galima atidėti vėlesniam laikui.
- Eksploatacinės išlaidos padidės, kadangi skirstomųjų tinklų operatorius turės papildomų išlaidų. Prijungus paskirstytosios gamybos generatorius pasikeis esamų tinklų struktūra, tinklo valdymui ir priežiūrai reikės sudėtingesnės įrangos.
- Priklausomai nuo paskirstytosios energijos šaltinių galios ir prijungimo vietos elektros technologinės sąnaudos skirstomuosiuose tinkluose gali tiek sumažėti, tiek padidėti.

Įvertinant tai, kad skirstomųjų tinklų operatorių veikla yra reguliuojama, reikia numatyti tam tikrą ekonominį mechanizmą, kuris leistų kompensuoti jų nuostolius, atsirandančius dėl paskirstytosios elektros gamybos plėtros. Iki šiol net ir dauguma ES-15 šalių nėra įgyvendinusios aiškių reguliavimo mechanizmų sprendžiant šias problemas. Daugumoje naujų ES šalių, tarp jų ir Lietuvoje, skirstomųjų tinklų operatoriams trumpo laikotarpio kapitalinės išlaidos yra kompensuojamos (apmokestinant išlaidas už naujų generatorių prijungimą). Iš kitos pusės galimas kapitalinių išlaidų sumažinimas ilgu laikotarpiu nėra įvertinamas, t.y. planuojant skirstomųjų tinklų plėtrą nėra atsižvelgiama į tai, kad paskirstytoji gamyba galėtų sumažinti naujų linijų ar jų atnaujinimo poreikį. Tai natūralu, kadangi paskirstytosios gamybos dalis Lietuvos elektros energetikos sistemoje pagamintos elektros struktūroje dar labai maža, kad galėtų turėti ženklesnės įtakos tinklų darbui.

3.5. Skyriaus išvados

- 3.1. ES įstatymai palieka daug erdves atskiroms šalims numatyti konkrečias priemones, savo nuožiūra formuoti ir įgyvendinti paskirstytosios gamybos skatinimo, patekimo į rinką, prisijungimo prie elektros tinklų ir kitais svarbiais klausimais politiką.
- 3.2. Lietuvos energetikos ūkį reguliuojančiuose įstatymuose ir poįstatyminiuose aktuose nėra nuostatų, remiančių paskirstytosios gamybos plėtrą ir skatinančių smulkių elektros gamintojų atsiradimą, o yra numatyta parama tik atsinaujinančius energijos išteklius naudojančioms elektrinėms.
- 3.3. Ekonomiškai efektyviam paskirstytosios gamybos galimybių panaudojimui reikia liberalizuoti mažmeninę rinką, t.y. elektros vartotojams suteikti teisę patiems gaminti elektrą arba ją pirkti iš tiekėjų.
- 3.4. Kai kurios šalys kartu su privalomu elektros supirkimu leidžia smulkiems gamintojams dalyvauti didmeninėje elektros rinkoje.

- 3.5. Pastaruoju metu pastebima tendencija keisti elektros supirkimo iš atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių elektrinių nustatytomis kainomis rėmimo būdą ir taikyti labiau rinkai pritaikytus mechanizmus, pavyzdžiui, nustatant fiksuotą priemoką prie rinkos kainos.
- 3.6. Paskirstytosios energijos gamybos šaltinių ekonominiai rodikliai galėtų būti pagerinti, jei jie teiktų papildomas elektros tiekimo paslaugas ir dalyvautų balansavimo rinkoje, tačiau Lietuvoje papildomų paslaugų rinka yra palyginti siaura.
- 3.7. Paskirstytojo generavimo plėtrą Lietuvoje iki 2010 metų stabdo didelė pigios elektros generavimo koncentracija ir prisijungimo prie tinklų techniniai ir ekonominiai ribojimai. Techninės prisijungimo sąlygos yra palyginti griežtos ir norintys patekti į rinką turi skirti dideles investicijas.
- 3.8. Paskirstytojo generavimo plėtrą spartinti reikia parengti standartines prisijungimo prie tinklų sąlygas ir didelius mokesčius keisti vidutiniais arba net mažais mokesčiais.
- 3.9. Paskirstytojo generavimo šaltiniai didina skirstomųjų tinklų operatorių kapitalinės investicijos ir eksploatacinės išlaidos, nes reikia didinti tinklų pralaidumą, juos atnaujinti, bus reikalinga nauja ir sudėtingesnė įranga matavimams, valdymui telekomunikacijoms ir priežiūrai.
- 3.10. Priklausomai nuo paskirstytosios energijos šaltinių galios ir prijungimo vietos (žemesnės įtampos tinkle) gali sumažėti investicijos tinklų plėtrai ir jų atnaujinimui arba jas galima atidėti vėlesniam laikui, o elektros techninės sąnaudos skirstomuosiuose tinkluose gali tiek sumažėti, tiek padidėti.
- 3.11. Įvertinant tai, kad skirstomųjų tinklų operatorių veikla yra reguliuojama, reikia numatyti tam tikrą ekonominio reguliavimo mechanizmą, kuris leistų kompensuoti jų nuostolius, atsirandančius dėl paskirstytosios elektros gamybos plėtos.

4. AKTYVIOSIOS GALIOS IR DAŽNIO VALDYMO ENERGETIKOS SISTEMOJE SU PASKIRSTYTUOJU GENERAVIMU IR MAŽŲ GALIŲ GENERATORIŲ ĮTAKA SISTEMOS DAŽNIUI IR ĮTAMPOMS BEI GALIOS BALANSAMS

4.1. Paskirstytojo generavimo šaltinių dažnio ir įtampos valdymo bendrieji reikalavimai

Norėdami kiek galima sumažinti mažųjų generatorių kainą, jų diegėjai dažnai priima rizikingus sprendinius, ir tokių gaminių patikimumas ir patvarumas gali būti nepakankami, o kartais paskelbtosios elektrinės savybės gali būti įgyvendintos tik pavyzdiniame egzemplioriuje. Gali pasitaikyti atveju, kuomet mažųjų generatorių užsakovai dėl žinių nepakankamo turėjimo gali įdiegti generatorių, kuris neatitiks energetikos sistemos reikalavimų ar tinklo operatoriaus reikalavimų. Todėl patikrinti, ar mažieji generatoriai atitinka jų kokybės ir kitus standartus taip pat būtina.

Pagrindinės smulkiųjų generatorių veikimo problemos iškilo pradėjus masiškai statyti vėjo elektrines. Vėjo greičio kitimas, visiško vėjo nebuvimo periodai, nepastovi generuojama galia ir dažnai nepalanki tokių elektrinių prijungimo vieta elektros sistemai sukelia didelių prisitaikymo, režimų valdymo ir elektros kokybės užtikrinimo problemų. Tačiau net ir esant palankiai vėjo elektrinės prijungimo vietai galimo rimtos problemos energetikos sistemai. Visų pirma tai susiję su elektros energijos gamybos nepastovumu, kuris atitinkamai reikalauja elektros tinklų pralaidumo rezervo. Rezervai elektros tinklų pralaidumuose yra didelė prabanga, kadangi tai sąlygoja neefektyvų elektros tinklų statybą, neekonomišką elektros perdavimo ir paskirstymo linijų statybą, elektros tinklų infrastruktūros neefektyvumą.

Vėjo elektrinės taip pat turi didelę įtaką energetikos sistemos galių ir energijos balansui. Kol vėjo elektrinių kiekis energetikos sistemoje nėra labai didelis, vėjo elektrinių įtaka energetikos sistemai nėra reikšminga. Tačiau esant didesniai vėjo elektrinių kiekiui, sistemoje turi būti laikomi papildomi greiti rezervai elektrinėse ar naudojamos kitos priemonės energetikos sistemos balanso valdymui.

Atliktose įvairiose studijose, darbuose nurodoma labai skirtinga vėjo elektrinių suminė galia, kuri neturi įtakos energetikos sistemos balansui. Vėjo elektrinių suminė galia, kuri neturi įtakos energetikos sistemos balansui, svyruoja nuo 10% nuo poreikio galios iki 20 % metiniame energijos balanse. Pati mažiausia riba yra 10 % nuo suvartojamos galios, t.y. vėjo elektrinių suminė galia neturi viršyti 10% nuo suvartojamos galios. Pati didžiausia galima vėjo elektrinių suminė galia yra kuomet užduodama riba, kad vėjo elektrinių elektros energijos gamyba neturi viršyti 20 % energijos balanse. Nors šiuos ribos yra gan labai skirtingos, tačiau visos jos gali būti teisingos ir apsprendžiamos energetikos sistemos galimybėmis. Energetikos sistemose, kuriose yra didelis kiekis hidroelektrinių, veikiančių didelių šiluminių elektrinių, kuriose yra didelis kiekis greito rezervo, tose energetikos sistemose galima pastatyti daugiau vėjo elektrinių. Ir tose energetikos sistemose, kuriose yra galios rezervo trūkumas, kuriose nėra daug hidroelektrinių, tose energetikos sistemose galima pastatyti mažiau vėjo elektrinių. Lietuvos energetikos sistemoje yra ribotas greito rezervo dydis, nėra daug hidroelektrinių, tad vėjo elektrinių bendra galia turėtų būti apribota mažesne riba. Nors Lietuvos energetikos sistemoje yra didelė Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė, tačiau šios elektrinės pajėgumai pagrindinai naudojami atominės elektrinės rezervavimui. Galima riba gali būti – neviršijant 10 % nuo suvartojamos galios dydžio ar kad vėjo elektrinių bendra elektros energijos gamyba neturi viršyti 10 % energijos balanse.

Visa kita paskirstyta generacija yra stabilesnė ir labiau valdoma, tačiau pagal šiandieninius energetikos sistemų valdymo principus bei pagal reikalavimus keliamus mažiesiems generuojantiems šaltiniams (kas iš esmės atitinka paskirstytą generaciją), bei atsižvelgiant į mažųjų generatorių elgseną, galima būtų pažymėti, kad visa paskirstyta generacija turi nestabilios ar neprognozuojamos elektros energijos gamybos problemą. Mažieji generatoriai praktiškai nederina

su tinklų operatoriais gamybos, remontų laikotarpių (išskyrus elektros tinklo elementus). Planinės gamybos, remontų laikotarpių informacijos surinkimas, apdorojimas pas operatorių pareikalautų papildomų sąnaudų, darbo išteklių lyginant su tradicinių, didesnės galios gamybos šaltinių elektros energijos gamybos derinimais. To rezultate, visų mažų generuojančių šaltinių gamyba realiame laike labai įtakoja į elektros suvartojimo nebalansą ir perdavimo sistemos operatorius realiame laike, bent jau šiandien, negali išsiaiškinti kokia nebalanso dalis sąlygota mažųjų generatorių, o kokia elektros suvartojimo nukrypimu nuo planuotų dydžių.

Galima pažymėti šių dienų operatorių problemas, susijusias su mažaisiais generuojančiais šaltiniais ar paskirstyta generacija, kas parodo galimas tendencijas, spręstinas vietas. Visų pirma, pati paprasčiausia problema – tai informacijos gavimas apie faktines generavimo vertes. Paprastai matavimo įrangos įdiegimas sąlygoja papildomas investicijas, sąnaudas su šios įrangos aptarnavimu, todėl dažnai sutinkamas pasipriešinimas dėl matavimo realiame laike įrangos įdiegimo. Kita problema, susijusi su informacijos teikimu, yra elektros energijos gamybos ir elektros energijos pateikimo į tinklą dydžių teikimu kas mėnesį (jau nekalbant apie šios informacijos teikimu kas parą). Ypač ši problema yra aktuali su vartotojais, kurie turi ir generuojančius šaltinius.

Todėl planuojant Lietuvoje plėtoti paskirstytą generaciją, mažuosius generuojančius šaltinius pirmiausia reikia išspręsti šias problemas.

Kitos sritys, į kurias reikia atkreipti dėmesį plėtojant paskirstytą generaciją yra susijusios su energetikos sistemos principiniais dalykais – dažnio valdymu, energetikos sistemos galių balanso valdymu su dažnio korekcija (antrinis valdymas), energetikos sistemos energijos balanso valdymu (tretinis valdymas), įtampos valdymo principais, sistemos atstatymo po totalinių avarių principais.

Visi mažieji generatoriai turi turėti aiškiai matomą nuo likusios elektros tinklo dalies izoliuojantį komutacinį aparatą (jungtuvą, skyriklį, automatinę jungiklį ir pan.). Ši reikalavimą palaiko didžioji dalis elektros bendrovių, tačiau gali būti išimčių labai mažos galios elektrinėms, kurioms pakanka įprastinio skyriklio ar jungiklio.

Antras prijungimo schemeje dažnai reikalaujamas elementas yra skiriantysis transformatorius. Šiaip transformatorius taikomas dėl generatoriaus išėjimo ir elektros tinklo vardinių įtampų skirtumų. Daug, ypač labai mažos ir mažos galios šaltinių gali būti jungiami į žemosios įtampos tinklą tiesiai, nes įtampos sutampa. Skiriantysis transformatorius vieną gretimai esantį vartotoją ar mažojo šaltinio savininką apsaugo nuo kito šalia esančio vartotojo skleidžiamų harmoninių trikdžių bei sumažina galimą fazinę nesimetriją, nes yra daug paplitusių vienfazių šaltinių, pavyzdžiui, nedidelės galios vienfazių fotoelektrinių, kurias pagal daugelio bendrovių reikalavimus galima jungti į tinklą, jei jų galia neviršija 20% tos fazės apkrovos.

Lietuvoje visi mažieji generatoriai yra trifaziai, dažniausiai jungiami į 10 kV tinklą, todėl įtampą aukštinantysis transformatorius kartu yra ir skiriantysis. Tiesiogiai prie žemosios įtampos jungiamų generatorių atveju skiriantysis transformatorius taip pat turėtų būti naudojamas, nes tada įmanoma lanksčiai taikyti skirtingus neutralės režimus: elektros tinkle tradiciškai įžemintą neutralę, o generatoriaus apvijas – sujungtas trikampiui ir be neutralės taško įžeminto. Tokie generatoriai nebijo atsitiktinių įžemėjimų, yra patogesni apsaugoms įrengti ir dažnai yra pigesni.

Trečias tipinis reikalavimas yra apsaugos nuo viršįtampių įtaiso buvimas, jei mažasis generatorius jungiamas prie oro linijos arba jei netoliese tokia linija yra. Viršįtampių ribotuvus kartu saugo mažąjį generatorių (keitiklį) ir nuo viršįtampių, kylančių perjungiant kondensatorių baterijas ar apkrovas, bei susidarančius tiristoriniuose keitikliuose. Ribotuvus saugo generatorių ir nuo oro linijomis sklindančių žaibo viršįtampių. Visi Lietuvos elektros įrengimo srities standartai yra perimtieji Europos standartai, todėl visoje Europoje taikomi tie patys elektros įrengimo reikalavimai.

Ieškant mažojo generuojančio šaltinio prijungimo prie elektros tinklų būdo dažniausia stengiamasi prijungti jį prie „artimiausio stulpo“, siekiant mažiausių investicijų. Tačiau, prijungiant generuojantį šaltinį prie elektros tinklo dalies, pavyzdžiui elektros perdavimo linijos, prie kurios prijungti vartotojai, labai apsunkinamas įtampos valdymas tinkle ir pas vartotojus. Remiantis užsienio patirtimi, visi generuojantys šaltiniai turi būti jungiami ne prie artimiausių elektros perdavimo linijų, o prie atitinkamų pastočių šynų. Kadangi mažieji generuojantys šaltiniai

dažniausiai jungiami prie skirstomojo tinklo, kuris yra radialinis, tai mažųjų generatorių prijungimas prie šynų, o ne prie linijų, prie kurių prijungi yra vartotojai yra vienas iš pagrindinių principų. Prijungiant generuojančius šaltinius prie šynų galima paprasčiau užtikrinti elektros energijos kokybę. Jei būtų leista generuojančius šaltinius prijungti prie radialinių linijų, prie kurių yra prijungti vartotojai, tai esant besikeičiančiai elektros energijos gamybai gali būti neįmanoma užtikrinti reikiamos kokybės elektros įtampą pas vartotojus.

Sistemos reikalavimai mažiesiems generatoriams, kurių galia viršija 10 MW, sutampa su įprastinių elektros stočių generatoriams taikomais reikalavimais, todėl yra gerai dokumentuoti ir įteisinti. Šie generatoriai paprastai jungiami tiesiai prie 110 kV įtampos pastočių, yra pritaikyti komerciniam elektros energijos generavimui ir atitinka sistemos generatoriams keliamus reikalavimus.

Tačiau masiškai lygiagrečiam darbui jungiant mažesnius (<10 MW) generatorius, ypač mažesnius už 2 MW generatorius paprastai kyla daug problemų dėl energetikos sistemos valdymo, susiduriama su darbo planavimo, elektros pirkimo ir pardavimo, aktyviosios ir reaktyvios galių balansavimo ir reguliavimo problemomis, keičiasi elektros tinklo relinių apsaugų darbo nustatai ir net veikimo principai, kyla problemų dėl dažnio valdymo principų išpildymo.

Pirmiausia, prieš plečiant mažuosius generuojančius šaltinių reikėtų apsispręsti dėl šių elektros gamybos šaltinių kiekio. Tarkime, kad energetikos sistemoje yra vien tik mažieji generuojantys šaltiniai. Tuomet, pirminio dažnio valdymo funkcija turi būti užtikrinta panaudojant šiuos mažuosius generuojančius šaltinius. Pirminio dažnio valdymo funkcijos įdiegimas visuose ar dalyje mažųjų generuojančių šaltinių yra brangus, reikalauja didesnių investicijų lyginant su kitais mažaisiais generuojančiais šaltiniais, kuriuose nėra įdiegta pirminio dažnio valdymo funkcija. Pirminio dažnio valdymo įdiegimas mažuosiuose generuojančiuose šaltiniuose reikalauja didesnių investicijų nei pirminio dažnio valdymo įdiegimas tokiose pačiose apimtyse dideliuose generuojančiuose šaltiniuose. Jei mažiesiems generuojantiems šaltiniams nebus keliami reikalavimai dėl pirminio dažnio reguliavimo reikalingumo, tuomet mažųjų generuojančių šaltinių bendra suminė galia turi būti ribojama. Tam, kad nustatyti šią ribą, būtina atskira studija.

Kita problema yra susijusi su energetikos sistemos galių ir energijų balanso valdymu. Anksčiau mažiesiems generuojantiems šaltiniams nebuvo keliami reikalavimai dėl informacijos realiaame laike matavimo ir perdavimo į valdymo centrus. Reikalavimai buvo tik dėl komercinės apskaitos įrengimo, kuri taip pat nebuvo automatizuota, t.y. elektros energijos gamybos ar suvartojimo nebuvo galima nustatyti nuotoliniu būdu. Mažųjų generuojančių šaltinių elektros gamyba iškraipydavo to regiono elektros suvartojimą, kadangi šių šaltinių elektros gamyba realiaame laike nebuvo matuojama. Mažiesiems generuojantiems šaltiniams taip pat nebuvo (ir kol kas nėra) keliami reikalavimai dėl elektros energijos gamybos planavimo bei nėra reikalaujama atsakomybės dėl šių planų vykdymo. Tokiu būdu mažasis generuojantis šaltinis gali kada panorėjęs įsijungti į energetikos sistemą, o kada panori – atsijungti nuo jos. Toks darbo pobūdis įtakoja į energetikos sistemos elektros galių ir energijų balansą, o dispečeriai, valdantys energetikos sistemos balansą mato tik nebalanso dydį, tačiau negali žinoti šio nebalanso priežasčių. Tiksliai nežinodami energetikos sistemos galių nebalanso priežasčių dispečeriai gali priimti neefektyvius sprendimus dėl nebalanso reguliavimo. Atsiradus energetikos sistemos galių ir energijos nebalansui dispečeriai privalo imtis priemonių šiam nebalansui kompensuoti, t.y. turi aktyvuoti rezervus. To pasėkoje balansavimo elektros energija ir su tuo susijusios išlaidos pabrangina elektros energiją visiems vartotojams.

