



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

VERSLO VADYBOS FAKULTETAS

FINANSŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Karolis Bužinskas

**INVESTICIJŲ EFEKTYVUMO ĮVERTINIMAS ATSINAUJINANČIŲ
ENERGIJOS IŠTEKLIŲ PROJEKTUOSE IŠMANIŲJŲ TINKLŲ
KONTEKSTE
EVALUATION OF INVESTMENT EFFICIENCY IN RENEWABLE
ENERGY PROJECTS IN SMART GRID CONTEXT**

Baigiamasis magistro darbas

Inžinerinės ekonomikos ir vadybos studijų programa, valstybinis kodas 621N20024

Verslo projektavimo specializacija

Vadybos studijų kryptis

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

VERSLO VADYBOS FAKULTETAS

FINANSŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

Finansų inžinerijos katedros vedėja

doc. dr. Algita Micevičiūtė
(Vardas, pavardė)

2016-12-21
(Data)

Karolis Bužinskas

**INVESTICIJŲ EFEKTYVUMO ĮVERTINIMAS ATSINAUJINANČIŲ
ENERGIJOS IŠTEKLIŲ PROJEKTUOSE IŠMANIŲJŲ TINKLŲ
KONTEKSTE**

**EVALUATION OF INVESTMENT EFFICIENCY IN RENEWABLE ENERGY
PROJECTS IN SMART GRID CONTEXT**

Baigiamasis magistro darbas

Inžinerinės ekonomikos ir vadybos studijų programa, valstybinis kodas 621N20024

Verslo projektavimo specializacija

Vadybos studijų kryptis

Vadovas

Dr. habil. Paulius Rudzinskas
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

[Signature]
(Parašas)

2016 12 21
(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

doc. dr. R. Vladaskevičius
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

[Signature]
(Parašas)

2016 12 21
(Data)

Vilnius, 2017

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Verslo vadybos fakultetas
Finansų inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Inžinerinės ekonomikos ir vadybos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Investicijų efektyvumo įvertinimas atsinaujinančių energijos išteklių projektuose išmaniųjų tinklų kontekste**

Autorius **Karolis Bužinskas**

Vadovas **Paulius Rudzakis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama atsinaujinančios energetikos plėtros ir jos integracijos į dabartinį elektros tinklą problema. Pirmame skyriuje analizuojama išmaniųjų tinklų koncepcija, technologijos, savybės ir saulės energetikos galimybės juose. Toliau pirmame skyriuje apžvelgiama išmaniųjų tinklų patirtis Europoje ir situacija Lietuvoje. Pabaigoje pirmame skyriuje vertinama išmaniųjų tinklų įtaka tradiciniams elektros kompanijų verslo modeliams. Antrajame skyriuje nagrinėjami pagrindiniai atsinaujinančios energetikos išmaniuosiuose tinkluose vertės kūrimo metodai, kuriais remiantis nustatomas investicinių projektų efektyvumas suinteresuotoms šalims. Šiame darbe nagrinėjama veiklų, kuriomis galima užsiimti išmaniajame tinkle, įtaka investiciniams atsinaujinančios energetikos projektams. Taip pat antrajame skyriuje pateikti projektų investicijų efektyvumo ir rizikos vertinimo metodai, labiausiai tinkantys atsinaujinančios energetikos projektams. Projekto efektyvumas apskaičiuojamas analizuojant investicijų į atsinaujinančios energetikos elektrinę sukuriamus pinigų srautus ir finansinius rodiklius. Trečiajame skyriuje vertinant suinteresuotas šalis ir jų gaunamą vertę, nagrinėjamas dabartinių realių saulės energetikos projektų potencialas kartu su jų integracija ir pinigų srautais išmaniuosiuose tinkluose. Tiriamajam objektui parenkama optimaliausia saulės elektrinė. Šiame skyriuje įvertinami pinigų srautai ir finansiniai rodikliai elektrinei dirbant tradiciniame elektros tinkle, o vėliau ją integravus į išmanųjį tinklą. Pabaigoje įvertinus suinteresuotų šalių gaunamą vertę, pinigų srautus ir finansinius rodiklius, palyginama abiem atvejais sukuriamą vertę.

Darbo sudėtis: Įvadas, atsinaujinančios energetikos vaidmuo išmaniuosiuose elektros tinkluose, atsinaujinančios energetikos projektų išmaniuosiuose elektros tinkluose investicijų efektyvumo vertinimo metodai, saulės energijos konkurencingumas ir investicijų grąža, išvados ir pasiūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 85 p. teksto be priedų, 19 iliustr., 4 lent., 121 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: atsinaujinanti energetika, investicijų į saulės energetiką efektyvumas, investicinis projektas, išmanieji elektros tinklai, saulės energijos projektai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Business Management
Department of Finance Engineering

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Engineering Economics and Management** study programme Master Final Thesis

Title **Evaluation of Investment Efficiency in Renewable Energy Projects in Smart Grid Context**

Author **Karolis Bužinskis**

Academic supervisor **Paulius Rudzkis**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

This master thesis analyses renewable energy development and integration to current electricity grid problem. The first chapter overlooks smart grid conception, technologies, features and solar energy potential in the grid. Later in the first chapter smart grid experience in Europe and situation in Lithuania is analysed. At the end of the first chapter the author study the smart grid influence to current electricity companies business models. In the second chapter the main value creation methods of renewable energy in smart grids are researched. Also it overlooks how these value creation methods can influence all of the stakeholders. This thesis analyses what activities in smart grid can be done using renewable energy and their influence to investment efficiency. Also the second chapter overlooks investment efficiency and risk evaluation methods that can be used for renewable energy applications. Project efficiency is evaluated using investment in renewable energy power plant money flows and financial indicators. The third chapter analyses solar power plant money flows and the value that stakeholders can obtain. In this chapter the best solar power plant is selected for an investigated object considering it's electricity consumption. Later in this chapter author analyses the financial indicators and money flows of solar power plant integrated and not integrated in a smart grid. At the end after evaluating stakeholders values, money flows and financial indicators both situations (smart grid integrated and not integrated) are compared.

