



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Karolis Vilkas

**IŠMANIOJO SKIRSTOMOJO ELEKTROS TINKLO PATIKIMUMO
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**IŠMANIOJO SKIRSTOMOJO ELEKTROS TINKLO PATIKIMUMO
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Elektros energetikos sistemos (621H63005)

Vadovas

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

Recenzentas

Lekt. Vytautas Sučila

Projektą atliko

Karolis Vilkas

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Karolis Vilkas

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Išmaniojo skirstomojo elektros tinklo patikimumo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 23 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Karolio Vilko** baigiamasis projektas tema „Išmaniojo skirstomojo elektros tinklo patikimumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Vilkas, K. Išmaniojo skirstomojo elektros tinklo patikimumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Alfonsas Morkvėnas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2016. 64 psl.

SANTRAUKA

Elektros energetikos sistemų operatoriai pradeda atnaujinti savo tinklus naudodami išmaniojo tinklo technologijas. Išmanieji tinklai leidžia ekonomiškai ir efektyviai integruoti visus vartotojus, pasižymi aukšta paslaugų kokybe, tiekimo patikimumu. Patikimumas tai svarbiausias elektros tinklų kokybės rodiklis. Šiame darbe analizuojama galimybė sukurti bandomąjį išmanųjį skirstomąjį tinklą įvertinant patikimumą ir ekonominį efektyvumą.

Darbas susideda iš išmaniųjų tinklų privalumų ir trūkumų bei technologijų analizės dalies. Toliau seka patikimumo įvertinimo metodika ir tiriamoji dalis. Pasirinktam tinklui yra įvertinamas patikimumas, atliekama ekonominė patikimumo ir išlaidų – naudos analizė.

Gauti rezultatai rodo, kad išmaniojo tinklo eksploatacijai reikalingos išlaidos yra ženkliai mažesnės, tinklų operatoriui ir vartotojams pavyktų gauti ekonominės naudos iš išmaniojo tinklo.

Reikšminiai žodžiai: **išmanieji tinklai, patikimumas, skirstomasis tinklas, pastočių automatika, išmanieji skaitikliai, kaštų – naudos analizė, eksploatacinės išlaidos**

Vilkas, Karolis. Analysis of Reliability of Smart Grid. Final project of master's degree / supervisor prof. Alfonsas Morkvėnas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electrical Power Systems.

Kaunas, 2016. 64 pages.

SUMMARY

Power grids operators are beginning to install new type of grids, called smart grids. Smart grids efficiently and economically integrate all grid users, are known for high services quality and reliability. Reliability is the most important index of grids quality. In this thesis, You could find an estimated possibility of instalment of smart grids in distribution grid. Valuated sides are reliability and economic efficiency.

Thesis consist of analysis of smart grids benefits, its flaws, and new technologies, also ongoing researches. Later part is about reliability assessment and research part. A reliability assessment and costs – benefits analysis are carried out for selected distribution grid.

Results shows that maintenance cost of smart grid is much lower than old type grid, grid operator and consumers could benefit from instalment of smart grid.

Keywords: smart grid, reliability assessment, distribution, substation automation, smart meter infrastructure, cost – benefit analysis, maintenance

TURINYS

IVADAS.....	10
1. IŠMANUSIS TINKLAS.....	12
1.1. Išmanieji tinklai.....	12
1.2. Šiuo metu naudojama elektros energetikos sistema	14
1.3. Pagrindiniai veiksniai skatinantys išmaniojo tinklo plėtrą.....	15
1.4. Pagrindinės išmaniojo tinklo technologijos, metodikos, procesai	18
1.4.1. Išmaniosios matavimo sistemos	18
1.4.2. Namų tinklai	19
1.4.3. Paskirstytoji gamyba	19
1.4.4. Elektromobiliai ir hibridiniai automobiliai.....	19
1.4.5. Automatika ir valdikliai.....	20
1.4.6. Valdymo centras.....	22
1.4.7. Informacinis saugumas.....	22
1.4.8. Paklausos valdymo programos.....	22
1.4.9. Elementų sąveika	23
1.5. Investicijos į išmanųjį tinklą	25
Skyriaus santrumpa	26
2. TINKLŲ PATIKIMUMO CHARAKTERISTIKOS	28
2.1. Sutrikimai sistemoje	28
2.1.1. Įrangos gedimas	29
2.1.2. Oro sąlygos	31
2.2. Patikimumo rodikliai.....	32
2.2.1. Tinklo elementų patikimumo rodikliai	32
2.2.2. Elektros tinklų patikimumo rodikliai	34
2.3. Sistemų patikimumo vertinimas ir gedimų analizė	36
2.3.1. Gedimų medis ir analizė	36
2.3.2. Gedimo sąlygų analizė.....	37
2.4. Investicijos į patikimumą ir išmanųjį tinklą	38
Skyriaus santrumpa	42
3. TIRIAMOJI DALIS.....	43
3.1. Tiriamojo objekto aprašymas	43
3.2. Sisteminio energijos tiekimo patikimumo įvertinimas.....	45
3.3. Tiriamojo tinklo gedimų medis ir patikimumo skaičiavimai.....	46

3.4. Išmaniojo tinklo diegimas.....	52
3.5. Ekonominė tyrimo analizė.....	53
3.5.1. Kapitalinių investicijų poreikis.....	53
3.5.2. Finansavimo šaltiniai.....	55
3.5.3. Eksploatacinių išlaidų įvertinimas.....	56
3.5.4. Bendrieji kaštai ir alternatyvos.....	57
Tyrimo apibendrinimas.....	58
IŠVADOS.....	59
LITERATŪROS ŠALTINIAI.....	60
Priedas Nr. 1. Elementų patikimumo rodikliai.....	62
Priedas Nr. 2. Tiriamojo tinklo vienlinijinė schema.....	64

ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

1 pav. Išmaniojo tinklo schema	12
2 pav. Tankiojo tinklo topologija, dešinėje pilnai sujungtas, kairėje dalinai	13
3 pav. Tradicinis elektros energetikos sistemos tinklas	14
4 pav. Saulės energiją naudojantis jutiklis prijungtas prie transformatoriaus ir sekantis temperatūros duomenis.....	21
5 pav. Jutiklis naudojamas acetileno dujų koncentracijai transformatoriuje nustatyti.....	21
6 pav. Prie laidininko tvirtinamas temperatūros jutiklis duomenis perduodantis GPRS ryšiu	21
7 pav. Pagrindiniai apkrovos keitimo būdai	23
8 pav. Išmaniojo tinklo sąveikos	24
9 pav. Investicijos į išmaniojo tinklo technologijas	25
10 pav. Vykdomų išmaniojo tinklo projektų skaičius ES valstybėse.....	26
11 pav. Elektros energijos tiekimo nutraukimų skirstymas.....	28
12 pav. Išlaidų ir patikimumo ryšys	39
13 pav. Patikimumo didinimo sąnaudų – naudos analizės procedūra.....	40
14 pav. Optimalaus patikimumo ir išmaniojo tinklo ryšys	41
16 pav. Tiriamojo objekto transformatorinių pastočių lokalizacija.....	43
17 pav. Tiriamojo objekto 110kV pusės transformatorių vidutiniai metiniai apkrovų grafikai	43
18 pav. Tiriamojo tinklo blokinė schema.....	44
19 pav. Iškarpa iš Lietuvos aukštos įtampos tinklo schemos	45
20 pav. Tiriamo tinklo gedimų medis	47
21 pav. Kapitalinių išlaidų pasiskirstymas	55
22 pav. Tinklų eksploatacinių išlaidų palyginimas.....	56

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Tinklų palyginimas	15
2 lentelė. Pagrindiniai veiksniai skatinantys elektros tinklo keitimą.....	16
3 lentelė. Išmaniojo tinklo nauda	17
4 lentelė. Tiekimų nutraukimų laikas ir sistemos prieinamumas.....	29
5 lentelė. 110kV linijos.....	46
6 lentelė. Elementų patikimumo charakteristikos	47
7 lentelė. Atstojamųjų elementų tikimybės	49
8 lentelė. Tikimybių skaičiavimai	50
9 lentelė. Skirstomojo tinklo patikimumo rodikliai	51
10 lentelė. Kapitalinių investicijų poreikis	54
11 lentelė. Bendrosios išlaidos	57

ĮVADAS

Technologijų plėtra ir besikeičiantis požiūris į elektros energetiką tinklų sistemos operatoriams iškelia naujus iššūkius ir problemas kaip gamybos decentralizavimas, energetinis saugumas, optimalus tinklo panaudojimas, energijos taupymas, į atmosferą išmetamo anglies dvideginio paliekamas antspaudas ir kt. Šios problemos yra neišsprendžiamos su šiuo metu naudojamu elektros energetikos tinklu – dabartinis tinklas pasiekė savo panaudojimo ribas. Naujo tipo, modernūs tinklai, kurie dar žinomi kaip išmanieji ar sumanieji tinklai (*angl. smart grid*), gali padėti išspręsti ar sumažinti dabartinių tinklų problemas. Išmanusis tinklas turi suteikti sistemos operatoriams pilną tinklo matomumą ir kontrolę, pasiekiamus įdiegus skaitmenines technologijas ir automatikos prietaisus. Tokie tinklai pasižymi visų vartotojų keitimusi informacija, aukšta paslaugų kokybe ir saugumu, atsinaujinančių išteklių ir energijos kaupiklių integracija, energijos taupymo skatinimu, mažesne energijos kaina.

Patikimumas tai vienas svarbiausių elektros energetikos sistemos efektyvumo rodiklių. Elektros tinklų patikimumas labiausiai priklauso nuo tinklų schemos, priežiūros darbo kokybės, įrenginių tipo ir būklės. Tik esant aukštam patikimumo lygiui atsiranda galimybė diegti išmaniuosius tinklus, todėl visada reikalinga atlikti patikimumo analizę. Patikimumo analizė – viena iš sudėtinių techninės analizės dalių leidžianti kiekybiškai įvertinti elektros tinklo patikimumo parametrus ir numatyti galimų avarijų dažnį ir pasekmes. Išmaniųjų tinklų diegimas ir teikiami privalumai leistų tinklo operatoriui geriau optimizuoti tinklo patikimumą, užtikrinti netrūkstamą energijos tiekimą, sumažinti išlaidas, taip susidarytų galimybės sumažinti elektros energijos kainą.

Aktualumas: Modernizuojant skirstomuosius tinklus ekonominis efektyvumas labiausiai priklauso nuo sistemų patikimumo lygio. Aukšto patikimumo tinkluose galima būtų įdiegti bandomąjį išmanųjį tinklą. Toks tinklas sistemos operatoriui galėtų padėti išanalizuoti gaunamą naujo tipo tinklo teikiamą ekonominę naudą ir nuspręsti dėl tolimesnių tinklo modernizavimo modelių.

Darbo tikslas: Ištirti galimybę modernizuoti skirstomąjį elektros tinklą diegiant išmanaus tinklo elementus ir atlikti patikimumo bei ekonominio efektyvumo analizę.

Uždaviniai:

- Išnagrinėti išmanųjį elektros energetikos tinklą, jo technologijas, privalumus;
- Išnagrinėti elektros tinklo patikimumo įvertinimo metodus;

- Apskaičiuoti tiriamojo skirstomojo elektros tinklo patikimumo rodiklius.
- Palyginti tiriamojo elektros tinklo aprūpinimo elektros energija patikimumą ir pertrūkių trukmes su Lietuvos bendrais patikimumo rodikliais ir leistinosiomis vertėmis;
- Įvertinti optimalaus skirstomojo tinklo aprūpinimo elektros energija konfigūraciją;

Aprobacija: Šis darbas buvo pristatytas ir apsigintas pristatant projekto temą ir tiriamąjį projektą (studijų moduliai Tiriamasis projektas 1 ir Tiriamasis projektas 2) prieš universiteto sudarytą komisiją.

Darbo struktūra: Darbą sudaro 64 puslapiai, 22 paveikslai, 11 lentelių. Naudotos literatūros sąrašė yra 15 šaltinių.

1. IŠMANUSIS TINKLAS

1.1. Išmanieji tinklai

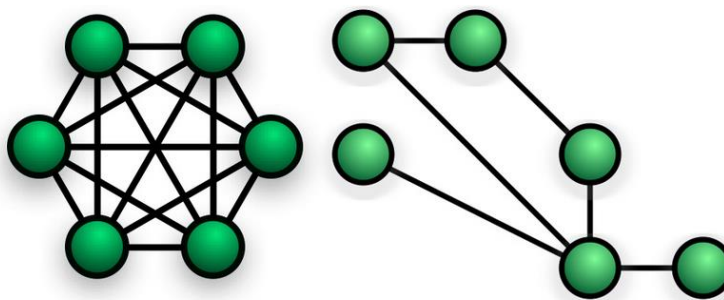
Šiuo metu net ir labiausiai išsivysčiusiose pasaulio valstybėse naudojamas elektros energetikos tinklas buvo sukurtas prieš daugiau nei 60 metų ir yra pasenęs. Sparti informacinių technologijų, įvairių valdiklių plėtra ir tobulėjimas leidžia modernizuoti elektros tinklus, geriau juos išnaudoti, padidinti jų efektyvumą, sumažinti išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, tinklą padaryti patikimesniu. Kuriamos ir tobulinamos naujos technologijos kurios galiausia leis sukurti vadinamą išmanųjį tinklą (*angl. smart grid*). Išmanusis tinklas neturi vieno tikslaus apibrėžimo, tačiau jį galima apibrėžti taip: tai elektros tinklas, kuris ekonomiškai ir efektyviai integruoja visus vartotojus, užtikrina ekonomiškai veiksmingą ir tvarią energetinę sistemą su mažais nuostoliais, aukšta paslaugų kokybe, tiekimo patikimumu ir saugumu. Tokio tinklo supaprastinta schema pateikta paveiksle.



1 pav. Išmaniojo tinklo schema

Moderniuose elektros tinkluose, palyginti su tradiciniais energijos gamybos atžvelgiu, dar naudojama paskirstytoji, ypač AEI gamyba, energijos kaupikliai. Tokie tinklai iš spindulinių dažnai pavirsta jungtiniais, tankiaisiais tinklais, su galimybe savaime keisti tinklo konfigūraciją ir savaime

„besigydyti“, t.y. sutrikus tiekimui ar įvykus masiniam gedimui dėl audros, tinklas pats lokalizuoja gedimo vietą ir užtikrina patikimą elektros tiekimą maksimaliam skaičiui vartotojų be jokio išorės įsikišimo ir be komunikacijų.



2 pav. Tankiojo tinklo topologija, dešinėje pilnai sujungtas, kairėje dalinai.

Toks tinklas, be esamo elektros energetikos tinklo, negalimas be lygiagrečiai veikiančio komunikacinio tinklo skirto informacijos mainams ir kontrolei tarp elementų. Išmanusis tinklas tai automatizuotas tinklas, akimirksniu suteikiantis tikslią informaciją ir panaikinantis rankinį sprendimų priėmimą. Vietoj to išmanusis tinklas automatizuoja sudėtingą tinklą prietaisų, kontroliuojančių elektros energetikos srautus greičiau, efektyviau ir su tokiu tikslumo lygiu, kuris nepasiekiamas naudojant rankiniu būda veikiančias sistemas.

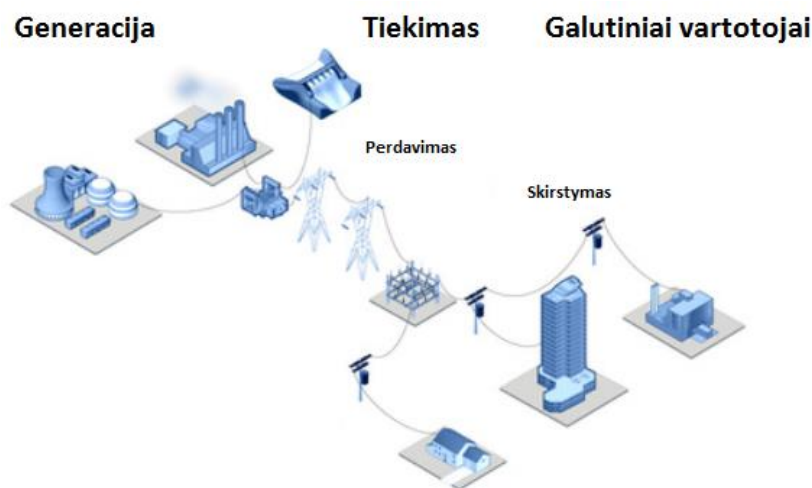
Apibendrinant, galima teigti, kad šios technologijos padaro tinklą išmanių:

- Naujo tipo tankieji elektros tinklai, valdomi įranga, palengvinančia sistemos balansavimą ir užtikrinančia tiekimo patikimumą ir saugumą.
- Apskaitos sistema, kurią sudaro naujo tipo skaitikliai, komunikacijos įranga, intelektualūs produktai, integruoti į skaitiklius ir suteikiantys galimybę gauti informaciją realiu laiku ir kt.
- Vartojimo reguliavimo įranga (valdikliai), kurie leidžia sumažinti ar padidinti elektros vartojimą, atsižvelgiant į balansavimo poreikius ir kainos pokyčius.

1.2. Šiuo metu naudojama elektros energetikos sistema

Dabartinė energetikos sistema buvo kuriama ir statoma kilus itin sparčiai urbanizacijos ir technologijų bangai po II pasaulinio karo, kai poreikiams patenkinti reikėjo greito infrastruktūros vystymosi. Viso pasaulio elektros energetikos sistemų operatoriai priėmė iš esmės vienodas technologijas. Tolimesnis šio sektoriaus augimas jau buvo labiau įtakotas ekonominės, politinės, geografinės padėties, būdingos atskiriems sistemų operatoriams.

Nepaisant šių skirtumų, sistemos tinklo topologija išliko nepakitusi. Nuo pat pradžios visa elektros energetikos sistema buvo aiškiai atskirta tarp generacijos, perdavimo ir skirstymo, tuo suformuodama atskiro tipo automatiką, apsaugas, transformatorius ir kt.



3 pav. Tradicinis elektros energetikos sistemos tinklas

Iš 3 pav. galima matyti, jog dabar naudojamas tinklas yra griežtai hierarchiška sistema, kai elektrinės yra grandinės viršuje ir užtikrina elektros tiekimą per perdavimo ir skirstomuosius tinklus apačioje esantiems vartotojams. Tokia sistema yra vienakryptė, gamintojas nemato realaus laiko duomenų iš galutinio taško apie suvartojamą energiją. Toks tinklas yra projektuotas pikinei apkrovai patenkinti, o kadangi maksimali apkrova pasiekama tik nedidelę dalį laiko, tokia sistema tampa neefektyvia. Be to, didesnis nei buvo numatytas energijos poreikis, kartu su nepakankamomis ar atsiliekančiomis investicijomis į elektros tinklus, sumažino bendrą sistemos stabilumą. Pasiekus tinklų ribas, bet koks nenumatytas apkrovos padidėjimas ar avarija gali sukelti visišką sistemos darbo nutrūkimą (blackout).