Jei energetikos sistemoje būtų tik mažieji generuojantys šaltiniai, nesant reikalavimų dėl informacijos realiaame laike teikimo, dalyvavimo savo gamybos planavime ir planų vykdyme, papildomų paslaugų teikime, energetikos sistemos praktiškai būtų neįmanoma valdyti. Todėl arba mažieji generuojantys šaltiniai turi vykdyti tuos pačius reikalavimus kaip ir didieji generuojantys šaltiniai, arba mažųjų generuojančių šaltinių kiekis turi būti ribojamas energetikos sistemoje. Mažųjų generuojančių šaltinių plėtros sprendimai yra valstybės energetikos politikos dalis, tačiau sprendžiant dėl mažųjų generuojančių šaltinių plėtros ir tuo pačiu dėl jų kiekio energetikos sistemoje, turi būti atsižvelgta į aukščiau išvardintų funkcijų vykdymą. Nustatant mažųjų

generuojančių šaltinių bendros suminės galios ribą kompleksiskai turi būti nagrinėjamas ir pirminio dažnio reguliavimo funkcijos vykdymas.

Kadangi mažųjų generuojančių šaltinių bendras generuojamos galios kiekis Lietuvos energetikos sistemoje ir taip jau yra pakankamai reikšmingas, informacijos realiaame laike matavimo ir perdavimo įrenginiai nesudėtingai gali būti įdiegti bet kokios galios šaltiniuose. Būtina visiems generuojantiems šaltiniams privalomai nustatyti reikalavimą dėl informacijos apie elektros energijos gamybą realiaame laike į dispečerinius centrus. Tai visų pirma leis dispečeriniuose centruose tiksliau žinoti elektros energijos gamybą ir suvartojimą realiaame laike, tiksliau bus galima žinoti apie elektros energijos suvartojimo kitimą, nukrypimus nuo planuojamų verčių, išsiaiškinti šių nukrypimų priežastis, bei atitinkamai įvertinti priežastis, sukeliančias suvartojimo kitimą. To rezultate būtų galima kokybiškiau atlikti elektros suvartojimo planavimą tiek dispečeriniuose centruose, tiek ir rinkos dalyviams. Esant kokybiškesniam elektros energijos planavimui ir mažesniam elektros galių ir energijos nebalansams, energetikos sistemai būtų reikalinga laikyti mažesnius rezervus.

Valdant energetikos sistemą privaloma turėti reikiamą kiekį rezervų skirtą didžiausių šaltinių sutrikimo ar atsijungimo rezervavimui, energetikos sistemos balanso valdymui. Pagal šių dienų reikalavimus mažiesiems generuojantiems šaltiniams, pastariesiems nėra privaloma dalyvauti teikiant papildomas paslaugas. Jei mažųjų generuojančių šaltinių kiekis energetikos sistemoje toliau sparčiai didės, gali neužtekti dirbančių didelių generuojančių šaltinių sisteminių paslaugų teikimui, o mažieji šaltiniai kol kas papildomų paslaugų neteikia. Todėl, jei mažųjų generuojančių šaltinių kiekis energetikos sistemoje viršys tam tikras ribas, mažieji šaltiniai taip pat privalės teikti papildomas paslaugas. Dalyvavimas teikiant papildomas paslaugas susijęs su papildomomis išlaidomis. Reikalavimas daliai mažųjų generuojančių šaltinių teikti papildomas paslaugas, informaciją realiaame laike apie gamybos parametrus, planuoti gamybą ir atsakyti dėl realaus darbo nuokrypius nuo planuojamų gali iškreipti santykius ir diskriminuoti dalį generuojančių šaltinių, kuriems šie reikalavimai nebus taikomi. Todėl, jei mažieji generuojantys šaltiniai toliau bus plečiami, nustatytų reikalavimų vykdymas turi būti privalomas visiems mažiesiems šaltiniams, o ne tik daliai.

Yra manoma, kad didelis kiekis mažųjų generuojančių šaltinių gali pagerinti energetikos sistemos funkcionavimo patikimumą. Iš dalies tai yra tiesa, tačiau, didelis kiekis mažųjų generuojančių šaltinių atneša kitas, naujas problemas, kurios anksčiau neegzistavo. Energetikos sistemos, su dideliu skaičiumi mažųjų šaltinių valdymas yra žymiai sudėtingesnis dėl didelio šaltinių skaičiaus, o norint atlikti tam pokytį energetikos sistemoje, yra būtina tai atlikti su dideliu skaičiumi generuojančių šaltinių. Kaip pavyzdys gali būti energetikos sistemos galių balanso valdymas, kai reikalinga atlikti 20 MW galios dydžio korekciją, sumažinant bendrą energetikos sistemos generaciją. Kuomet energetikos sistemoje yra dideli generuojantys šaltiniai, užtenka duoti komandą vienam generuojančiam šaltiniui. Kuomet energetikos sistemoje yra didelis kiekis mažųjų šaltinių mažesnių nei 2 MW, tai tokių komandų, dėl galios sumažinimo reikės žymiai daugiau. Tuo pačiu, tokios sistemos valdymas bus sudėtingesnis, o korekcijoms atlikti reikalinga ženklai ilgesnė laiko trukmė. Energetikos sistema, susidedanti tik iš mažųjų generuojančių šaltinių yra vienodai jautri pirminio kuro įtakai. Pavyzdžiui, nutrūkus dujų tiekimui sustos tiek stambūs generuojantys šaltiniai, tiek ir mažieji. Todėl energetinio saugumo prasme mažieji generuojantys šaltiniai vargu ar gali pagerinti situaciją. Kaip pavyzdys galėtų būti paminėta ir situaciją, kuomet nuo 2007 metų sausio 1 dienos buvo didinama dujų kaina – tuomet sausio 1 dieną nutarė kurį laiką nebedirbti praktiškai visi mažieji gamintojai, kurie vartojo dujas.

Apibendrinant galima teigti, kad mažieji generuojantys šaltiniai jau dabar turėtų įsieti generuojamos ir suvartojamos galios matavimo realiaame laike matavimo įrangą, o pastaruosius duomenis perdavinėti į atitinkamus dispečerinius centrus. Dėl kitų papildomų reikalavimų – dalyvavimo pirminiame dažnio reguliavime, darbo planavime, atsakant už realaus darbo nuokrypius nuo suplanuotų verčių, dalyvavimo teikiant papildomas paslaugas sistemos operatoriui ir pan., būtina žinoti tolimesnius planus dėl mažųjų generuojančių šaltinių plėtros. Jei nenumatoma riboti bendros suminės generuojamos galios mažiesiems generuojantiems šaltiniams, siekiant nepabloginti energetikos sistemos veikimo patikimumo, stabilumo, būtina mažiesiems generuojantiems

šaltiniams kelti analogiškus reikalavimus, kaip ir stambiesiems generuojantiems šaltiniams. Siekiant išsiaiškinti ribą, iki kurios galima plėsti mažuosius generuojančius šaltinius netaikant jiems analogiškų reikalavimų kaip ir didiesiems generuojantiems šaltiniams, reikalinga atlikti atskirą studiją.

4.2. Vėjo elektrinės ir pirminio dažnio valdymo aspektai

Dažnio nuokrypių dinamiką lemia keletas sistemos parametrų, iš kurių svarbiausieji yra [16]:

- Generatoriaus ir turbinos inercijos momentas J arba atitinkama laiko pastovioji H . Paskirstytojo generavimo šaltinių mažos inercijos mažina visos sistemos inerciją. Vidinis generatorių slopinimas taip pat turi reikšmės.
- Greičio regulatoriaus parametrai (pvz., hidroelektrinėms šie parametrai yra greičio regulatoriaus statizmas S , elektro-hidraulinio servomechanizmo laiko pastovioji, sklendės greičio riba ir pan.).
- Elektros linijų leistinoji galia. Silpnos perdavimo linijos gali uždelsti dažnio reguliatorių arba avarinės automatikos atsaką.
- Sistemos apkrovos slopinimo koeficientas. Kiekviena apkrova gali turėti skirtingą priklausomybę nuo dažnio.

Dažnio kitimo dinamika taip pat priklauso nuo dažnio reguliatorių nustatymų, darbo laiko, relinės ir avarinės automatikos nustatymų, elektros sistemos struktūros, elektrinių tipo, elektrinių generuojamos galios priklausomybės nuo su pertrūkiais dirbančių šaltinių ir pan. Norint įvertinti paskirstytosios generacijos skverbtį sistemoje, reikia atsižvelgti į visus išvardintus parametrus.

Kuo didesnė vėjo elektrinių dalis sistemoje, tuo didesnė galios ir dažnio svyravimai keičiantis vėjo greičiui. Pavyzdžiui, Vakarų Danijoje mažas vieno metro per sekundę vėjo greičio pasikeitimas, sukelia 320 MW generuojamosios galios padidėjimą arba sumažėjimą. Yra įmanoma apskaičiuoti maksimalų vėjo elektrinių generuojamos galios nuokrypį ΔP , kurį gali suvaldyti pirminio dažnio reguliavimo sistema. Įvertinus blogiausią scenarijų, galima priimti, kad vėjo elektrinių generuojama galia gali sumažėti iki nulio. Tada ΔP reikš vėjo elektrinių skverbties lygį.

Žemiau pateikti skaičiavimo duomenys yra paimti kaip pavyzdys, atitinkantis Baltijos šalių elektros sistemos parametrus:

$S=0,05$ – greičio reguliatorių statizmas;

$\Delta f_{maks}=0,2$ Hz – maksimalus leistinas dažnio nuokrypis nuo vardinės vertės;

$D=1,6$ – apkrovos slopinimo koeficientas;

$f_N=50$ Hz – vardinis dažnis;

P_N – vardinė generatorių galia.

Maksimalus apkrovos galios nuokrypis, kurį gali suvaldyti pirminė dažnio reguliavimo sistema, yra lygus:

$$\Delta P = P_N \left(\frac{\Delta f_{maks}}{f_N \cdot S} + \frac{\Delta f_{maks} \cdot D}{f_N} \right) \cdot 100\% = 1 \cdot \left(\frac{0,2/50}{1 \cdot 0,05} + \frac{(0,2 \cdot 50) \cdot 1,6}{1} \right) \cdot 100\% = 8,6\% .$$

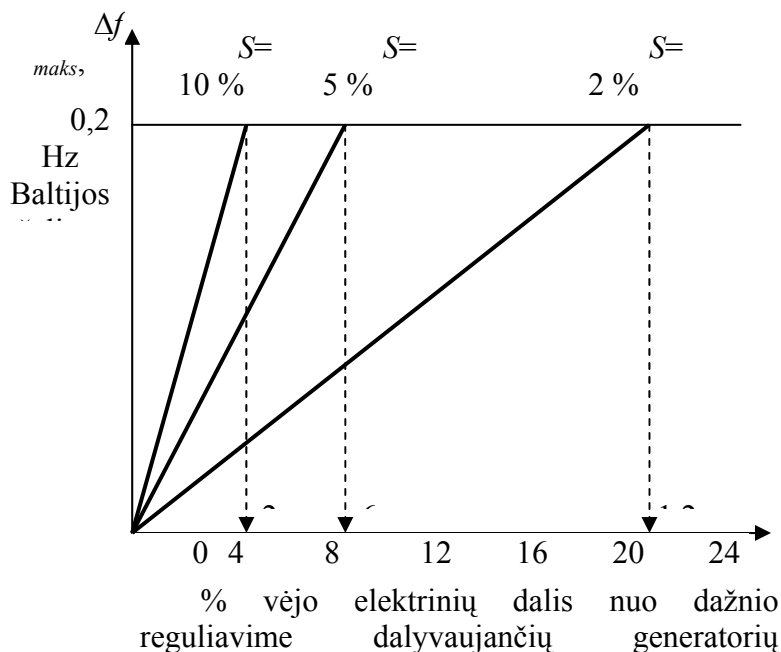
Nagrinėjamoju atveju, esant didesnei negu 8,6 % vėjo elektrinių daliai nuo dažnio reguliavime dalyvaujančių generatorių įrengtosios galios, pirminė dažnio sistema nepajėgi išlaikyti sistemos dažnį nustatytose ribose.

Vėjo elektrinių skverbties lygis priklauso nuo apkrovos slopinimo koeficiento ir greičio regulatoriaus statizmo. 4.1 lentelėje yra pateikta maksimalaus galios nuokrypio ir apkrovos slopinimo koeficiento priklausomybė, iš kurios matyti, kad galios nuokrypio ribos nėra didelės.

4.1 lentelė. Maksimalaus galios nuokrypio ir apkrovos slopinimo koeficiento priklausomybė

D	0,5	1,0	1,6	2,0	3,0
$\Delta P, \%$	8,2	8,4	8,6	8,8	9,2

4.1 paveiksle parodyta procentinės vėjo elektrinių dalies nuo dažnio reguliavime dalyvaujančių generatorių įrengtosios galios ir apkrovos slopinimo koeficiento bei reguliatorių statizmo priklausomybė.



4.1 pav. Vėjo elektrinių dalies nuo dažnio reguliavime dalyvaujančių generatorių įrengtosios galios ir apkrovos slopinimo koeficiento bei reguliatorių statizmo priklausomybė

Dažniausiai pirminio dažnio reguliavimo rezervas yra ribojamas iki 5 % įrengtosios galios. Tokiu atveju vėjo elektrinių skverbties lygis negalėtų viršyti 5 %. Dėl su pertrūkiais dirbančių šaltinių pirminio dažnio reguliavimo rezervo gali nepakakti, o antrinio dažnio reguliavimo sistema yra lėta ir jos maksimalus reakcijos laikas yra iki 15 min., todėl gali nespėti išlaikyti dažnio nustatytose ribose.

4.3. Kitų paskirstytojo generavimo šaltinių įtaka sistemos dažniui

Kitų paskirstytojo generavimo šaltinių – kuro elementų, mikroturbinų, dyzelinių generatorių, mažųjų kogeneracinių elektrinių ir kt. – generuojama galia gali būti laikoma pastovia. Tokiu atveju, kai paskirstytosios generacijos šaltinis gali dalyvauti dažnio reguliavime, tokių šaltinių skverbties lygis gali siekti ir 100 %. Tokią virtualią elektros sistemą sudarys daug mažų generavimo šaltinių. Apribojimai gali atsirasti dėl specifinių pereinamųjų procesų pobūdžio generatorius ir apkrovas jungiančiose linijose. Mažųjų šaltinių inercijos pastoviosios yra daug mažesnės negu tradicinių didžiųjų generatorių.

Jeigu paskirstytosios generacijos šaltiniai neturi dažnio reguliavimo sistemų, tradiciniai didieji generatoriai turėtų užtikrinti jų rezervavimą.

Dėl mažos paskirstytosios generacijos šaltinių inercijos pastoviosios kiekvienu atveju reikėtų atlikti atskirą analizę, priklausomai nuo šaltinių sudėties ir jų galios.

Nagrinėjamos problemos gali būti aktualesnės elektros sistemoms su dideliu kiekiu mažųjų hidroelektrinių. Šių elektrinių generuojama galia gali būti laikoma pastovia ilgesnį laiką negu vėjo ar saulės elektrinių. Tačiau dėl kai kurių papildomų apribojimų problema gali pasunkėti, t. y. reikia įvertinti sezoninius arba gamtosauginius užtvankos aukščio arba vandens debeto apribojimus.

Jeigu elektros sistemoje yra daug įvairaus tipo paskirstytosios generacijos šaltinių, kiekvienu atveju reikėtų atlikti atskirą analizę, nustatant jų galimybes reguliuoti dažnį ir užtikrinant stabilumo atsargą.

4.4. Skyriaus išvados

- 4.1. Tiesioginis mažųjų generatorių elektrinių valdymas iš tinklų operatoriaus dispečerinio punkto leistų mažuosius generatorius panaudoti režimų valdymui.
- 4.2. Siekiant užtikrinti energetikos sistemos valdymą ir nepabloginti EES veikimo patikimumo būtina, kad visi, net ir mažiausi generuojantys šaliniai, teiktų informaciją apie elektros energijos gamybą, suvartojimą realiaame laike tinklų operatoriams. Tai ypač svarbu didėjant mažųjų generuojančių šaltinių daliai bendroje elektros energijos gamybos dalyje.
- 4.3. Kuomet EES mažieji generuojantys šaltiniai sudaro reikšminę dalį elektros energijos balanse, būtina ir mažuosius generuojančius šaltinius įtraukti į pirminį dažnio reguliavimą bei papildomų paslaugų teikimą. Jei mažiesiems generuojantiems šaltiniams nėra keliamas reikalavimas dalyvauti pirminiame dažnio valdyme ir papildomų paslaugų teikime, tuomet būtina riboti mažųjų generuojančių šaltinių bendrą instaliuotos galios dydį.
- 4.4. Esant didesnei negu 8,6 % vėjo elektrinių daliai nuo dažnio reguliavimo dalyvaujančių generatorių įrengtosios galios, pirminio dažnio reguliavimo sistema nepajėgi išlaikyti sistemos dažnį nustatytose ribose.
- 4.5. Nedalyvaujant mažiesiems generatoriams pirminiam dažnio reguliavime, energetikos sistemos galių balanso valdyme, bendra instaliuota mažųjų generatorių galia turėtų būti ribojama, siekiant, kad ji neviršytų 10-20 % elektros galių balanse. Tikslesniam ribos nustatymui reikalingi detalesni tyrimai.
- 4.6. Būtina toliau tęsti mokslinius tyrimus dėl mažųjų generatorių plėtros galimybių Lietuvos energetikos sistemoje, dėl mažųjų generatorių panaudojimo dažnio ir galių balanso valdymui, detaliau įvertinti planuojamus susijungimus su Vakarų Europos energetikos sistemomis (UCTE ir Nordel), planuojamą Baltijos energetikos sistemų sinchroninį darbą su UCTE.

5. REAKTYVIOSIOS GALIOS IR ĮTAMPOS VALDYMO SISTEMOJE SU PASKIRSTYTUOJU GENERAVIMU TYRIMAS

5.1. Paskirstytuoju generavimo reaktyviosios galios ir įtampos valdymas

Reaktyviosios galios valdymas yra glaudžiai susijęs su įtampos valdymu sistemos mazguose. Dėl linijų ir transformatorių induktyviųjų varžų atsiranda reaktyviosios galios sąnaudos, kurios mažina tinklo įtampą ir pralaidumą. Sistemos operatorius privalo palaikyti reikiamą įtampą sistemos mazguose ir tam pasitelkiami reaktyviosios galios kompensavimo įrenginiai – generatorius, sinchroninius kompensatorius, kondensatorių baterijas ir statiniai bei reguliuojami įrenginiai. Reaktyviosios galios ir įtampos valdymo paslauga turi atitikti tokius sistemos reikalavimus:

- tenkinti momentinę sistemos ir vartotojų reaktyviosios energijos paklausą;
- užtikrinti reikiamą įtampos lygį sistemos mazguose;
- užtikrinti reaktyviosios galios rezervą ir rezervo panaudojimo greitį, keičiantis reaktyviosios galios apkrovai ir avarių metu;
- sumažinti sistemos technologines sąnaudas.

Didėjant paskirstytųjų generatorių kiekiui energetikos sistemoje net ir mažųjų generatorių elektrinės privalės teikti (pardavinėti) ir lokalias reaktyviosios galios ir įtampos reguliavimo paslaugas.