Structure: Introduction, renewable energy role in smart grids, renewable energy projects in smart grids investment efficiency evaluation methods, photovoltaic solar power plant competitiveness and investment return, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 85 p. text without appendixes, 19 pictures, 4 tables, 120 bibliographical entries.

Appendixes included

Keywords: investment in solar energy efficiency, investment project, renewable energy, smart electricity grid, solar energy projects

TURINYS

IVADAS	13
1. ATSINAUJINANČIOS ENERGETIKOS VAIDMUO IŠMANIUOSIUOSE ELEKTROS TINKLUOSE.....	15
1.1 Išmaniųjų elektros tinklų technologijos ir infrastruktūra	15
1.2 Išmaniųjų elektros tinklų technologijų savybės ir privalumai.....	17
1.3 Atsinaujinančios energetikos technologijos	20
1.4 Saulės energetika, fotovoltinės saulės elektrinės ir jų veikimo principas	22
1.5 Išmaniųjų elektros tinklų patirtis Europoje	27
1.6 Išmanieji elektros tinklai Lietuvoje	31
1.7 Išmaniųjų elektros tinklų verslo modeliai ir jų įtaka tradicinėms elektros įmonėms	33
1.8 Skyriaus išvados	37
2. ATSINAUJINANČIOS ENERGETIKOS PROJEKTŲ IŠMANIUOSIUOSE ELEKTROS TINKLUOSE INVESTICIJŲ EFEKTYVUMO VERTINIMO METODAI	39
2.1 Vertės teorijos koncepcija	39
2.1.1 Vertės ir suinteresuotų šalių teorija	40
2.1.2 Vertės komponentai išmaniuosiuose tinkluose.....	41
2.1.3 Suinteresuotų šalių gaunama vertė	42
2.2 Investicinių projektų efektyvumo vertinimo metodai	43
2.3 Investicinių projektų efektyvumo ir rizikos vertinimo metodai	48
2.4 Skyriaus išvados	54
3. SAULĖS ENERGIJOS KONKURENCINGUMAS IR INVESTICIJŲ GRAŽA	55
3.1 Tiriamos saulės elektrinės efektyvumo įvertinimas	57
3.2 Investicijų į saulės elektrinę įvertinimas ir saulės elektrinės energijos gamybos prognozės. .	59
3.3 Pagrindiniai tiriamosios saulės elektrinės pinigų srautai.....	63
3.4 Saulės elektrinės integravimo į išmaniuosius elektros tinklus įranga ir kriterijai	65
3.5 Tiriamo projekto suinteresuotos šalys, jų vaidmuo ir sukuriamą vertę.....	66
3.6 Finansinių rodiklių naudojantis išmaniojo elektros tinklo paslaugomis vertinimas suinteresuotoms šalims	69

3.7 Gautų rezultatų palyginimas su saulės elektrinės pinigų srautais nenaudojant išmaniojo tinklo suteikiamų galimybių.	73
3.8 Skyriaus išvados	73
IŠVADOS IR SIŪLYMAI	75
LITERATŪRA	77

SANTRUMPOS

AEEAS – automatizuotos elektros energijos apskaitos sistemos

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai

BMS – baterijos valdymo sistema (*angl. battery management system*)

FIT – mokesčiai už atsinaujinančios energijos tiekimą į elektros tinklą (*angl. feed in tariff*)

GP – grynasis pelnas

IEA – tarptautinė energetikos agentūra (*angl. international energy agency*)

IRR – vidinė pelno norma (*angl. internal rate of return*)

kW – kilovatas

kWh – kilovatvalandė

NPV – grynoji dabartinė vertė (*angl. net present value*)

PI – rentabilumo indeksas (*angl. profitability index*)

PP – investicijų atsipirkimo laikas (*angl. payback period*)

ROE – nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis (*angl. return of equity*)

ROI – investicijų pelningumo rodiklis (*angl. return of investment*)

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Dalyvių-kategorijų sąveika išmaniajam tinkle (NIST framework 2014).....	17
1.2 pav. Saulės energijos potencialas Žemėje (Solar energy 2016).....	23
1.3 pav. Lietuvos saulės energijos žemėlapis (Solar energy 2016).....	23
1.4 pav. Saulės elektrinių kainų kitimas pasaulyje 1977-2013 (Pricing sunshine 2012).....	24
1.5 pav. Bendra pasaulio fotovoltinių saulės elektrinių galia (Sawin <i>et. al.</i> 2016).....	25
1.6 pav. Išmaniųjų tinklų projektai Europoje (Covrig <i>et. al.</i> 2014).....	28
1.7 pav. Projektų skaičius pagal grupę Europos valstybėse (Covrig <i>et. al.</i> 2014).....	29
1.8 pav. Projektų skaičius pagal projektų tipą (Covrig <i>et. al.</i> 2014).....	29
3.1 pav. Investicijos į atsinaujinančią energetiką pagal energetikos rūšį 2015 metais (McCrone <i>et. al.</i> 2016)	56
3.2 pav. Metinė saulės ekspozicija Lietuvoje (Huld <i>et. al.</i> 2012).....	58
3.3 pav. Mėnesinis tiriamojo objekto elektros energijos suvartojimas	59
3.4 pav. Saulės elektrinė efektyvumas pagal pokrypio kampą ir geografinį nuokrypį	60
(5-10kW saulės 2016).....	60
3.5 pav. 10 kW saulės elektrinės Klaipėdos teritorijoje metinis elektros energijos gamybos kiekis ir nuosavo namo elektros energijos suvartojimas (Šaltinis: PVSOL programa)	60
3.6 pav. 10 kW saulės elektrinės metinės energijos prognozės: pesimistinė, vidutinė ir optimistinė.	62
3.7 pav. Saulės modulių efektyvumo kitimas laike (The real 2014).....	63
3.8 pav. Diskontuotos saulės elektrinės pajamos ir paskolos grąžinimo išlaidos, su $i=3\%$	64
3.9 pav. Elektros paslaugų išmaniajame tinkle vertės (Fitzgerald <i>et. al.</i> 2015).....	66
3.10 pav. Diskontuoti saulės elektrinės projekto išmaniajame elektros tinkle pinigų srautai, kai diskonto norma lygi 3%.....	70
3.11 pav. Diskontuoti saulės elektrinės projekto išmaniajame elektros tinkle pinigų srautai elektros tinklo operatoriui, kai diskonto norma lygi 3, 5 ir 7%.	72