Norint suteikti sistemos operatoriams valdymo galimybes yra įdiegiamos *comand-and-control* funkcijos. Dažniausias tokios sistemos pavyzdys yra duomenų surinkimo bei technologinių objektų dispečerinio valdymo sistemos (SCADA). Tačiau net ir labiausiai išsivysčiusiose valstybėse skirstomieji elektros energetikos tinklai yra apie ketvirtadaliu padengti tokiomis informacijos ir valdymo sistemos. Lyginant tradicinį tinklą su išmaniuoju, galima sudaryti lentelę:

1 lentelė. Tinklų palyginimas

	Tradicinis tinklas	Išmanusis tinklas
Komunikacija	Vienpusė	Dvipusė, realaus laiko
Vartotojų dalyvavimas	Nedaug galimybių	Platus
Valdymas	Elektromechaninis	Skaitmeninis
Generacija	Centralizuota	Paskirstytoji
Tinklo medis(schema)	Hierarchinis	Jungtinis/tankusis
Atstatymas po avarijos	Rankinis	Savaime besigydantis
Patikimumas	Linkęs į tiekimo nutraukimus	Prisitaikantis, gali numatyti gedimus

1.3. Pagrindiniai veiksniai skatinantys išmaniojo tinklo plėtrą

Tarp pagrindinių veiksnių skatinančių išmaniųjų tinklų diegimą galima įvardinti tokių tinklų pajėgumą (pralaidumą), efektyvumą, patikimumą, tvarumą ir vartotojų tapimą rinkos dalyviais sistemoje.

Tinklų pajėgumas ypač svarbus besivystančioms valstybėms. Didesnis tinklo efektyvumas leidžia sutaupyti pinigines lėšas, didina pralaidumą. Didžioji dalis elektros energetikos sistemos avarijų įvyksta skirstomajame tinkle. Pasinaudojus išmaniojo tinklo valdikliais ir jutikliais galima greičiau reaguoti į iškilusias problemas ar užkirsti joms kelią. Išmanusis tinklas leidžia derinti elektros gamybą tarp tinklo elementų taip labiau išnaudodamas AEI potencialą energijos paklausai užtikrinti. Taip išmanieji tinklai prisideda prie tvarumo, ekologijos. Galiausia energijos vartotojų dalyvavimas turėtų prisidėti prie energijos paklausos valdymo, taip sumažinsiant reikalingą maksimalią apkrovą piko metu, energijos kainą, sukurti naujų verslo modelių, kaip virtualios elektrinės, greitos serviso paslaugos.

2 lentelė. Pagrindiniai veiksniai skatinantys elektros tinklo keitimą

Veiksny	Siekiamas tikslas	Dalyviai
Energetikos sistemos efektyvumas	Naujų gamybos pajėgumų poreikio sumažinimas	Reguliavimo institucijos, energetikos įmonės
	Tinklo apkrovos valdymo tobulinimas	
	Energijos vartojimo mažinimas	
	Tinklo nuostolių mažinimas	
Naujos technologijos (IT, PG, EK)	Paskirstytosios gamybos prijungimas prie tinklo	Reguliavimo institucijos, nauji rinkos dalyviai, komponentų tiekėjai
	Vietinės kilmės ir atsinaujinančių energijos šaltinių padidinimas	
	Modernus tinklo valdymas (2 krypčių, realiu laiku)	
	Energijos kokybės užtikrinimas	
	Modernių elektros energijos akumuliacijos priemonių pritaikymas	
	Decentralizuotas elektromobilių/hibridų krovimas	
Reikalingų pajamų užtikrinimas ir išlaikymas	Technologinių sąnaudų mažinimas	Reguliavimo institucijos, nauji rinkos dalyviai
	Potencialių pajamų apsauga (sukčiavimo prevencija)	
	Vartotojų išlaikymas (tinkamas informacijos apie vartotojų įpročius panaudojimas)	
	Papildomų pajamų surinkimas teikiant naujas paslaugas	
Nauda vartotojams	Sąnaudų mažėjimas dėl lanksčios tarifų sistemos	Reguliavimo institucijos, vartotojai
	Paslaugos kokybės didėjimas (greitesnė reakcija nutrūkus tiekimui)	
	Informacijos įvairiais pjūviais gavimas ir panaudojimas	

Išmaniojo tinklo teikiamą naudą galima išskirstyti į tokias kategorijas [1]:

- Ekonominės – geriau išnaudojamas turimas kapitalas, kuras, darbo jėga, sumažėjusios energijos kainos;
- Patikimumo – sumažinti eksploatacijos kaštai, mažiau sutrikimų, atidedamos kapitalinės investicijos;
- Aplinkosauginės – sumažintas į atmosferą išmetamas teršalų kiekis;
- Saugumo – sumažinta *blackout* galimybė, sumažinta priklausomybė nuo iškastinio kuro;

JAV nepriklausomos EPRI agentūros pateiktame raporte teigiama, kad bendru JAV mastu reikalingos 165 milijardų JAV dolerių investicijos į išmaniųjų tinklų technologijų vystymą ir diegimą, sukurtų naudos vertos nuo 638 iki 802 milijardų dolerių [2].

Išmaniojo tinklo naudą platesniu mastu, išskaidžius į kategorijas, galima surašyti į lentelę:

3 lentelė. Išmaniojo tinklo nauda

Ekonominė	Geresnis turto panaudojimas	Optimizuota energijos gamyba
		Atidėtos investicijos į naują generaciją
		Sumažinti eksploataciniai kaštai
	Tinklo operatorių sutaupymas	Atidėtos investicijos į naujus perdavimo tinklus
		Atidėtos investicijos į naujus skirstomuosius tinklus
		Sumažinta įrangos gedimo tikimybė
		Sumažinti eksploataciniai kaštai
		Sumažintos tinklo valdymui skirtos lėšos
		Sumažinta energija apskaitai vykdyti
	Efektyvumas	Sumažinti nuostoliai
Kaina	Sumažinta elektros energijos kaina	
Patikimumas	Tiekimo nutrūkimai	Sumažinta ilgalaikių nutrūkimų
		Sumažinta didelių avarijų tikimybė
		Sumažintas sistemos atstatymo laikas
	Kokybė	Sumažinta trumpalaikių nutrūkimų
		Mažesni svyravimai
Aplinkosauga	Emisijos	Sumažintos CO ₂ emisijos
		Sumažintos SO _x , NO _x emisijos
Saugumas	Energetinis saugumas	Sumažinta priklausomybė nuo iškastinio kuro
	Kibernetinis saugumas	Sumažinta blackout galimybė
		Sunkiau tokį tinklą „nulaužti“, perimti valdymą

Verta paminėti, kad elektros energetikos sistemoje pagrindiniai rodikliai yra efektyvumas ir patikimumas. Išmaniojo tinklo atveju, technologijos skirtos pagerinti vieną, dažniausia turi ryšį ir su kitu.

Išmanieji tinklai kritikuojami bei esama skeptiško galimų vartotojų požiūrio dėl išmaniųjų apskaitos sistemų. Paprastai įvardijama:

- Susirūpinimas dėl privačios informacijos panaudojimo;
- Susirūpinimas dėl galimybės bet kada atjungti energijos tiekimą nuotoliniu būdu;
- Suteikiamų galimybių neskaidriam energijos tiekimui;
- Pasikeitusi kainodara panaikina aiškumą ir įprastą atsiskaitomumą;
- Elektromagnetinės prigimties bangų spinduliavimas;
- Informacinis(kibernetinis) saugumas;

Kita įvardijama problema labiau susijusi su tinklo operatorių investicijomis. Tinklo eksploatavimo operatoriams sunku pateisinti kai kurias investicijas. Pavyzdžiui išmaniesiems skaitliukams ir tinklo būsenos perdavimo įrenginiams prie esančios elektros tinklo infrastruktūros

reikalingas ir informacinis tinklai. Miesto ar tankiau apgyvendintose vietovėse yra paprasta prisijungti prie visuotinio bevielio ar įprastų telekomunikacinių tinklų, tačiau rečiau apgyvendintose vietovėse reikalingi nauji sprendimai. Taip pat vien tik instaliuoti išmaniojo tinklo elementai neduoda apčiuopiamos naudos nei operatoriui nei vartotojui. Reikalingos naujos programos bei modeliai, tokie kaip paklausos valdymo programos, nuotolinis valdymas, duomenų analizė ir pan. Išmanusis tinklas neateina iš karto, investicijos pasiteisina tik ilgu laikotarpiu.

Verslo požiūriu, sistemos eksploatavimo operatoriai nenori dalintis pelningu verslu su galimai naujais verslo modeliais. SCADA sistemų kūrėjai kuria savo sistemas taip, kad jos neveiktų su kito gamintojo sistemomis, taip pririšdami vartotoją prie vienos įmonės. Interneto tiekėjai nenori dalintis savo tinklais, informacijos srautais su kitais tiekėjais.

1.4. Pagrindinės išmaniojo tinklo technologijos, metodikos, procesai

Išmanusis tinklas tai įvairių technologijų, metodikų ir procesų visuma, pasiekama integracija, sluoksniavimu ir kombinacijomis, norint pasiekti efektyvią, patikimą, saugią ir suprantamą paprastiems vartotojams sistemą. Išmaniojo tinklo technologijos gali būti suskirstytos į šias pagrindines sritis: išmaniosios matavimo sistemos, namų tinklai, paskirstytoji gamyba, energijos kaupikliai (elektromobiliai, hibridai), tinklo automatikos patobulinimai, paklausos valdymo programos, centrinis valdymo centras, informacinis (kibernetinis) saugumas. Toliau šios technologijos bus apžvelgiamos atskirai:

1.4.1. Išmaniosios matavimo sistemos

Pagrindinis naujo tipo matavimo sistemų tikslas yra suteikti pamatinę ryšių, komunikacijos platformą, kuri būtų patikima ir saugi. Tokia sistema toliau būtų galima naudoti dvipusiai komunikacijai tarp tiekėjo ir vartotojo įrenginių, apskaitos sistemos. Tokia sistema turėtų būti orientuota į duomenų rinkimą ir perdavimą iš kiekvieno prietaiso. Panaudojus tokias sistemas turėtų pasimatyti rezultatai ir įtaka vartotojų energijos naudojimui. Taip pat tokios sistemos įgalintų ar turėtų įtaką šioms galimybėms: kainodarai, patikimumui ir elektros kokybei, veiklos efektyvumui ir optimaliam turto

panaudojimui, informavimui apie sistemos sutrikimus, energijos vagystėms/nutekėjimui. Matavimo sistemų įrengimas yra pirmas žingsnis, reikalingas tolimesniam išmaniojo tinklo kūrimui.

1.4.2. Namų tinklai

Namų tinklai arba kitaip vadinamas daiktų internetas suteiktų vartotojams galimybes mažinti energijos sunaudojimą. Iki šių technologijų elektros energija yra sunaudojama ir tik vėliau vartotojas sumoka mėnesines sąskaitas. Priešlaikinis pranešimas kiek energijos bus suvartojama ir kiek tai kainuos leistų vartotojui priimti sprendimus ir veiksmus susijusius su jų energijos suvartojimu. Įvairios paklausos valdymo koncepcijos taip pat yra bandomos su namų išmaniuoju tinklu, siekiant kuo labiau išskaidyti apkrovą paros metu. Sujungus namų buitinius prietaisus su išmaniosiomis matavimo sistemomis būtų galima kontroliuoti prietaisus nuotoliniu būdu. Visa tai leistų vartotojui geriau kontroliuoti savo išlaidas.

1.4.3. Paskirstytoji gamyba

Pastaruoju metu paskirstytoji gamyba yra sparčiai plėtojama. Dalis šios gamybos yra izoliuota ar turi nedidelę galimybę dalyvauti tinklo veikloje. Su išmaniojo tinklo technologijomis, paskirstytoji gamyba gali pilnai dalyvauti tinklo veikloje, būti panaudojama tokio tinklo reguliavimui, stabilumui, kokybei užtikrinti, taip panaikinant investicijas į naujas didesnes, iškastinį kurą naudojančias elektrines. Paskirstytoji gamyba taip pat neatsiejama nuo atsinaujinančių energijos išteklių.

1.4.4. Elektromobiliai ir hibridiniai automobiliai

Šių mechanizmų platesnis panaudojimas leistų itin sumažinti išmetamų dujų emisijas ir oro kokybę. Skaičiuojama, kad priklausomai nuo vietovės automobiliai yra priežastis apie 50 – 90 proc. žmogaus sukeliama oro užterštumo gyvenamosiose vietovėse. Net ir naudojant iškastinį kurą, didžioji dalis elektrinių yra efektyvesnės nei vidaus degimo varikliai. Kiekvienas toks automobilis yra tuo pačiu ir energijos kaupiklis, kurį galima pakrauti namuose, taip prisidedant prie bendros išmaniojo tinklo

sistemos. Kai atsiras priimtinos greito įkrovimo technologijos, tokie automobiliai galėtų būti kraunami, kai tinkle yra energijos perteklius ar naktį, kai energija pigesnė.

1.4.5. Automatika ir valdikliai

Dabartiniai tinklai gali būti patobulinami iki išmaniųjų prie tinklo elementų pridėdant ar panaudojant tokius valdiklius, automatikos sistemas ar komunikacijos priemones:

- Įvairūs jutikliai, galintys aptikti sistemos būklę kai avariją įvyko arba įvyks artimiausioje ateityje (pvz. šilumai jautri įranga rodo išaugusius rodmenis);
- Į tinklo schemą pridėti automatiškai veikiantys jungikliai, kurie automatiškai izoliuotų tik gedimus ir būtų sujungti į bendrą sistemą;
- Išin greito veikimo mikroprocesoriai, kurie gali aptikti gedimus ir imtis veiksmų (kartu su kitais sistemos komponentais): rekonfigūruoti tinklo schemą (grandinę) ar atkurti energijos tiekimą kuo greičiau tiems vartotojams, kurie gali būti „maitinami“ iš alternatyvių linijų;
- Įtampos reguliatoriai ir reaktyviosios galios įrenginiai, kurie padėtų sumažinti linijos nuostolius, tuo pačiu padidinti ir efektyvumą;
- Stebėjimo įranga jungianti visus tinklo elementus su centriniu valdymu. Tai padėtų pagreitinti reakciją ir identifikuoti vietą įvykus avarijai jei tinklas neatsistato pats;
- Galios srautų matavimo prietaisai tiesiogiai tiekiantys duomenis analizei ir tinklo prognozavimo modeliui. Tai padėtų konfigūruoti tinklą taip, kad išvengtų perkrovų, taip pat optimizuoti įtampą;
- Dvipusės relinės apsaugos, dėl kintančios tinklo konfigūracijos bei energijos tekėjimo abejomis pusėmis;



4 pav. Saulės energiją naudojantis jutiklis prijungtas prie transformatoriaus ir sekantis temperatūros duomenis



5 pav. Jutiklis naudojamas acetileno dujų koncentracijai transformatoriuje nustatyti



6 pav. Prie laidininko tvirtinamas temperatūros jutiklis duomenis perduodantis GPRS ryšiu

1.4.6. Valdymo centras

Tinklo valdymas, stebėjimas ir analizė atliekami centralizuotai. Tokio centro paskirtis yra pasiekti maksimalią naudą iš tinklo siunčiamų duomenų. Valdymo centras turėtų padėti susidaryti vaizdą apie tinklo veiklą ir pagerinti tinklo veikimą, patikimumą, sutrumpinti reakcijos laiką. Visa tai pasiekama apdorojant ir analizuojant duomenis, gautus iš visų tinklo elementų. Labai svarbi užduotis tokiam centrui būtų ir sistemos modeliavimas, ypač paskirstytosios gamybos iš atsinaujinančių energijos išteklių.

1.4.7. Informacinis saugumas

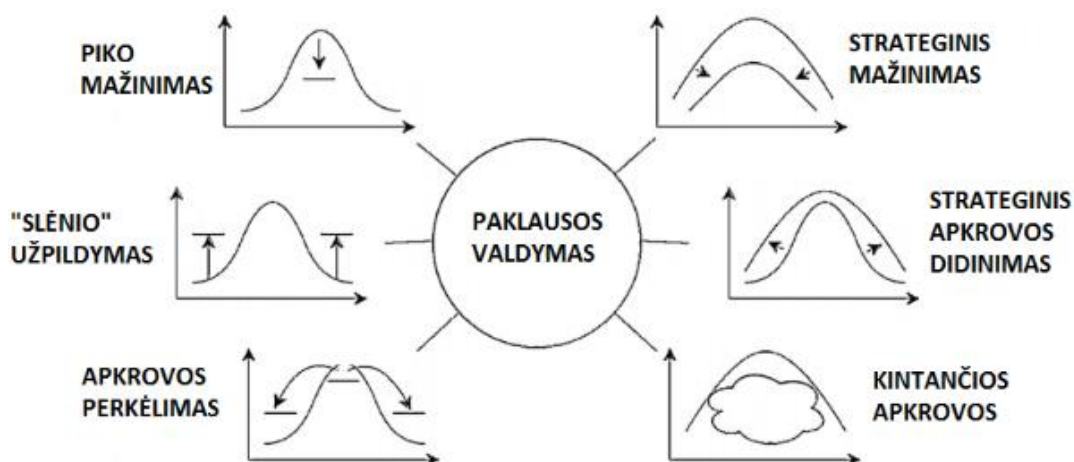
Informacinio saugumo užtikrinimas tai itin svarbus išmaniojo tinklo komponentas, nes elementai kurie iki šiol veikė izoliuoti, taps prijungti prie komunikacinių sistemų, tokių kaip belaidžiai ar telekomunikaciniai tinklai. Taip tinklas tampa pažeidžiamas kibernetinių išpuolių. Tai atskira plati tema.

1.4.8. Paklausos valdymo programos

Paklausos valdymas (*angl. demand-side management*) tai vartotojų elektros energijos paklausos mažinimas, dažniausia panaudojant finansinius ir edukacinius metodus, siekiant, kuo labiau suvienodinti energijos paklausą su pasiūla. Supaprastintai paklausos valdymą galima įvardinti kaip savanorišką energijos normavimą siekiant ilgalaikės ekonominės naudos.

Pagrindinis toks programų tikslas yra skatinti vartotojus mažiau vartoti energijos piko metu, o apkrovas perkelti į naktį ar savaitgalį. Paklausos valdymo tikslas nėra sumažinti energijos suvartojimą, o atidėti ar sumažinti reikalingas investicijas į elektros energijos gamybą ir tinklus. Paprasčiausias tokios programos pavyzdys galėtų būti naktinio elektros energijos tarifo naudojimas. Išmaniųjų skaitiklių, namų tinklų (daiktų interneto) sinergija liestų įgyvendinti elektros energijos kainos realiu laiku (rinkos) koncepciją. Tokiu atveju vartotojas galėtų suplanuoti ar leisti dirbtiniam intelektui automatiškai

optimaliai paskirstyti savo namų ūkio prietaisų, tokių kaip oro kondicionierius ar skalbimo mašina, veikimą, o generuojantys energiją tinklo elementai turėtų galimybę tiksliau prognozuoti energijos poreikį.