Nemažai paskirstytųjų generatorių, pavyzdžiui, mažosiose hidroelektrinėse ir vėjo elektrinėse yra asinchroniniai generatoriai, kurie kaip ir asinchroninis variklis, kuris vartoja reaktyviąją galią, kai tuo tarpu sinchroninis generatorius reaktyviąją galią valdo ir gali tiek generuoti tiek ir vartoti. Asinchroninis generatorius tuščioje veikoje reaktyviosios galios vartoja 35–40 % vardinės galios, kuri gali padidėti iki 60 %, kai generuojama vardinė aktyvioji galia. Bet kurioje lokaliajame zonoje, kurioje yra asinchroninių generatorių, suminė reaktyviosios galios apkrova bus lygi vartotojų ir asinchroninio generatoriaus vartojamos reaktyviosios galios poreikių sumai. Norint sumažinti technologines sąnaudas elektros tinkle ir padidinti įtampos stabilumą, pagal tinklo operatoriaus įtampos reguliavimo reikalavimus, tokių elektrinių savininkai turi valdyti vartojamą reaktyviąją galią savo papildomais kompensavimo įrenginiais. Techninių reikalavimų dalyje numatytos gana plačios privalomos užtikrinti $\pm 0,2$ tg φ ribos, tačiau kartu numatytas būtinas įtampos lygio ir reaktyviosios galios balanso, kurie kinta keičiantis tinklo apkrovai, reguliavimas.

Kai elektros sistemoje po pažaidos prasideda įtampų atkūrimas, mažųjų generatorių elektrinių asinchroniniai generatoriai pradeda vartoti labai dideles įmagnetinimo sroves ir gali sukelti reaktyviosios galios trūkumą. Todėl paskirstytųjų generatorių elektrinių projektuose turi būti įvertinta galimybė praleisti padidėjusius reaktyviosios galios srautus ir užtikrinti reikiama linijų pralaidumai.

Reaktyviosios galios generavimo ir vartojimo valdymas, paskirstytiesiems mažos galios generatoriams dirbant salos režimu, reikalauja efektyvios greitaveikės informacinės valdymo sistemos, nes vietiniai mažieji šaltiniai, kurie generuos per mažai arba per daug reaktyviosios galios, palaikys nekokybišką įtampą.

Atsiradus dideliame kiekiui paskirstytosios generacijos šaltinių, yra didelė tikimybė, kad šie, įvertinant ir mažuosius šaltinius, išstums stambiuosius, kadangi mažieji generuojantys šaltiniai dažnai yra subsidijuojami, t.y. jų gamyba yra remiama, ar net privaloma supirkti už nustatytą kainą. Todėl mažėjant dirbančių didelių generuojančių šaltinių kiekiui, mažės ir įtampos reguliavimo galimybės aukščiausios įtampos tinkluose, prie kurių ir yra prijungti didieji generuojantys šaltiniai. Dėl to, perdavimo sistemos operatorius turės papildomai investuoti į reaktyviosios galios kompensavimo priemonių įdiegimą perdavimo tinkluose, t.y. 110 kV ir 330 kV tinkluose, o skirstomųjų tinklų operatorius – į reaktyviosios galios kompensavimo priemones skirstomuosiuose tinkluose (10-35 kV). Įdiegus papildomą didelį kiekį reaktyviosios galios valdymo priemonių – šuntinių reaktorių, kondensatorių baterijų, statinių reaktyviosios galios kompensavimo priemonių ir

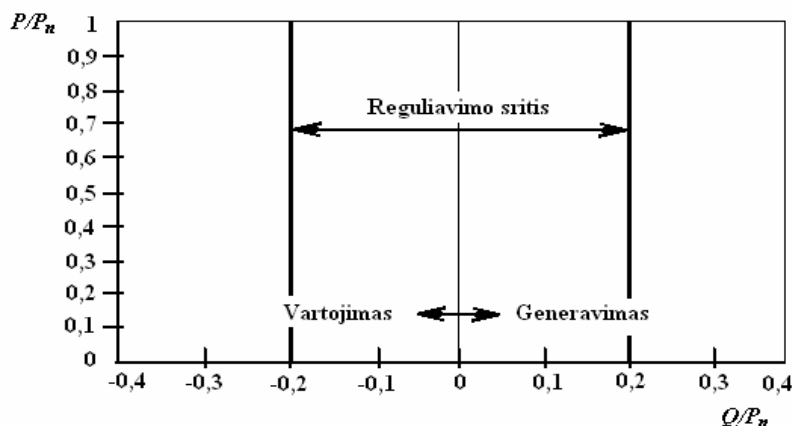
kitų panašių įrenginių, įtampos ir reaktyviosios galios valdymas iš esmės nebus problema, nes ji yra lokali.

Mažieji generatoriai, turintys išorinį valdymą ir galintys reguliuoti reaktyviosios galios kiekius, gali būti aktyviais paslaugos tiekėjais vietinėse reaktyviosios galios rinkose.

5.2. Paskirstytųjų elektrinių reaktyviosios galios valdymo reikalavimai

Reaktyviosios galios, kurią mažųjų generatorių elektrinė (apimant ir aukštinantįjį transformatorių) vartoja arba atiduoda į perdavimo ar skirstomąjį tinklą, 5 minučių trukmės vidutinės vertės turi būti reguliavimo srities viduje, kaip parodyta 7.1 paveiksle.

Jei vartojamoji reaktyvioji galia mažesnė kaip 25 kvar, jos reguliuoti nereikia. Elektros tinklo operatoriui ir mažųjų generatorių elektrinės savininkui (atstovui) susitarus, reaktyviosios galios kompensavimo paslauga gali būti išplėsta ir atitikti elektrinės prijungimo taško poreikius.



5.1 pav. Reaktyvios galios reguliavimo ribos

Mažųjų generatorių elektrinių mikrotinklo reaktyvioji galia gali būti reguliuojama ne kiekvienoje elektrinėje ar šaltinyje, o centralizuotai, elektrinių galios keitikliams dirbant statinės reaktyvios galios kompensatorių režime. Kompensavimo įrenginių darbo pokyčiai, kuriais siekiama išlaikyti reaktyviosios galios generavimą arba vartojimą, esant nusistovėjusiai būklei, neturi viršyti 10% vardinės reaktyviosios galios vertės.

Jei mažųjų generatorių elektrinė yra prijungta prie elektros tinklo kintamosios srovės kabeliais, tuose kabeliuose generuojama reaktyvioji galia pagal susitarimą su elektros tinklo operatoriumi turi būti įtraukta į elektrinės reaktyviosios galios balansą.

Reaktyviosios galios valdymas ir įtampos automatinio reguliavimo klausimai yra aktuali problema reikalaujanti atskiros ir tinkamai finansuojamos studijos.

5.3. Skyriaus išvados

- 5.1 Paskirstytojo generavimo šaltiniai turi tenkinti sistemos ir vartotojų reaktyviosios energijos paklausą, užtikrinti reikiamą įtampos lygį sistemos mazguose, užtikrinti reaktyviosios galios rezervą ir sumažinti sistemos technologines sąnaudas.
- 5.2 Didelis finansiškai remiamų paskirstytosios generacijos šaltinių kiekis gali išstumti stambiąsias elektrines, todėl, mažėjant dirbančių didelių generuojančių šaltinių kiekiui, mažės reaktyviosios galios ir įtampos reguliavimo galimybės aukščiausios įtampos tinkluose. Dėl to, perdavimo sistemos operatoriui gali reikėti papildomai investuoti į reaktyviosios galios kompensavimo priemonių įdiegimą perdavimo tinkluose.

6. PASKIRSTYTOJO GENERAVIMO MAŽŲ GALIŲ GENERATORIŲ PRIJUNGIMO PRIE ELEKTROS TINKLO GALIMŲ VIETŲ NUSTATYMO KRITERIJAI BEI ĮTAKA PATIKIMUMUI IR DARBO REŽIMAMS

Paskirstytojo generavimo šaltinių prijungimo prie elektros tinklo vietos nustatymas turi būti siejamas su pagerinti perdavimo tinklo darbo patikimumo gerinimu. Elektros tinklo patikimumas – tinklo savybė išlaikyti nustatytus tinklo parametrus tam tikrose nustatytose ribose, įvykus vienam ar keletui trikdžių. Tinklo patikimumo kokybinis rodiklis yra sutrikimų skaičius, kurių elektros tinklas gali pakelti, išlaikant tinklo parametrus nustatytose ribose. Šiame skyriuje yra vertinami nusistovėjusių režimų mazgų įtampa ir linijų apkrova. Nagrinėjant elektros tinklo reakciją į įvairius sutrikimus, nustatomos tinklo parametrų ribos, kurių pažaida leidžia kokybiškai įvertinti tinklo patikimumą. Tinklo parametrų riboms nustatyti naudojamas statinio stabilumo atsargos koeficientus.

Apkrovos mazgų įtampos atsargos koeficientas yra

$$K_U = \frac{U - U_{kr}}{U}; \quad (6.1)$$

čia U – įtampa tiriamajame mazge;

U_{kr} – kritinė įtampa šiame mazge (90 kV – 110 kV pusėje pagal vartotojų išjungimo automatikos nustatymus).

Linijų apkrovų atsargos koeficientas yra

$$K_I = \frac{I_{\max} - I}{I_{\max}}; \quad (6.2)$$

čia I_{\max} – didžiausioji leistinoji linijos srovė;

I – nagrinėjamo režimo linijos srovė.

Siekiant įvertinti elektros sistemos galimybę dar veikti, įvykus tam tikram sutrikimų skaičiui, nustatomas sistemos poavarinės būsenos patikimumo lygis. Galimi įvairūs patikimumo lygio nustatymo kriterijai ir kokybiniai vertinimo rodikliai. Sistemos poavarinės būsenos įvertinimui pasirenkami patikimumo lygiai:

1) sumažėjusio patikimumo lygis – tai tokia sistemos būseną, kai įvykus sutrikimui režimas dar egzistuoja, tinklo elementams atsijungti dar nereikia ir jų atsargos koeficientai neviršija nustatytų ribų;

2) avarinis lygis – tai tokia sistemos būseną, kai įvykus sutrikimui režimas nebeegzistuoja arba viršijamos tinklo elementų atsargos koeficientų ribos.

EES patikimumo lygiui nustatyti priimamos šias atsargos koeficientų ribas:

1) EES nustatomas sumažėjęs patikimumo lygis, kai sumodeliavus numatytus sutrikimus ir suskaičiavus režimą, tenkinamos šios sąlygos:

1.1) 110/330 AT, 110 ir 330 kV linijų stabilumo atsargos koeficientai yra $0 < K_I < 0,15$ ribose;

1.2) apkrovos mazgų įtampos atsargos koeficientai yra $0 < K_U < 0,13$ ribose.

2) EES nustatomas avarinis patikimumo lygis, kai sumodeliavus numatytus sutrikimus ir suskaičiavus režimą, tenkinamos šios sąlygos:

2.1) 110/330 autotransformatoriai, 110 ir 330 kV linijų stabilumo atsargos koeficientai yra $K_I < 0$;

2.2) apkrovos mazgų įtampos atsargos koeficientai $K_U < 0$.

Dėl mažų generatorių tam tikrų savybių – mažos instaliuotosios galios, dažnai sudėtingų galimybių jungtis prie skirstomojo tinklo, supaprastintų techninių sąlygų, netiksliai prognozuojamos šių generatorių galimos prijungimo vietos. Nagrinėjamos ne atskirų tinklo elementų, bet tinklo elementų, suskirstytų pagal pasirinktą principą, grupės, arba viso apkrovos mazgo galimybes išlikti patikimoje būklėje, įvairiems sutrikimams atsitikus. Nagrinėjant mazgo galimybes išlikti patikimoje

būklėje, šalia patikimumo lygio įvertinimo, papildomai naudojamas apibendrinantysis koeficientas – mazgo jautrio įvairiems sutrikimams atsitikus skaičiavimas. Mazgo jautris procentais yra:

$$J = \frac{N_M}{A_S} \cdot 100\%; \quad (6.3)$$

čia N_M – mazgo elementų skaičius, kurių patikimumo lygis po sutrikimų sistemoje neatitiko nustatytų ribų; A_S – įvykusių sutrikimų skaičius sistemoje.

Elektros tinklo elementų priskyrimą atitinkamiems mazgams sąlygoja elemento geografinė padėtis ir elektros tinklo topologija. Kaip jau buvo minėta, dėl mažųjų generatorių prijungimo ypatybių, svarbiau išskirti atskirus geografinius rajonus, pririšant juos prie elektros tinklo, nei nustatyti konkrečias prijungimo vietas. Vadovaujantis minėtomis prielaidomis, pagal pastočių priklausomybę atitinkamam perdavimo tinklo skyriui ir pagal tai, iš kokios 330/ 110 kV pastotės 110 kV pastotė yra maitinama, Lietuvos perdavimo tinklo 110 kV pastotes įprastinių sujungimų atvejais suskirstomos į 9 mazgus (6.1 lentelė).

6.1 lentelė. EES mazgui priskirtosios 110 kV pastotės

Mazgo pavadinimas	Mazgui priskirtos 110 kV pastotės
Vilniaus	Vilniaus perdavimo tinklo skyriaus pastotės
Klaipėdos	Klaipėdos perdavimo tinklo skyriaus pastotės
Panevėžio	Panevėžio perdavimo tinklo skyriaus pastotės
Šiaulių	Šiaulių perdavimo tinklo skyrius pastotės
Jurbarko	Pastotės, kurios maitinasi iš Jurbarko 330/110 kV pastotės
Alytaus	Kauno perdavimo tinklo skyriaus Alytaus sektoriaus pastotės
Jonavos	Pastotės, kurios maitinasi iš Jonavos 330/110 kV pastotės
Kauno	Kauno perdavimo tinklo skyriaus pastotės
Utenos	Utenos perdavimo tinklo skyriaus pastotės

6.1. Nagrinėjamųjų režimų aprašymas

Didžiausias numatomas mažųjų elektrinių prijungimo prie tinklo tempas prognozuojamas po Ignalinos AE antrojo bloko uždarymo, t.y. po 2010 metų. Modeliuojant režimus vadovautasi AB „Lietuvos energijos“ energetikos Lietuvos energetikos sistemos tinklo planu iki 2014 metų. Lietuvos ES apkrovos poreikio augimas numatytas pagal didžiausių tempų variantą, t.y. po 5,1 % iki 2009 m. ir po 3,1% po 2009 m. kasmet. Kaimynines energetikos sistemas modeliuoti naudoti *Baltic Grid* 2012 m. studijos duomenys [37].

6.1.1 Vasaros režimų aprašymas

1 režimas – 2010 m. vasaros maksimumas. Numatomasis Lietuvos ES poreikis 1817 MW. Kaliningrado ES generavimas 500 (1150) MW pilnai padengia Kaliningrado ES poreikį, yra nauja 330 kV linija Klaipėda – Telšiai. 6.2 lentelėje pateiktas modeliuojant taikytas Lietuvos elektrinių generavimas.

6.2 lentelė. LEES elektrinių generavimas 2010 metais 1.1 režime

Elektrinės pavadinimas	Generavimas, MW
Lietuvos E	1470
Mažeikių E	80
Kauno E	60
Kauno HE	50
Lifosos E	20
Mažųjų generatorių elektrinės	140
Vilniaus E2	24
Suma:	1844

2 režimas – 2010 m. vasaros maksimumas. Lietuvos ES poreikis 1817 MW, Kaliningrado ES generavimas 450 MW, poreikis 500 MW, linijos 330 kV Klaipėda –Telšiai nėra. Modeliuojamasis Lietuvos elektrinių generavimas pateiktas 6.3 lentelėje.:

6.3 lentelė. LEES elektrinių generavimas 2010 metais 1.2 režime

Elektrinės pavadinimas	Generavimas, MW
Lietuvos E	1610
Mažeikių E	80
Kauno E	60
Kauno HE	50
Lifosos E	20
Vilniaus E2	24
Suma:	1844

3 režimas – 2010 m vasaros maksimumas. Kaliningrado ES generavimas 450 MW, o poreikis 500 MW, yra nauja 330 kV linija Klaipėda – Telšiai, 1000 MW importas iš Rusijos. Modeliuojamasis Lietuvos elektrinių generavimas pateiktas 6.4 lentelėje.

6.4 lentelė. LEES elektrinių generavimas 2010 metais 1.3 režime

Elektrinės pavadinimas	Generavimas, MW
Lietuvos E	590
Mažeikių E	80
Kauno E	60
Kauno HE	50
Lifosos E	20
Vilniaus E2	24
Suma:	824

6.1.2 Žiemos režimų aprašymas

1 režimas – 2010 m. žiemos maksimumas. Lietuvos ES poreikis 2525 MW. Kaliningrado generavimas dengia 700 MW poreikį, yra nauja 330 kV linija Klaipėda – Telšiai. Modeliuojamasis Lietuvos elektrinių generavimas pateiktas 6.5 lentelėje

6.5 lentelė. LEES elektrinių generavimas 2010 metais 2.1 režime

Elektrinės pavadinimas	Generavimas, MW
Lietuvos E	1650
Mažeikių E	160
Kauno E	160
Kauno HE	50
Lifosos E	20
Mažųjų generatorių elektrinės	140
Vilniaus E3	360
Vilniaus E2	24
Suma:	2564

2 režimas – 2010 m. žiemos maksimumas. Lietuvos ES poreikis 2525 MW. Kaliningrado ES generavimas 450 MW, o poreikis 700 MW. Nėra linijos Klaipėda – Telšiai. Modeliuojamasis Lietuvos elektrinių generavimas pateiktas 6.6 lentelėje.

6.6 lentelė. LEES elektrinių generavimas 2010 metais 2.2 režime

Elektrinės pavadinimas	Generavimas, MW
Lietuvos E	1790
Mažeikių E	160
Kauno E	160
Kauno HE	50
Lifosos E	20
Vilniaus E3	360
Vilniaus E2	24
Suma:	2564

3 režimas – 2010 m. žiemos maksimumas. Lietuvos ES poreikis 2525 MW. Kaliningrado ES generavimas padengia poreikį 700 MW, yra 330 kV linija Klaipėda-Telšiai, 1000 MW importas iš Rusijos. Modeliuojamasis Lietuvos elektrinių generavimas pateiktas 6.7 lentelėje.

6.7 lentelė. LEES elektrinių generavimas 2010 metais 2.3 režime

Elektrinės pavadinimas	Generavimas, MW
Lietuvos E	810
Mažeikių E	160
Kauno E	160
Kauno HE	50
Lifosos E	20
Vilniaus E3	360
Vilniaus E2	24
Suma:	1584

6.2. Režimų analizė ir mazgų jautrio skaičiavimas

Norint nustatyti mazgo jautrį pagal 6.3 išraišką, nagrinėjami 6.1 dalyje aprašyti režimai. Vykiant įvairius tinklo elementų išjungimus, įvertinami apkrovos mazgų įtampos ir linijų apkrovų atsargos koeficientai.

Vasaros ir žiemos režimų analizė atliekama išjungiant atskiras 330 kV linijas ir 330/110 kV autotransformatorius. Vasaros režimai skaičiuojami išjungiant po du aukščiau minėtus tinklo elementus, o žiemos režimus – išjungiant po vieną ir po du aukščiau minėtus tinklo elementus, t.y. taikomas N-2 ir N-1 kriterijus. 6.1 dalyje aprašytiems vasaros ir žiemos režimams atlikti dviejų tinklo elementų išjungimo deriniai (N-2) – 1131 skaičiavimai ir išjungus po vieną (N-1) tinklo elementą – 46 skaičiavimai.