Lentelių sąrašas

1.1 lent. Nacionalinio standartų ir technologijos instituto konceptualaus išmaniojo elektros tinklo modelio kategorijos (NIST framework 2014)	16
2.1 lent. Saulės energijos technologijų sukuriame vertė išmaniuosiuose tinkluose kiekvienai suinteresuotai grupei.....	43
3.1 lent. Saulės elektrinės pokrypio kampai kiekvieną mėnesį Klaipėdos regione (Solar angle 2016)	57
3.2 lent. Investicijos į 10kW saulės elektrinę su 10kWh baterija (Šaltinis: MB „Elektra man“)	61

IVADAS

Problema

Pasaulio energetikos sistema patiria didelius pokyčius – krenta priklausomybė nuo iškastinio, kuro, didėja atsinaujinančių energijos išteklių integracija. Šie pokyčiai matomi jau dabar, taip pat po Paryžiaus klimato kaitos konferencijos atsinaujinančių energijos išteklių integracija į elektros tinklus nesustabdomai didės ir Lietuva nebus išimtis. Kaip ir atsinaujinanti energetika, išmanusis elektros tinklas yra neišvengiama transformacija pasaulio energetikoje. Norint prisitaikyti prie greitai kintančių pasaulio energetikos tendencijų būtina sukurti ne tik energetiškai, bet ir ekonomiškai efektyvų elektros tinklą. Norint vystyti šalies ekonomiką kartu su energetika būtina ruošti efektyvius atsinaujinančios energijos integracijos į išmanųjį elektros tinklą investicinius projektus, o tam pasiekti reikia išanalizuoti šios energetikos rūšies potencialą, konkurencingumą ir investicijų efektyvumą.

Aktualumas

Šiuo metu visame pasaulyje norima atsisakyti priklausomybės nuo iškastinio kuro taip mažinant taršą aplinkai ir žmonėms. Jau nuo 1992 metais vykusios tarptautinės konferencijos pasaulinės programos „Darbotvarkė 21“ buvo pradėta imtis aktyvių veiksmų aplinkos išsaugojimo procese, kadangi buvo akivaizdžiai pastebėta, kad aplinkos tarša vis dar auga ir ją reikia stabdyti bei mažinti.

Naujame 2014-2020 metų Europos Sąjungos programos plane yra numatyta, kad tiek valstybės, tiek viso pasaulio tikslas yra padidinti atsinaujinančių energijos išteklių vartojimą energijos ir šilumos gamybai. Atsižvelgdama į tai ES Komisija suformavo savo energetikos politiką iki 2020 metų, kaip vadinamųjų trijų „20 proc.“ tikslų įgyvendinimą:

- 20 procentų sumažinti galutinį energijos suvartojimą;
- 20 procentų sumažinti CO₂ emisiją;
- 20 procentų energijos gaminti, naudojant atsinaujinančius energijos išteklius (AEI).

Tačiau po Paryžiaus 2016 metais vykusios klimato kaitos konferencijos šie tikslai daugelyje šalių planuojami būti stipriai pakelti. Šiame susitikime dalyvavo net 195 šalių atstovai, kurie sutarė, kad Žemėje temperatūra negali pakilti daugiau nei 1,5°C. Iš šių valstybių 117 jau ratifikavo susitarimą, taigi atsinaujinančių energijos išteklių plėtra nesustos augti. Taip pat savo poveikį klimato kaitai daugelis valstybių planuoja sumažinti per energijos efektyvumo energetikoje didinimą – išmaniųjų elektros tinklų vystymą (Paris agreement 2016).

Kadangi iškastinio kuro kiekiai yra riboti, reikia kurti ir vystyti atsinaujinančių energijos išteklių plėtrą. Lietuvoje yra itin daug neišnaudoto saulės energijos potencialo. Šio tipo energijos plėtra šiuo metu yra labai skatinama ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje.

Dėl atsinaujinančios energetikos integracijos kinta pati energetikos struktūra, rinka ir tiekimas. Vartotojai tampa iniciatyvūs, pradeda elektros energiją gamintis patys, o perteklinę parduoti. Dabartiniai elektros tinklai, sukurti elektros energijai tiekti į vieną pusę, greitai taps nebetinkami naudoti dėl dvipusės elektros srautų, monitoringo stokos ir didėjančių apkrovų.