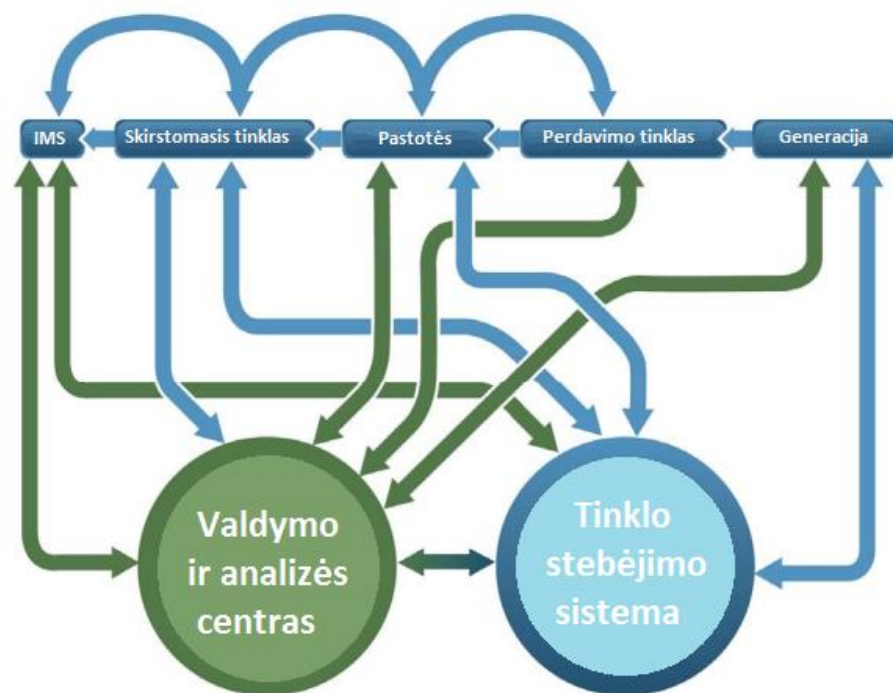


7 pav. Pagrindiniai apkrovos keitimo būdai

Vartotojui paklausos valdymas turėtų būti esminė programa skatinanti išmaniųjų tinklų diegimą, tačiau pasyviems vartotojams, neplanuojantiems keisti senų įpročių, tokios programos greičiausia tik padidintų energijos sąskaitas, todėl reikalingos edukacinės programos bei finansinis ar kitoks namų automatizavimo skatinimas. Paklausos valdymas tai savaime plati tema, verta atskiro darbo.

1.4.9. Elementų sąveika

Vienas didžiausių iššūkių elektros energetikos bendruomenei yra visų išvardintų technologijų integravimas į išmanųjį tinklą, kad patenkinti į išmaniuosius tinklus dedamas viltis. JAV IEEE asociacija yra iš viena labiausiai prisidėjusių prie išmaniojo tinklo sistemos kūrimo. Šios agentūros pasiūlyta sistema yra nusistovėjusi kaip viena iš pagrindinių išmaniojo tinklo elementų ir sistemų sąveikos normų [4]. Sekančiame paveiksle yra pateikiama supaprastinta jos versija.



8 pav. Išmaniojo tinklo sąveikos

Tokia pavaizduota sąveikia leidžia išmaniajam tinklui veikti taip, kad savaime besigydančio tinklo koncepcija, nuotolinis ar automatizuotas įrangos valdymas ir parametrų stebėjimas, apkrovos valdymas ir kiti būtų įgyvendinti.

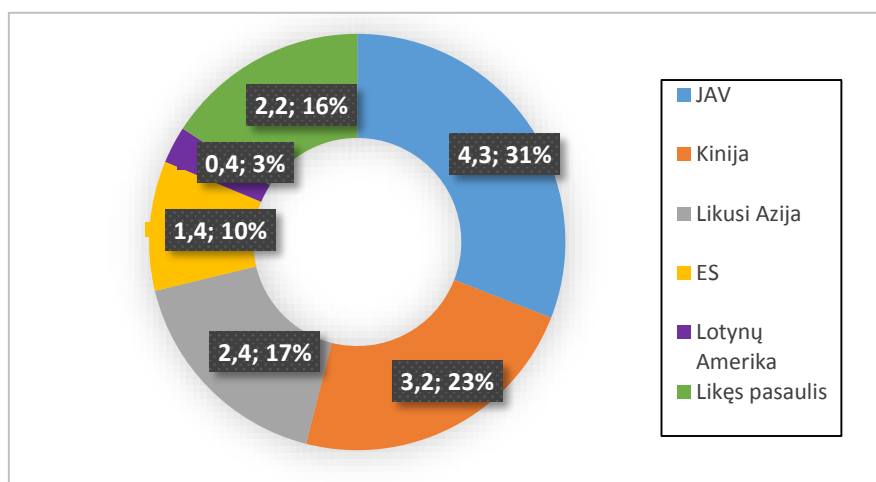
Išmaniojo tinklo nauda gali būti pasiekama jei tinklo technologijos sąveikauja tinkamai. Kaip pavyzdį galima pateikti išmaniųjų matavimo sistemų duomenų panaudojimą kasdienėse situacijose ar tokiuose scenarijuose:

- Kadangi įvairūs matavimo įrenginiai yra prijungti prie tinklo jie milisekundžių greičiu gali pranešti apie sutrikimus. Jei energijos tiekimas įvyko dėl avarijos išmanioji matavimo sistema(IMS) siunčia signalą į tinklo stebėjimo centrą. Čia yra analizuojama ir sprendžiama ar reikia siųsti skubią technikų komandą ir ar sutrikimai bus „pagydyti“ ar susitvarkys savaime. Tokiu atveju galutiniam vartotojui nereikia kreiptis į tinklų operatorių.
- Kitas atvejis, kai vartotojas kreipiasi į operatorių dėl nutrūkusio energijos tiekimo jo namuose. Tinklo operatorius per išmaniąsias matavimo sistemas automatiškai žino apie sutrikimo pobūdį ir praneša vartotojui apie pasirinktas priemones trikdžiams pašalinti. Tokia sistema leidžia vartotojui greitai gauti informaciją apie trikdžių pobūdį ir priemones jiems panaikinti.

- Ir atvirkščiai, jei priemonės energijos tiekimo trikdžiams pašalinti buvo sėkmingos, išmaniosios matavimo sistemos automatiškai tai patvirtina tinklo stebėjimo sistemoms.
- Vartotojų energijos sunaudojimo duomenys surinkti naudojant išmaniuosius matavimo įrenginius yra siunčiami į analizės centrą, kuriama iš dienos, mėnesio, metinių duomenų yra sudaromas vartotojų modelis, leidžiantis nustatyti galima apkrovas.

1.5. Investicijos į išmanųjį tinklą

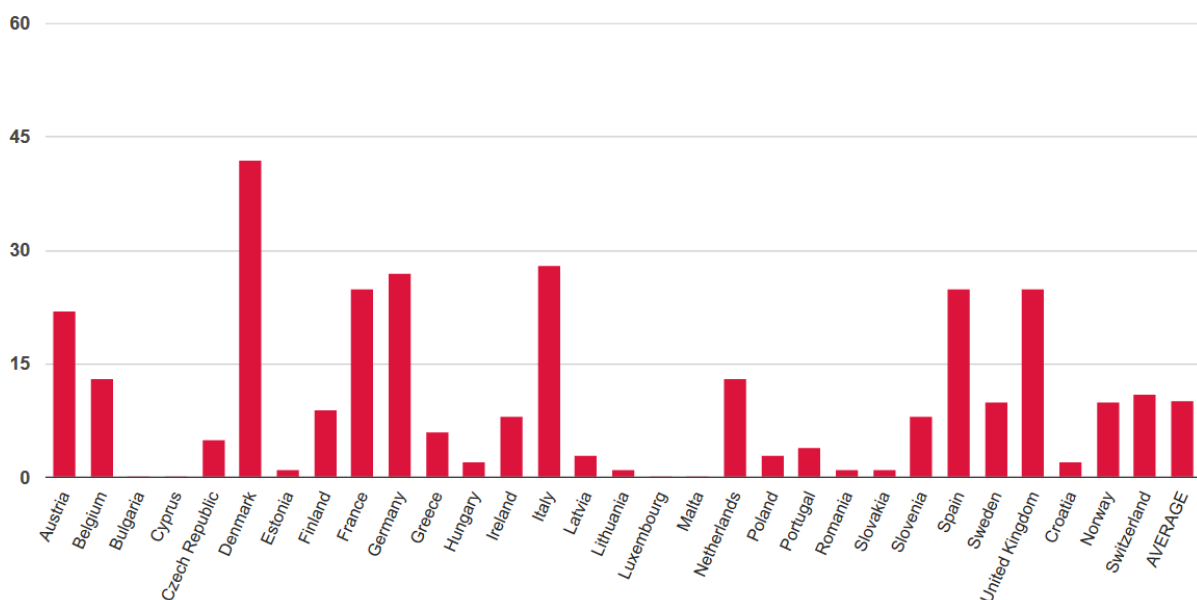
Pasauliniu mastu investicijos į išmaniojo tinklo elementus labiausiai pasireiškia per išmaniųjų skaitliukų diegimą, paklausos valdymo programas ir paskirstytąją gamybą. Pagal investicijas į naujų technologijų kūrimą pirmauja JAV ir Kinija, daugiausia veikiančių eksperimentinių modelių yra vakarų Europos valstybėse, tačiau rytų Europos valstybės atsilieka (žiūrėti 10 pav.). Pirmaujanti valstybė ES yra Danija, kuriai išmaniojo tinklo vystymas yra prioritetas dėl plataus masto atsinaujinančių išteklių panaudojimo.



9 pav. Investicijos į išmaniojo tinklo technologijas mlrd. JAV dolerių (2012 m. duomenys) [5]

Lietuvoje transformatorinėse pastotėse ir skirstyklose yra sumontuota distancinio valdymo automatika ir elementų ir tinklo būsenos parametrų stebėjimo sistemos, 2017m. turėtų būti pabaigtas vieningas dispečerinis centras ir skirstomojo tinklo valdymo sistema, kuri leis diegti tolimesnes išmaniojo tinklo technologijas. 2016 m. bendras Lietuvos, Latvijos ir Moldovos įmonių pasiūlymas laimėjo konkursą dėl 3 tūkst. išmaniųjų skaitliukų montavimo. Išmanieji skaitikliai bus atsitiktiniu būdu įrengti Vilniuje, Šiauliuose, Alytuje, Šilutės, Trakų, Varėnos ir Vilniaus rajonuose. Pastebėtina, kad šis

projektas yra vykdomas tik gavus įpareigojimą iš ES institucijų ir dėl tokių skaitliukų diegimo visiems vartotojams bus sprendžiama vėliau. Panašūs bandomieji projektai anksčiau buvo pradėti Latvijoje ir Lenkijoje, o Estijoje 630 tūkst. išmaniųjų skaitliukų įrengimo darbai turėtų būti pabaigti 2016 m. Visų šių technologijų diegimas yra žingsnis į priekį link visuotinio Lietuvos energetikos išmaniojo tinklo sukūrimo. Per 10 metų AB „ESO“ į išmaniojo tinklo projektus ketina investuoti 34 mln. eurų.



10 pav. Vykdomų išmaniojo tinklo projektų skaičius ES valstybėse (2012 m. duomenys) [6]

Skyriaus santrumpa

Dabartinė elektros energetikos infrastruktūra neatitinka šiuolaikinių realiųjų. Sparti technologijų plėtra leidžia atnaujinti esamas elektros tinklus sukuriant vadinamus išmaniuosius tinklus. Išmanieji tinklai ekonomiškai ir efektyviai integruoja visus vartotojus, užtikrina ekonomiškai veiksmingą ir tvarią energetinę sistemą su mažais nuostoliais, aukšta paslaugų kokybe, tiekimo patikimumu ir saugumu. Šie tinklai susideda iš išmaniųjų matavimo sistemų, namų tinklų, ryšių infrastruktūros, paskirstytosios gamybos, tinklo elementų automatikos modernizavimo, įvairių jutiklių, paklausos valdymo programų ir kt. Labai svarbi yra šių elementų sąveika. Išmanusis tinklas – tai automatizuotas tinklas. Tinklo operatoriui naujų technologijų diegimas leidžia padidinti tinklų patikimumą, sumažinti išlaidas eksploatacijai ir personalui, padidinti tiekiamos energijos kokybę. Vartotojui atsiranda galimybė geriau stebėti savo energijos sąnaudas ir dalyvauti programose kurios leistų jas sumažinti, gauti aukštesnės kokybės paslaugas, tokias kaip greitesnė reakcija į tinklo sutrikimus.

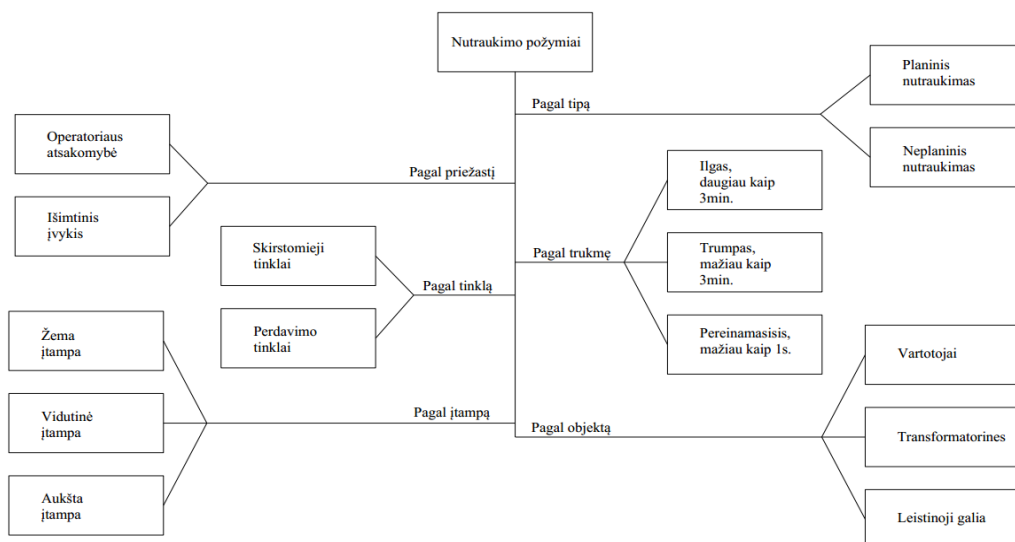
Pasauliniu mastu investicijų susilaukia naujų technologijų kūrimas ir vystymas bei bandomųjų modelių diegimas. Diegimu plačiu mastu stadija dar nepasiekta. Didžiausios investicijų dalys tenka išsivysčiusioms valstybėms ir Kinijai. Technologijų diegime didžiausių investicijų susilaukia išmaniųjų skaitliukų diegimas ir pastočių bei skirstyklų modernizavimas bei automatizavimas. Lietuvos mastu skirstomojo tinklo operatorius ruošiasi išmaniojo tinklo diegimui modernizuodamas bei automatizuodamas vidutinės įtampos tinklą ir kurdamas naują vieningą dispečerinį ir tinklo valdymo centrą.

2. TINKLŲ PATIKIMUMO CHARAKTERISTIKOS

Elektros energetikos tinklas susideda iš visų elektros energijos sistemos elementų. Skirstomojo tinklo patikimumas priklauso nuo tokių kintamųjų kaip tinklų pajėgumas, stochastinio pobūdžio atsinaujinančių išteklių, vartotojų elgesio, priežiūros lygio, amžiaus, įrangos tipo ir kt. Taip pat ir atsitiktinių oro sąlygų, kurios taip pat dažnai sukelia tinklo trikdžius. Įvykus avarijai yra nepriimtina, kad energetikos sistema sugriūtų. Išmanusis tinklas leidžia sukurti patikimumus, gedimams ir oro sąlygoms atsparesnius tinklus, kurie padėtų spręsti kylančias problemas. Išvystyta patikimumo skaičiavimo metodika leidžia analizuoti ir projektuoti bei palyginti elektros energetikos tinklus, jų elementus.

2.1. Sutrikimai sistemoje

Patikimumas skirstomajame tinkle yra susijęs su energijos netiekimu įrenginiams bei pertraukiamu tiekimu. Sistemai dirbant normaliomis sąlygomis visi tinklo vartotojai yra pilnai aprūpinami elektros energija, bei energija yra nepertraukiamai tiekama visiems prijungtiems vartotojams. Numatyti ir nenumatyti įvykiai sukuria trikdžius normalioms darbo sąlygomis, taip sukeldami nepageidaujamus tinklo režimus. Bendruoju atveju elektros energetikos sistema laikoma sugedusia, kai nemaitinamos kurios nors vartotojo pastotės šynos arba vartotojui patiekiamą energiją yra prastos kokybės. Elektros energijos tiekimo nutraukimai gali būti klasifikuojami taip [7]:



11 pav. Elektros energijos tiekimo nutraukimų skirstymas.

Lentelėje toliau pateikiama metinio elektros tiekimo nutraukimų laiko ir skirtingų lygių sistemos prieinamumas. Besivystančių valstybių elektros energijos tinklai veikia vieno „devyneto“ ribose, o aukščiausiose patikimumo ribose veikia internetinių duomenų serveriai.

4 lentelė. Tiekimų nutraukimų laikas ir sistemos prieinamumas

Sistemos prieinamumas, %	„Devynetai“	Metinis tiekimo nutraukimo laikas
90	1	36,5 d
99	2	3,7 d
99,9	3	8,8 h
99,99	4	52,6 min
99,999	5	5,3 min
99,9999	6	31,5 s
99,99999	7	3,2 s
99,999999	8	0,3 s

Taip pat yra skiriamos trys kategorijos pagal leistinąsias sutrikimų ribas. Elektros skirstomojo tinklo operatorius privalo užtikrinti reikiamą patikimumo lygį, priklausomai nuo vartotojų kategorijos, tranzitinių galių srautų perdavimo galimybę normaliaame ir poavariniuose režimuose.

- Trečiai (III) aprūpinimo elektra patikimumo kategorijai aprūpinimas elektra turi būti atkurtas per 24 valandas, paprastai vartotojai aprūpinami elektra iš vieno elektros šaltinio;
- Antrai (II) kategorijai – paprastai per 6 valandas, vartotojams turi būti įrengiamos elektros linijos iš dviejų elektros šaltinių;
- Pirmai (I) kategorijai – per 2,5 val., vartotojams įrengiamos elektros linijos iš dviejų arba daugiau nepriklausomų elektros šaltinių.

Bendriniu atveju dažniausia pasitaikantys sutrikimai elektros tinkle bus aprašomi toliau.

2.1.1. Įrangos gedimas

Perdavimo tinklai turi įvairios įrangos užtikrinančios pastovų ir saugų energijos tiekimą. Naujai sumontuota įranga turi padidintą gedimo laipsnį dėl defektų, neteisingos instaliacijos, žalos transportuojant ar netinkamai eksploatuojant. Įranga kuri jau yra kuris laikas naudojama gali sugesti dėl nuolatinių perkrovų, viršįtampių, oro sąlygų (pvz., žaibo smūgio). Bet kokia įranga gali sugesti ir dėl

amžiaus, mechaninio nusidėvėjimo, žmogiškojo faktoriaus, gyvūnijos ar pvz., pasikeitusios cheminės aplinkos.

Tinklo operatoriai nuolat modeliuoja galimus įrangos gedimus norint planuoti ir eksploatuoti sistemą siekiant pasiekti didžiausią patikimumą lygį su mažiausiais reikalingais piniginių išteklių. Eksploatatoriai nuolat stebi sistemos būseną, atlieka bandymus analizuoja ir daryti gali daryti išvadas iš gautų duomenų. Toliau bus apžvelgiami kai kurie sistemos elementai ir jų parametrai patikimumo atžvelgiu [8].

2.1.1.1. Transformatoriai

Transformatoriai tai vienas svarbiausių elektros tinklo elementų. Patikimumo atžvelgiu transformatorių trikdžiai gali atsirasti dėl perkrovų ar gedimų. Sutrikus transformatoriui be energijos tiekimo gali likti tūkstančiai vartotojų. Todėl dažnai galingesni transformatoriai jungiami grupėmis. Jei nėra galimybių prijungti kitą transformatorių ir leidžia aplinkybės galima esamą transformatorių perkrauti. Tokiu būdu patikimumo atžvelgiu gaunama trumpalaikė nauda, tačiau ilgalaikiu požiūriu dėl padidėjusios temperatūros apvijų izoliacijose transformatorius greičiau dėvėsi. Dažnai transformatoriaus numatomas darbo laikas skaičiuojamas pagal jo nusidėvėjimą, 50 proc. nusidėvėjęs transformatorius laikomas netinkamu darbui. Tarp kitų patikimumui svarbių parametru galima paminėti dydį, tipą (sausas, alyvinis), darbinę įtampą, amžių ir kt.