Vasaros ir žiemos skaičiavimo rezultatai pateikti 6.8 ir 6.9 lentelėse ir 1 stulpelyje nurodytas pastočių skaičius, kuriose dėl įtampos pažemėjimo ES patikimumo lygis krenta iki sumažėjusio lygio, 2 stulpelyje nurodytas tinklo elementų skaičius, kuriuose dėl apkrovų padidėjimo sistemos patikimumo lygis nukrinta iki sumažėjusio lygio, 3 stulpelyje nurodytas mazgo jautrumas, esant sumažėjusiam patikimumo lygiui, 4 – 6 stulpeliuose nurodyta pastočių ir tinklo elementų skaičius ir mazgų jautrumas, kai pasiekiamas avarinis ES patikimumo lygis.

6.2.1 Vasaros N-2 režimai

6.8 lentelė. LEES mazgų patikimumo lygiai vasaros 1.1. 1.2 ir 1.3 režimuose

Mazgo pavadinimas	Sumažėjęs patikimumo lygis			Avarinis patikimumo lygis		
	1	2	3	4	5	6
	$0 < K_U < 0,13$	$0 < K_I < 0,15$	J, %	$K_U < 0$	$K_I < 0$	J, %
1.1 režimas						
Vilniaus	1	246	100		102	100
1.2 režimas						
Vilniaus	1	241	96.6		103	99.99
Alytaus		10	3.4		1	0.01
1.3 režimas						
Vilniaus	1	199	99.01		106	99.07
Alytaus		2	0.99		1	0.93

6.2.2 Žiemos N-1 režimai

6.9 lentelė. LEES mazgų patikimumo lygiai žiemos 2.1. 2.2 ir 2.3 režimuose

Mazgo pavadinimas	Sumažėjęs patikimumo lygis			Avarinis patikimumo lygis		
	1	2	3	4	5	6
	$0 < K_U < 0,13$	$0 < K_I < 0,15$	J, %	$K_U < 0$	$K_I < 0$	J, %
2.1 režimas						
Vilniaus		4	50			
Panevėžio		2	25		2	100
Jurbarko		2	25			
2.2 režimas						
Klaipėdos		1	8.33		1	20
Panevėžio		2	16.67		2	40
Šiaulių		2	16.67		2	40
Jurbarko		2	16.67			
Alytaus	1		8.33			
2.3 režimas						
Mazgo pavadinimas	Sumažėjęs patikimumo lygis			Avarinis patikimumo lygis		
	1	2	3	4	5	6
	$0 < K_U < 0,13$	$0 < K_I < 0,15$	J, %	$K_U < 0$	$K_I < 0$	J, %
Vilniaus		3	33.33			
Klaipėdos		2	22.22		1	33.33
Panevėžio		2	22.22		2	66.67
Jurbarko		2	22.22			

6.2.3 Žiemos N-2 režimai

6.10 lentelė. LEES mazgų patikimumo lygiai žiemos 2.1a, 2.2a ir 2.3a režimuose

Mazgo pavadinimas	Sumažėjęs patikimumo lygis			Avarinis patikimumo lygis		
	1	2	3	4	5	6
	$0 < K_U < 0,13$	$0 < K_I < 0,15$	J, %	$K_U < 0$	$K_I < 0$	J, %

2.1a režimas*

Vilniaus		190	54.44		13	50.00
Panevėžio	25	1	7.45			
Jurbarko		8	2.29			
Alytaus		102	29.23		12	46.15
Jonavos		2	0.57			
Kauno		21	6.02		1	3.85

2.2a režimas

Vilniaus		170	14.37		4	1.12
Klaipėdos	286	34	27.05	102	16	33.05
Panevėžio	24	10	2.87		4	1.12
Šiaulių	121	97	18.43	41	13	15.13
Jurbarko	14	41	4.65		5	1.40
Alytaus	11	347	30.26		169	47.34
Jonavos		13	1.10		1	0.28
Kauno		14	1.18		2	0.56
Utenos	1		0.08			

2.3a režimas

Vilniaus		142	44.94		4	3.96
Klaipėdos	35	6	12.97		5	4.95
Panevėžio	24	1	7.91			
Šiaulių		4	1.27			
Jurbarko		4	1.27			
Alytaus		95	30.06		92	91.09
Jonavos		1	0.32			
Kauno		2	0.63			
Utenos	1	1	0.63			

*– visos mažųjų generatorių elektrinės išjungtos ir Lietuvos E generavimas padidintas 140 MW galia.

6.11 lentelė. Vidutinės mazgų jautrumo reikšmės žiemos režimuose

Sumažėjęs patikimumo lygis			Avarinis patikimumo lygis		
Eiliškumas	Mazgo pavadinimas	J, %	Eiliškumas	Mazgo pavadinimas	J, %
1	Vilniaus	38,4	1	Panevėžio	34,63
2	Alytaus	16,3	2	Alytaus	30,76
3	Panevėžio	13,68	3	Klaipėdos	15,22
4	Jurbarko	12,02	4	Vilniaus	9,18
5	Klaipėdos	11,76	5	Šiaulių	9,18
6	Šiaulių	6,06	6	Kauno	0,74
7	Kauno	1,3	7	Jurbarko	0,23
8	Jonavos	0,33	8	Jonavos	0,05
9	Utenos	0,12	9	Utenos	

6.12 lentelė. Vidutinės mazgų jautrumo reikšmės vasaros režimuose

Sumažėjęs patikimumo lygis			Avarinis patikimumo lygis		
Eiliškumas	Mazgo pavadinimas	J,%	Eiliškumas	Mazgo pavadinimas	J,%
1	Vilniaus	98,5	1	Vilniaus	99,6
2	Alytaus	1,5	2	Alytaus	0,4

6.3. Skaičiavimo rezultatų analizė

Tyrimo rezultatai parodė, kad sistemos patikimumą labiausiai galima pagerinti prijungiant mažosios galios generatorius Vilniaus mazge, tačiau žinant, kad Vilniaus mazgas yra lokalizuotas Vilniaus mieste, mažųjų generatorių atsiradimas mieste dėl įvairių techninių ir gamtosauginių reikalavimų, dūmų filtrų ir t.t. reikalavimų šiame mazge yra mažai tikėtinas. Ateityje čia geriausiai tiktų kuro baterijos. Toliau galima būtų išskirti Panevėžio, Alytaus, Klaipėdos ir Šiaulių mazgus, kuriuose prijungiant mažosios galios generatorius pagerėtų sistemos patikimumo lygis. Mažosios galios generatorių prijungimas Kauno, Jurbarko, Jonavos ir Utenos mazguose dėl išvystyto 330 kV tinklo sistemos patikimumą įtakotų labai neženkliai.

Pateiktų režimų skaičiavimo 6.2.1 – 6.2.3 dalyse duomenų pagrindu nustatytos vidutinės mazgų jautrio reikšmės, pagal kurias nustatyta 330 kV linijų ir 330/110 kV autotransformatorių avarinių atsijungimų įtaka atskirų Lietuvos ES mazgų patikimumui. 6.11 ir 6.12 lentelėse pateiktos vidutinės mazgų jautrumo reikšmės atskirai žiemos ir vasaros režimams.

Vertinant 6.11 ir 6.12 lentelėse pateiktus rezultatus, galima teigti, kad skaičiuojant vasaros režimus vidutinis mazgų jautris abiejų patikimumo lygių atvejais yra didžiausias Vilniaus mazge. Tai sąlygoja didelė Vilniaus mazgo apkrova ir mažas šio mazgo generavimas.

Žiemos režimų atvejais pagal 6.11 lentelėje pateiktus rezultatus vidutinis skaičiuotų režimų mazgų jautris, sumažėjusio patikimumo lygio atvejais taip pat yra didžiausias Vilniaus mazge, tačiau didžiausias jautrio patikimumo avarinio lygio atvejis rastas Panevėžio mazge.

Pateiktasis skaičiavimo metodas tinka ir žemesnės įtampos tinklams, todėl skaičiuojant vietinių galių balansus ir galimų avarinių atsijungimų scenarijus, galima apskaičiuoti vietines sąlygas įvertinančius tinklo patikimumą ir tam reikalingi papildomi tyrimai.

6.4. Skyriaus išvados

- 6.1 Pateikta paskirstytojo generavimo mažų galių generatorių prijungimo prie elektros tinklo galimų vietų kriterijų, įvertinant sistemos darbo patikimumą ir įtaką darbo režimams, nustatymo metodologija
- 6.2 Nustatyta, kad sistemos patikimumas labiausiai pagerėtų Vilniaus, Panevėžio, Alytaus, Klaipėdos ir Šiaulių mazguose prijungiant mažosios galios generatorius.
- 6.3 Mažosios galios generatorių prijungimas Kauno, Jurbarko, Jonavos ir Utenos mazguose dėl išvystyto 330 kV tinklo sistemos patikimumą įtakotų labai neženkliai.

7. MAŽOS GALIOS ELEKTRINIŲ ĮTAKA TRUMPOJO JUNGIMO SROVĖMS ELEKTROS TINKLUOSE

Trumpieji jungimai elektros tinkle pasitaiko gana dažnai. Paskirstytieji generatoriai dėl išorinio tinklo pažaidos turi nesugesti, nes sistemos tinklas atsakomybės už tai prisiimti negali. Paprasčiausiai reikia parinkti pakankamai atsparų įrenginį.

Trumpojo jungimo (t.j.) srovių skaičiavimai vykdomi:

- parenkant elektros sistemos įrenginius;
- projektuojant relinės apsaugos schemas.

Nusistovėjusio režimo t.j. srovėms skaičiuoti yra naudojami supaprastinti metodai, apibrėžti įvairiuose tarptautiniuose ir nacionaliniuose standartuose, kaip pvz., IEC 60909 ir pan. Šiuose metoduose realus elektros tinklas suprastinamas. Standartiniai realaus tinklo elementai yra linijos, kabeliai, transformatoriai, sinchroniniai generatoriai ir varikliai, asinchroniniai varikliai ir įtampos šaltiniai. Trumpojo jungimo srovių skaičiavimuose šiuos elementus vaizduoja jų ekvivalentinės varžos (R ir X).

Paskirstytojo generavimo elektrinių įvairovė lemia nevienodą įtaką į t.j. srovės elektros tinkluose. Sinchroninių ir asinchroninių paskirstytųjų generatorių t.j. srovės skaičiuojamos pagal klasikinę teoriją. Priklausomai nuo prijungimo schemos sinchroninių generatorių t.j. srovės gali viršyti 10 vardinių srovių dydį, asinchroninių generatorių t.j. srovės gali pasiekti 5-7 vardinių srovių dydį. Elektrinėse su keitikliais, (vėjo, kuro elementų, saulės ir pan.), atsiradus išoriniam t.j., keitikliai užsidaro ir vėl pradeda veikti tik t.j. pasibaigus. Generatorių t.j. srovės turėtų neviršyti 2 vardinių srovių, o tikslus atsakymas reikalauja išsamių ir didelę apimtį bei pakankamai finansuojamų mokslinių tyrimų.

7.1. Elektrinių su keitikliais nusistovėjusiojo režimo trumpojo jungimo srovės

Vėjo elektrinių su keitikliais maksimali t.j. ($I_{K,maks}$) priklauso nuo naudojamų keitiklių skaičiaus. Kiekvieno keitiklio maksimali t.j. srovė yra 500 A 400 V įtampai prijungimo mazge. Taigi vėjo elektrinės su aštuoniais keitikliais maksimali trumpojo jungimo srovė bus 4000 A.

Trumpojo jungimo srovės I_K fazės kampas φ_K gali būti nustatomas nuo 0° iki 88° , priklausomai nuo darbo režimo t.j. metu. Taigi realioji ir menamoji t.j. srovės dalys gali būti apskaičiuotos:

$$I_{Kmaks.re} = I_{Kmaks} \cos \varphi_K ;$$

$$I_{Kmaks.im} = I_{Kmaks} \sin \varphi_K .$$

Ar vėjo turbinoje generuojama t.j. srovė pasieks maksimalią vertę I_{Kmaks} priklauso nuo elektrinės specifinės įtampos ir pilnutinės galios. Daugumoje skaičiavimų yra svarbi tik maksimali t.j. srovė. Jeigu vėjo elektrinė dirba vardine galia, maksimali t.j. srovė bus generuojama prie įvairių įtampos reikšmių. Tokios reikšmės galioja tik įtampos kryčiams iki 85 % vardinės 400 V įtampos reikšmės ir esant vėjo elektrinės „perdavimo tinklo konfigūracijai“, kuri pajėgi atlaikyti sistemos avarijas. Vėjo elektrinių „skirstomojo tinklo konfigūracija“, kuri yra nepajėgi atlaikyti sistemos avarių, įtakoja tik pradinę t.j. srovę, kuri yra atjunginama per 100 ms.

Reikėtų pastebėti, kad esant simetriniam ir asimetriniam t.j., vėjo elektrinė generuoja tik tiesioginės sekos dedamąją.

Ekvivalentinės tiesioginės, atvirkštinės ir nulinės sekos varžos apskaičiuojamos, nustačius specifines aktyviają R_K ir reaktyviają X_K varžas. Norint apskaičiuoti maksimalią t.j. srovę, nustatomos tokios varžų reikšmės:

- Tiesioginei sekai

$$\frac{X_{K(1)}}{R_{K(1)}} = \operatorname{tg} \varphi_K .$$

- Atvirkštinei sekai

$$R_{K(-1)} = \infty; X_{K(-1)} = \infty .$$

- Nulinei sekai

$$R_{IK(0)} = \infty; X_{K(0)} = \infty ;$$

čia $X_{K(l)}$ ir $R_{K(l)}$, $X_{K(-l)}$ ir $R_{K(-l)}$, $X_{K(0)}$ ir $R_{K(0)}$, – tiesioginės, atvirkštinės ir nulinės sekų reaktyvioji ir aktyvioji varžos.

Santykis tarp $X_{K(1)}$ ir $R_{K(1)}$ yra pastovus dėl fazės kampo trumpojo jungimo metu. Ekvivalentinio įtampos šaltinio tiesioginės sekos varžos simetrinio ir asimetrinio režimo sąlygomis turi būti iteruojamos tol, kol generuojama pradinė trumpojo jungimo srovė bus lygi maksimaliai vėjo elektrinės trumpojo jungimo srovei. Kadangi įtampos šaltinis yra vaizduojamas kaip varža, tokiu atveju t.j. srovė priklauso nuo mazgo įtampos ir varžos reikšmės.

Tokia skaičiavimo procedūra yra atliekama kiekvienai vėjo elektrinės (parko) turbinai ir galiausiai apskaičiuojama visos elektrinės tiesioginės, atvirkštinės ir nulinės sekos varžos.

Atlikti t.j. srovių tyrimai [14] rodo, kad t.j. srovė neturi pikų ir nuolatinės srovės dedamosios, todėl viršpereinamoji srovė lygi nusistovėjusiai

$$I'' = I_K ,$$

smūginė srovė gali būti nustatyta pagal išraišką

$$i_S = \sqrt{2} \kappa I'' = \sqrt{2} I''$$

ir keitiklio išjungimo srovė pagal išraišką

$$I_{Kisj} = \mu I'' = I'' .$$

Šiose išraiškose I'' ir I_K – viršpereinamoji (pradinė) ir nusistovėjusi t.j. srovės; i_S ir I_{Kisj} – smūginė ir keitiklio išjungimo t.j. srovės; κ ir μ – puslaidininkinio keitiklio koeficientai.

Keitiklių vardinė srovė I_N nustatoma 400 V įtampos lygiui.

ENERCON bendrovės vėjo turbinų apskaičiuotos trumpojo jungimo srovės yra pateiktos 7.1-7.2 lentelėse.

7.1 lentelė. „Perdavimo tinklo konfigūracijos“ vėjo turbinų trumpojo jungimo srovės

Keitikliai			I_N, A	I'', A	$k_K = \frac{I''}{I_N}$	i_S, A	I_{Kisj}, A
Tipas	Galia, MW	Skaičius					
E-82	2	9	2887	4500	1,559	6364	4500
E-82	2	8	2887	4000	1,386	5657	4000
E-82	2	7	2887	3500	1,212	4950	3500
E-70/E4	2	8	2887	4000	1,386	5657	4000
E-70/E4	2	9	2887	4500	1,559	6364	4500
E-70/E4	2,2	9	3175	4500	1,417	6364	4500
E-70/E4	2,3	9	3320	4500	1,355	6364	4500
E-48	0,8	3	1155	1500	1,299	2121	1500
E-53	0,8	3	1155	1500	1,299	2121	1500
E-44	0,9	3	1299	1500	1,155	2121	1500

7.2 lentelė. „Skirstomojo tinklo konfiguracijos“ vėjo turbinų trumpojo jungimo srovės

Keitikliai			I_N, A	I'', A	$k_K = \frac{I''}{I_N}$	i_S, A	$I_{Kišj}, A$
Tipas	Galia, MW	Skaičius					
E-82	2	8	2887	4000	1,386	5657	4000
E-82	2	7	2887	3500	1,212	4950	3500
E-70/E4	2	8	2887	4000	1,386	5657	4000
E-70/E4	2,2	8	3175	4000	1,417	5657	4000
E-70/E4	2,2	9	3175	4500	1,355	6364	4500
E-70/E4	2,3	8	3320	4000	1,205	5657	4000
E-48	0,8	3	1155	1500	1,299	2121	1500
E-53	0,8	3	1155	1500	1,299	2121	1500
E-44	0,9	3	1299	1500	1,155	2121	1500

Pateiktų duomenų analizė rodo, kad vėjo elektrinių su inverteriais t.j. srovės priklauso inverterių tipo, jų galios ir lygiagrečių inverterių skaičiaus ir darbo vardinėmis sąlygomis, t.y. maksimalios t.j. srovės gali keistis nuo 1,56 iki 1,15 vardinės srovės vertės. Tinkamai parinkus ir suprojektavus vėjo elektrinių inverterius t.j. srovės turėtų nurodytų ribų. Skirstomajam tinklui rekomenduojamos mažesnių t.j. srovių keitiklinės vėjo elektrinės negu perdavimo tinklui.