Saulės energetika tampa vis populiareesnė ir plačiau naudojama Lietuvoje, Europoje ir pasaulyje. Naujos saulės elektrinės gali generuoti elektros energiją daugiau nei 30 metų. Kartu su vis didėjančia atsinaujinančių energijos išteklių integracija į elektros tinklą transformuojasi ir pats tinklas. Dėl šio ilgaamžiškumo ir energetikos tinklų pokyčių būtina įvertinti saulės elektrinių projektų potencialą išmaniuosiuose tinkluose.

Tikslas

Magistrinio darbo tikslas yra išnagrinėti ir įvertinti investicijų į atsinaujinančios energetikos projektus išmaniuosiuose elektros tinkluose efektyvumą.

Darbo uždaviniai

Šio baigiamojo magistro darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti išmaniųjų elektros tinklų technologijas, infrastruktūrą ir savybes.
2. Apžvelgti atsinaujinančios energetikos technologijas ir įvertinti jų potencialą išmaniuosiuose tinkluose.
3. Išanalizuoti tinkamiausius metodus investicijų į atsinaujinančios energetikos projektus išmaniuosiuose tinkluose efektyvumo įvertinimui ir pritaikyti juos tiriamai saulės elektrinei.
4. Įvertinti investicijų į saulės elektrinės integruotos į išmanųjį elektros tinklą projekto efektyvumą.

Praktinė darbo vertė

Saulės energetikos plėtra sparčiai didėja ir po pasaulyje matomų energetikos sistemos pokyčių neišvengiamai augs. Kartu su saulės ir kitos atsinaujinančios energetikos plėtra keičiasi ir patys elektros tinklai, kad galėtų prisitaikyti prie sunkiau nuspėjamų elektros generavimo pokyčių. Atsižvelgiant į šią situaciją būtina išnaudoti saulės energetikos potencialą elektros tinkluose. Įvertinus saulės energetikos projektų potencialą išmaniuosiuose elektros tinkluose bus galima daug efektyviau išnaudoti turimus saulės energijos ir finansinius išteklius.

1. ATSINAUJINANČIOS ENERGETIKOS VAIDMUO IŠMANIUOSIUOSE ELEKTROS TINKLUOSE

1.1 Išmaniųjų elektros tinklų technologijos ir infrastruktūra

Kartu su strateginiais energijos tikslais Europos Komisija sukūrė išmaniojo tinklo viziją (European commission 2006, 2007, 2011), kuri reikalauja esminių pokyčių dabartinėje elektros energetikos sistemoje, pagrįstoje centralizuotu energijos paskirstymu ir vienos krypties elektros energijos tiekimu. Naujas, išmanus, skaitmenizuotas elektros tinklas atvertų duris naujoms technologijoms – elektromobilių naudojimui elektros tinkle, paklausos-pasiūlos sistemoms (*angl. Demand response*), optimaliam ir kokybiškai kontroliuojamam elektros energijos tinklui (energijos švaistymo mažinimas, priežiūros, tvarkymo, elektros praradimo išlaidų kritimas) ir naujos energijos rinkos sukūrimui (nauji verslo modeliai, nauja rinka, nauji rinkos dalyviai, vartotojų įtraukimas).

Išmanusis tinklas tikslaus apibūdinimo dar neturi, daugelis tyrėjų jį apibūdina skirtingai. Remiantis strateginio išdėstymo dokumentu Europos elektros ateities tinklams (*angl. Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future*) išmanus tinklas yra elektros tinklas, galintis automatiškai integruoti visų tinklo vartotojų – generatorių, vartotojų ir darančių abiejų, veiksmus, kad saugi, švari ir saugi elektra būtų tiekiamą efektyviai (The smart 2008). Pagal tarptautinį standartų ir technologijos institutą (*angl. National Institute of Standards and Technology*) išmanusis tinklas yra elektros tinklas, kuriame integruota daugybė skirtingų skaitmeninių duomenų apdorojimo ir susisiekimo technologijų ir paslaugų elektros tinklui infrastruktūra. Jį sudaro ne tik išmanieji skaitikliai, jis apima ir dvipusės elektros srauto ir komunikacijos valdymą, kurdamas naujas galimybes (NIST framework 2014). Kitais žodžiais išmaniojo tinklo galimybės yra labai plačios ir iki galo dar nėra žinomos.

Išmanusis tinklas yra kitos kartos elektros energijos tinklas, galintis optimizuoti energijos efektyvumą naudojant realiojo laiko (*angl. Real time*) informaciją tarp vartotojų, tiekėjų ir skirstytojų integruojant informacijos, komunikacijos ir išmaniojo elektros valdymo technologijas į dabartinį elektros tinklą. Dėl nuolat kintančių elektros energijos rinkos kainų energijos suvartojimas gali būti kontroliuojamas ir optimizuotas. Jau nuo 2009 metų daugelis šalių visame pasaulyje aktyviai stengiasi sukurti ir integruoti išmaniąsias technologijas į savo elektros tinklus, norėdami padidinti savo energetinę nepriklausomybę, integruoti daugiau atsinaujinančios energijos technologijų, sumažinti elektros tinklo priežiūrai skiriamas išlaidas ir sumažinti taršą. Visos šios valstybės pradėjo diegti išmaniuosius skaitiklius, kurie yra laikomi pirminiais išmaniojo tinklo elementais (Park *et. al.* 2014)

Išmanieji tinklai yra sudaryti iš išmanių elektros energijos matavimo įrenginių, aukšto lygio elektros tinklo automatizavimo, išskirstyto elektros energijos generavimo, didelio kiekių mažų