2.1.1.2. Kabelinės linijos

Kabelinės linijos yra labiau atsparios įvairioms ant žemės veikiančių prietaisų patikimumo problemoms. Tačiau tokios linijos taisymo laikas ir kaina yra didesnė. Pagrindinės problemos su kabeliais kyla iš elektrochemijos ir „medėjimo“. Medėjimas tai elektrinis fenomenas kai drėgmė persiskverbia į izoliaciją ir ją suardo suformuojant struktūrą panašią į medžio. Šis procesas turi koreliaciją su temperatūra – kuo didesnė temperatūra, tuo didesnis drėgmės skverbimasis. Medėjimas dažniausiai pasireiškia XLPE kabeliuose. Gamintojai norėdami apsaugoti kabeliuose naudoja specialias drėgmės nepraleidžiančias medžiagas arba yra naudojami medžiui atsparūs kabeliai TR-XLPE.

Medėjimas priskiriamas ir prie gamybos metu atsirandančių priemaišų ir defektų, todėl kokybės kontrolė gaminant bei bandant labai prisideda prie kabelinių patikimumo.

2.1.1.3. Oro linijos

Oro linijų patikimumo problemos labiausia susijusios su išoriniais faktoriais, tokiais kaip oro sąlygos, mechaninis poveikis, augmenijos poveikis, gyvūnija. Nors nuogi laidininkai turi geresnes galimybes atlaikyti didesnes aplinkos temperatūras ir viršsrovių, tačiau jei šie tęsiasi ilgai oro linijose gali įvykti gedimas. Oro linijos taip pat yra montuojamos ant medinių arba gelžbetoninių stulpų. Gelžbetoninių stulpų naudojimas padeda linijoms geriau atlaikyti įvairias ekstremalias orų situacijas, taip pat turi didesnį mechaninį atsparumą.

2.1.1.4. Jungiklių-skyriklių blokai ir automatika

Visi šie aparatai yra sudaryti iš daugybės detalių. Tokiu atveju gedimas gali įvykti dėl daugybės priežasčių. Šių elementų gedimas dažnai yra labiau susijęs su pačio elemento galimybe tęsti darbą ir nedaro didelės įtakos sistemos darbui. Priklausomai nuo veikiančios įtampos dydžio šie aparatai gali būti lengvai, greitai ir pigiai pakeičiami.

2.1.2. Oro sąlygos

Nors elektros energetikos tinklas turėtų būti atsparus gedimui, tačiau kartais energijos netiekimas yra neišvengiamas. Tokius neišvengiamus sutrikimus sukelia netinkamos oro sąlygos. Skirstomasis tinklas yra labai jautrus oro sąlygoms. Nors ekstremalūs orai nėra dažni, tačiau jų daroma žala sukelia daugiau avarinių situacijų, nėra lokali ir užtrunka ilgiau atstatyti sistemos normalų darbą. Yra manoma, kad priklausomai nuo vietovės oro sąlygos gali būti priežastimi 10 – 20 proc. visų tinklo gedimų. Ekstremalias oro sąlygas prognozuoti sunku, jų planavimas remiasi statistiniais modeliais.

Tarp galimų oro sąlygų mažinančių tinklo patikimumą galima įvardinti:

- Dideli vėjai yra didžiulė jėga, dažnai vartanti medžius kurie užvirsta ant elektros linijų. Tai dažniausiai Lietuvoje pasitaikanti tinklų gedimų priežastis dėl oro sąlygų. Pučiant dideliems vėjams taip pat gali įvykti dviejų oro linijų susijungimas, todėl oro linijos projektuojamos su elementais nuo to apsaugoti. Tai labai paprastas ir pigus būdas padidinantis tinklų patikimumą;
- Ledo audros, susidairančios kai lietu sekama minusinė temperatūra. Tokiu atveju ant laidininkų gali susidaryti ledo sluoksnis sukeliantis papildomą apkrovą linijai savo svoriu. Oro linijos turėtų būti projektuojamos atsižvelgiant į galimą ledo poveikį;
- Karščio bangos sukelia dvi problemas: pirma – įranga negali atiduoti daug šilumos į orą ir perkaista; antra – padidėja energijos paklausa oro vėsinimui, taip padidinti apkrovą tinklams;
- Žaibo smūgio sukeltos įtampos negali atlaikyti izoliacija, todėl itin svarbu, kad žaibo smūgis nepasiektų laidininko. Tai pasiekama virš linijos iškėlus kitą specialų laidininką, kuris sugeria žaibo smūgį ir nukreipia jį į žemę. Dar tinkluose yra montuojami specialūs viršįtampių ribotuvai siekiant apsaugoti kitus sistemos įrenginius, kadangi net ir sugėrus žaibo smūgį specialiu laidininku linijose vis tiek indukuojasi įtampa.

2.2. Patikimumo rodikliai

Patikimo rodikliai gali būti išskaidyti į atskirų elementų ir viso tinklo rodiklius. Atskiras tinklo elementas turi savo tik jam būdingus parametrus, kurie dar nuo savęs priklauso ir nuo gamintojo, bendros situacijos. Žvelgiant iš patikimumo pusės kiekvienas atskiras tinklo elementas yra svarbus bendrai sistemos patikimumo būsenai. Svarbiausi rodikliai skaičiavimams bus apžvelgiami toliau.

2.2.1. Tinklo elementų patikimumo rodikliai

Elektros tinklo elementai gali būti apibūdinami daugelio patikimumo parametru. Visi šie parametrai yra svarbūs, tačiau kai kurie iš jų nusistovėjo kaip turintys didžiausią įtaką:

Gedimų intensyvumas: Kiekvienas elementas ilgainiui tampa ne toks patikimas. Patikimumo kitimo procesas apibūdinamas gedimų intensyvumu $\lambda(t)$. Gedimų intensyvumas yra tikimybė, kad elementas sugedo per laikotarpį t iki $t+\Delta t$ su sąlyga, kad iki t laiko jis veikė.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{R(t)} ; \quad (2.2.1)$$

Čia: $R(t)$ – veikimo (negedimo) tikimybė

Statistiškai gedimų intensyvumas nustatomas kaip gedimų skaičiaus n_0 ir vidutinio veikiančių elementų skaičiaus n_v per laiką Δt santykis:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n_0}{n_v \cdot \Delta t} ; \quad (2.2.2)$$

Darbo po gedimo atkūrimo trukmė: Tai parametras rodantis kiek laiko užtruks sutaisyti sugedusį elementą (nuo gedimo pradžios). Kadangi tiksliai remonto laiką prognozuoti neįmanoma, tai vidutinis parametras.

$$T_{avid} = \int_0^{\infty} V(t) dt ; \quad (2.2.3)$$

Čia: $V(t)$ – atkūrimo tikimybė

Tinklo elementų gedimo tikimybė: šį parametą lengvai galima apskaičiuoti pagal elementų gedimo ir remonto vidutinius intensyvumus λ ir μ . Tada i -tojo elemento gedimo tikimybė q_i yra lygi:

$$q_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} ; \quad (2.2.4)$$

Čia:

$$\mu_i = \frac{8760}{T_{ai}} ; \quad (2.2.5)$$

Tokiu atveju formulė 2.2.5 gali būti perrašoma taip:

$$q_i = \frac{\lambda_i \cdot T_{ai}}{8760} ; \quad (2.2.6)$$

2.2.2. Elektros tinklų patikimumo rodikliai

Yra išskirti trys pagrindiniai elektros tinklų patikimumo rodikliai – nutraukimo dažnis (intensyvumas) f_{GS} , trukmė T_{asvid} ir gedimo tikimybė Q_S . Ekonominiams skaičiavimams dar svarbus ir skaičius vartotojų kuriuos paliečia energijos tiekimo nutraukimas [9].

Tinklų patikimumas papildomai gali būti apibūdinamas įvairiai. Vienas iš būdų yra skaičiuoti nepateiktos energijos kiekį (kWh) ΔW_S arba END (*angl. energy not delivered*) rodiklį.

$$END = \Delta W_S = \sum A_{ivid} \cdot f_i \cdot T_{ai} ; \quad (2.2.7)$$

Čia: A_{ivid} – i-tojo mazgo apkrova;

Nors šis matmuo įvertinimui atrodo labai patrauklus, tačiau jis reikalauja žinoti energijos paklausą. Tai rimta problema, nes energijos paklausa labai kinta priklausomai nuo paros ar metų laiko, oro sąlygų, vartotojo prigimties, todėl visi tokie skaičiavimai remiasi prielaidomis. Tai nesukelia didelių nepatogumų perdavimo tinklams, generacijai, tačiau skirstomojo tinklo atveju, kai apkrova skiriasi nuo paros laiko ir pan. reikalingi kiti rodikliai.

Papildomi rodikliai padeda nustatyti avarijos „dydį“. Šie papildomi rodikliai daugiau atspindi elektros tiekimo skirstomaisiais tinklais patikimumą. Rodikliai skaičiuojami tam tikram laikotarpiui, pvz., metams. Šie rodikliai šiuo metu yra plačiausiai naudojami, jais vertinamas tinklų patikimumas, jie skaičiuojami teikiamose patikimumo ataskaitose. Rodikliai yra [8, 9]:

SAIFI (*angl. system average interruption frequency index*) – sistemos vidutinis elektros tiekimo nutraukimo dažnio rodiklis (nutraukimų vienam vartotojui skaičius):

$$SAIFI = \frac{\text{visų elektros nutraukimų skaičius}}{\text{visų vartotojų skaičius}} = \frac{\sum f_i \cdot N_i}{\sum N_i} ; \quad (2.2.8)$$

Arba:

$$SAIFI = \sum \frac{N_{nv}}{N_v} ; \quad (2.2.9)$$

Čia: f_i – i-tojo mazgo maitinimo nutraukimo skaičius,

N_i – i-tojo mazgo vartotojų skaičius;

N_{nv} – nutrauktų vartotojų skaičius;

N_v – visų vartotojų skaičius.

SAIDI (*angl. system average interruption duration index*) – sistemos vidutinės nutraukimo trukmės rodiklis (nutraukimų vidutinė trukmė vienam vartotojui):

$$SAIDI = \frac{\text{visų vartotojų nutraukimų trukmių suma}}{\text{visų vartotojų skaičius}} = \frac{\sum T_{ai} \cdot N_i}{\sum N_i}; \quad (2.2.10)$$

T_{ai} – i-tojo mazgo vartotojų atjungimo trukmė.

CAIFI (*angl. customer average interruption frequency index*) – vartotojų vidutinis elektros tiekimo nutraukimo dažnio rodiklis (nutraukimų skaičius vienam maitinimo netekusiam vartotojui):

$$CAIFI = \frac{\text{elektros nutraukimų skaičius}}{\text{maitinimo netekusių vartotojų skaičius}} = \frac{\sum f_i \cdot N_i}{\sum N_{avi}}; \quad (2.2.11)$$

N_{avi} – i-tojo mazgo, atjungto avarijos metu, vartotojų skaičius.

CAIDI (*angl. customer average interruption duration index*) – vartotojų vidutinis nutraukimo trukmės rodiklis (nutraukimų vidutinė trukmė vienam atjungtam laikotarpiui, t. y. vienam nutraukimui):

$$\begin{aligned} CAIDI &= \frac{\text{elektros tiekimo nutraukimo visiems vartotojams trukmių suma}}{\text{visų elektros nutraukimų skaičius}} = \frac{SAIDI}{CAIFI} \\ &= \frac{\sum T_{ai} \cdot N_i}{\sum f_i \cdot N_i}; \end{aligned} \quad (2.2.12)$$

ASAI (*angl. average service availability (unavailability) index*) – vidutinis patikimumo (nepatikimumo) elektros tiekimo rodiklis (tikimybė):

$$ASAI = \frac{\text{vartotojų darbo be elektros nutraukimų trukmė}}{\text{vartotojų darbo visus metus trukmė}} = \frac{\sum N_i \cdot 8760 - \sum T_{ai} \cdot N_i}{\sum N_i \cdot 8760}; \quad (2.2.13)$$

$$ASUI = 1 - ASAI; \quad (2.2.14)$$

Skirstomųjų tinklų operatoriui minimalus elektros energijos persiuntimo patikimumo lygis nustatomas pagal vidutinius SAIDI ir SAIFI rodiklius.

2.3. Sistemų patikimumo vertinimas ir gedimų analizė

Sistemos patikimumas priklauso nuo jos elementų patikimumo ir nuo sistemos konfigūracijos. Patikimumo įvertinimo tikslas yra apskaičiuoti tam tikrų pasirinktų patikimumo kriterijų arba rodiklių vertes, panaudojant duomenis, apie elementų gedimus ir sistemos struktūrą. Yra keletas patikimumo kriterijų įverčių skaičiavimo metodų, panaudojant sistemos elementų patikimumo duomenis. Pasirenkant metodą, reikia įvertinti sistemos apimtį ir struktūrą, elementų tarpusavio priklausomybę, galimybę juos remontuoti tuoj pat įvykus gedimui, trukmės iki gedimo ir avarinio remonto skirstinius, elementų gedimų tipus, eksploatacijos sąlygas bei aplinkos įtaką.

2.3.1. Gedimų medis ir analizė

Gedimų medžiu vadinamas toks loginis medis, kurio lankai (arba briaunos) vaizduoja gedimų įvykius, o viršūnės – logines operacijas, surišančias gedimų priežasčių įvykius su pačiais gedimo įvykiais. Gedimų medis prasideda nuo galutinio įvykio, esančio medžio šaknyje. Kitas žemesnis įvykių lygmuo gali sukelti galutinį įvykį sutinkamai su loginėmis operacijomis IR, ARBA ir, retais atvejais, NE. Panašiai gedimų medis šakojasi toliau į žemesnius lygmenis. Gedimų medžio analizėje visada laikoma, kad galutinis įvykis yra nepageidaujamas gedimas, kuris apibrėžiamas iš anksto pagal sistemos patikimumo/nepatikimumo kriterijus. Žemesniuose lygiuose atitinkamai apibrėžiami posistemų ir elementų gedimai. Gedimų medis baigiasi, kai pasiekiamas elementų gedimo lygmuo [10].

Gedimų medžio analizė – tai sisteminė procedūra, kuri leidžia dokumentuoti priežasties–pasekmės ryšius tarp gedimų įvairiame tinklo ir jo atskirų dalių lygmenyje, nustatyti svarbiausius gedimus ir silpniausias elektros tinklo vietas. Ši procedūra padeda aptikti svarbias gedimų kombinacijas, kurias kitais būdais būtų sunku pastebėti ir įvertinti kaip gedimo priežastis. Be to, gedimų medžio analizė dažnai padeda geriau suprasti elektros tinklo darbą jo patikimumo prasme [10].

2.3.2. Gedimo sąlygų analizė

Norint nustatyti sistemos – šiuo atveju elektros tinklo – patikimumą, būtina jo būvius suskirstyti į dvi klases – būvius, kuriems esant elektros tinklas laikomas darbingu, ir būvius, kuriems esant elektros tinklas laikomas sugedusiu. Gedimo būvių nustatymas vadinamas gedimo sąlygų analize. Šiai analizei atlikti būtina iš anksto žinoti kriterijus, kurie apibūdina įvykius arba sąlygas, sukeliančias sistemos gedimą. Nagrinėjant elektros tinklo patikimumą, tokiais kriterijais arba įvykiais gali būti elektros šaltinio ir apkrovos ryšio nutraukimas, darbo kokybės rodiklių žymus pablogėjimas, mazginių įtampų ribojimų pažeidimas bent viename mazge, bent vienos elektros perdavimo linijos perkrovimas, elektros tinklo stabilumo sąlygų pažeidimas trumpo jungimo tinkle atveju ir t.t [10].

Kai elektros tinklo dalis susideda iš nuosekliai sujungtų elementų, tai nors vienam elementui sugedus, visa nagrinėjama tinklo dalis bus sugedusi. Šiuo atveju nagrinėjamos tinklo dalies nusistovėję patikimumo rodikliai yra apskaičiuojami taip:

Patikimumas:

$$R_s = \prod_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i} = \prod_{i=1}^n p_i ; \quad (2.4.1)$$

Gedimo tikimybė:

$$Q_s = 1 - R = 1 - \prod_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i} ; \quad (2.4.2)$$

Turint sistemą iš n elementų, kai visi q_i maži ir n nėra didelis, tai yra $nq \ll 1$ lygtį galima suprastinti:

$$Q_s = \sum_{i=1}^n q_i ; \quad (2.4.3)$$

Vidutinis gedimų dažnis:

$$f_s = \sum_{i=0}^n \lambda_i ; \quad (2.4.4)$$

Vidutinė avarinio remonto (darbo atkūrimo) trukmė:

$$T_{rs} = \frac{\sum T_{ri} \cdot \lambda_i}{\sum \lambda_i}; \quad (2.4.5)$$

Kai nagrinėjama elektros tinklo dalis sudaryta iš n lygiagrečiai sujungtų elementų:

$$Q_s = \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} = \prod_{i=1}^n q_i; \quad (2.4.6)$$

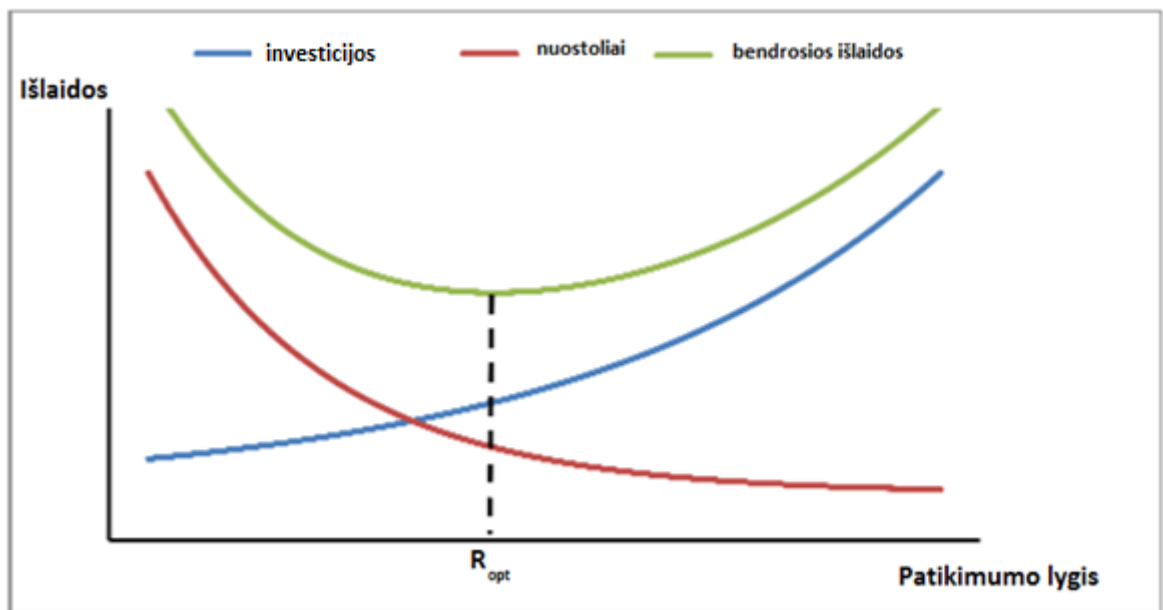
$$f_s = Q_s \cdot \sum_{i=0}^n \mu_i = \frac{\prod \lambda_i}{\sum T_{ri}}; \quad (2.4.7)$$

$$T_{rs} = \frac{1}{\sum \mu_i}; \quad (2.4.7)$$

2.4. Investicijos į patikimumą ir išmanųjį tinklą

Investicijų į patikimumo didinimą naudą gali jausti tiek tinklo operatoriai, tiek vartotojai. Patikimesnis tinklas turėtų leisti sumažinti lėšas reikalingas tinklo priežiūrai ir valdymui. Išmanusis tinklas dėl savo gebėjimų bei tuo pačiu padidėjęs patikimumas leistų atsisakyti dalies darbo jėgos reikalingos tinklui atstatyti. Kadangi patikimumas yra vienas iš svarbiausių energijos kokybės parametru, jo didėjimas didintų ir sistemos tinklų operatoriaus įvaizdį. Pramoniniams vartotojams patikimumo didinimas leistų patirti mažiau ekonominių nuostolių dėl veiklos nutraukimo, atidėti investicijas planuojamas į reikalingą nenutraukiamą energijos tiekimą (pvz., į dyzelinius generatorius), buitiniams vartotojams leistų išlaikyti turimą komforto lygį. Lietuvos atveju, valstybei žengiant žingsnius link integracijos su Europos tinklais, patikimumo didinimas yra būtinas dėl reikalavimų atitikimo.