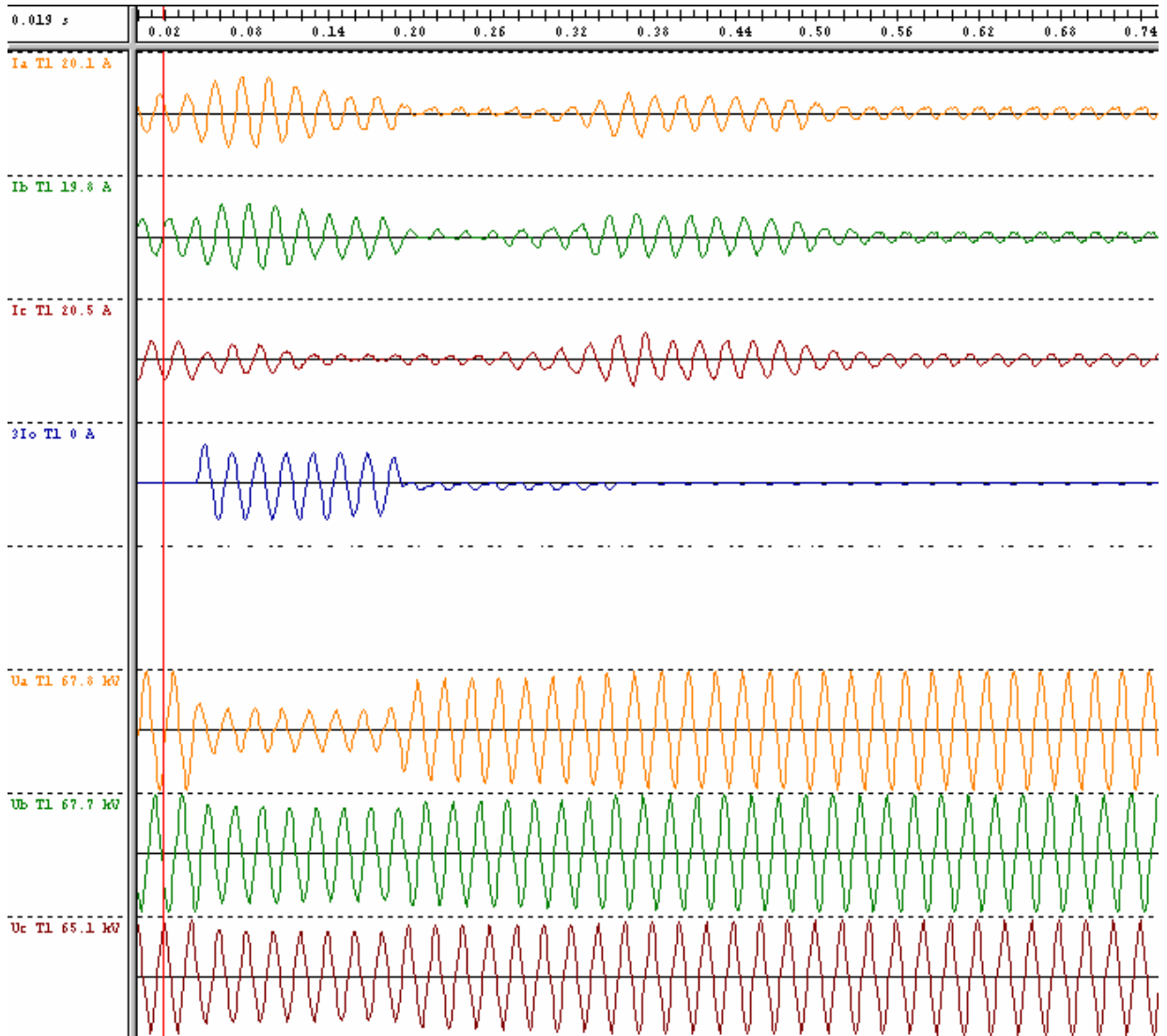
7.2. Vėjo elektrinių trumpųjų jungimų eksperimentinė analizė

Vėjo elektrinių t.j. srovių analizė atlikta eksperimentinių tyrimų duomenų pagrindu. Nagrinėjami tokie vienfaziai t.j. yra:

- 2007-08-23 trumpasis jungimas prie Kretingos TP;
- 2007-11-06 trumpasis jungimas Priekulės TP;
- 2007-11-10 trumpieji jungimai Kruonio HAE-Sovietskai (LN 447) 330 kV linijoje.

Šių trumpųjų jungimų metu buvo registruojami duomenys vėjo elektrinių pastotėse Vėjas I TP ir Benaičių TP. Reikėtų atkreipti dėmesį, kad prie Vėjas I TP prijungtos vėjo elektrinės yra pagamintos Enercon bendrovėje ir yra su keitikliais, prie Benaičių TP yra prijungti Vestas bendrovėje pagamintos vėjo elektrinės su asinchroniniais generatoriais.

2007-08-23 trumpojo jungimo prie Kretingos TP metu užfiksuoti Vėjas I ir Benaičių TP srovės ir įtampos matavimai yra pateikti 7.1 ir 7.2 paveiksluose, o skaitiniai rezultatai – 7.3 lentelėje.

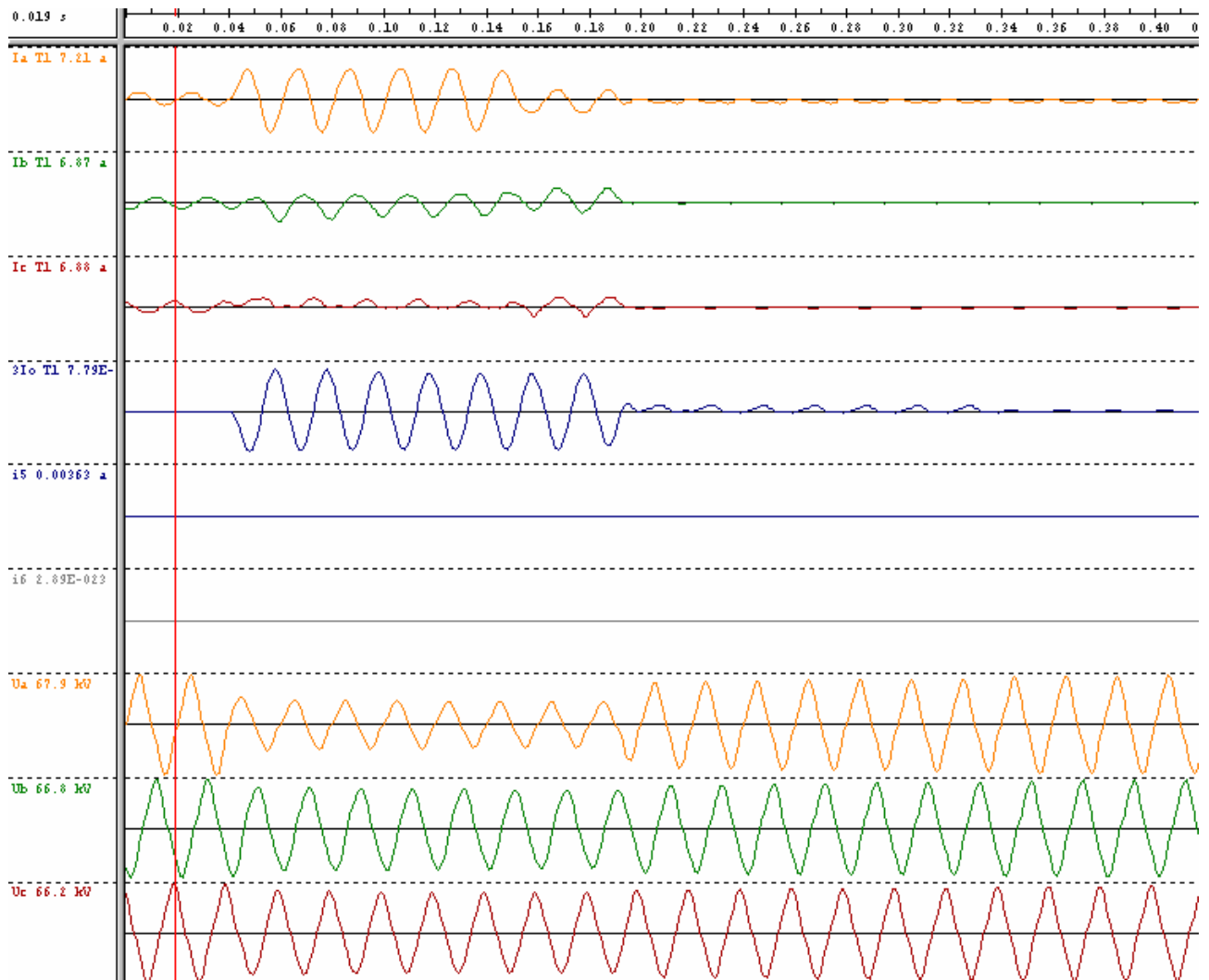


7.1 pav. Vėjas I TP srovės ir įtampos vienfazio t.j. prie Kretingos TP 2007-08-23

Įvykusių t.j. 2007-08-23 prie Kretingos TP metu ir 2007-11-06 prie Priekulės TP metu užfiksuotos srovės ir įtampos reikšmės Benaičių TP ir Vėjas I TP pateiktos 7.3 lentelėje.

7.3 lentelė. Vėjas I TP ir Benaičių TP srovių ir įtampų palyginimas iki ir trumpųjų jungimų metu

	I_f , A	$I_{f,tj}$, A	$I_{f,tj}/I_f$	U_f , kV	$U_{f,tj}$, kV
2007-08-23					
Vėjas I TP	20,1	37,3	1,9	67,8	23,4
Benaičių TP	7,2	35,4	4,9	67,9	31,7
2007-11-06					
Vėjas I TP	95,6	99,3	1,04	68,3	55,8
Benaičių TP	63,5	79,8	1,25	69,3	58,7



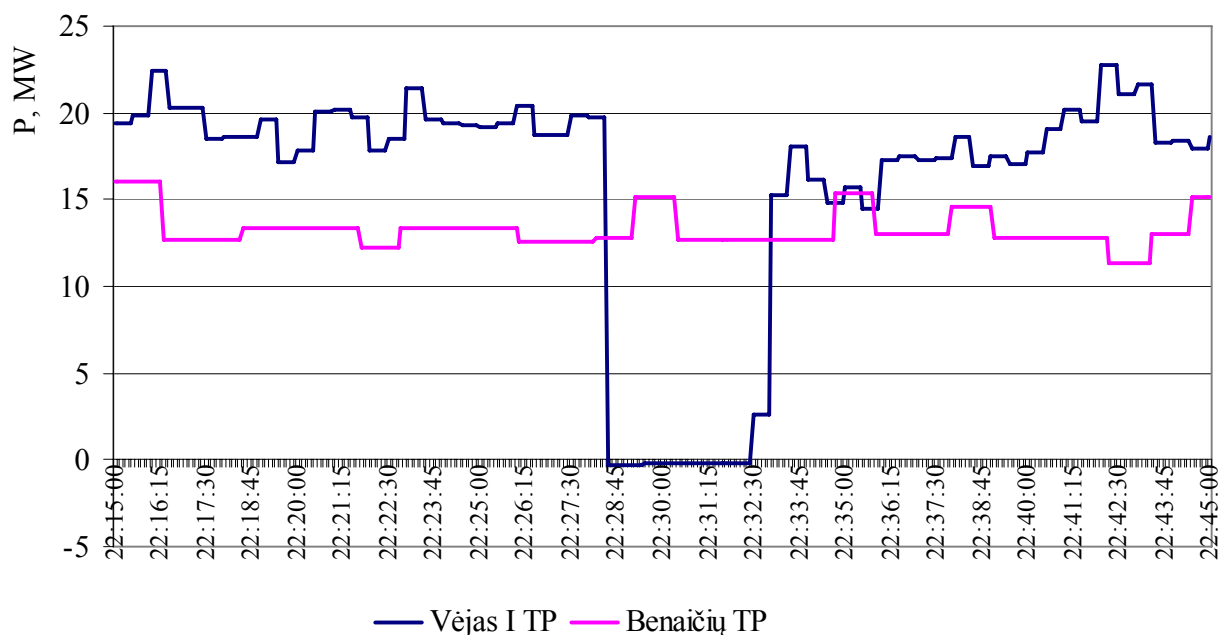
7.2 pav. Benaičių TP srovės ir įtampa vienfazio t.j. prie Kretingos TP 2007-08-23

Atliktų matavimų ir tyrimų rezultatų analizės pagrindu galima nustatyti, kad t.j. prie Kretingos TP metu Vėjo I TP elektrinių su keitikliais linijoje vienos fazės srovės efektinė reikšmė padidėjo nuo 20,1 iki 37,3 A arba 1,9 karto darbo srovės dydžio (7.3 lentelė), o fazinė įtampa sumažėjo nuo 67,8 iki 23,4 kV. Šio t.j. metu Benaičių TP elektrinių su asinchroniniais generatoriais linijoje vienos fazės srovės efektinė reikšmė padidėjo nuo 7,2 iki 35,4 A arba 4,9 karto darbo srovės dydžio, fazinė įtampa sumažėjo nuo 67,9 iki 31,7 kV.

Trumpojo jungimo prie Priekulės TP metu Vėjo I TP elektrinių linijoje vienos fazės srovės efektinė reikšmė padidėjo nuo 95,6 iki 99,3 A arba 1,04 karto darbo srovės dydžio, o fazinė įtampa sumažėjo nuo 68,3 iki 55,8 kV. Mažas darbo ir t.j. srovių santykis rodo, kad veikė nulinės sekos srovės arba kitos apsaugos. Nagrinėjamu atveju, Benaičių TP elektrinių linijoje vienos fazės srovės efektinė reikšmė padidėjo nuo 63,5 iki 79,8 A arba 1,25 karto darbo srovės dydžio, fazinė įtampa sumažėjo nuo 69,3 iki 58,7 kV (7.3 lentelė).

Atlikti tyrimai rodo, kad vėjo elektrinės su keitikliais žymiai mažiau įtakoja į t.j. srovės perdavimo tinkle negu elektrinės su asinchroniniais ir tuo labiau su sinchroniniais generatoriais.

Vėjo elektrinių su keitikliais ir su asinchroniniais generatoriais generuojamos galios kitimas yra labai skirtingas (7.3 pav.).



7.3 pav. Vėjas I TP ir Benaičių TP apkrovos trumpojo jungimo Priekulės TP 2007-11-06

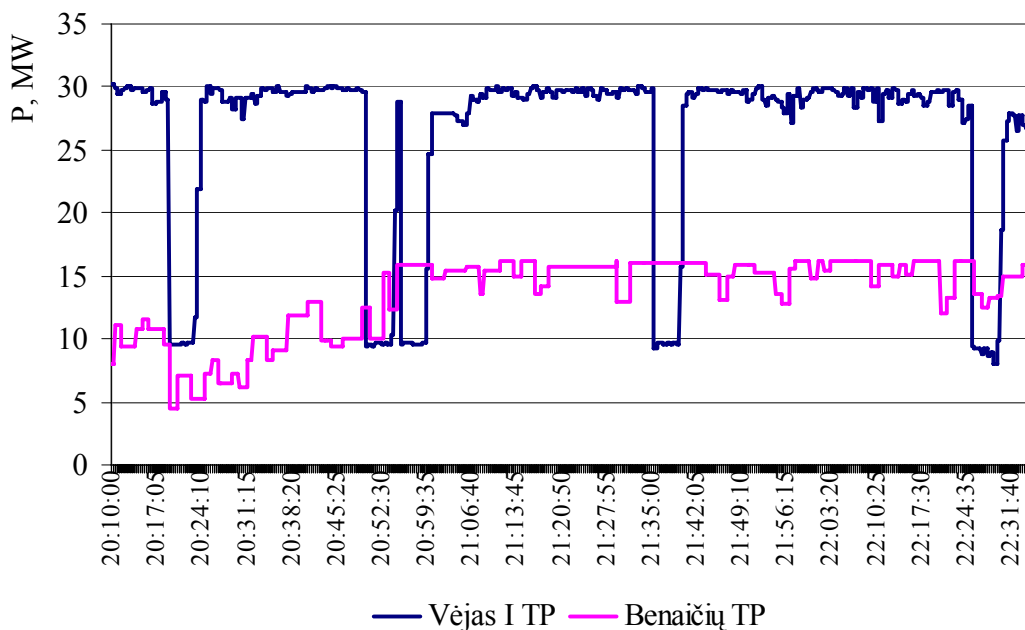
Pakankamai atrimo t.j. metu (7.3 pav.) prie Vėjas I TP prijungtų elektrinių keitikliai buvo uždaryti ir generuojama galia sumažėjo nuo 20 iki 0 MW, o Benaičių TP elektrinių generuojama galia išliko nepakitusi.

2007-11-10 vyko t.j. Kruonio HAE-Sovietskaskas (LN 447) 330 kV linijoje (7.4 lentelė).

7.4 lentelė. 2007-11-10 įvykių aprašymas pagal dispečerių informaciją

Data	Linija	Aprašymas
2007-11-10 22:25	Kruonio HAE-Sovietskaskas (LN 447)	KHAE du kartus atsijungė L1-447 ir L2-447 DFA,Ž IV,"A" TAKI nesėkmingas. Sovietske DFA,Ž I,"A" TAKI nesėkmingas. Kaliningrado srityje stipri pūga.
2007-11-10 21:35	Kruonio HAE-Sovietskaskas (LN 447)	KHAE du kartus atsijungė L1-447 ir L2-447 DFA,ŽI,"C" TAKI sėkmingas. Sovietske DFA "C" VAKI sėkmingas. L-56,6 km nuo Sovietsko.
2007-11-10 20:49	Kruonio HAE-Sovietskaskas (LN 447)	20:49-20:55 OL atsijungė 6 kartus. KHAE DFA,Ž IV,"C" TAKI sėkmingas. Ketvirto atsijungimo metu neįsijungė L2-447. Apžiūrėjus-DJ įjungtas 21:08. Sovietske DFA "C" VAKI sėkmingas.L-42,5 km nuo Sovietsko. OL trasos ruože didelė pūga.
2007-11-10 20:18	Kruonio HAE-Sovietskaskas (LN 447)	KHAE L1-447 ir L2-447 DFA,fazės "B" ir "C" TAKI sėkmingas. Sovietske DFA,A,"B" ir "C" FAZĖS TAKI sėkmingas. L-38,3 km nuo Sovietsko.

Nutolusių t.j. metu elektrinių su keitikliais darbo režimas keičiasi ir jos nenusikrauna iki nulinės galios (7.4 pav.). Šių t.j. atveju prie Vėjas I TP prijungtų elektrinių su keitikliais galia sumažėdavo nuo 30 iki 10 MW arba 66 % ir vėl padidėdavo iki maksimalios darbo galios. Tuo tarpu asinchroniniai generatoriai visai nereagavo ir galios nekeitė.



7.4 pav. Vėjas I TP ir Benaičių TP apkrovos 2007-11-10 trumpojo jungimo Kruonio HAE-Sovietskai (LN 447) 330 kV linijoje metu

Taigi tyrimų analizė rodo, kad vėjo elektrinės su keitikliais (Vėjas I TP) yra linkusios nusikrauti ne tik artimų, bet ir stipriai mažinti galią tolimų t.j. metu, o tai nėra gerai sistemos stabilumo ir dažnio reguliavimo prasme. Didėjant tokių elektrinių kiekiui ir galiai, elektros sistemoje gali kilti problemų, užtikrinant stabilų sistemos darbą ir reguliuojant dažnį. Vėjo elektrinės su asinchroniniais generatoriais išlaiko savo generuojamą galią t.j. metu, tačiau sukelia pakankamai dideles t.j. sroves (iki 5 kartų).

Siekiant giliau išsiaiškinti vėjo elektrinių elgseną trumpųjų jungimų metu, reikėtų atlikti daugiau matavimų ir padaryti išsamesnius tyrimus.

7.3. Skyriaus išvados

- 7.1 Atlikti tyrimai rodo, kad vėjo elektrinės su keitikliais žymiai mažiau įtakoja į t.j. sroves perdavimo tinkle negu elektrinės su asinchroniniais ir tuo labiau su sinchroniniais generatoriais.
- 7.2 Rezultatų analizė rodo, kad vėjo elektrinių su keitikliais (Vėjas I TP) tolimojo trumpojo jungimo maksimali srovė gali keistis nuo 1,56 iki 1,15 vardinės srovės vertės ir tai patvirtina eksperimentiniai tyrimai (iki 1,9 karto darbo srovės) priklausomai nuo keitiklių įtampos.
- 7.3 Vėjo elektrinių su asinchroniniais generatoriais maksimalios t.j. srovės gali siekti 5-7 vardinės srovės dydžio ir eksperimentu užfiksuotas pokytis iki 5,0 karto darbo srovės.
- 7.4 Vėjo elektrinės su keitikliais yra linkusios pilnai nusikrauti ne tik artimų, bet ir stipriai sumažinti galią tolimų t.j. metu. Didėjant tokių elektrinių kiekiui ir galiai, elektros sistemoje gali kilti problemų, užtikrinant stabilų sistemos darbą ir reguliuojant dažnį.
- 7.5 Vėjo elektrinės su asinchroniniais generatoriais išlaiko savo generuojamą galią t.j. metu, ir papildomų galios srautų persiskirstymo nesukelia.