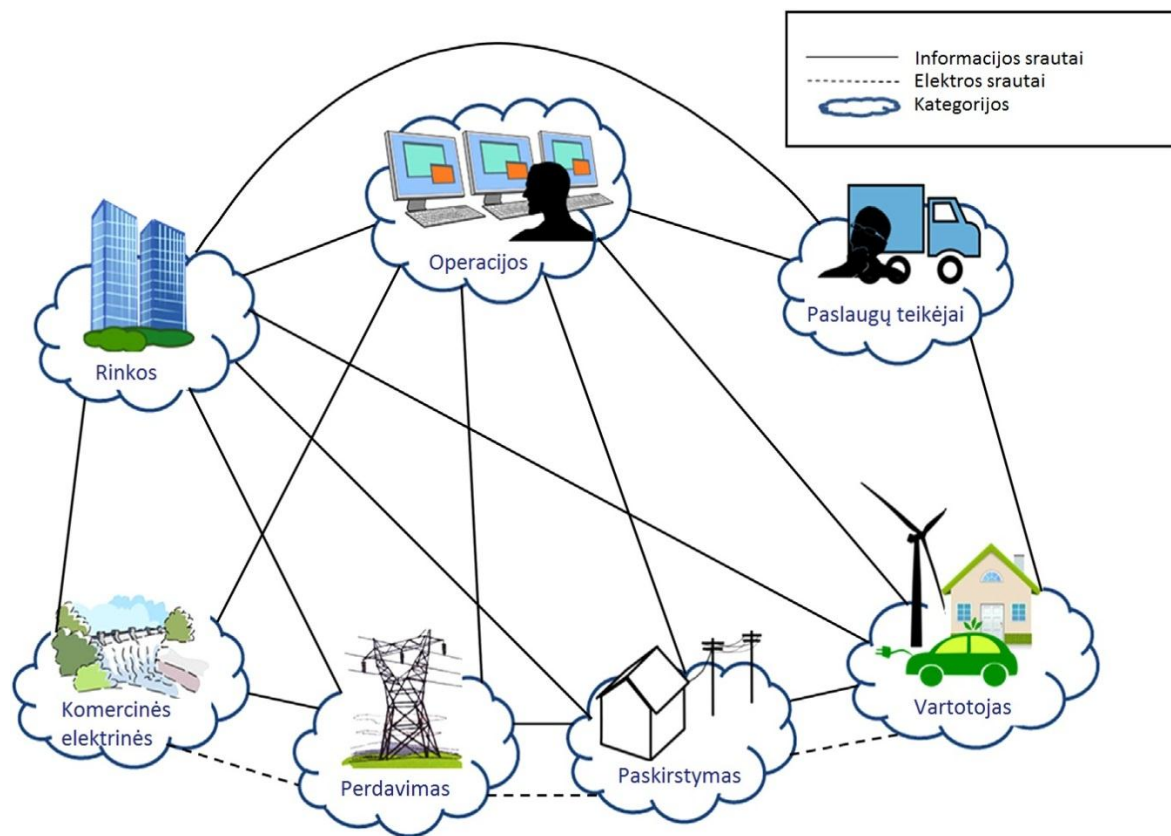
elektros generatorių, dvipusio elektros tekėjimo, energijos talpyklų ir informacinių technologijų infrastruktūros (Amin; Woolberg 2005, Fox-Penner 2010).

Išmanusis elektros energijos tinklas gali sukurti elektros tinklo „platformą“, kuri maksimizuos patikimumą, prieinamumą, efektyvumą, ekonominę naudą ir aukštesnį energetinį saugumą kokybiškiau apsaugodamas nuo natūralių ir nenatūralių pavojų energijos nutraukimui (Keyhani 2011).

Nacionalinis standartų ir technologijos institutas pristatė konceptualų išmaniojo elektros tinklo modelį, kuris atitinka šiuo metu sukurtus išmaniojo tinklo planavimo, vystymo, dokumentacijos ir įrangos kriterijus, kurie turėtų sudaryti išmanųjį tinklą (NIST framework 2014). Išmanusis tinklas buvo suskirstytas į 7 kategorijas, apibūdinančias visus išmaniajame elektros tinkle dalyvaujančius dalyvius, kurios pavaizduojamos 1-oje lentelėje.

1.1 lent. Nacionalinio standartų ir technologijos instituto konceptualaus išmaniojo elektros tinklo modelio kategorijos (NIST framework 2014)

Kategorija	Apibūdinimas
1. Vartotojai	Kategorija, kurios dalyviai vartoja elektros energiją. Privatūs, komerciniai ir pramoniniai vartotojai. Dalyviai gali ir gaminti ar talpinti elektrą ir valdyti elektros energijos suvartojimą.
2. Rinkos	Kategorija, kurioje vyksta elektros tinkle vykstantys mainai. Dalyviai čia gali būti visi elektros rinkos dalyviai.
3. Paslaugų teikėjai	Kategorija, kurioje teikiamos priežiūros ar pagalbos paslaugos gamintojams, skirstytojams ir vartotojams. Čia dalyviai yra organizacijos, teikiančios paslaugas elektros vartotojams, gamintojams ir skirstytojams.
4. Operacijos	Šioje kategorijoje užtikrinami tinkami procesai elektros tinklui palaikyti. Dalyviai šioje kategorijoje valdo elektros energijos srautus.
5. Komercinės elektrinės	Pradiniai elektros energijos taškai, kuriose elektra generuojama dideliais kiekiais. Dalyviai yra didelės komercinės elektrinės, galinčios gaminti, talpinti ir tiekti aukštos įtampos elektros energiją.
6. Elektros perdavimas	Šioje kategorijoje vyksta didelių energijos kiekių perdavimai, dalyviai šioje kategorijoje yra aukštos įtampos elektros skirstymo tinklai.
7. Elektros paskirstymas	Kategorija, kurioje vyksta perdavimas galutiniam elektros vartotojui, matuojamas elektros suvartojimas. Dalyviai čia yra žemos įtampos elektros skirstymo tinklai.