Bendras sistemų patikimumo lygis yra susijęs su ekonomika – siekiant padidinti patikimumą ar palaikyti jį esamame lygyje dėl besidėvinčios įrangos, reikalingos papildomos išlaidos. Bendruoju atveju elektros energetikos sistemų patikimumo ir išlaidų ryšys yra pavaizduotas sekančiame paveiksle.



12 pav. Išlaidų ir patikimumo ryšys

Iš paveikslo matyti, kad norint pasiekti kuo aukštesnį patikimumo lygį išauga išlaidos ir kapitalinių investicijų poreikis, tuo pačiu, neskiriant pakankamai lėšų patikimumas sumažėja ir yra patiriami didžiausi nuostoliai. Todėl svarbi užduotis yra rasti optimalų patikimumą. Sprendžiant optimizacinį uždavinį, pagrindiniu kriterijumi laikomas bendrųjų išlaidų (kaštų) minimizavimas. Tokiu atveju bendrosios išlaidos gali būti įvertinamos taip:

$$K = I + R + F \rightarrow \min ; \quad (2.4.1)$$

Čia: I – kapitalinės investicijos;

R – eksploatacinės išlaidos;

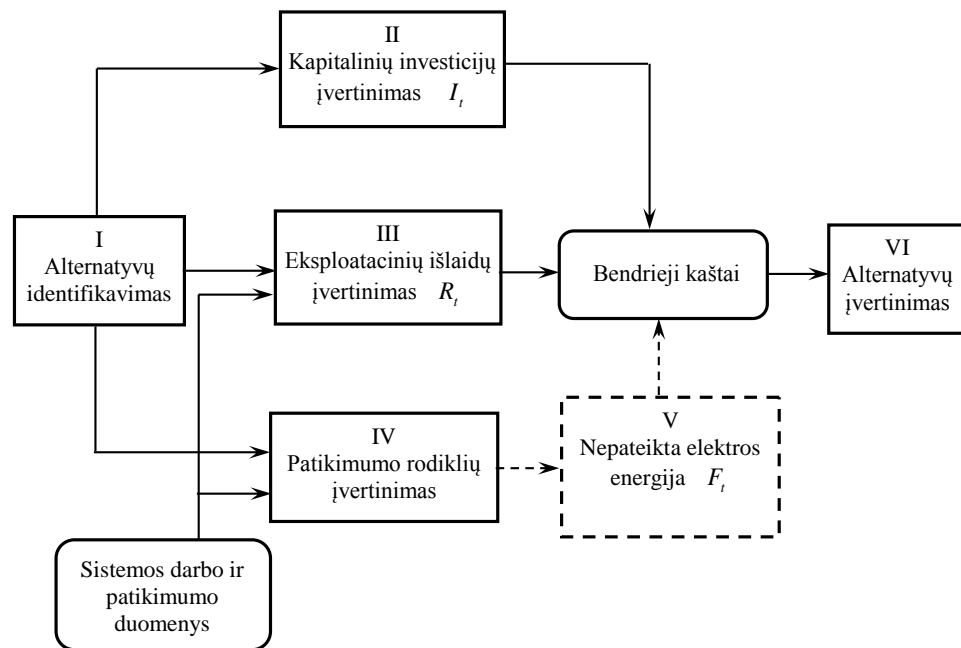
F – nepateiktos energijos kaina piniginiiais vienetais;

Kartais yra nevertinama nepateikta energija, tokiu atveju:

$$K = I + R \rightarrow \min ; \quad (2.4.2)$$

Patikimumo ekonomiškumui įvertinti yra atliekama sąnaudų ir naudos (išlaidų – naudos) analizė (*angl. cost-benefit analysis*). Tai išlaidų, investicijų efektyvumo vertinimo metodas, kuriuo siekiama

rezultatus įvertinti kiekiškai išraiška ir palyginti su jiem pasiekti išskvotais ištekliais. Galima analizės procedūra pateikiama sekančiame paveiksle [10]:



13 pav. Patikimumo didinimo sąnaudų – naudos analizės procedūra

I Alternatyvų identifikavimas. Elektros tinklo galimų rekonstrukcijų ar išplėtimo alternatyvos turėtų būti nagrinėjamos remiantis įprasta metodologija, įgalinančia galios srautų ir poavarinio režimo stabilumo analizę, identifikuojant kritinius mazgus ir modeliuojant galimus pakeitimus. Pagrindinis galimų rekonstrukcijos variantų parinkimo kriterijus – darbo ir avarinio režimo sąlygų tenkinimas.

II Kapitalinių investicijų įvertinimas. Kapitalinės investicijos – tai naujų įrengimų kainos. Kapitalinės investicijos įvertinamos standartiniais inžinerinės ekonomikos metodais, įvertinant naujų įrengimų kainas, montavimo, statybos darbų ir kitas išlaidas. Turi būti atsižvelgiama į visus nagrinėjamų alternatyvų išlaidų skirtumus. Visos kainų dedamosios turi būti išreikštos grynąja dabartine verte, kad galima būtų suderinti su nepateiktos elektros energijos kaina ir kitomis išlaidomis.

III Eksploatacinių išlaidų įvertinimas. Ši dedamoji įvertina nagrinėjamų rekonstrukcijos variantų eksploatacines išlaidas. Jeigu sistemos perdavimo nuostoliai ženkliai skiriasi tarp nagrinėjamų alternatyvų, tai jie turėtų būti taip pat įvertinti kaip kintamosios eksploatacines išlaidos.

IV Patikimumo rodiklių įvertinimas. Nepateiktos elektros energijos kaina įvertina elektros vartotojų nuostolius patirtus dėl elektros energijos tiekimo nutraukimo. Ši kaina įvertinama remiantis nustatytais perdavimo tinklo patikimumo rodikliais.

V Nepateikta elektros energija. Ekonominė patikimumo vertė gali būti nustatyta remiantis vartotojų patirtais nuostoliais dėl elektros energijos tiekimo nutraukimo. Nepateiktos elektros energijos kaina yra daugelio veiksnių funkcija, įskaitant gedimų intensyvumą, gedimų trukmę, gedimų vietą, vartotojų kategoriją ir kt. Nepateiktos elektros energijos kaina nagrinėjamu laikotarpiu gali būti skaičiuojama taip:

$$F_t = E_t \cdot k = A_t \cdot P_t \cdot k ; \quad (2.4.3)$$

Čia: E_t – prognozuojamas nepateiktos energijos kiekis pasirinktam laikotarpiui, kWh;

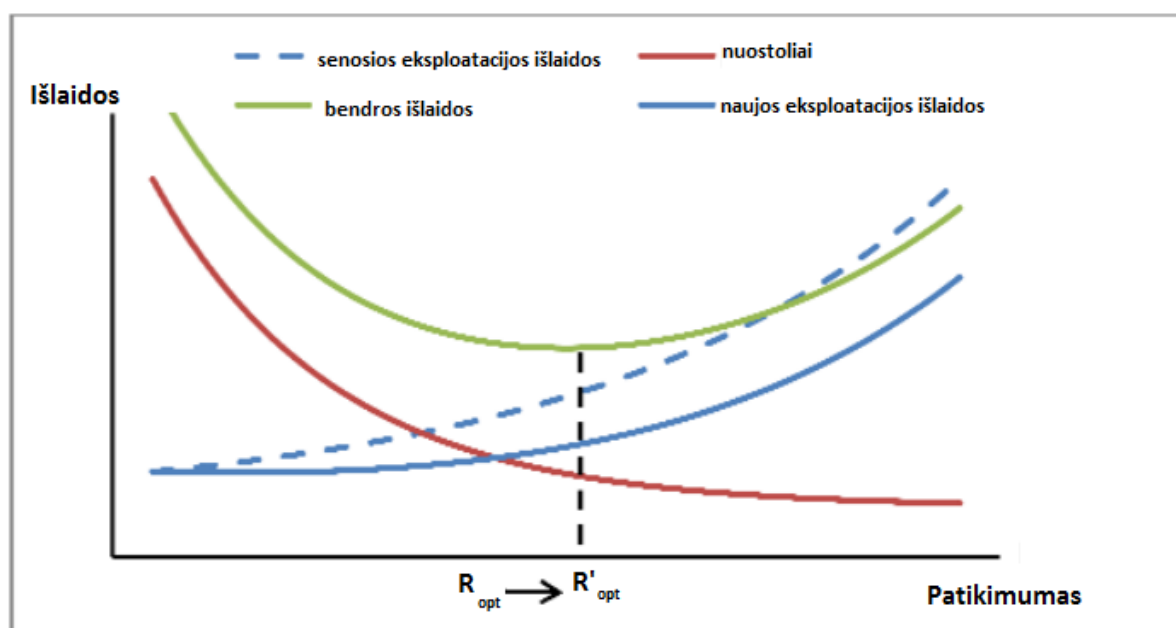
k – elektros energijos kWh kaina;

A_t – vidutinė gedimo trukmė, h;

P_t – vidutinis energijos poreikis, kW;

VI Alternatyvų įvertinimas. Nagrinėtų alternatyvų pagrindinis įvertinimo kriterijus – bendrieji kaštai. Galimų rekonstrukcijų alternatyvos turėtų būti išrikiuojamos bendrųjų kaštų didėjimo tvarka. Siekiant tenkinti keliamus patikimumo reikalavimus beveik visi nagrinėjami rekonstrukcijos variantai galėtų būti įgyvendinti, tačiau atsižvelgiant į esamus biudžetinius apribojimus, priimtinausia yra rekonstrukcijos alternatyva su mažiausiais bendraisiais kaštais arba didžiausiu sąnaudų – naudos santykiu.

Išmaniojo tinklo atveju investicijos leidžia sumažinti lėšas reikalingas tinklo eksploatacijai, taip leidžiant padidinti patikimumą, nors bendrosios išlaidos nepadidėja:



14 pav. Optimalaus patikimumo ir išmaniojo tinklo ryšys

Skiriamasis santrumpa

Patikimumas tai objekto savybė atlikti naudingą darbą ir išlaikyti eksploatacines savybes. Skirstomojo tinklo patikimumas priklauso nuo tokių kintamųjų kaip oro sąlygos, tinklų pajėgumas, stochastinio pobūdžio atsinaujinančių išteklių, vartotojų elgesio, priežiūros lygio, amžiaus, įrangos tipo ir kt. Sistemai dirbant normaliomis sąlygomis visi tinklo vartotojai yra pilnai aprūpinami elektros energija, bei energija yra nepertraukiamai tiekama visiems prijungtiems vartotojams. Numatyti ir nenumatyti įvykiai sukuria trikdžius normalioms darbo sąlygomis, taip sukeldami nepageidaujamus tinklo režimus. Šie sutrikimai turi savo priimtą kvalifikavimo sistemą, kuri leidžia lengviau suprasti ir greičiau reaguoti.

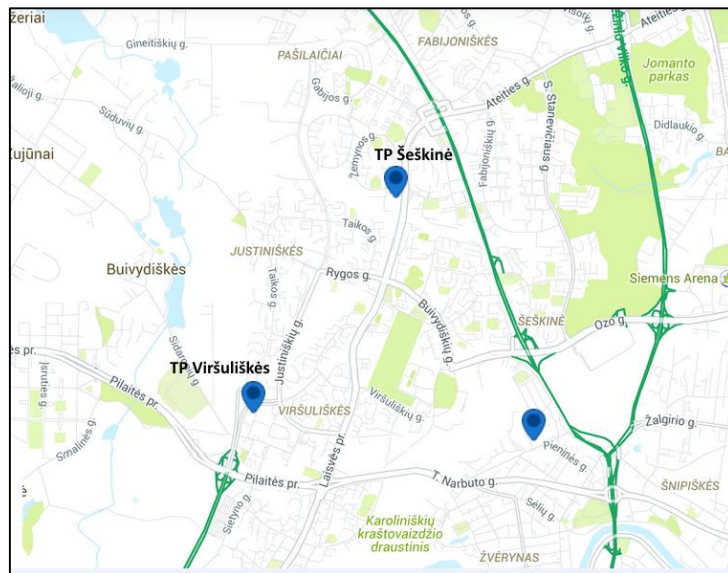
Patikimumo įvertinimui yra išvystyta skaičiavimo metodika leidžianti analizuoti ir projektuoti bei palyginti elektros energetikos tinklus, jų elementus. Skaičiavimai remiasi patikimumo rodikliais. Šie rodikliai gali būti išskaidyti į atskirų elementų ir viso tinklo rodiklius. Elementų rodiklių yra daug, tačiau yra keli nusistovėję, kaip turintys didžiausią įtaką – tai elemento gedimo tikimybė, gedimų intensyvumas ir darbo po gedimo atkūrimo trukmė. Elektros tinklų atveju dažniausiai naudojami patikimumo rodikliai – nutraukimo dažnis (intensyvumas), trukmė ir gedimo tikimybė. Atskirai skirstomojo tinklo atveju yra naudojami papildomi rodikliai, svarbiausi iš jų – SAIFI ir SAIDI. Šie du rodikliai tam tikrai laiko tarpui parodo gedimų dažnius ir trukmes. Tolimesnei patikimumo ir gedimų analizei svarbus yra gedimų medis. Gedimų medžio analizė – tai sisteminė procedūra, kuri leidžia dokumentuoti priežasties–pasekmės ryšius tarp gedimų įvairiame tinklo ir jo atskirų dalių lygmenyje, nustatyti svarbiausius gedimus ir silpniausias elektros tinklo vietas. Ši procedūra padeda aptikti svarbias gedimų kombinacijas, kurias kitais būdais būtų sunku pastebėti ir įvertinti kaip gedimo priežastis.

Norint pasiekti kuo aukštesnį patikimumo lygį išauga išlaidos ir kapitalinių investicijų poreikis, tuo pačiu, neskiriant pakankamai lėšų patikimumas sumažėja ir yra patiriami nuostoliai. Todėl svarbiausia patikimumo ekonominės analizės užduotis yra rasti optimalų patikimumą. Ekonomiškumui įvertinti yra atliekama išlaidų – naudos analizė, kuri susideda iš patikimumo rodiklių, eksploatacinių bei kapitalinių išlaidų, nepateiktos energijos ir alternatyvų įvertinimo.

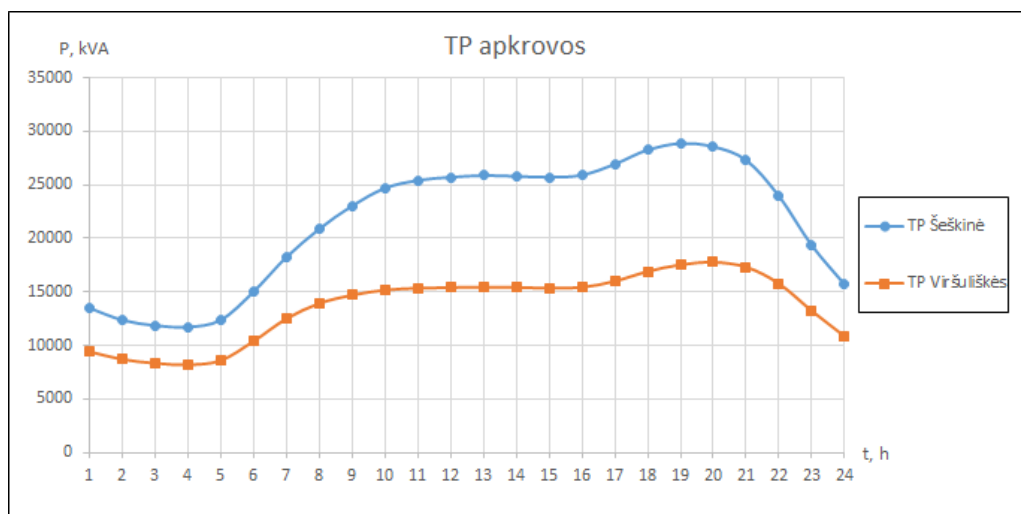
3. TIRIAMOJI DALIS

3.1. Tiriamojo objekto aprašymas

Kaip tiriamasis objektas buvo pasirinkta Vilniaus šiaurinio 10 kV kabelinių linijų tinklo dalis tarp TP Šeškinė ir TP Viršuliškės. Šios transformatorinės užtikrina elektros energijos tiekimą didžiajai daliai Vilniaus šiaurės – vakarų mikrorajonams, apie 130 tūkst. gyventojų. Ši Vilniaus miesto dalis per pastarąjį dešimtmetį išgyvena spartų urbanistinį plėtimąsi, tuo pačiu ir padidėjusį elektros energijos vartotojų skaičių ir poreikį.