8. PASKIRSTYTOJO GENERAVIMO ŠALTINIŲ PRIJUNGIMO TECHNINIAIS REIKALAVIMAI, UŽTIKRINANTYS ELEKTROS SISTEMOS DARBO PATIKIMUMĄ.

Įrengiant mažuosius generatorius ir jungiant juos į bendrosios paskirties tinklą turi būti tenkinami galiojančių norminių dokumentų ir taisyklių reikalavimai [31, 40]. Generatoriai pagal galimybes turėtų dalyvauti galių balanso ir valdomojo rajono paklaidos mažinimo, reguliuojant dažnį, vyksme. Kartu didesnė jų dalis, ypač šiluminės energijos šaltiniai, bus rezerviniai generatoriai. Reguliavimo nejautos zona pagal reikalavimus turi būti ± 10 mHz (kartais ± 20 mHz) pločio [31]. Reakcija į sistemos operatoriaus nurodymus turi prasidėti ne vėliau kaip per 30 sekundžių, o pats reguliavimo procesas turi užtrukti ne daugiau kaip 15 minučių.

Pagrindinis dokumentas, leidžiantis mažojo generatoriaus savininkui (fiziniam asmeniui ar bendrovei) prisijungti prie bendrųjų elektros tinklų yra tinklų operatoriaus ir savininko sutartis. Tačiau prieš ją sudarant, turi būti patikrinta, ar generatoriaus parametrai ir papildomieji įrenginiai atitinka išduotas technines sąlygas, saugos taisykles ir nustatytas prijungimo taške nuosavybės ribas. Pagal galiojančią tvarką tinklo pagerinimo, pavyzdžiui, jo relinės apsaugos atnaujinimo ir būtinus keitimo darbus apmoka tinklo operatorius. Atlikus visus darbus, mažasis generatorius gali būti prijungiamas prie elektros tinklo.

Techninių reikalavimų projektas parengtas vėjo elektrinių prijungimo taisyklių [54] pagrindu, pritaikant techninius parametrus mažųjų generatorių specifikai. Reikalavimai keliami įprastinei nedidelės galios šiluminei elektrinei, kurios deginamą kurą galima taupyti, arba atliekinę šilumą, kurios taupyti negalima, naudojančiai elektrinei. Fotoelektinės ir keitikliai, kuro baterijos ir jų keitikliai, energijos kaupikliai ir jų keitikliai sudaro atskirą įrenginių grupę, kurie dėl savo elektroninio valdymo prigimties lengvai vykdo visus valdomumo reikalavimus. Mažųjų hidroelektrinių ir kogeneravimo šiluminių elektrinių darbo režimus užduoda vandens ir šilumos kiekiai, todėl jiems valdomumo reikalavimai taikomi tik iš dalies, susitarimo su tinklų operatoriumi pagrindu, tačiau generuojamos elektros kokybės ir tinklo įtampų valdymo reikalavimai taikomi visi.

Jei elektrinė ar kaupiklis yra labai mažos galios (mažiau 1 MW), toliau pateiktieji reikalavimai jiems taikomi tik iš dalies, apie tai susitariant ir parašant operatoriaus ir elektrinės savininko susitarime. Kokia apimti turi dalyvauti energetikos sistemos valdyje mažieji generatoriai, turi nuspręsti perdavimo sistemos operatorius atsižvelgdamas į mažųjų generatorių kiekį bei jų įtaką energetikos sistemos balanso valdymui. Tačiau, jei mažasis generatorius dirbs atsiskyrusios salos – mikrotinklo režime, techniniai reikalavimai turi būti dar papildyti įprastiniais didelėms elektrinėms keliamais reikalavimais ir atitikti visas mažosios elektros sistemos veikos taisykles.

Suakampus daugiau inžinerinės praktikos ir atsinaujinančiosios energetikos bei informacinės technologijoms toliau besivystant, techninius reikalavimus reikalinga reguliariai peržiūrėti ir atnaujinti.

8.1. Bendrieji reikalavimai

Mažųjų generatorių elektrinių prijungimo prie Lietuvos elektros energetikos sistemos techniniai reikalavimai (toliau – Reikalavimai) parengtos remiantis galiojančiais teisės aktais.

Reikalavimuose nurodyti duomenys turi būti nustatyti pagal bandymo metodus ir turi atitikti reikalavimus, kurie yra pateikiami Lietuvos Respublikos [33, 38-44, 55-59] ir kituose atitinkamumuose standartuose.

Šių Reikalavimų tikslas yra užtikrinti, kad prie elektros tinklo naujai prijungiamos mažųjų generatorių elektrinės, tame tarpe atsinaujinančius ir atliekinius energijos šaltinius naudojančios šiluminės elektrinės, dujų turbininės, kogeneravimo, mažosios hidroelektrinės, fotoelektinės, energijos kaupikliai ir kuro baterijos, turėtų tokias konstrukcijas, valdomumo ir veikos dinamines savybes, kurios atitiktų Lietuvos standartų bei statybos normų reikalavimus ir leistų mažųjų generatorių elektrines prijungti prie Lietuvos elektros sistemos perdavimo ar skirstomųjų tinklų, o mažųjų generatorių elektrinių gaminama elektros energija atitiktų galiojančių elektros kokybės *standartų* [33, 38] reikalavimus.

Šie Reikalavimai taikomi mažųjų generatorių elektrinėms, kurios yra jungiamos prie Lietuvos elektros sistemos perdavimo tinklo tiesiogiai arba per 35–10 kV skirstomųjų tinklų linijas.

Šie Reikalavimai privalomi visoms mažųjų generatorių elektrinėms, neatsižvelgiant į elektrinių nuosavybės teises. Tačiau mažųjų generatorių elektrinėms, kurios į prijungimo prie sistemos tinklų tašką pateikia mažesnę kaip 1,0 MW galią, operatoriaus ir elektrinės savininko susitarimu prijungimo reikalavimai gali būti supaprastinami. Mažesni nei 7 MW galios mažieji generuojantys šaltiniai gali būti jungiami tik prie skirstomųjų tinklų.

Jei vėliau duotajame prijungimo taške bus prijungta daugiau mažųjų generatorių elektrinių ir skaičiuojant bendrą prijungtų mažųjų generatorių elektrinių galią, suminė galia viršytų 1 MW galią, pagal daromą poveikį sistemai pastatymo reikalavimai gali būti peržiūrėti ir supaprastinti. Veikiančių mažųjų generatorių elektrinių konstrukcijos ar parametrų pakeitimai laikomi naujos mažųjų generatorių elektrinės prijungimu ir jai prijungti reikia susitarimą su operatoriumi atnaujinti.

8.2. Mažųjų generatorių elektrinių atestavimo dokumentas (sertifikatas)

Prie elektros tinklo jungiama mažųjų generatorių elektrinė arba jos pagrindiniai įrenginiai turi būti išbandyti atitinkamais bandymais ir turi turėti Europos Sąjungoje galiojantį atestavimo dokumentą (sertifikatą). Perdavimo ar skirstomojo tinklo operatorius gali bet kuriuo laiku pareikalauti tokios atitikties techninių dokumentų. Techninės priežiūros ir darbo įvykių žurnalas bei kiti eksploatacijos dokumentai taip turi būti pildomi.

Mažųjų generatorių elektrinės statytojas prie paraiškos išduoti projektavimo sąlygas mažųjų generatorių elektrinei statyti ir ją prie elektros tinklo prijungti, turi pateikti šiuos duomenis:

- duomenis apie paraiškos pateikėją;
- prašomos įrengti elektrinės statybvietės arba pastato dalies planą;
- nurodyti pageidaujama prijungimo tašką, jo įtampą;
- bendruosius ir vardinius duomenis apie norimą įrengti elektrinę.
- paraiškos pateikimo data ir parašas.

Perdavimo ar skirstomojo tinklo operatorius, norėdamas patikrinti, ar prijungimo taške galima prijungti norimą mažosios elektrinės galią, turi atlikti tinklo pralaidumo skaičiavimus ir patikrinti elektrinės prijungimo projekto skaičiavimus. Be projekto perdavimo ar skirstomojo tinklo operatoriumi reikia pateikti norimo statyti elektrinės tipo bandymo duomenis:

- vardinius mažųjų generatorių elektrinę ar jos pagrindinius įrenginius bandžiusios organizacijos duomenis;
- aktyviosios galios generavimo bandymų duomenis;
- reaktyviosios galios generavimo ir vartojimo bandymų duomenis;
- mažųjų generatorių elektrinės įprastinės veikos sukeliama įtampos mirgėjimo koeficiento, esant skirtingoms generuojamoms galioms ir skirtingiems elektros tinklo varžos faziniams kampams, bandymo duomenis;
- mažųjų generatorių elektrinės įjungimų, esant skirtingiems elektros tinklo varžos faziniams kampams ir skirtingoms generuojamoms galioms, sukeliama įtampos mirgėjimo koeficiento ir įtampos pokyčio bandymų duomenis;
- mažųjų generatorių elektrinės įrenginių sukeliama harmoninių srovių bandymų duomenis, tai ypač aktualu, jei mažųjų generatorių elektrinė turi įvairios paskirties elektroninių galios keitiklių, harmonines sroves, mažesnes kaip vardinės srovės 0,1%, galima praleisti;
- elektros tinklus eksploatuojančiai įmonei mažųjų generatorių elektrinę eksploatuojančio personalo sąrašus, nurodant jų teises ir elektros saugos grupes.

Jei pateikiant duomenis būtų įvairių nuokrypių, arba neatliktų bandymų, arba dingusių rezultatų, tai turi būti nurodyta. Suinteresuotoms šalims susitarus, prapuolę bandymų rezultatai gali būti kompensuoti padidintu priėmimo į eksploataciją bandymų kiekiu ir charakteringų režimų tyrimais.

Visi vėlesni atestavimo dokumento (sertifikato) keitimai (ir mažųjų generatorių elektrinės rekonstravimai) turi būti su perdavimo ar skirstomojo tinklo operatoriumi suderinti ir iš anksto patvirtinti.

8.3. Mažųjų generatorių elektrinių aktyviosios galios valdymo reikalavimai

Kiekviena mažųjų generatorių elektrinė pagal savo technines galimybes turi atitikti Lietuvos elektros energetikos sistemos automatinio generavimo valdymo nuostatų reikalavimus [31].

Kiekvienos elektrinės galia turi būti valdoma atskirai ir jos generuojamą galią turi būti galima keisti. Didžiausias galios keitimo (didinimo ar mažinimo) greitis per 1 sekundę turi siekti 5%–10% vardinės galios. Išimtį sudaro fotoelektrinės atskiros sekcijos, kai keičiamas įjungtų segmentų skaičius. Atsinaujinančiųjų energijos šaltinių elektrinės įprastai dirba ties galimybių riba, todėl jų galią, esant staigiam valdymo poreikiui, galima tik mažinti. Dujų turbininės elektrinės pritaikytos staigiam paleidimui ir galios didinimui, todėl jų galios kitimas gali būti staigus ir greitas. Visai galios didinimui nepritaikytos kuro baterijos, nes jų reakcija skaičiuojama minutėmis, todėl šis reikalavimas joms netaikomas.

Generuojamoji mažųjų generatorių elektrinės galia, nustatyta kaip 60 sekundžių (1 minutės) trukmės intervalo vidutinė vertė P_{60} , bet kuri akimirksnį neturi viršyti generavimo didžiausios galios, išreiškiančios veikos galimybių techninę ribą.

Turi būti numatyta galimybė kiekvienos galingsesnės kaip 1 MW galios mažųjų generatorių elektrinės generuojamą galią ir galios kitimo greitį bet kada keisti iš operatoriaus dispečerinio valdymo punkto. Galią valdyti ar ne sprendžia tinklų operatorius. Ribines elektros sistemos režimo valdymo parametrų vertes, pasikeitus elektros sistemos rezervinių elektrinių galioms ir jų panaudojimo elektros rinkoje kainoms, perdavimo tinklo operatorius gali keisti.

Turi būti galima mažinti kiekvienos galingsesnės kaip 1 MW mažųjų generatorių elektrinės generuojamą galią, esant bet kuriai elektrinės generuojamai galiai nuo suderintos minimalios darbinės galios iki vardinės galios. Skirtumas tarp nurodytos galios ir išmatuotos vidutinės galios P_{60} prijungimo taške neturi nukrypti daugiau kaip per vardinės galios 5%.

Mažųjų generatorių elektrinės generavimo leistiną ribą turi nurodyti perdavimo tinklo operatorius, pasiūsdamas iš dispečerinio punkto generuojamos galios komandą, arba ji turi būti nustatyta pagal matavimus elektrinės prijungimo taške vietinio dažnio ir (arba) įtampos vertes.

Turi būti galima mažinti mažųjų generatorių elektrinės generavimą iš tinklo operatoriaus dispečerinio valdymo punkto. Tiek mažinant generavimą, tiek grįžtant į įprastinį galios generavimo lygį, turi būti galima iš tinklo operatoriaus dispečerinio punkto valdyti reguliavimo greitį ir jį pasirinkti nuo 10% vardinės galios per minutę iki 100% vardinės galios kitimo per minutę verčių.

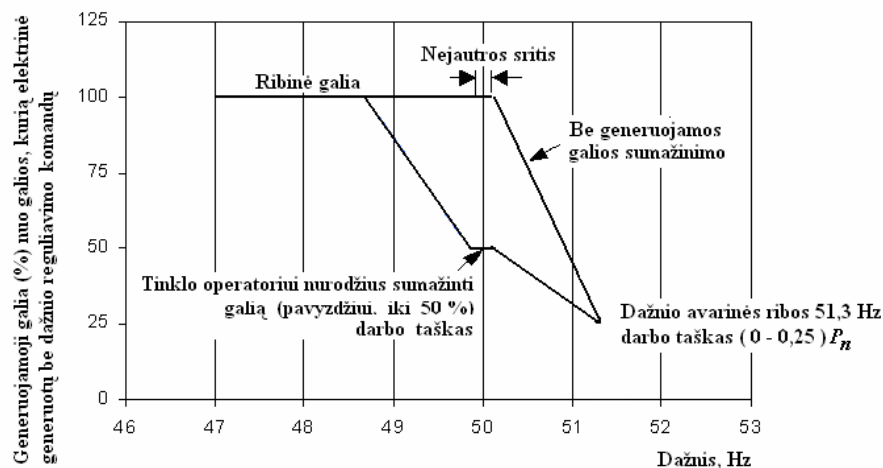
Jei mažųjų generatorių elektrinei perdavimo tinklo operatorius nurodė dalyvauti valdant sistemos dažnį, dažnio valdymo komandos tampa viršesnės už mažųjų generatorių elektrinės valdymo pagal nurodytą galią komandas.

Galios ir dažnio valdymas turi būti toks, kad valdomas galios sumažinimas ar didinimas, kartu kontroliuojant dažnį, mažųjų generatorių elektrinės valdikliui gavus atitinkamą komandą, būtų atliktas ne lėčiau kaip per 30 sekundžių.

Jei tinklo dažnis pasikeičia, mažųjų generatorių elektrinė turi būti reguliuojama taip, kaip pateikta 8.1 lentelėje ir 8.1 paveiksle.

8.1 lentelė. Generuojamojo dažnio valdymo vertės

	Nustatų sritis	Avarinė vertė
Nukrypusių nuo vardinio dažnių reguliavimo srities žemiausioji dažnio riba (f_{min})	50,00...47,00 Hz	48,7 Hz
Nukrypusių nuo vardinio dažnių reguliavimo srities aukščiausioji dažnio riba (f_{max})	50,00...53,00 Hz	51,3 Hz
Nukrypusių nuo vardinio dažnių neįtampumo srities aukštesnioji riba (f_{d+})	50,00...53,00 Hz	50,15 Hz
Generuojamos galios reguliavimo koeficientas dažnių $f_{min}...f_{d-}$ ir $f_{d+}...f_{max}$ srityje, žr. 8.1 paveikslą	aukštesniems dažniams: $(1 - \frac{f - f_{d+}}{f_{max} - f_{d+}}) \cdot 100\%$ žemesniems dažniams: $(1 + \frac{f - f_{d-}}{f_{min} - f_{d-}}) \cdot 100\%$	
Reguliavimo greitis, apskaičiuotas nuo ribinės vertės iki visiško suregulavimo taško	10% vardinės galios per sekundę	



8.1 paveikslas. Dažnio valdymo reikalavimai

Nuo 47,0 Hz iki 53,0 Hz dažnių juostoje dažnio matavimo paklaida neturi viršyti ± 10 mHz. Šis reikalavimas turi būti vykdomas, net jei įtampos kreivė būtų iškreipta harmonikų. Fazės pokytis (iki 20°) šios charakteristikos neturi paveikti.

Mažųjų generatorių elektrinių galią būtina valdyti iš tinklo operatoriaus dispečerinio valdymo centro būtina dėl šių priežasčių:

- jei prijungimo tinkle atsijungtų viena iš energiją priimančių linijų, tai saugant kitas linijas nuo perkrovos, didžiausioji elektrinės leistinoji generavimo riba (MW) turi būti mažinama. Pakanka mažinti lėtai, pagal laiko konstantą;

- įvykus tinkle pažaidai arba jai peraugus į gedimą, mažųjų generatorių elektrinių ir tinklo veikos pastovumui užtikrinti mažųjų generatorių elektrinių galia turi būti mažinama, apribojama ar net visai laikinai išjungiama. Galią mažinti reikia labai greitai;

- galios mažinimo signalą gali sukelti elektrinės prijungimo taške pasikeitęs dažnis ir (arba) Dėl kylančios įtampos turi būti numatytas.

Mažajam generatoriui tapus savistovaus mikrotinklą dalimi, elektrinės generatorių galios įvaldymą turi perimti mikrotinklo valdiklis dėl šių priežasčių:

- jei nedidelė tinklo dalis kartu su mažųjų generatorių elektrine dėl tinklo pažaidų atsijungia nuo likusios sistemos dalies, atsiskyrusioje dalyje pradeda keistis dažnis;

- jei dažnis didėja, generuojamoji galia turi būti mažinama;

- jei dažnis krenta, elektrinės galia turi būti didinama;

- dažniui pasiekus ribines vertes, mažųjų generatorių elektrinė dėl padidėjusio sūkių skaičiaus turi būti išjungta, atvirkščiai, jei dažnis per daug žemas, elektrinės generatoriams gresia nuostovumo praradimas ir įvairios pažaidos, todėl ji taip pat turi būti išjungta;

- jei dėl tinklo pažaidos mažųjų generatorių elektrinių mikrotinklo įtampa tampa per žema, įtampos griūčiai išvengti ir mažųjų generatorių mikrotinklo reaktyviosios galios balansui atkurti pirmiausia pradedamas staigus generuojamos aktyviosios galios mažinimas, įjungiant galios kompensavimo kondensatorius, keliamo įtampa, ir, jei to pakanka įtampai atkurti, pradedamas valdomas pagal įtampą generuojamos galios didinimas. Jei įtampa neatkuriama, mikrotinklas ir jo elektrinės išjungiamos.

8.4. Mažųjų generatorių elektrinių reaktyviosios galios valdymo reikalavimai

Mažųjų generatorių elektrinė (apimant ir aukštinantįjį transformatorių) reaktyviosios galios vidutinė vertė per 5 minutes turi būti reguliuojama $\text{tg}\varphi = \pm 0.2$ srities viduje.

Elektros operatoriui ir mažųjų generatorių elektrinės savininkui (atstovui) susitarus, reaktyviosios galios kompensavimo paslauga gali būti išplėsta ir turi atitikti prijungimo taško poreikius.