1.1 pav. Dalyvių-kategorijų sąveika išmaniajam tinkle (NIST framework 2014)

Apžvelgus visas konceptualaus išmaniojo elektros tinklo modelio kategorijas 1 lentelėje galima įvertinti ir jų sąveiką, kuri pavaizduota 1.1 paveiksle. Išmaniajame tinkle kiekviena kategorija sąveikauja su mažiausiai 2 kitom kategorijom. Išskiriami 2 sąveikos tipai: elektros srautai ir informacijos srautai. Informacijos srautai vyksta tarp visų kategorijų, kuomet elektros srautai vyksta tik tarp komercinių elektrinių, perdavimo, paskirstymo ir vartotojų kategorijų. Svarbiausios ir daugiausia įtakos turinčios kategorijos išmaniajame tinkle yra operacijos ir rinkos, kadangi jos kontroliuoja visus elektros srautus ir elektros kainas.

1.2 Išmaniųjų elektros tinklų technologijų savybės ir privalumai

Išmanusis elektros tinklas nėra naujas elektros tinklas, tai patobulintas šiuo metu turimas elektros tinklas. Šis tinklas gali turėti daug funkcijų ir privalumų, kurie apibendrintai gali būti įvardinti kaip išmaniojo tinklo funkcionalumas. Pagrindinės 6 išmaniojo elektros tinklo savybės yra nenutraukiama elektros energija, paskirstytų energijos išteklių integracija į elektros tinklą, paklausos-pasiūlos paslauga, išmanusis elektros srautų monitoringas, išmaniųjų įrenginių integracija ir baterijų sistemos ir elektromobilių integracija į bendrą elektros tinklą.

Nenutraukiama elektros energija

Patikima ir nenutraukiama elektros energija yra būtina kiekvienai elektros sistemai, kad energija pasiektų kiekvieną vartotoją. Išmanieji tinklai padidina klaidų identifikavimo galimybes ir užfiksavę tam tikras klaidas gali jų nebedaryti (Xia *et. al.* 2014). Kadangi elektros tinklai nuolat

auga ir darosi vis sudėtingesni išanalizuoti tinklą tampa vis sudėtingiau, tačiau taikant naujus metodus ir automatizuojant tinklą tai tampa vis paprasčiau (Doguc; Emmanuel 2012). Nuotolinis hibridinės elektros sistemos monitoringas ir automatizuotas išmanusis elektros tinklo valdymas nuolat kintančiame paskirstymo lygmenyje labai stipriai prisideda prie efektyvumo (Colmenar-santos *et. al.* 2015).

Paskirstytų energijos išteklių integracija į elektros tinklą

Paskirstyti energijos ištekliai yra nedidelės galios energijos generatoriai, kurie gali padėti energijos trūkumo tinkle atveju. Tokie maži generatoriai gali būti baterijų sistemos, atsinaujinančios energijos elektrinės ir kt., kurie palengvina perėjimą į išmaniuosius elektros tinklus (Distributed energy 2016). Intensyvi atsinaujinančių energijos išteklių integracija į elektros tinklą stipriai padidina ne tik atskirų energijos vienetų, bet ir visos valstybės energetinę nepriklausomybę. Į paskirstytą elektros energijos gamybą, į kurią įeina vėjo, saulės elektrinės ir baterijų sistemos taip pat galima įtraukti ir geotermine energiją ar elektromobilius (Howlander *et. al.* 2015). Tačiau tokių generatorių įtraukimas į išmanųjį tinklą reikštų didelius informacijos kiekius ir informacijos mainus.

Paklausos-pasiūlos paslauga

Federalinė energijos reguliavimo komisija (*angl. Federal Energy Regulation Commission*) paklausos-pasiūlos paslauga apibūdina kaip pokyčius elektros suvartojime reaguojant į elektros kainų kitimą laike arba kaip paskatinamąją priemonę sumažinti elektros energijos suvartojimą, kuomet elektros kaina yra aukšta (Reports on 2015). Ši paslauga vartotojams suteikia galimybę dalyvauti elektros tinklo valdyme sumažinant savo elektros suvartojimą arba perkeltiant jį į kitą laiką ir taip gaunant finansinę paramą.

Išmanusis elektros srautų monitoringas

Elektros srovės matavimas, informacijos kaupimas ir apdorojimas yra būtinas išmaniųjų tinklų vystymui, kadangi taip yra perprantama vartotojų elgsena ir koreguojamas elektros energijos tiekimas. Elektros energijos paskirstymo automatizavimas visuomet susijęs su išmaniaisiais elektros energijos skaitikliais. Dėka pažangios elektros matavimo infrastruktūros operatoriai ir skirstytojai galėtų surinkti tikslesnę informaciją daug greičiau ir taip padidinti elektros energijos tiekimo patikimumą. Įdiegus šias technologijas ir automatizavus elektros energijos tinklą būtų galima aktyviai modernizuoti elektros tinklą – kokybiškesnis transformatorinių ir skirstymo tinklų monitoringas, elektros dingimo atvejų analizavimas ir klaidų taisymas, taip pašalinant panašias klaidas ateityje ir elektromobilių integravimas į bendrą elektros tinklą (How advanced 2012).