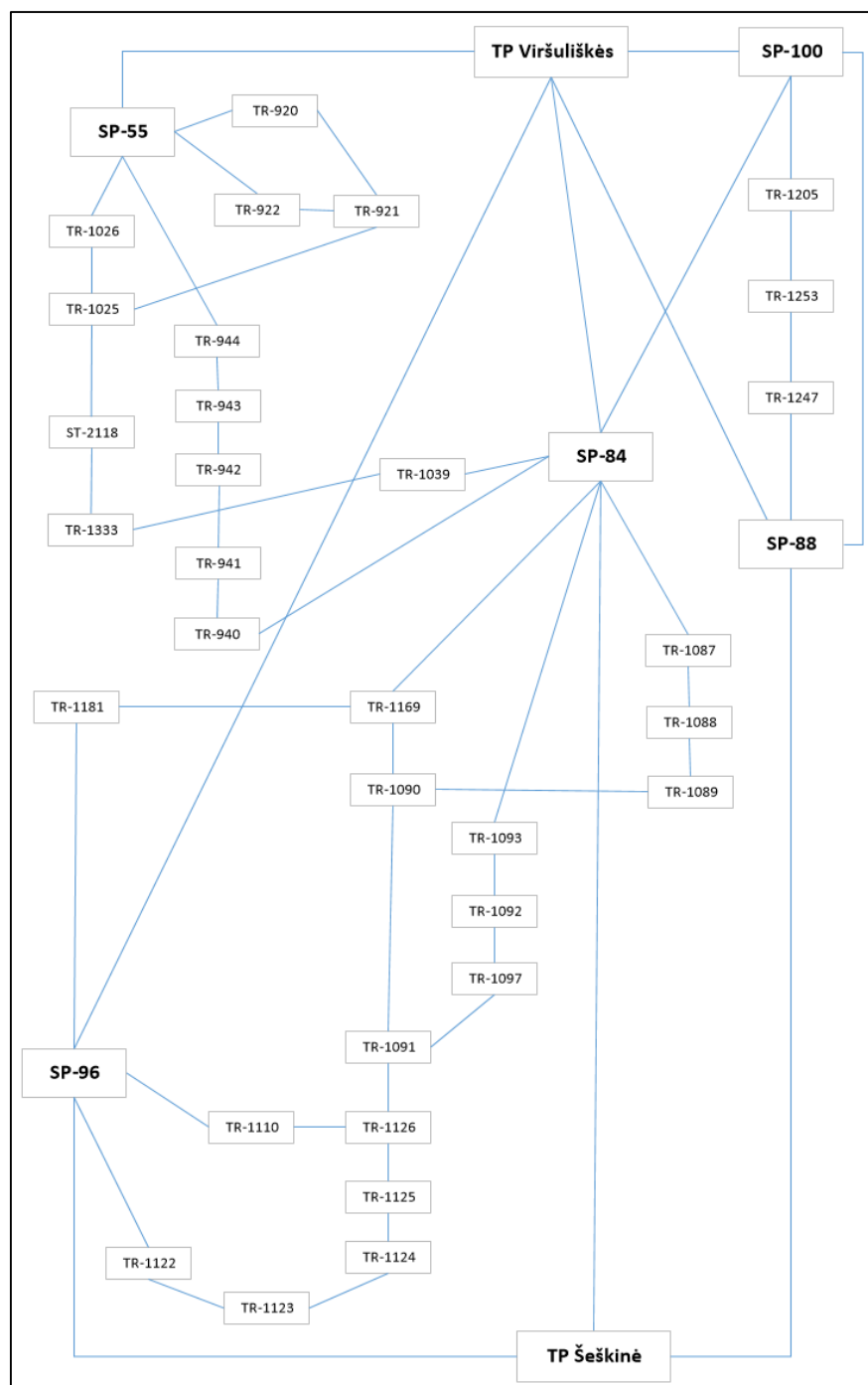


16 pav. Tiriamojo objekto transformatorinių pastočių lokalizacija



17 pav. Tiriamojo objekto 110kV pusės transformatorių vidutiniai metiniai apkrovų grafikai

Šiame darbe bus nagrinėjama tik ta tinklo dalis, kuri turi tarp-pastotinį ryšį tarp nagrinėjamų TP. Tiriomojo objekto tinklo vienlinijinė schema pateikta Priede Nr. 2. Suprastinta tinklo blokinė ryšių schema pateikiama toliau:



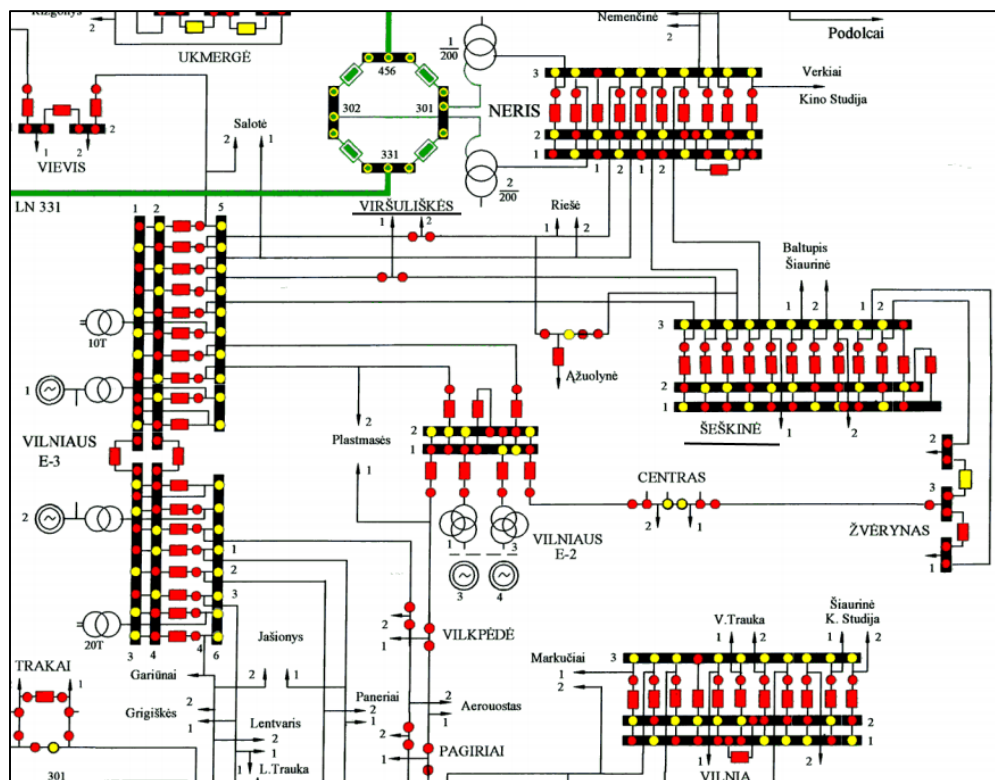
18 pav. Tiriomojo tinklo blokinė schema

Tinklą sudaro dvi transformatorinės pastotės, penki skirstomieji punktai, 32 mažesnės transformatorinės ir 64 įvairaus ilgio kabelinės linijos. Objektas prie 110kV tinklo yra prijungtas per 2x80 MVA TP Šeškinė ir 2x50 MVA TP Viršuliškės galios transformatorius. Nagrinėjamą 10 kV tinklą sudaro įvairios galios 68 vnt. 10/0,4 kV transformatorių, kurių galia svyruoja nuo 160 iki 1000 kVA, o

bendra galia yra 30090 kVA. Pagrindinis elektros energijos vartotojai – namų ūkiai ir negamybinės, prekybinės įmonės, priimamas vartotojų skaičius N = 20 tūkst. vnt.

3.2. Sisteminio energijos tiekimo patikimumo įvertinimas

Įvertinant sisteminį patikimumą turėtų būti vertinamas linijų jungiančių TP ir pačių TP patikimumas. Paveiksle žemiau yra pateiktas Lietuvos aukštos įtampos linijų tinklas iš kurio matyti prie kurių linijų yra prijungtos tiriamojo objekto transformatorinės pastotės. Energijos tiekimo iš sistemos įvertinimui atrenkamos tik tos linijos, kurios yra prijungtos tiesiai prie generavimo šaltinių arba sujungtos su kitomis TP skirstyklomis, kurios turi ryšį su generavimo šaltiniais.



19 pav. Iškarpa iš Lietuvos aukštos įtampos tinklo schemos

5 lentelė. 110kV linijos

OL pavadinimas	OL ilgis, km
Šeškinė-TE-3	10,71
Šeškinė-Žvėrynas I	3,04
Šeškinė-Žvėrynas II	3,04
Neris-Šeškinė I	31,83
Neris-Šeškinė II	31,83
Šeškinė-Viršuliškės	4
Neris-Viršuliškės	33,82
Viršuliškės-TE-3 I	6,68
Viršuliškės-TE-3 II	6,7

Daroma prielaida, kad pastotės patikimumas artimas 1, kai ji maitinama iš 3 ar daugiau linijų. Žinant, kad kiekvieną nagrinėjamą pastotę sudaro po du lygiagrečiai sujungtus 110/10 kV transformatorius, taip pat sistema yra laikoma veikiančia jei bent vienas transformatorius tiekia energiją į 10 kV pusę, priimamas bendras energijos tiekimo iš aukštos įtampos tinklo patikimumas yra artimas 1 ir daugiau nagrinėjamas nebus.

AB „Litgrid“ skelbiamais ataskaitų duomenimis 2014 metais skirstomaisiais tinklais bendruoju atveju neperduotas energijos kiekis buvo 5,4 MWh, o vidutinė nutraukimo trukmė siekė 0,25 min. Tai aukšti tinklo patikimumo rodikliai.

3.3. Tiriamojo tinklo gedimų medis ir patikimumo skaičiavimai

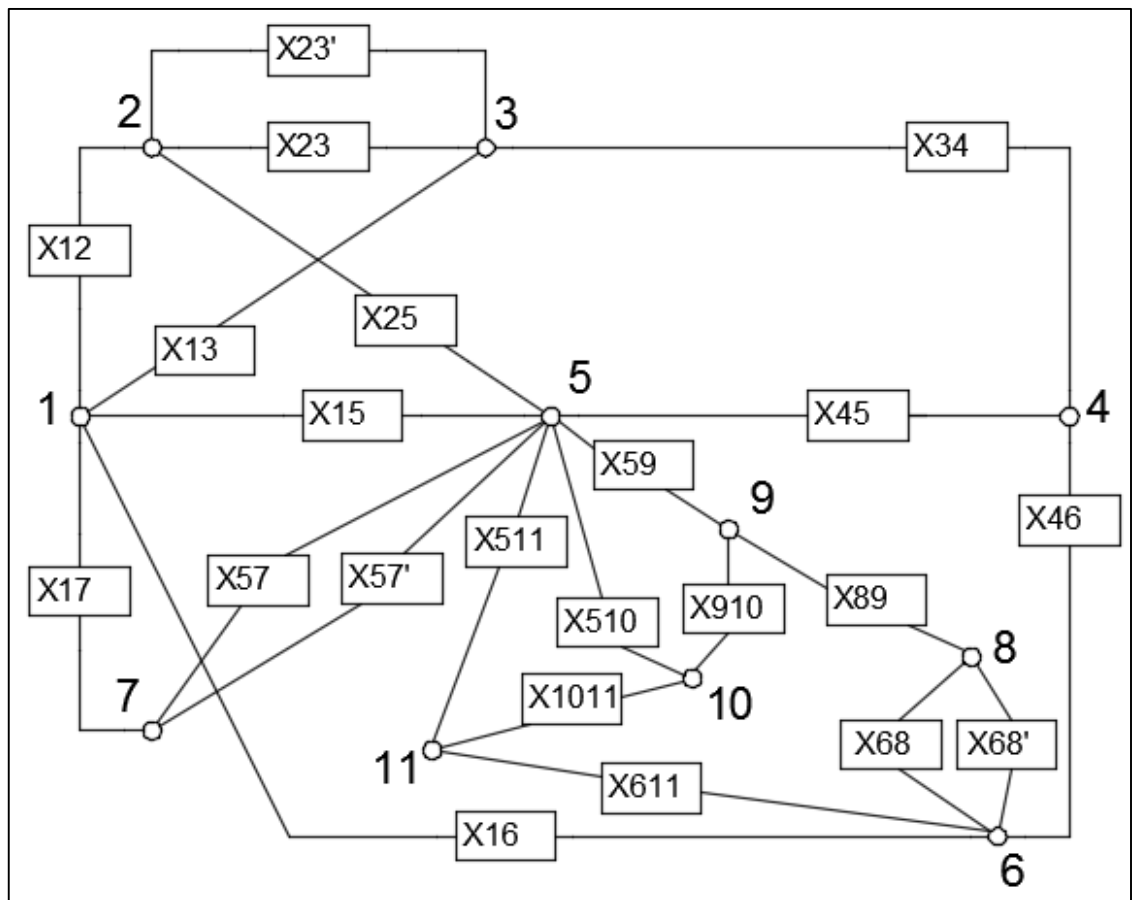
Tolimesniems patikimumo skaičiavimams yra formuojamas tinklo gedimų medis. Skaičiavimams atlikti sudaromos nesekliai ir lygiagrečiai sujungtų atstojamųjų elementų gedimo tikimybės. Nuosekliai sujungtų elementų tikimybės priimamos kaip ryšio linija tarp dviejų šynų sekcijų. Šioje grandinėje yra kabelis ir komutavimo prietaisai. Lygiagrečiais linijas sudaro elektros energijos tiekimo alternatyvūs keliai. Atliekant atskirų elementų patikimumo skaičiavimus yra priimamos tokios prielaidos: pirma – visi tinklo elementai yra vienodi pagal veikimo principą, todėl jų gedimo intensyvumai yra vienodi, antra – skirstyklų patikimumas priimamas artimas vienetui. Elementų patikimumo skaičiavimui naudojamos formulės 2.2.4 – 2.2.6 ir tokios elementų patikimumo charakteristikos:

6 lentelė. Elementų patikimumo charakteristikos

Elementai	λ , 1/m	T_a , h
Kabelinė linija	0,35	25
Transformatorius	0,04	80
Jungtuvų-skyriklių blokai	0,1	20

Tinklo elementų rodiklių skaičiavimo rezultatai, dėl didelės duomenų apimties, pateikiami Priede Nr. 1.

Toliau yra sudaromos tinklo gedimų medis:



20 pav. Tiriama tinklo gedimų medis

Svarbiausių mazgų gedimų medžio schemoje žymėjimai:

- | | |
|---------------------|---------------|
| 1 – TP Viršuliškės; | 7 – SP-55; |
| 2 – SP-100; | 8 – TR-1126; |
| 3 – SP-88; | 9 – TR-1091; |
| 4 – TP Šeškinė; | 10 – TR-1090; |
| 5 – SP-84; | 11 – TR-1169; |
| 6 – SP-96; | |

Gedimų medžio atstojamiesiems elementams įvedami tokie žymėjimai:

X12 – sudvigubintos linijos nr. 258 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X13 – linijos nr. 259 tarp TP Viršuliškės ir SP – 88 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X15 – linijos nr. 262 tarp TP Viršuliškės ir SP – 84 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X16 – linijos nr. 260 tarp TP Viršuliškės ir SP – 96 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X17 – sudvigubintinių linijų nr. 263 ir 264 tarp TP Viršuliškės ir SP – 55 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X23 – sudvigubintų linijų ir elementų jungiančių SP – 100 ir SP – 88 (per TR – 1247, TR – 1253, TR – 1205) gedimo tikimybė;

X23' – linijos nr. 587 tarp SP – 100 ir SP – 88 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X25 – linijos nr. 1494 tarp SP – 100 ir SP – 84 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X34 – linijos nr. 72 tarp SP – 88 ir TP – Šeškinė ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X45 – linijos nr. 82 tarp SP – 84 ir TP – Šeškinė ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X46 – linijos nr. 90 tarp TP – Šeškinė ir SP – 96 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X57 – nuosekliai sujungtų linijų ir elementų jungiančių SP – 84 ir SP – 55 (per TR – 940, TR – 941, TR – 942, TR – 943, TR – 944) gedimo tikimybė;

X57' – sudvigubintų linijų ir elementų jungiančių SP – 84 ir SP – 55 (per TR – 1039, TR – 1333, ST – 2118, TR – 1025, TR – 1026, TR – 920, TR – 921, TR – 922) gedimo tikimybė;

X59 – nuosekliai sujungtų linijų ir elementų jungiančių SP – 84 ir TR – 1091 (per TR – 1093, TR – 1092, TR – 1097) gedimo tikimybė;

X510 – nuosekliai sujungtų linijų ir elementų jungiančių SP – 84 ir TR – 1090 (per TR – 1087, TR – 1088, TR – 1089) gedimo tikimybė;

X511 – linijos nr. 576 tarp SP – 84 ir TR – 1169 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X68 – nuosekliai sujungtų linijų ir elementų jungiančių SP – 96 ir TR – 1126 (per TR – 1110) gedimo tikimybė;

X68' – nuosekliai sujungtų linijų ir elementų jungiančių SP – 96 ir TR – 1126 (per TR – 1122, TR – 1123, TR – 1124, TR – 1125) gedimo tikimybė;

X611 – nuosekliai sujungtų linijų ir elementų jungiančių SP – 96 ir TR – 1169 (per TR – 1181) gedimo tikimybė;

X89 – linijos nr. 1192 tarp TR – 1126 ir TR – 1091 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X910 – linijos nr. 1189 tarp TR – 1091 ir TR – 1090 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

X1011 – linijos nr. 1190 tarp TR – 1090 ir TR – 1169 ir komutacinių prietaisų gedimo tikimybė;

Lentelėje toliau pateikiama atstojamųjų elementų apskaičiuotų pagal formules 2.4.1 – 2.4.7 veikimo ir gedimų tikimybės:

7 lentelė. Atstojamųjų elementų tikimybės

Atstojamasis elementas	Veikimo tikimybė	Gedimo tikimybė
X12	0,99999	0,00001
X13	0,99880	0,00120
X15	0,99831	0,00169
X16	0,99741	0,00259
X17	0,99999	0,00001
X23	0,99999	0,00001
X23'	0,99855	0,00145
X25	0,99829	0,00171
X34	0,99769	0,00231
X45	0,99831	0,00169
X46	0,99880	0,00120
X57	0,99382	0,00618
X57'	0,99920	0,00080
X59	0,99652	0,00348
X510	0,99595	0,00405
X511	0,99890	0,00110
X68	0,99803	0,00197
X68'	0,99658	0,00342
X611	0,99720	0,00280
X89	0,99857	0,00143
X910	0,99893	0,00107
X1011	0,99876	0,00124

Toliau yra sudaromos loginės patikimumo lygtys, atskiroms pastočių linijoms, kai taške 11 nėra įtampos:

Iš TP Viršuliškės pusės:

$$X12 + X25 + X511 \times (X510 + X1011) \times (X59 + X910 + X1010) \quad (1)$$

$$X13 + (X23 \times X23') + X25 + X511 \times (X510 + X1011) \times (X59 + X910 + X1010) \quad (2)$$

$$X15 + X511 \times (X510 + X1011) \times (X59 + X910 + X1010) \quad (3)$$

$$X16 + [(X68 \times X68') + X89 + (X910 + [X1011 \times (X510 + X511)]) \times [X59 + \{X511 \times (X510 + X1011)\}] \times X611] \quad (4)$$

$$X_{17} + (X_{57} \times X_{57}') + X_{511} + \times (X_{510} + X_{1011}) \times (X_{59} + X_{910} + X_{1010}) \quad (5)$$

Iš TP Šeškinė pusės:

$$X_{34} + (X_{23} \times X_{23}') + X_{25} + X_{511} \times (X_{510} + X_{1011}) \times (X_{59} + X_{910} + X_{1010}) \quad (6)$$

$$X_{45} + X_{511} \times (X_{510} + X_{1011}) \times (X_{59} + X_{910} + X_{1010}) \quad (7)$$

$$X_{56} + [(X_{68} \times X_{68}') + X_{89} + (X_{910} + [X_{1011} \times (X_{510} + X_{511})]) \times [X_{59} + \{X_{511} \times (X_{510} + X_{1011})\}] \times X_{611}] \quad (8)$$

Turint atstojamųjų elementų gedimų tikimybes ir kiekvieną X_i pažymėjus q_i skaičiuojamas bendras patikimumas, pvz.:

$$P_{f_{11}}(1) = q_{12} + q_{25} + q_{511} \times (q_{510} + q_{1011}) \times (q_{59} + q_{910} + q_{1011})$$

Ir t.t.

Atlikus skaičiavimus rezultatai surašomi į lentelę:

8 lentelė. Tikimybių skaičiavimai

Lygtis (linija)	Gedimo tikimybė	Veikimo tikimybė	Veikimo tikimybė, %
Viršuliškės			
1	0,00172	0,99828	99,828
2	0,00291	0,99709	99,709
3	0,00169	0,99831	99,831
4	0,00403	0,99597	99,597
5	0,00001	0,99999	99,999
Šeškinė			
6	0,00402	0,99598	99,598
7	0,00169	0,99831	99,831
8	0,00264	0,99736	99,736
Viso:	$9,1 \cdot 10^{-24}$	0,(9)	99,(9)

Iš gautų rezultatų galima įvertinti, kad tiriamasis tinklas yra itin patikimas, jo bendras patikimumas artimas vienetui. Tai pagrįde lemia, kad tiriamojo objekto tinklas yra dvipusio maitinimo visiems 10 kV pusės elementams, taip pat tinklas, pagal jo topografiją, gali būti vadinamas tankiuoju, toks tinklas yra atsparus ir didesniems, ilgalaikiams tinklo sutrikimams – likus net ir pačiai blogiausiai tinklo linijai energijos tiekimo patikimumas, išlieka pakankamai didelis, blogiausiu atveju siekia $\approx 99,6$

% (6 tiekimo linija). Tai labai aukšto patikimumo tinklas, tokiam tinklui išmaniojo tinklo technologijų diegimas norint pakelti patikimumą nėra prioritetas.