Mažųjų generatorių elektrinių mikrotinklo reaktyvioji galia gali būti reguliuojama centralizuotai vienoje ar keliose elektrinėse. Mažesnė kaip 25 kvar reaktyviosios galios reguliuoti nereikia.

Jei mažųjų generatorių elektrinė yra prijungta prie elektros tinklo kintamosios srovės kabeliais, tuose kabeliuose generuojama reaktyvioji galia pagal susitarimą su elektros tinklo operatoriumi turi būti įtraukta į elektrinės reaktyviosios galios balansą.

8.5. Mažųjų generatorių elektrinių generuojamos įtampos kokybės reikalavimai

Prijungtos prie bendro naudojimo elektros tinklo, iš kurio perka elektrą kiti elektros vartotojai, mažųjų generatorių elektrinės turi tenkinti elektros kokybės reikalavimus, o elektros kokybės matavimo metodai ir prietaisai mažųjų generatorių elektrinėje turi atitikti [33] standarto reikalavimus.

Atsižvelgiant į bendro naudojimo elektros tinklo 0,4 kV ir 10 kV įtampos kokybės reikalavimus, mažųjų generatorių elektrinėms (matuojant prijungimo prie tinklo taškuose) keliami: pastovintosios būklės įtampos kitimą, staigiuosius įtampos pokyčius, įprastinės veikos sukeltą įtampos mirgėjimą, perjungimų sukeltą įtampos mirgėjimą ir harmonines įtampas bei srovės ribojantys reikalavimai.

Finansiniai kompensacijos už pateiktą nekokybišką elektrą ir dėl tos priežasties elektros vartotojų patirtos žalos atlyginimo klausimai šiuose Reikalavimuose nereglamentuojami.

8.5.1 Mažųjų generatorių elektrinių generuojamos įtampos kitimo reikalavimai

Planuojant prijungti elektrinę prie skirstomojo tinklo, reikia atlikti tinklo įtampos kitimo skaičiavimus. Kadangi pasikeičia tekančio elektros srauto kryptis, vietoje įprastinio įtampos kritimo dažnai susidaro įtampos prieaugis. Buvęs žeminantysis transformatorius tampa (jei to reikia, pakeičiamas) aukštinančiuoju. Transformatoriaus atšakos bei įtampos regulatoriaus nustatos turi būti naujai apskaičiuotos bei suderintos. Įprastinėmis veikos sąlygomis, neatsižvelgiant į įtampos pertrūkius, skirstomojo tinklo įtampos kitimas turi atitikti [33] standarto reikalavimus, tai yra turi būti toks, kad iš skirstomojo tinklo perkančių elektros energiją vartotojų įtampos, matuojant tiekiamosios įtampos 10 min. trukmės intervalų vidurkius, būtų lygios $U_N \pm 10\%$. Per savaitę matuotų 10 min. intervalų 95 % vidurkių atvejai šį reikalavimą turi atitikti.

Lietuvos elektros vartotojai turi senesnės gamybos, dar 220 V įtampai pritaikytų elektros prietaisų, todėl yra taikoma [59] standarto laikina (iki 2009 m. (Iki 2009 m. Lietuvoje +6%-10%).) nacionalinė nuokrypa, apribojanti vardinės 230 V įtampos kitimo diapazoną kiekvieno elektros vartotojo prijungimo taške nuo $U_N + 6\%$ iki $U_N - 10\%$.

Mažųjų generatorių elektrinių prijungimo prie bendro naudojimo skirstomojo elektros tinklo projektuose pakanka apskaičiuoti dviejų ribinių būklių – didžiausio generavimo bei mažiausios vietinių vartotojų apkrovos režimą ir mažiausio generavimo, pavyzdžiui, kai mažųjų generatorių elektrinė atjungta, bei didžiausios vartotojų apkrovos režimą ir rasti įtampos kitimo ribas mažųjų generatorių elektrinių prijungimo taške. Prijungimo taško įtampos kitimas neturi viršyti skirstomojo tinklo operatoriaus nurodytų ribų.

8.5.2 Mažųjų generatorių elektrinių generuojamos įtampos staigiųjų pokyčių reikalavimai

Staigusis įtampos pokytis yra apibrėžiamas kaip pavienis staigus įtampos kitimas. Mažųjų generatorių elektrinė yra prijungimo taško įtampos staigiųjų pokyčių priežastimi ir turi atitikti jų dydį (d) ribojančius standarto [56] reikalavimus (8.2 lentelė).

8.2 lentelė. Staigiųjų įtampos pokyčių ir mirgėjimo leistinosios ribos

Įtampos pokyčių ir mirgėjimo dažnis r (kartai per val.)	Leistinasis įtampos pokytis ir mirgėjimas $\frac{\Delta U_{din}}{U_n}, \%$	
	35 kV ir žemesnė įtampa	110 kV ir aukštesnė įtampa
$r \leq 1$	4	3
$1 < r \leq 10$	3	2,5
$10 < r \leq 100$	2	1,5
$100 < r \leq 1000$	1,25	1

Mažųjų generatorių elektrinės generatoriaus įjungimo ar išjungimo sukiamas įtampos pokytis mažųjų generatorių elektrinės atitikties sertifikate apibrėžiamas $k_u(\psi_K)$ koeficientu. Šis koeficientas nustatomas per mažųjų generatorių elektrinės tipo bandymus ir tikrinamas matavimais elektrinei veikiant. Staigiojo įtampos pokyčio (d) ir įtampos pokyčio koeficiento santykis yra:

$$d(\%) = k_u(\psi_K) \cdot \frac{S_N}{S_K} 100, \quad (8.1)$$

čia: ψ_K – trumpojo jungimo grandinės fazinis kampas prijungimo taške;
 S_n – mažųjų generatorių elektrinės vardinė pilnutinė galia;
 S_K – trumpojo jungimo galia prijungimo taške.

Mažųjų generatorių elektrinės prijungimo taške staigusis įtampos pokytis apskaičiuotas (8.1) formule turi būti mažesnis už 8.2 lentelėje pateiktas ribines vertes.

8.6. Mažųjų generatorių elektrinių metrologiniai reikalavimai

Prijungimo taške reikia įrengti elektros energijos kiekių ir kokybės matavimo prietaisus. Jų įrengimas turi atitikti [48, 52] taisyklių ir Lietuvoje galiojančių metrologijos standartų reikalavimus.

Mažųjų generatorių elektrinės arba mažųjų generatorių elektrinių parko prijungimo taške turi būti matuojami mažiausiai šie dydžiai:

- tinklo įtampa;
- mažųjų generatorių elektrinės (elektrinių parko) srovė;
- mažųjų generatorių elektrinės gaminama aktyvioji galia;
- mažųjų generatorių elektrinės vartojama reaktyvioji galia;
- mažųjų generatorių elektrinės gaminama reaktyvioji galia;
- mažųjų generatorių elektrinės perduodama į tinklą aktyvioji energija;
- mažųjų generatorių elektrinės perkama iš tinklo aktyvioji energija;
- mažųjų generatorių elektrinės perduodamoji į tinklą reaktyvioji energija;
- mažųjų generatorių elektrinės perkamoji iš tinklo reaktyvioji energija.

Jeigu pardavimo ir gamybos galios sutampa, pakanka vieno apskaitos komplekto.

Prijungimo taško, prie kurio prijungtos elektrinės galia mažesnė kaip 1,0 MW, matavimo prietaisų tikslumo reikalavimai pateikti 8.3, o jei galia didesnė – 8.4 lentelėse.

8.3 lentelė. Iki 1,0 MW galios mažųjų generatorių elektrinės prijungimo taško matavimo prietaisams keliami metrologiniai reikalavimai

Matuojamosios įtampos vardinės vertės, kV	Elektros skaitiklių tikslumo klasės		Srovės matavimo transformatorių tikslumo klasės	Įtampos matavimo transformatorių tikslumo klasės
	Aktyviosios energijos skaitiklis	Reaktyviosios energijos skaitiklis		
10–35	1,0	2,0	0,5S	0,5
≥ 110	0,5	1,0	0,2S	0,2

8.4 lentelė. Virš 1,0 MW galios mažųjų generatorių elektrinių prijungimo taško matavimo prietaisams keliami metrologiniai reikalavimai

Matuojamosios įtampos vardinės vertės, kV	Elektros skaitiklių tikslumo klasės		Srovės matavimo transformatorių tikslumo klasės	Įtampos matavimo transformatorių tikslumo klasės
	Aktyviosios energijos skaitiklis	Reaktyviosios energijos skaitiklis		
10–35	0,5	1,0	0,2S	0,2
≥ 110	0,5	1,0	0,2S	0,2

8.7. Mažųjų generatorių elektrinių informaciniai reikalavimai

Elektros energijos skaitiklių rodmenys turi būti perduoti taikant automatizuotos elektros energijos apskaitos sistemoje galiojančią tvarką, o nuotolinio matavimo duomenys: įtampos, srovės, aktyviosios ir reaktyviosios galios, perduodami nuolat, ir netiesinių iškreipčių bei mirgėjimo matuoklių signalai, perduodami epizodiškai, turi atitikti nuotolinių matavimų sistemoje galiojančią tvarką. Reikia numatyti galimybę kiekvieno matavimo rodmenis filtruoti.

Perdavimo tvarką ir duomenų svarbumo požymius užduoda tinklo operatorius. Rekomenduojama įprastinę informaciją pateikti pagal išorinę užklausą, o avarines reikšmes – pagal vietinio elektrinės valdiklio skaičiavimus iš karto.

Duomenys, kurie turi būti perduodami iš mažųjų generatorių elektrinių prijungimo taško į operatoriaus dispečerinio valdymo punktą, pateikti 8.5 lentelėje, o iš kiekvienos mažųjų generatorių elektrinės į operatoriaus dispečerinio valdymo punktą viena kryptimi ir atgal, pateikti 8.6 lentelėje.

8.5 lentelė. Duomenys, kurie turi būti perduodami iš prijungimo taško į operatoriaus dispečerinio valdymo punktą

Duomenys	Kiekis ir tipas
Komercinės apskaitos didelio tikslumo duomenys	
Per prijungimo tašką į tinklą parduodama aktyvioji energija, kWh	matuojamoji vertė
Per prijungimo tašką iš tinklo vartojama aktyvioji energija, kWh	matuojamoji vertė
Per prijungimo tašką į tinklą pateikiama reaktyvioji energija, kvarh	matuojamoji vertė
Per prijungimo tašką iš tinklo vartojama reaktyvioji energija, kvarh	matuojamoji vertė
Per prijungimo tašką į tinklą parduodama aktyvioji galia, kW	matuojamoji vertė
Per prijungimo tašką iš tinklo vartojama aktyvioji galia, kW	matuojamoji vertė
Per prijungimo tašką į tinklą pateikiama reaktyvioji galia, kvar	matuojamoji vertė
Per prijungimo tašką iš tinklo vartojama reaktyvioji galia, kvar	matuojamoji vertė
Prijungimo taško įtampa, kV	matuojamoji vertė
Per prijungimo tašką tekanti srovė, A	matuojamoji vertė
Netiesinių iškreipčių koeficientas prijungimo taške, % (epizodiškai)	matuojamoji vertė
Įtampos mirgėjimo aštrumo rodiklis (epizodiškai)	matuojamoji vertė

8.6 lentelė. Duomenys, kurie turi būti perduodami tarp mažųjų generatorių elektrinės ir tinklo operatoriaus dispečerinio valdymo punkto į abi puses

Duomenys	Kiekis ir tipas
Didžiausia galimos generuoti galios riba, iki (nuo)	4 būklių indikacija
Generuojamoji arba vartojamoji aktyvioji galia, \pm kW	2 matuojamosios vertės
Reguliavimo greitis, kW/min	nustato vertė
Dažnio valdymas, leidžiamas (neleidžiamas)	4 būklių indikacija
Reguliavimo srities viršutinė ir apatinė dažnio ribos, Hz	2 nustato vertės
Nukrypusių nuo vardinio dažnių neįtvarumo sritis, Hz	2 nustato vertės
Reaktyviosios galios valdymas, leidžiamas (neleidžiamas)	4 būklių indikacija
Vartojamoji arba generuojamoji reaktyvioji galia, \pm kvar	2 matuojamosios vertės
Mažųjų generatorių elektrinės įjungimas (išjungimas)	4 būklių indikacija
Mažųjų generatorių elektrinė įjungta (išjungta)	būklė
Išjungta dėl per didelio mažųjų generatorių greičio	būklė
Išjungta perdavimo ar skirstomojo tinklo operatoriaus	būklė
Neveikia dėl pažaidos (apžiūros ir tvarkymo darbų)	būklė
Žemosios pusės įtampa, V	matuojamoji vertė
Mažųjų generatorių elektrinės atpažinimo numeris (Valstybinio sertifikato registracijos numeris)	18 skaitmenų žodis

Duomenų perdavimo sistemos ir jų pateikimui taikomi protokolai turi atitikti galiojančius standartus [57, 58] ir perdavimo bei skirstomajame tinkle taikomus susitarimus.

Mažųjų generatorių elektrinė turi siųsti jos būklę rodantį signalą ir jos pasikeitimo laiko žymę. Kartu su perdavimo tinklo operatoriaus siunčiamais signalais ir vietiniais matavimais (akimirksnio įtampa, dažnis ir mažųjų generatorių greitis) šis signalas turi būti mažųjų generatorių elektrinės valdymo dalis. Signalas ir jo pateikimo tvarka yra derinami su kiekvienos elektrinės savininku atskirai.

Projektuojant mažųjų generatorių elektrinių darbą mikrotinklo sąlygomis, turi būti numatyti mažųjų generatorių elektrinių informacinių sistemų tarpusavio sujungimui reikalingi įrenginiai, jų pastatymo vieta ir aptarnavimo sąlygos. Projektavimui reikalingus duomenis turi pateikti mikrotinklą eksploatuojančioji organizacija arba elektros tinklo operatorius.

8.8. Mažųjų generatorių elektrinių eksploatacijos pradžios bandymų reikalavimai

Perdavimo tinklo operatorius turi tikrinti ir saugoti dokumentus, patvirtinančius, kad mažųjų generatorių elektrinė atitinka technines prijungimo sąlygas, o mažųjų generatorių elektrinės yra atlaikiusios jos tipą atitinkančius tipo bei eksploatacijos pradžios bandymus. Tik bandymus atlaikiusios mažųjų generatorių elektrinės gali būti prijungiamos prie elektros sistemos tinklo bendram darbui. Šis reikalavimas netaikomi tik rezervinėms savarankiškai dirbančioms elektrinėms, kurios į elektros tinklą bendram darbui nebus jungiamos.

Patikrų ir bandymų tikslas – patikrinti perdavimo ar skirstomajam tinklui svarbias mažųjų generatorių elektrinės savybes. Elektrinės patikros bandymus atlieka elektrinės savininkas savo lėšomis ir bandymų protokolus pateikia elektros tinklo operatoriumi.

Mažųjų generatorių elektrinės bandomos patikrinti, ar:

- mažųjų generatorių generuojamoji galia atitinka vardinius duomenis;
- kompensuojama reaktyvioji galia;
- generatoriaus išvadų įtampos pokyčiai neviršija $\pm 5\%$ generatoriaus vardinės įtampos ribos.

Per bandymus turi būti ištirtos mažųjų generatorių elektrinės savybės ir atsakai į šiuos išorinius ir vidinius trikdžius:

- į išorinės elektros sistemos pažaidas ir ilgalaikius gedimus;
- vidinės mažųjų generatorių elektrinės pažaidas ir ilgalaikius gedimus;
- įprastinės veikos sąlygomis generuojamos galios valdymas
- įtampos kokybės parametrai;
- metrologinės savybės.

Patikros bandymus galima atlikti: tiesiogiai dirbtinai pažeidžiant elektros sistemos tinklą arba pagal abiejų šalių suderintus skaičiuojamuosius modelius.

Bandomoji mažųjų generatorių elektrinė turi būti atjungta nuo tinklo, o laikinieji tarpfaziniai viršįtampiai užrašomi per visą bandymų trukmę, pradedant įprastine veika prieš elektrinės atskyrimą ir baigiant pačios elektrinės galutiniu atsiskyrimu. Jei per tris nuosekliai atliekamus bandymus įtampos vertė nepadidėjo daugiau kaip 1,2 karto, laikoma, kad šis tipo bandymas išlaikytas.

Viršįtamčio ribojimo veiksmu, pavyzdžiui, gali būti kondensatorių išjungimas arba tam tikro reaktoriaus įjungimas. Jei viršįtampiai susidaro didesni, jie turi būti apriboti nuo 1,3 iki 1,2 pradinės įtampos vertės per 100 ms.

Įtampos kokybę nurodantys duomenys, nustatyti atliekant elektrinės tipo bandymus ir įrašyti į jos sertifikata, elektrinei veikiant turi būti tikrinami. Jei patikros rezultatai rodytų, kad elektros kokybės rodikliai viršija leistinąsias vertes, mažųjų generatorių elektrinės savininkas turi imtis priemonių, kad elektros kokybė atitiktų standartų [33, 38] reikalavimus.

Įtampos kokybės parametrų matavimo metodai, matavimo prietaisai ir jų paklaidos bei registravimo trukmės turi atitikti taisykles bei galiojančius Lietuvos metrologinius standartus [47-49].

8.9. Baigiamosios nuostatos

Mažųjų generatorių elektrinių savybės, kurios leido ją prijungti prie bendro naudojimo elektros tinklo, turi būti išsaugotos visą elektrinės eksploatavimo laiką, elektrinę tinkamai prižiūrint ir eksploatuojant.

Tikrinti, ar laikomasi šių Reikalavimų, pavedama Lietuvos elektros sistemos tinklo, prie kurio elektrinė prijungta, operatoriui, taip pat Valstybinei energetikos inspekcijai prie Ūkio ministerijos.

Mažųjų generatorių elektrinių dokumentų ir schemų pasirašytas kopijas elektrinės savininkas pateikia per tarpusavyje nustatytą terminą perdavimo ar skirstomojo tinklo operatoriui. Mažųjų generatorių elektrinės savininkui padarius šių dokumentų keitinius, jis privalo tinklo operatoriui pristatyti pasirašytas šių dokumentų kopijas, kuris jas saugo.

Nesusitarimus, kylančius tarp tinklų operatoriaus ir elektrinės savininko dėl keliamų reikalavimų techninio pagrįstumo, sprendžia Valstybinė energetikos inspekcija teisės aktų nustatyta tvarka.

8.10. Skyriaus išvados

8.1. Mažiesiems generuojantiems šaltiniams gali būti taikomi analogiški reikalavimai kaip ir vėjo elektrinėms, didžiosioms elektrinėms.