Išmaniųjų įrenginių integracija

Išmanieji įrenginiai yra įranga, galinti komunikuoti ir keistis informacija su elektros energijos tinklu, automatiškai išsijungti esant dideliame energijos vartojimui tinkle ir įsijungti,

kuomet tinkle apkrovų nėra. Išmanieji įrenginiai, namai gali atlikti ne ir energijos talpinimo paslaugas esant per dideliu energijos kiekiui tinkle (Nistor *et. al.* 2015; Xue *et. al.* 2015). Tokie įrenginiai pakoreguoja namo elektros suvartojimą, padeda užtikrinti bendrą elektros tinklo stabilumą ir gali vartotojui sumažinti sąskaitas už elektros energiją.

Baterijų sistemos ir elektromobilių integracija

Elektros talpinimas ir technologijos, kurių pagrindinis tikslas yra koreguoti ir mažinti apkrovas elektros tinklui yra privaloma funkcija išmaniajam elektros tinklui. Baterijų sistemos yra privalomos, kadangi išmanusis tinklas reikalauja atsinaujinančios energijos generatorių įtraukimo į tinklą, o tokie energijos ištekliai yra kintami ir nepastovūs. Perteklinė energija, pagaminta iš atsinaujinančių energijos išteklių turi būti talpinama baterijų sistemose ir esant elektros trūkumui tinkle duodama vartotojams. Elektromobiliai gali atlikti šią funkciją – jie gali tapti nepriklausomomis baterijų sistemomis. Prisijungę prie tinklo jie gali tiek nuimti apkrovas nuo tinklo esant elektros tinklo perkrovimo pavojui, tiek ir tiekti elektros energiją į tinklą, esant jos trūkumui (Car prototype 2007).

Išmaniojo elektros tinklo teikiami privalumai yra saugumas – energetinis saugumas vartotojo ir valstybės lygmeniu. Aplinkos tausojimas – maksimalus elektros energijos išteklių optimizavimas prioriteta teikiant atsinaujinančiai, švariai energetikai, mažinant iškastinį kurą naudojančių elektrinių elektros gamybą, su aplinkos apsauga taip pat galima įsikačiuoti ir netiesiogines išlaidas sveikatos sistemai, įvertinti ligų kiekį, sukeltą būtent dėl atmosferos užterštumo. Elektros energijos kainos kritimas – dėl didėjančios atsinaujinančių energijos išteklių integracijos ir nuolat krentančių jos kainų sumažėtų ir bendra elektros kaina. Gyvenimo kokybė – optimaliai išnaudojant elektros energiją ir turimus elektros generatorius būtų galima ženkliai sumažinti elektros energijos suvartojimą, tuo pačiu ir sąskaitas už elektros energiją. Gyvenimo kokybės augimas – sumažinant taršos sukeltų ligų skaičių ir išlaidas už elektros energiją atitinkamai padidėtų ir gyvenimo kokybė. Elektros tinklų patikimumas – optimali elektros tinklų priežiūra ir kontrolė sumažintų ar net panaikintų elektros dingimus ir stipriai sumažintų elektros energijos tinklų tvarkymo išlaidas.

Išmanusis elektros tinklas gali pasiūlyti didesnę saugumą tiek vartotojui, tiek ir valstybei integruojant išskirstytus atsinaujinančių energijos išteklių generatorius į tinklą. Taip mažinant energijos poreikį valstybinio svarbumo tikslams. Išmanusis elektros tinklas yra ne tik tvirtesnis, bet ir lankstesnis fizine ir kibernetine prasme, būtent todėl jo dėka sumažėja gamtos arba žmogaus daroma žala. Taigi išmaniojo elektros tinklo saugumo privalumai gali būti išreiškiami kaip tikimybė, kad elektros tinklui bus padaroma kibernetinė ar fizinė ataka sumažinimas, sumažintas elektros tinklo atstatymo laikas po gamtinės katastrofos dėl išskirstytų energijos išteklių, vagysčių ar vandalizmo sumažinimas dėl didesnio klaidos nustatymo tikslumo ir mirčių ar susižalojimų

sumažinimas dėl elektros tinklo automatizavimo. Visi šie privalumai sumažins elektros dingimo tikimybę, kuri pažeidžia vartotojų saugumą (Wakefield *et. al.* 2010).

Augantys išskirstytų elektros generatorių ištekliai didina elektros tinklo tvirtumą ir atsparumą jam suteikdami natūralią atbaidymo sistemą kartu suteikiant vartotojams naujas galimybes kuomet elektros tinklas yra neveikiantis. Išmanieji skaitikliai elektros tinklo infrastruktūrai suteiks daug greitesnę ir efektyvesnę komunikaciją, reakcijos laiką tiek individualaus vartotojo tiek ir regiono lygmeniu. Taip pat šie skaitikliai suteikia galimybę sumažinti ar atjungti vartotoją nuo elektros tinklo esant tam tikriems nesklaidumams. Paklausos-pasiūlos programa yra vertinga tuo, kad efektyviau prižiūrimas elektros tinklas, esant elektros trūkumai elektra gali būti itin greitai perduodama, o esant per didelėms apkrovoms-paimama. Elektros tinklo automatizavimas ir informacinių technologijų integravimas tinklo operatoriams suteiks galimybę stebėti bandymus įsilaužti į elektros tinklą, galimybę šią riziką panaikinti. Taip pat leis lengviau identifikuoti elektros perdavimo sutrikimo vietas ir priežastis, taip suteikiant galimybę jas panaikinti.

1.3 Atsinaujinančios energetikos technologijos

Atsinaujinanti energetika apibūdinama kaip energetikos rūšis, kuri savo energijos išteklius gauna iš natūralių gamtos reiškinių, tokiu kaip saulės šviesa, vėjas, lietus, bangos, srovės ar geoterminės energijos. Ši energetikos rūšis dažniausiai naudojama elektros energijos generavimui, oro ar vandens šildymui/vėsinimui ir transportui (Ellabban *et. al.* 2016). Atsinaujinančios energetikos ištekliai egzistuoja absoliučiai visose geografinėse alokacijose, skirtingai nei tradiciniai gamtiniai ištekliai. Greitas AEI vystymas ir energijos efektyvumo didinimas prisidėjo prie energetinio saugumo vystymo, klimato kaitos mažinimo ir ekonomikos (Heidari; Pearce 2016).