Tokios schemos tinklui įvertinti skirstomojo tinklo patikimumo rodiklius (SAIFI ir SAIDI) yra sudėtinga, tiriamojo tinklo bendras gedimų intensyvumas ir darbo atkūrimo trukmė yra nedideli. Tinklo operatoriai šiuos rodiklius vertina iš turimų tikslų gedimų statistinių duomenų. Patikimumo rodikliai bus skaičiuojami tik tai linijai, kurioje patikimumas yra mažiausias (6). Iš tokių skaičiavimų galima susidaryti bendrą vaizdą apie tiriamojo objekto patikimumo rodiklius. Prie šios linijos yra prijungta apie trečdalis visų tiriamojo tinklo vartotojų – bendra 0,4kV transformatorių galia siekia 8000kVA, priimamas vartotojų skaičius siekia 5600 vnt., avarijos metu atsijungiančių vartotojų skaičius lygus 11 taško schemoje vartotojų skaičiui, t.y. 250. Gaunamos SAIFI ir SAIDI reikšmės yra palyginamos su tinklo operatoriaus ataskaitose skelbiamomis patikimumo rodiklių reikšmėmis [12]:

9 lentelė. Skirstomojo tinklo patikimumo rodikliai

Rodiklis	Apskaičiuotas	Tinklo operatoriaus
SAIFI, kartais	0,06	0,84
SAIDI, min	51	66
END, kWh	12,75	
Pinigine išraiška, eur	1,62	

Lyginant gautus patikimumo rodiklius su tinklo operatoriaus aiškiai matyti, kad tiriamojo tinklo SAIFI rodiklis (vartotojų atjungimo dažnis) yra daug kartų mažesnis. Taip yra dėl tinklo schemos, kai kiekvienas taškas turi po daugiau nei vieną ryšį su kitais elementais. Apskaičiuotas SAIDI rodiklis yra mažesnis nei tinklo operatoriaus dėl tų pačių priežasčių. Apskaičiuotos nepatiktos energijos kaina siekia vos 1,6 euro. Verta paminėti, kad skaičiavimuose nėra įvertinta galutinio vartotojo (0,4 kV) rodikliai, kurie savo ruožtu yra didesni, dėl žemos įtampos tinklo netobulumo, taip pat atskiro vartotojo (pastato) elektros ūkio būklės. Skaičiuota buvo tik vienos, prasčiausius rodiklius turinčios linijos, rodikliai, viso tiriamojo objekto atveju šie rodikliai yra artimi nuliui ir ribojami tik prietaisų, jei šie automatizuoti, suveikimo trukmės.

3.4. Išmaniojo tinklo diegimas

Išmanusis tinklas tai automatizuotas tinklas, todėl tiriamąjį tinklą reikia modernizuoti, siekiant pakelti jo automatizavimo lygį. Priimama, kad tiriamajam tinklui priklausančios TP ir SP yra pilnai automatizuoti, turi įdiegtas tinklo ir atskirų pastotės elementų stebėsenos sistemas, informacijos perdavimo sistemas, yra pilnai automatizuotos ir nuotoliniu būdu valdomos iš centrinės dispečerinės. Tokiu atveju norint sukurti išmanųjį tinklą reikia automatizuoti visus kitus tinklo mazgus, įdiegti informacijos perdavimo ir kontrolės sistemas, galutiniams vartotojams – išmaniąsias matavimo sistemas ir padidinti žemos įtampos tinklo patikimumą jį sutankinant.

Reikalingų informacinių technologijų atžvelgiu tiriamojo objekto tinklas yra urbanizuotoje miesto dalyje, kuriose Lietuvoje yra išvystytas patikimas AB „TEO“ belaidis (*Wi-Fi*) tinklas. Priimama, kad visas duomenų perdavimas vyks šiuo tinklu, tokiu atveju nereikės naujų sprendimų ir didelių investicijų į ryšio perdavimo priemones.

Galutiniams vartotojams projektuojama įdiegti išmaniuosius skaitliukus. Tiriamajam tinklui buvo priimtas 20 tūkst. vartotojų skaičius. Išmanieji skaitliukai leistų vartotojams internetu sekti savo energijos suvartojimą, dalyvauti elektros energijos suvartojimo programose, tinklo operatoriui leistų tiksliau numatyti energijos poreikį.

Tiriamajam objektui planuojama įdiegti eksperimentines paklausos valdymo programas. Tai nėra etiška kitų vartotojų atžvelgiu, kuriems energijos apskaita bus vykdoma pagal dabar esančią sistemą, tačiau jau yra precedentas viso tinklo mastu kai energija iš atsinaujinančių išteklių yra supirkinėjama didesne nei rinkos kaina, dėl ko nukenčia visi galutiniai vartotojai. Be paklausos valdymo tiriamojo objekto išmaniojo tinklo diegimas būtų sunkiai pateisinamas ir dėl esamo tinklo aukšto patikimumo lygio.

Kiekvienai transformatorinei įdiegiama įranga lygi sumontuotai rekonstruotose transformatorinėse pastotėse ir skirstomuosiuose punktuose, kuri užtikrina visišką automatizavimo lygį. Tokiu atveju bus modernizuojama kiekviena 10/0,4 kV transformatorinė. Planuojama sumontuoti pastočių automatizavimo įrenginius, atnaujinti ir pridėti jutiklių transformatoriams, įrengti informacijos perdavimo įrenginius.

Vieningas dispečerinis centras ir skirstomojo tinklo valdymo sistema projektuojama pagal planuojamą baigti 2017 naują „ESO“ dispečerinę. Paminėtina, kad šio centro įdiegimas yra bendras visam „ESO“ tinklui ir yra reikalingas ne tik tiriamajam objektui. Šis centras turėtų realiu laiku matyti situaciją ir valdyti bei kontroliuoti visą tinklą.

Visų šių išmaniojo tinklo elementų visuma ir bendradarbiavimas leistų suformuoti bandomąjį pilnai funkcionuojantį išmanųjį tinklą.

3.5. Ekonominė tyrimo analizė

3.5.1. Kapitalinių investicijų poreikis

Kapitalinių investicijų poreikis projektuojamam tinklui pagrįste susidarys iš investicijų reikalingų išmaniųjų skaitliukų įrengimui, 10/0,4 kV transformatorinių modernizavimui ir ryšių infrastruktūros diegimui. Didžiausią dalį investicijų sudarys transformatorinių atnaujinimas. 2015 – 2016 metais AB „ESO“ paskelbė keletą konkursų išmaniojo tinklo elementams diegti, iš kurių galima susidaryti bendrą vaizdą apie kai kurių išmaniojo tinklo elementų kainas. Pasinaudojus šiais duomenimis bus priimtos tokios elementų kainos – išmaniojo skaitliuko su montavimo darbais 100 eurų, ryšių perdavimo nuo skaitliuko iki dispečerinio centro vieneto kaina su aptarnavimu 10 eurų. Vieno transformatorinės TSPĮ (duomenų surinkimo/perdavimo) įrenginio kaina priimama 8 tūkst. eurų. Paskelbtos investicijos į naują vieningą dispečerinį centrą siekia 3,1 mln. eurų.

Nagrinėjamame tinkle yra viso 32 transformatorinės ir 68 vienetai 160, 250, 400, 630 ir 1000 kVA galios 10/0,4 kV transformatorių. Kiekvieną transformatorinę projektuojama modernizuoti įdiegiant tokius įrenginius kaip nuotoliniu būdu valdomus jungtuvų blokus, automatinius „reklouzerius“, mikroprocesorines apsaugas, valdymo sistemas ir kt., pilnai atnaujinti skirstyklos. Nežinant tikslios tokių įrenginių kainos ir remiantis rekomendacinėmis priimama, kad į pastočių automatikos atnaujinimui bus reikalinga 70 tūkst. eurų [13]. Priimta kaina transformatorių atnaujinimui ir modernių jutiklių įdiegimui 6 Eur/kVA. Priimama, kad apie 15 proc. transformatorių yra nusidėvėję ir juos planuojama keisti naujais, vidutinė naujo transformatoriaus kaina priimama 10 Eur/kVA. Senos įrangos išmontavimo ir naujos montavimo darbams, inžinerinėms išlaidoms ir kitiems statybos

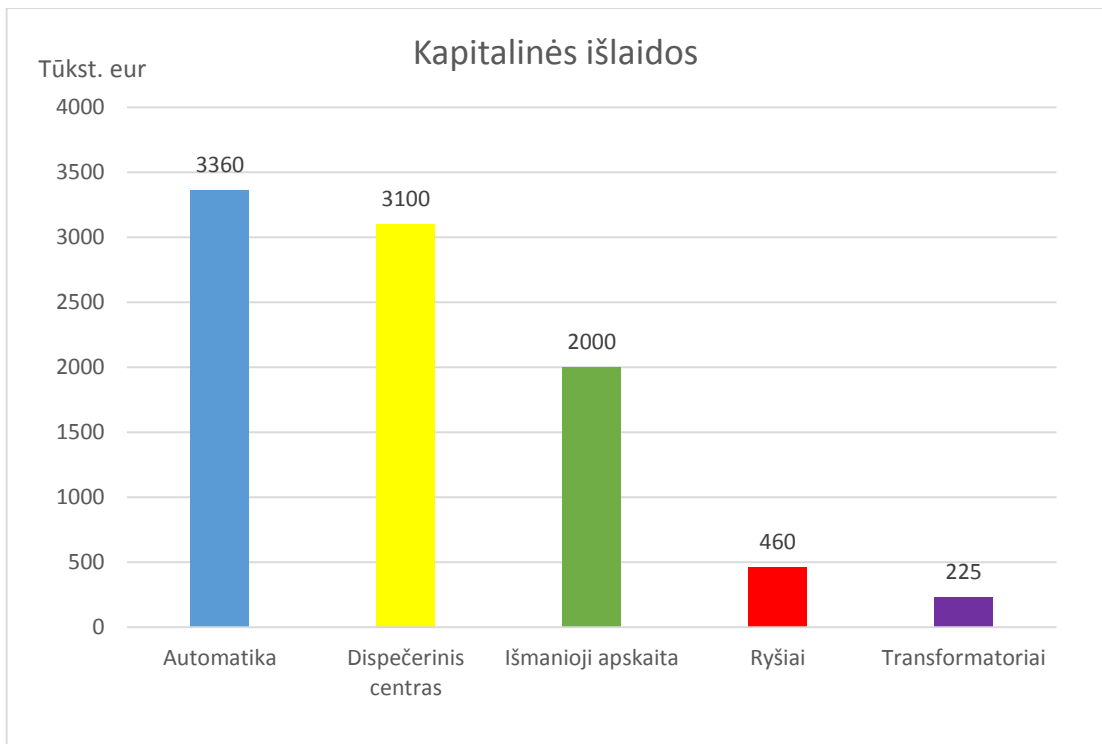
darbams numatoma skirti 50 proc. nuo naujų įrengimų kainos. Planuojamas investicijų poreikis surašomas į lentelę:

10 lentelė. Kapitalinių investicijų poreikis

Elementas	Kiekis	Vnt. kaina	Kaina viso
Išmanioji apskaita			
Išmanieji skaitliukai	20000	100	2000000
Ryšiai			
TSPĮ	32	8000	256000
Kiti ryšiai	20000	10	200000
Automatika			
Transformatorinių automatika	32	70000	2240000
Statybos ir kiti darbai		50 proc.	1120000
Transformatoriai			
Įvairūs jutikliai ir kt.		6 eur/kVA	180540
Nauji transformatoriai		10 eur/kVA	45135
*Vieningas dispečerinis centras			3100000
Nenumatytos ir kitos išlaidos		15 proc.	9141675
Viso			18283350
Viso be dispečerinės			15183350

Kadangi dispečerinis centras yra vienkartinė investicija ir bus naudojamas bendrai visam skirstomajam tinklui į tolimesnius skaičiavimus jis įtrauktas nebus. Tokiu atveju priimama, kad kapitalinių išlaidų poreikis eksperimentiniam tiriamajam išmaniajam tinklui siekia 15 mln. eurų. Patogesnei duomenų analizei yra braižoma stulpelinė diagrama (21 pav., kitas psl.).

Iš grafiko matyti, kad didžiausią dalį išlaidų sudaro nauji automatikos įrenginiai. Tiriamojo objekto elektros energetikos sistema yra gerai prižiūrima, todėl išlaidos transformatorių atnaujinimui nėra didelės. Diegiant išmanųjį tinklą didesniu, viso operatoriaus valdomo skirstomojo tinklo mastu, išlaidų dalis tenkanti transformatoriams atnaujinti turėtų išaugti, tačiau didžiausia dalis vis tiek tektų pastočių automatizavimui ir modernizavimui.



21 pav. Kapitalinių išlaidų pasiskirstymas

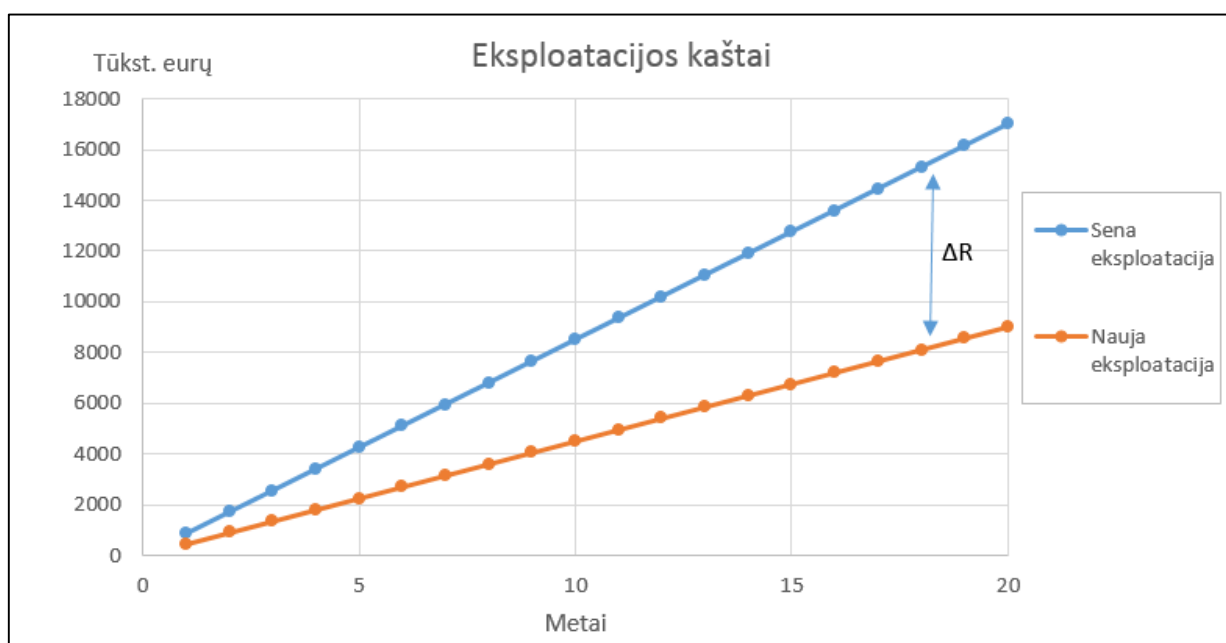
3.5.2. Finansavimo šaltiniai

Projekto finansavimui galima numatyti kelis būdus. Vienas iš skirstomojo tinklo operatoriaus investicinių lėšų. Kitas numatyti VIAP – viešuosius interesus atitinkančių paslaugų – dalį tenkančių tinklo modernizacijai. VIAP teikia elektros energetikos įmonės, siekdamos įgyvendinti Lietuvos Respublikos energetikos, ekonominės ir aplinkos apsaugos politikos strateginius tikslus bei siekdamos užtikrinti visuomenės interesų įgyvendinimą. Tačiau norint užtikrinti VIAP lėšas reikėtų naujo vyriausybės nutarimo, nes šiuo metu tokia tinklo modernizacija, kaip tiriamajame objekte, nėra numatyta prie strateginių projektų, susidarytų biurokratinės kliūtys [14]. Planuojant išmaniųjų tinkų plėtrą viso skirstomojo tinklo mastu, išmaniojo tinklo įtraukimas į strateginių infrastruktūros sąrašą padėtų paprasčiau finansuoti projektus. Paprastesnis sprendimas būtų reikalingas investicijas perkelti sistemos operatoriui, tačiau tokiu atveju prastėtų operatoriaus finansiniai rezultatai. Abejais atvejais už eksperimentinį tiriamojo objekto tinklą sumokėtų visi elektros energijos vartotojai. Kitas galima finansavimo būdas yra dalinė ar visiška ES struktūrinių fondų parama. Tokiu atveju projektuojamo eksperimentinio išmaniojo tinklo diegimas nedarys žymios finansinės įtakos visiems tinklo vartotojams. Bet kokias investicijas patvirtinti dar turi VKEKK.

Priimama, kad šiam tyrimui ES struktūrinių fondų parama sudarys 50 proc. reikalingos sumos. Kita suma, apie 7,5 mln. eurų numatoma iš AB „ESO“ investicijų. Tokiu atveju vienam tiriamojo tinklo vartotojui tenkanti kapitalinių išlaidų dalis siekia 375 eurus. Įvertinant kokią dalį panašių investicijų reikalaujantys „ESO“ projektai sudaro elektros energijos skirstymo paslaugos kainoje priimama, kad eksperimentinio išmaniojo tinklo diegimo įtaka skirstymo paslaugos kainos viršutinei ribai sudarys 0,003 ct/kWh arba 0,3 proc. 20 metų laikotarpiui.

3.5.3. Eksploatacinių išlaidų įvertinimas

2015 metų ataskaitos duomenimis tinklo operatorius skyrė 70 mln. eurų elektros skirstomojo tinklo palaikymui, tinklo vartotojų skaičius siekia 1,65 mln. Tokiu atveju vieno vartotojo tinklo eksploatacijos dalis siekia 42,55 eurus per metus. Tiriamojo objekto įprasto tinklo išlaidos eksploatacijai siekia 850 tūkst. eurų per metus. Išmaniojo tinklo eksploatacinės išlaidos siekia apie 3 proc. nuo kapitalinių investicijų – gaunamos metinės išlaidos 450 tūkst. Išmaniojo tinklo eksploatacinės išlaidos yra apie 47 proc. mažesnės nei tradicinio tinklo. Esant tokiam prognozuojamų išlaidų skirtumui, išmaniojo tinklo diegimas sistemos operatoriui turėtų atsipirkti per apie 20 metų (lūžio taškas pasiekiamas 18 eksploataavimo metais).



22 pav. Tinklų eksploatacinių išlaidų palyginimas 20 metų laikotarpiu

Galutiniam vartotojui išmaniųjų skaitliukų sumontavimas atsilieptų didesnėmis išlaidomis, nes tokios įrangos tikslumo klasė siekia 0,5 proc., vietoj buvusių 2-3 proc. įrenginių. Kiek tiksliai sąskaita padidės vidutiniam vartotojui įvertinti neįmanoma. Eksperimentinės paklausos valdymo programos, jose aktyviai dalyvaujant, galėtų sumažinti sąskaitas 5 – 20 proc. Tokiu atveju vartotojas galėtų sutaupyti apie 15 – 40 eurų per metus dėl išmaniojo tinklo ir paklausos valdymo programų įdiegimo.