8.2. Dėl spartaus technologijų tobulėjimo reikalinga techninius reikalavimus periodiškai peržiūrėti ir atnaujinti.

IŠVADOS

1. Paskirstytojo energijos tiekimo plėtrą labiausiai ribojantis veiksnys yra brangios technologijos, tačiau stebimas ženklus vėjo ir saulės elementų jėginių, kuro elementų tobulėjimas ir santykinis šių technologijų kainų kritimas.
2. Pagrindiniai paskirstytojo energijos generavimo privalumai yra savalaikės investicijos, mažesnės energijos transportavimo sistemų vystymo investicijos, efektyvesnis energijos tiekimas, geresnė tiekiamos energijos kokybė, išaugęs energijos tiekimo patikimumas ir generavimo efektyvumas bei sumažėjusi tarša.
3. Pagrindiniai paskirstytojo energijos generavimo trūkumai yra palyginti didelės kapitalinės investicijos, smulkių elektrinių generavimo efektyvumas mažesnis už stambių kogeneracinių elektrinių, kuro kaina nedideliems vartotojams yra didesnė už kuro kainą stambioms elektrinėms, elektros energijos tiekimo į bendrą sistemą problemos, dideli galios rezervavimo mokesčiai ir energetikos sistemos darbo režimų ir parametrų išlaikymo problemos.
4. Nustatyta, kad paskirstytojo generavimo šaltinių, ypač vėjo elektrinių, galiai pasiekus 15 % elektros sistemos galios sistemos stabilumas gali būti pažeistas ir su pertrūkiais dirbančių šaltinių galiai pasiekus 15-20 % visos sistemos apkrovos, elektros tinklo stabilumas jau atsiduria pavojuje.
5. Europos Sąjungos įstatymai palieka daug erdves atskiroms šalims numatyti konkrečias priemones, savo nuožiūra formuoti ir įgyvendinti paskirstytosios gamybos skatinimo, patekimo į rinką, prisijungimo prie elektros tinklų ir kitais svarbiais klausimais politiką.
6. Lietuvos energetikos ūkį reguliuojančiuose įstatymuose ir poįstatyminiuose aktuose nėra nuostatų, remiančių paskirstytosios gamybos plėtrą ir skatinančių smulkių elektros gamintojų atsiradimą, o remiamos tik atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios elektrinės.
7. Ekonomiškai efektyviam paskirstytosios gamybos galimybių panaudojimui reikia liberalizuoti mažmeninę rinką, t.y. elektros vartotojams suteikti teisę patiems gaminti elektrą arba ją pirkti iš tiekėjų ir dalyvauti didmeninėje elektros rinkoje.
8. Pastaruoju metu pastebima tendencija keisti elektros supirkimo iš atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių elektrinių nustatytomis kainomis rėmimo būdą ir taikyti labiau rinkai pritaikytus mechanizmus, pavyzdžiui, nustatant fiksuotą priemoką prie rinkos kainos.
9. Paskirstytosios energijos gamybos šaltinių ekonominiai rodikliai galėtų būti pagerinti, jei jie teiktų papildomas elektros tiekimo paslaugas ir dalyvautų balansavimo rinkoje, tačiau Lietuvoje papildomų paslaugų rinka yra palyginti siaura.
10. Paskirstytojo generavimo plėtrą Lietuvoje iki 2010 metų stabdo didelė pigios elektros generavimo koncentracija ir prisijungimo prie tinklų techniniai ir ekonominiai ribojimai. Techninės prisijungimo sąlygos yra palyginti griežtos ir norintys patekti į rinką turi skirti dideles investicijas.
11. Paskirstytojo generavimo šaltiniai didina skirstomųjų tinklų operatorių kapitalinės investicijos ir eksploatacinės išlaidos, nes reikia didinti tinklų pralaidumą, juos atnaujinti, bus reikalinga nauja ir sudėtingesnė įranga matavimams, valdymui telekomunikacijoms ir priežiūrai.
12. Priklausomai nuo paskirstytosios energijos šaltinių galios ir prijungimo vietos (žemesnės įtampos tinkle) gali sumažėti investicijos tinklų plėtrai ir jų atnaujinimui arba jas galima atidėti vėlesniam laikui, o elektros technologinės sąnaudos skirstomuosiuose tinkluose gali tiek sumažėti, tiek padidėti.
13. Įvertinant tai, kad skirstomųjų tinklų operatorių veikla yra reguliuojama, reikia numatyti tam tikrą ekonominio reguliavimo mechanizmą, kuris leistų kompensuoti jų nuostolius, atsirandančius dėl paskirstytosios elektros gamybos plėtros.
14. Siekiant užtikrinti energetikos sistemos valdymo galimybes ir nepabloginti EES veikimo patikimumo, būtina, kad visi, net ir mažiausi generuojantys šaliniai, teiktų informaciją apie elektros energijos gamybą, suvartojimą realiaame laike tinklų operatoriams režimų valdymui. Tai ypač svarbu didėjant mažųjų generuojančių šaltinių daliai bendroje elektros energijos gamybos dalyje.

15. Mažuosius generuojančius šaltinius būtina įtraukti į pirminį dažnio reguliavimą bei papildomų paslaugų teikimą, kai jie viršija kritinę dalį elektros energijos balanse. Jei mažiesiems generuojantiems šaltiniams nėra keliamas reikalavimas dalyvauti pirminiame dažnio valdyme ir papildomų paslaugų teikime, tuomet būtina riboti mažųjų generuojančių šaltinių bendrą instaliuotos galios dydį.
16. Savarankiškai dirbančios Baltijos šalių elektros energetikos sistemos vėjo elektrinių galiai viršijus 8,6 % dažnio reguliavime dalyvaujančių generatorių įrengtosios galios, pirminio dažnio reguliavimo sistema bus nepajėgi išlaikyti sistemos dažnį nustatytose ribose.
17. Nedalyvaujant mažiesiems generatoriams pirminiame dažnio reguliavime, energetikos sistemos galių balanso valdyme, bendra instaliuota mažųjų generatorių galia turėtų būti ribojama ir turi neviršyti 10-20 % elektros galių balanse. Tikslėniam ribos nustatymui reikalingi detalesni tyrimai.
18. Paskirstytojo generavimo šaltiniai turi tenkinti sistemos ir vartotojų reaktyviosios energijos paklausą, užtikrinti reikiamą įtampos lygį sistemos mazguose, užtikrinti reaktyviosios galios rezervą ir sumažinti sistemos technologines sąnaudas.
19. Didelis finansiškai remiamų paskirstytosios generacijos šaltinių kiekis gali išstumti stambiausias elektrines, todėl, mažėjant dirbančių didelių generuojančių šaltinių kiekiui, mažės reaktyviosios galios ir įtampos reguliavimo galimybės aukščiausios įtampos tinkluose. Dėl to, perdavimo sistemos operatoriui gali reikėti papildomai investuoti į reaktyviosios galios kompensavimo priemonių įdiegimą perdavimo tinkluose.
20. Pateikta paskirstytojo generavimo mažų galių generatorių prijungimo prie elektros tinklo galimų vietų kriterijų, įvertinant sistemos darbo patikimumą ir įtaką darbo režimams, nustatymo metodologija
21. Nustatyta, kad sistemos patikimumas labiausiai pagerėtų Vilniaus, Panevėžio, Alytaus, Klaipėdos ir Šiaulių mazguose prijungiant mažosios galios generatorius.
22. Mažosios galios generatorių prijungimas Kauno, Jurbarko, Jonavos ir Utenos mazguose dėl išvystyto 330 kV tinklo sistemos patikimumą įtakotų labai neženkliai.
23. Atlikti tyrimai rodo, kad vėjo elektrinės su keitikliais žymiai mažiau įtakoja į trumpojo jungimo srovės perdavimo tinkle negu elektrinės su asinchroniniais ir tuo labiau su sinchroniniais generatoriais.
24. Rezultatų analizė rodo, kad vėjo elektrinių su keitikliais (Vėjas I TP) tolimojo trumpojo jungimo maksimali srovė gali keistis nuo 1,56 iki 1,15 vardinės srovės vertės ir tai patvirtina eksperimentiniai tyrimai (iki 1,9 karto darbo srovės) priklausomai nuo keitiklių įtampos.
25. Vėjo elektrinių su asinchroniniais generatoriais maksimalios t.j. srovės gali siekti 5-7 vardinės srovės dydžio ir eksperimentu užfiksuotas pokytis iki 5,0 karto darbo srovės.
26. Vėjo elektrinės su keitikliais yra linkusios pilnai nusikrauti ne tik artimų, bet ir stipriai sumažinti galią tolimų t.j. metu. Didėjant tokių elektrinių kiekiui ir galiai, elektros sistemoje gali kilti problemų, užtikrinant stabilų sistemos darbą ir reguliuojant dažnį.
27. Vėjo elektrinės su asinchroniniais generatoriais išlaiko savo generuojamą galią tolimų trumpųjų jungimų metu ir papildomų galios srautų persiskirstymo nesukelia.
28. Mažiesiems generuojantiems šaltiniams gali būti taikomi analogiški reikalavimai kaip ir vėjo elektrinėms, didžiosioms elektrinėms. Dėl spartaus technologijų tobulėjimo reikalinga techninius reikalavimus periodiškai peržiūrėti ir atnaujinti.
29. Mažųjų generatorių elektrinių statybai Lietuvoje galimybių yra pakankamai, tačiau trūksta paskirstytojo generavimo plėtros ir skverbties galimybių techninių ir finansinių studijų. Rekomenduojama plėsti vandens, vėjo, biokuro, kogeneravimo ir atliekinę šilumą naudojančių elektrinių statybas, o saulės, kuro elementų, energijos kaupiklių technologijų atvejais atlikti mokslinius tyrimo darbus.
30. Būtina tęsti mokslinius tyrimus dėl paskirstytojo generavimo ir mažųjų generatorių plėtros galimybių Lietuvos energetikos sistemoje, dėl jų panaudojimo dažnio ir galių balanso valdymui, įtampos ir reaktyviosios galios valdymo, darbo režimams valdyti ir pan., detaliau įvertinti planuojamus susijungimus su Vakarų Europos energetikos sistemomis (UCTE ir Nordel), planuojamą Baltijos energetikos sistemų sinchroninį darbą su UCTE.

LITERATŪRA

1. World Energy Council, WEC. 2003. www.worldenergy.org.
2. Štreimikienė D. Tvari energetikos plėtra. Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba, 2002. Nr.1(19).
3. Energijos vartojimo efektyvumas. www.ekostrategija.lt.
4. Vilemas J., Miškinis V., Galinis A. Energetikos plėtotės iki 2015m. strategija // Lietuvos mokslas. 2002. 41 knyga. P. 301-362.
5. Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo pasaulinės tendencijos. www.ekostrategija.lt.
6. Kogeneracija. www.energyaudit.lt.
7. Pramonės ir rinkos tendencijos. www.geopolitika.lt.
8. Energy Information Administration. <http://www.eia.doe.gov>.
9. Miškinis, V., Norvaiša, E. Paskirstytoji elektros energijos gamyba Europoje ir Lietuvoje. Energetika/ Lietuvos mokslų akademija. 2007, Nr. 4.
10. Tiekimo saugumas Lietuvos elektros energijos rinkoje. Monitoringo ataskaita. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija, 2007, Vilnius.
11. An engineering appraisal of the policy and innovation unit's energy review. Memorandum prepared by The Royal Academy of Engineering for Mr B. Wilson MP, Minister of State for Energy and Industry. www.nowap.co.uk.
12. Limits to renewables - how electricity grid issues may constrain the growth of distributed generation. Professor Michael Laughton, B.A.Sc., PhD, DSc(Eng.), FEng., CEng., FIEE, Paul Spare MSc, CEng, FInstE, MIMechE. www.countryguardian.net.
13. Connection of distributed generation – effect on the power system. Technical report. SINTEF energy research, Norway. January 2003.
14. Representation of ENERCON Wind Turbines for Steady State Short-Circuit Calculations. ENERCON, 2007.
15. EGIRDGnet. European network for the integration of renewables and distributed generation. 2004, <http://www.dgnet/org>.
16. Power balancing, Frequency control, R2311f. FP6 Project: SES6-CT-2003-503516.
17. Pasaulio energetikos tarybos (World Energy Council, WEC) 2003 m. Pareiškimas. www.worldenergy.org, 2003 m. vasario mėn.
18. Europos Sąjungos direktyva (2001/77/EC). Promotion of Electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market.
19. Working Group Renewables & Distributed Generation. A Quantitative Assessment of Direct Support Schemes for Renewables. 1st Editon. EURELECTRIC, 2004, Ref: 2003- 030-0741, <http://www.eurelectric.org>.
20. EUROPIAN COMMISION, Directorate-General for Research. Unit J-2 Energy production and Distribution Systems, New ERA for electricity in Europe. Distribution generation: key issues, challenges and proposed solitions. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003, 29 p.
21. EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Research. Sustainable Energy Systems. Non-Nuclear Energy Research in Europe – A comparative study. EUR 21614, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, Vol.1. 2005.
22. EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Research. Sustainable Energy Systems. Non-Nuclear Energy Research in Europe – A comparative study. Country Raports, Lithuania, Vol.3, 31-45 p.p.
23. Tiekimo saugumas Lietuvos elektros energijos rinkoje. Monitoringo ataskaita. Lietuvos Respublikos Ūkio ministerija. 2005, Vilnius.
24. Planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymas (Liet. žin., 2000, nr.39-1092).
25. Galinis A., Norvaiša E., Išorinių energijos gamybos kaštų įtakas Lietuvos energetikos sistemos funkcionavimui ir darniai plėtrai. // Energetika, 2004, Nr. 2, 1-8 p.p.

26. EGIRDGnet. European network for the integration of renewables and distributed generation. 2004, <http://www.dgnet/org>.
27. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Standard 1547: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power Systems, July 28, 2003. <http://www.nrel.gov/docs>.
28. Application Guide for Distributed Generation Interconnection: 2003 Update. The National Rural Electric Cooperative Association (NRECA) Guide to IEEE 1547. Resource Dynamics Corporation. 2003. <http://www.nreca.org/nreca/Policy/Regulatory>.
29. Distributed Generation in Oregon: Overview, Regulatory Barriers and Recommendations. Prepared by Lisa Schwartz, Public Utility Commission Staff February 2005.
30. http://www.puc.state.or.us/electnat/dg_report.pdf
31. Lietuvos elektros energetikos sistemos automatinio generavimo valdymo nuostatai, Valst. Žinios, Nr. 91-3919, 2002
32. Dugan R. C. , McDermott T. E. Opererating conflicts for distributed generation on distribution systems. // IEEE IAS Rural Electric Power Conf. 2001, Louisville, KY,.
33. LST EN 50160, 2001. Bendrųjų skirstomųjų elektros tinklų įtampos charakteristikos. Lietuvos standartas. 2001.
34. Connection of distributed generation – effect on the power system. Technical report. SINTEF energy research, Norway. January 2003.
35. Malimedai K., Sen p.K., Nelson J. P. Application of Out-of-Step Relaying for Small Generators in Distrubuted Generation. // IEEE Conf. Pap. No. 04 C1, 2004. C1-C12 p.p.
36. Chilvers, Jenkins N., Crossley P., Distance relaying of 11 kV circuits to increase the installed capacity of distributed generation. //IEE Proc. Generation, Transmissin and Distribution, Vol. 152, No.1, January, 2005, 40-46 p.p.
37. Power Sector Development in a Common Baltic Electricity Market. Eesti Energia, Latvenergo, Lietuvos energija, Elkraft System, COWI. Final Report 2005.
38. LST EN 61400-21 Vėjo elektrinės. 21 dalis. Į tinklą sujungtų vėjo elektrinių kokybės charakteristikų matavimas ir vertinimas (IEC 61400-21:2001), 2003.
39. LST EN 61850-3 Pastočių ryšių tinklai ir sistemos. 3 dalis. Bendrieji reikalavimai (IEC 61850-3:2002), 2003.
40. LST EN 61400-25-1 Vėjo elektrinės. 25-1 dalis. Vėjo elektrinių priežiūros ir valdymo ryšiai. Bendrųjų principų ir modelių aprašymas (IEC 61400-25-1:2005), 2005.
41. LST EN 61400-25-2 Vėjo elektrinės. 25-2 dalis. Vėjo elektrinių priežiūros ir valdymo ryšiai. Informacinis modelis (IEC 61400-25-2:2005), 2005.
42. LST EN 61400-25-3 Mažųjų generatorių elektrinės. 25-3 dalis. Mažųjų generatorių elektrinių priežiūros ir valdymo ryšiai. Informacijos mainų modelis (IEC 61400-25-3:2005), 2005.
43. LST EN 61400-25-4 Vėjo elektrinės. 25-4 dalis. Vėjo elektrinių priežiūros ir valdymo ryšiai. Praplečiamąja dokumentų aprašų kalba (XML) besiremiančio ryšio profilio atvaizdavimas (IEC 61400-25-4:2005), 2005.
44. LST EN 61400-25-5 Vėjo elektrinės. 25-5 dalis. Vėjo elektrinių priežiūros ir valdymo ryšiai. Atitikties tikrinimas (IEC 61400-25-5:2005), 2005.
45. Lietuvos Respublikos elektros energetikos įstatymu (Žin., 2000, Nr. 66-1984).
46. Elektros tinklų kodeksu, patvirtintu Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2001 m. gruodžio 29 d. įsakymu Nr. 398 (Žin., 2002, Nr. 3-88).
47. Prekybos elektros energija taisyklėmis, patvirtintomis Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2001 m. gruodžio 18 d. įsakymu Nr. 380 (Žin., 2001, Nr. 110-4010; 2002, Nr. 125-5686).
48. Elektros įrenginių įrengimo taisyklėmis, patvirtintomis Lietuvos Respublikos ūkio ministro ir Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2000 m. gruodžio 28 d. įsakymu Nr. 433/547 (Žin., 2001, Nr. 3-59).
49. Elektrinių ir elektros tinklų eksploatavimo taisyklėmis, patvirtintomis Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2001 m. gruodžio 21 d. įsakymu Nr. 389 (Žin., 2002, Nr. 6-252).
50. Dispečerinio valdymo nuostatais, patvirtintais Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2002 m. birželio 19 d. įsakymu Nr. 214 (Žin., 2002, Nr. 69-2840).

51. Prekybos elektros energija aukcione taisyklėmis, patvirtintomis Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2003 m. balandžio 18 d. įsakymu Nr. 4-154 (Žin., 2003, Nr. 40-1878).
52. Elektros energijos vartotojų, gamintojų energetikos objektų (tinklų, įrenginių, sistemų) prijungimo prie veikiančių energetikos įmonių objektų (tinklų, įrenginių, sistemų) tvarka ir sąlygomis, patvirtintomis Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2002 m. rugsėjo 17 d. įsakymu Nr. 326 (Žin., 2002, Nr. 94-4061).
53. Elektros energijos, kuriai gaminti naudojami atsinaujinantys ir atliekiniai energijos išteklių, gamybos ir pirkimo skatinimo tvarka, patvirtinta Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2001 m. gruodžio 5 d. nutarimu Nr. 1474 (Žin., 2001, Nr. 104-3713; 2004, Nr. 9-228).
54. Vėjo elektrinių prijungimo prie Lietuvos elektros energetikos sistemos techninės taisyklės., patvirtintos Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2004 m. balandžio 6 d. įsakymu Nr. 4-102 (Žin., 2004, Nr. 57-2007).
55. LST EN 61000-3-6 Elektromagnetinis suderinamumas (EMS). 3 dalis. Ribos. 6 skyrius. Įtampą iškreipiančių apkrovų spinduliavimo ribų įvertinimas vidutiniosios ir aukštosios įtampos elektros tinkluose (IEC 61000-3-6).
56. LST EN 61000-3-7 Elektromagnetinis suderinamumas (EMS). 3 dalis. Ribos. 7 skyrius. Svyruojančių apkrovų spinduliavimo ribų įvertinimas vidutiniosios ir aukštosios įtampos elektros tinkluose (IEC 6100-3-7).
57. LST EN 60870-5-101 Nuotolinio valdymo įrenginiai ir sistemos. 5 dalis. Perdavimo protokolai. 101 skyrius. Pagrindinių nuotolinio valdymo uždavinių standartas (IEC 60870-5-101:2003).
58. LST EN 60870-5-104 Nuotolinio valdymo įranga ir sistemos. 5–104 dalis. Perdavimo protokolai. Tinklo prieiga dėl IEC 60870-5-101, naudojant standartinius transportinius profilius (IEC 60870-5-104:2000).
59. LST 1567:1999 Bendrųjų žemosios įtampos elektros tiekimo tinklų vardinės įtampos (HD 472 S1).