3.5.4. Bendrieji kaštai ir alternatyvos

Žinant kapitalinių investicijų poreikį ir numatomas eksploatacines išlaidas sudaroma lentelė. Gaunamos bendrosios išlaidos 20 metų periodui yra panašios. Tačiau įdiegus bandomąjį tinklą būtų gauta patirties, vėliau padėsiančios išmaniojo tinklo diegimui viso tinklo mastu, tokios kaip dispečerinio ir tinklo valdymo centro personalui, operatyviniams darbuotojams, išbandyti ir įvertinti įvairius paklausos valdymo modelius, išmanusis tinklas padėtų pakelti tinklo operatoriaus įvaizdį, formuoti modernų įvaizdį, vartotojai gautų ekonominės naudos. Taip pat toks projektas būtų pirmasis įgyvendintas platesniu regioniniu mastu.

11 lentelė. Bendrosios išlaidos

	Senas tinklas	Išmanusis tinklas
Kapitalinės investicijos, tūkst. eurų	-	7500
Eksploatacinės išlaidos per 20 metų, tūkst. eurų	17000	9000
Neperduotas energijos kiekis	≈ 0	≈ 0
Bendrieji kaštai, tūkst. eurų	17000	16500

Kaip alternatyva šiam tiriamajam tinklui galima įvardinti tęsti tinklo modernizaciją šiuo metu naudojamu modeliu, modernizuoti vidutinės įtampos transformatorines, išmaniuosius skaitliukus montuoti verslo klientams ir ruošti diegti išmaniojo tinklo elementus žemos įtampos tinklo klientams. Tokiu atveju tiriamasis tinklas artimiausiu metu nepareikalautų jokių naujų investicijų, tinklo patikimumo rodikliai ir dabartinis įrangos lygis yra aukšti, bet eksploatacines išlaidos išliktų didesnės.

Tyrimo apibendrinimas

Tyrimui atlikti buvo pasirinkta Vilniaus miesto šiaurinio 10 kV kabelinių linijų tinklo dalis tarp TP Šeškinė ir TP Viršuliškės. Tai labai urbanizuota teritorija, gyventojų tankis aukštas. Pagrindiniai vartotojai namų ūkiai ir negamybinės įmonės. Tinklą dar sudaro keli skirstomieji punktai ir keliasdešimt transformatorių, tinklo schema tanki, kiekvienas schemos taškas gali būti maitinamas iš daugiau nei dvejų linijų, paskirstytoji generacija nenumatyta. Įvertintas sisteminis patikimumo lygis yra aukštas, kiekvienai 110 kV pastočių pusei energija gali būti tiekiamą trimis ir daugiau linijomis. Sudarytas tiriamojo tinklo gedimų medis, atlikta patikimumo analizė parodė, kad tinklas yra itin patikimas, artimas vienetui, patikimumo rodikliai viršija sistemos operatoriaus viso tinklo patikimumo rodiklius. Išmaniojo tinklo technologijų diegimas patikimumui didinti nėra prioritetas ir neturės didelės įtakos, tačiau pasireikš sutrumpėjusia atstatymo po gedimo trukme, tokios schemos tinklui pagrinde ribojama tik automatinų prietaisų suveikimo trukmės, vietoj dabar naudojamų rankinio perjungimo sistemų. Tarp planuojamų diegti išmaniojo tinklo elementų galima paminėti išmaniuosius skaitliukus galutiniams vartotojams, dispečerinį centrą, mikroprocesorines reles, automatinius perjungimo įrenginius, naujus jungtuvus, transformatorių atnaujinimą, ryšio perdavimo sistemas.

Tiriamojo išmaniojo tinklo ekonomiškumui įvertinti buvo atlikta išlaidų – naudos analizė. Apskaičiuotos kapitalinės investicijos tinklo modernizavimui sieks virš 15 mln. eurų, iš kurių didžioji dalis tektų transformatorių automatizavimui. Priimama, kad 50 proc. projekto vertės bus finansuojama iš ES struktūrinių fondų, likusi dalis iš sistemos operatoriaus investicijų. Tokiu atveju projekto finansavimas operatoriaus skirstymo paslaugos kainos viršutinei ribai sudarytų 0,003 ct/kWh 20 metų laikotarpiui. Eksploatacinės išlaidos bandomajam tinklui sieks 50 proc. buvusių tinklo operatoriaus išlaidų, tokiu atveju investicijų atsiperkamumas dėl sumažėjusios eksploatacijos sieks 19 metų. Elektros energetikos požiūriu tai vidutinis atsiperkamumo laikas, tačiau investuojama būtų į naujas ir neišbandytas technologijas elementus, kurie dar ir nusidėvi greičiau. Tačiau jei lyginant abejus tinklus bendrosios išlaidos išlieka panašios, o galutiniai vartotojai dar ir gauna ekonominės naudos, operatorius reikiamos patirties, išmaniojo tinklo diegimą galima rekomenduoti.

IŠVADOS

1. Išmanieji tinklai ekonomiškai ir efektyviai integruoja visus vartotojus, užtikrina ekonomiškai veiksmingą ir tvarią energetinę sistemą su mažais nuostoliais, aukšta paslaugų kokybe, tiekimo patikimumu ir saugumu. Pagrindiniai išmaniojo tinklo elementai yra išmaniosios matavimo sistemos, namų tinklai, ryšių infrastruktūra, paskirstytoji gamyba, tinklo valdymo automatizavimas, paklausos valdymo programos, valdymo centras. Šių elementų sąveikia gali leisti sukurti pilnavertį išmanųjį tinklą duodantį naudos visoms dalyvių pusėms.
2. Patikimumas tai vienas iš sistemos efektyvumo ir energijos kokybės įvertinimo matų. Patikimumo įvertinimas remiasi patikimumo rodikliais, iš kurių skirstomuosiuose tinkluose svarbiausi yra SAIFI ir SAIDI rodikliai, parodantys sistemos gedimų dažnį ir trukmę.
3. Atliktas pasirinkto Vilniaus šiaurinio kabelių tinklo tarp dviejų transformatorinių pastočių patikimumo tyrimas parodė, kad tinklo patikimumas yra artimas vienetui. SAIFI (0,06 karto vartotojui) ir SAIDI (51 min) rodikliai yra aukštesni nei tinklo operatoriaus. Tinklo gedimo tikimybė siekia 9×10^{-24} , neperduotos energijos kaina pasirinktam taškui siekia 1,6 euro. Tai labai aukšti tinklo patikimumo rodikliai, toks tinklas tinkamas išmaniojo tinklo diegimui.
4. Optimalus patikimumo lygis pasiekiamas minimizuojant bendruosius kaštus. Bendrieji kaštai susideda iš kapitalinių investicijų, eksploatacinių išlaidų ir nepatiktos energijos kainos. Apskaičiuotos reikalingos kapitalinės investicijos siekia 15 mln. eurų. Projekto finansavimas numatomas lygiomis 50 proc. dalimis iš ES struktūrinių fondų ir sistemos operatoriaus investicinių lėšų. Tokiu atveju šio bandomojo išmaniojo tinklo kūrimas operatoriaus energijos skirstymo kainai sudarytų apie 0,03 ct/kWh.
5. Palyginat numatomas seno ir naujo išmaniojo tinklų eksploatacines išlaidas gauta, kad išmaniojo tinklo palaikymui būtų reikalinga 47 proc. mažiau išlaidų. Dėl susidariusio eksploatacinių išlaidų skirtumo investicijos į bandomąjį tinklą operatoriui atsipirks per 20 metų.

LITERATŪROS ŠALTINIAI

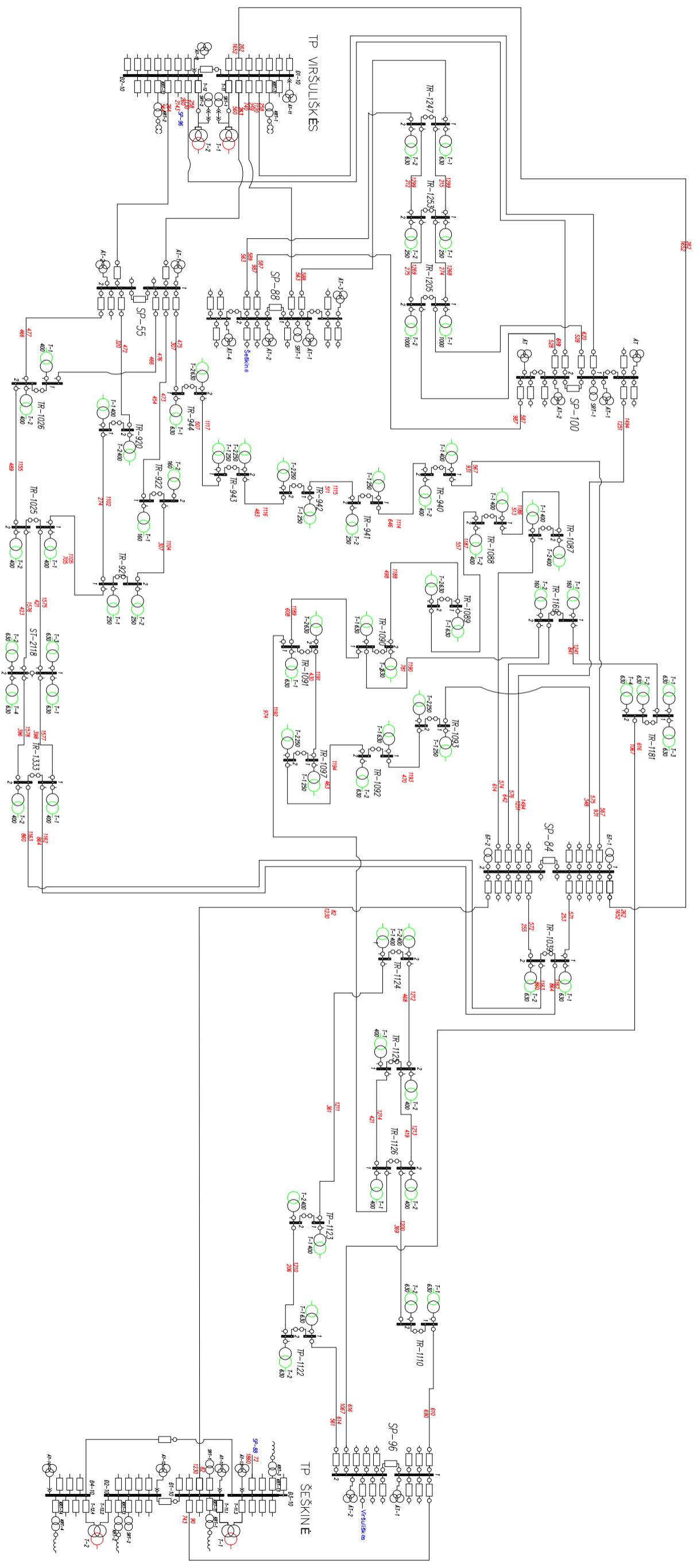
1. The National Association of Regulatory Utility Commissioners. Evaluating Smart Grid Reliability Benefits For Illinois. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 m. birželio 13 d.]. Prieiga per internetą: http://www.naruc.org/Publications/SERCAT_Illinois_2010.pdf
2. Electric Power Research Institute. Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 m. birželio 13 d.]. Prieiga per internetą: <http://blogs.edf.org/energyexchange/files/2014/06/EPRIcostsbenefits.pdf>
3. FARHANGI, Hassan. The Path of the Smart Grid. *IAEE power & energy magazine*. Jan/Feb. 2010, p. 18-28.
4. Smart Grid R&D Program. Smart Grid Standards and Conformance Testing. Konferencijos medžiaga. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 m. sausio 20 d.]. prieiga per internetą: http://energy.gov/sites/prod/files/4_Smart_Grid_Standards_and_Conformance_Testing.pdf
5. Investicijų į išmaniuosius tinklus apžvalga. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 gegužės 10d.]. <http://www.worldwatch.org/smart-grid-and-energy-storage-technologies-spread>
6. Išmaniųjų tinklų projektų statistika, Europos Komisija. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 gegužės 10d.]. <http://ses.jrc.ec.europa.eu/number-smart-grid-projects-country>
7. Aprūpinimo elektra patikimumo lygio techninė-ekonominė analizė, rekomendacijų dėl aprūpinimo elektra patikimumo teisinio reglamentavimo, įvertinant šalių patirtį, parengimas, Galutinė ataskaita. LEI Lietuvos energetikos institutas, 2006.
8. BROWN, R. E. Electric power distribution reliability. Boca Raton, Florida, CRC Press, 2009
9. NAVICKAS, Algimantas. Elektros energetikos sistemų patikimumas. Kaunas, Technologija, 2007.
10. AUGUTIS, J. Elektros Perdavimo tinklo patikimumo įvertinimo metodikos, Tarpinė ataskaita. LEI Lietuvos energetikos institutas, 2004.
11. ČEPONIS Ž., DEKSNYS R., MORKVENAS A., RAZMA A., JASIŪNAS K. Perdavimo tinklo elektros įrenginių būklės įvertinimo metodiniai nurodymai. Vilnius, Lietuvos energija, 2003.
12. „Lietuvos energija“ įmonių grupės metinė veiklos ataskaita. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 gegužės 10d.]. https://issuu.com/lietuvosenergija/docs/2016_04_07_metine_ataskaita
13. AB „ESO“ rekomenduotinių elementų kainynas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 gegužės 10d.]. http://www.eso.lt/stream/1139/rekomendacines_irenginiu_ir_medziagu_kainos_statybos_skaici%C4%8Diuojamajai_kainai_nustatyti.pdf

14. LR vyriausybės nutarimas dėl VIAP elektros energetikos sektoriuje. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 gegužės 10d.]. http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=463339
15. VKEKK patvirtinti investiciniai projektai į elektros energetikos sektorių. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 gegužės 10d.]. <http://www.vkekk.lt/elektra/Puslapiai/default.aspx>

Priedas Nr. 1. Elementų patikimumo rodikliai

Linijos nr.	Elementai, nuo-iki		Linijos ilgis, m	Apskaičiuotas gedimų dažnis, 1/m	Apskaičiuota atkūrimo trukmė, h	Gedimo tikimybė, %	Patikimumas, %
72	SP-88	Šeškinė	1860	0,65	27,00	0,23	99,77
82	SP-84	Šeškinė	1230	0,43	27,83	0,17	99,83
90	SP-96	Šeškinė	740	0,26	29,18	0,12	99,88
258	Viršuliškės	SP-100	1120	0,39	28,05	0,16	99,84
258	Viršuliškės	SP-100	1120	0,39	28,05	0,16	99,84
259	Viršuliškės	SP-88	740	0,26	29,18	0,12	99,88
260	Viršuliškės	SP-96	2140	0,75	26,77	0,26	99,74
262	Viršuliškės	SP-84	1650	0,58	27,21	0,21	99,79
263	Viršuliškės	SP-55	560	0,20	30,07	0,10	99,90
264	Viršuliškės	SP-55	560	0,20	30,07	0,10	99,90
472	SP-55	TR-920	320	0,11	32,08	0,08	99,92
473	SP-55	TR-922	450	0,16	30,83	0,09	99,91
475	SP-55	TR-944	310	0,11	32,19	0,08	99,92
476	SP-55	TR-1026	470	0,16	30,67	0,09	99,91
477	SP-55	TR-1026	470	0,16	30,67	0,09	99,91
567	SP-84	TR-940	930	0,33	28,53	0,14	99,86
571	SP-84	TR-1039	250	0,09	33,00	0,07	99,93
572	SP-84	TR-1039	250	0,09	33,00	0,07	99,93
574	SP-84	TR-1087	610	0,21	29,78	0,11	99,89
575	SP-84	TR-1093	350	0,12	31,74	0,08	99,92
576	SP-84	TR-1169	640	0,22	29,63	0,11	99,89
587	SP-88	SP-100	990	0,35	28,36	0,14	99,86
588	SP-88	TR-1247	560	0,20	30,07	0,10	99,90
589	SP-88	TR-1247	560	0,20	30,07	0,10	99,90
610	SP-96	TR-1110	690	0,24	29,39	0,11	99,89
614	SP-96	TR-1122	560	0,20	30,07	0,10	99,90
616	SP-96	TR-1181	1070	0,37	28,16	0,15	99,85
619	SP-100	TR-1205	530	0,19	30,25	0,10	99,90
620	SP-100	TR-1205	530	0,19	30,25	0,10	99,90
1102	TR-920	TR-921	270	0,09	32,71	0,07	99,93
1104	TR-921	TR-922	310	0,11	32,19	0,08	99,92
1105	TR-921	TR-1025	710	0,25	29,30	0,12	99,88
1114	TR-940	TR-941	650	0,23	29,58	0,11	99,89
1115	TR-941	TR-942	510	0,18	30,39	0,10	99,90
1116	TR-942	TR-943	480	0,17	30,60	0,09	99,91
1117	TR-943	TR-944	510	0,18	30,39	0,10	99,90
1155	TR-1026	TR-1025	490	0,17	30,52	0,09	99,91
1162	TR-1039	TR-1333	860	0,30	28,74	0,13	99,87
1163	TR-1039	TR-1333	860	0,30	28,74	0,13	99,87
1186	TR-1087	TR-1088	510	0,18	30,39	0,10	99,90
1187	TR-1088	TR-1089	560	0,20	30,07	0,10	99,90
1188	TR-1089	TR-1090	500	0,18	30,45	0,10	99,90

1189	TR-1090	TR-1091	610	0,21	29,78	0,11	99,89
1190	TR-1169	TR-1090	780	0,27	29,02	0,12	99,88
1191	TR-1091	TR-1097	430	0,15	30,99	0,09	99,91
1192	TR-1091	TR-1126	970	0,34	28,41	0,14	99,86
1193	TR-1092	TR-1093	470	0,16	30,67	0,09	99,91
1194	TR-1092	TR-1097	460	0,16	30,75	0,09	99,91
1200	TR-1110	TR-1126	370	0,13	31,54	0,08	99,92
1210	TR-1122	TR-1123	210	0,07	33,65	0,07	99,93
1211	TR-1124	TR-1123	360	0,13	31,64	0,08	99,92
1212	TR-1124	TR-1125	470	0,16	30,67	0,09	99,91
1213	TR-1126	TR-1125	420	0,15	31,07	0,09	99,91
1214	TR-1126	TR-1125	420	0,15	31,07	0,09	99,91
1241	TR-1181	TR-1169	840	0,29	28,81	0,13	99,87
1268	TR-1205	TR-1253	270	0,09	32,71	0,07	99,93
1269	TR-1205	TR-1253	270	0,09	32,71	0,07	99,93
1299	TR-1253	TR-1247	210	0,07	33,65	0,07	99,93
1299	TR-1253	TR-1247	210	0,07	33,65	0,07	99,93
1494	SP-100	SP-84	1250	0,44	27,79	0,17	99,83
1575	TR-1025	ST-2118	420	0,15	31,07	0,09	99,91
1576	TR-1025	ST-2118	420	0,15	31,07	0,09	99,91
1577	ST-2118	TR-1333	400	0,14	31,25	0,09	99,91
1578	ST-2118	TR-1333	400	0,14	31,25	0,09	99,91



Grupė		KTU			
Elektros ir elektronikos fakultetas					
Pareigos	V. Pavardė	Parašas	Data	Tiriamoji tinklo schema	
EMES - 4	Studentas	K. Vilkas			
Elektros energetikos sistemų katedra				Priedas Nr. 2	
				Laida	1/1
				Lapas	A