Atsinaujinanti energetika yra neišsenkama, kadangi ji atsiranda dėl natūralių gamtos reiškinių. Daugiausia energijos Žemei suteikia Saulė, kadangi dėl jos vyksta daugiausia gamtos reiškinių. Ši energija gali būti panaudojama tiesiogiai – fotovoltinėse saulės elektrinėse arba netiesiogiai – vėjo elektrinėse ar kito AEI tipo elektrinėse.

Dėl vis didėjančio susirūpinimo klimato kaita ir jos poveikiu žmonijai stipriai kyla tokių gamtinių išteklių kaip nafta ar dujos kainos, o AEI technologijos vis labiau subsidijuojamos. Remiantis IEA prognozėmis ateityje AEI technologijos taps pagrindiniu energijos šaltiniu (Solar may 2011). Bendrai AEI yra skirstoma į saulės energetiką, vėjo energetiką, hidroenergetiką, bioenergetiką ir geoterminę energiją.

Saulės energetika yra viena populiariausių AEI rūšių. Ji naudoja tiesioginę saulės šviesą gaminti elektros energijai ar kaitinti vandenį. Saulės energetika skirstoma į fotovoltinę energiją ir koncentruotą saulės energiją. Fotovoltinė saulės energija tiesioginius saulės spindulius paverčia elektros energija, o koncentruota naudoja veidrodžius, kurie kaitina skystį, esantį specialiose talpose, kuris vėliau generuoja elektros energiją garo turbinos principu (Solar energy 2011).

Fotovoltinės saulės elektrinės pastaruoju metu tapo labai paklausios dėl nuolat didėjančio efektyvumo ir krentančios kainos (Lopez *et. al.* 2012). 2014 metais saulės energija visoje Žemėje sugeneravo 186 TWh elektros energijos (Archer; Jacobson 2005).

Vėjo energetika taip pat yra labai populiari AEI rūšis. Vėjo energetikoje naudojama kinetinė vėjo energija, kuri suka vėjo elektrinių mentes ir elektra gaminama elektromagnetinės indukcijos principu. Vėjo elektrinės gali būti įvairiausių dydžių, nuo mažų mikro-jėgainių iki milžiniškų vėjo elektrinių parkų (Wind power 2016). Vėjo elektrinės gali būti įvairios, jos gali būti antžeminės, jūrinės, vertikalios, horizontalios ašies, sumontuotos pavėjui arba prieš vėją (Types of 2014). Vėjo jėgainės dažniausiai statomos vėjuotose teritorijose – prie jūrų, atviruose laukuose, aukštumose. 2014 metais vėjo elektrinės pagamino net 706TWh elektros energijos (Archer; Jacobson 2005).

Hidroelektrinės yra statomos jau itin senai, todėl jos sudaro net 70% viso pasaulio AEI. Hidroelektrinės statomos upėse, užtvėnkiant jas, suformuojant didelius vandens telkinius. Vėliau vandeniui tekant sukami elektros generatoriai, kurie gamina elektros energiją. Elektra iš hidroelektrinių gaminama net 150 pasaulio šalių ir 2015 metais pagamino 16,6% viso pasaulio elektros energijos (Statistical review 2016).

Bioenergetikoje dažniausiai naudojama biomasė, kuri gali būti atliekos, mediena ar kitos medžiagos gautos iš gyvų organizmų. Biomasė gali būti naudojama bioelektinėse ar bioreaktoriuose, kur ji paverčiama dujomis iš kurių galima gaminti elektrą ar tiekti šilumos energiją. Bioenergetika skirtingai nei vėjo ar saulės energija yra stabilesnė ir lengviau kontroliuojama. Taip pat ši energetikos rūšis tampa vis populiareesnė transporto sektoriuje. 2010 metais visame pasaulyje veikė 35GW biomasę naudojančių elektrinių (Bioenergy 2016).

Geoterminė energija naudoja Žemės šilumą kaitinti vandeniui ir vėliau gaminti šilumą arba elektros energiją. Mąstoma, kad Žemės branduolio temperatūra siekia 5.000°C, taigi kuo giliau nutiesiami geoterminių elektrinių vamzdžiai tuo didesnę temperatūrą jie gali pasiekti. Geoterminė energetika plačiau naudojama valstybėse, kuriose yra ugnikalniai, kadangi tose teritorijose žemė yra labiau įkaitusi. Geoterminės elektrinės veikimo principas yra tas, kad vamzdžiais vanduo nuleidžiamas į žemę, kur jis įkaista ir tuomet jis pakeliamas atgal į viršų, kur yra naudojamas šilumos tiekimui arba elektros energijos generavimui garo turbinose. 2010 metais visame pasaulyje veikė 10.715 GW geoterminių elektrinių, kurios gali sugeneruoti 67,246GWh elektros energijos (Geothermal energy 2016).

Taigi AEI natūrali prigimtis leidžia prie elektros energijos prieiti absoliučiai visiems pasaulio gyventojams. Ši energijos rūšis yra švari ir planuojama, kad ateityje bus pagrindinis energijos šaltinis. AEI skirstoma į saulės energiją, vėjo energiją, hidroeneriją, bioeneriją ir

geotermine energiją. Šiame baigiamajame magistro darbe daugiausia dėmesio bus kreipiama saulės energetikai dėl didelių jos perspektyvų, prieinamumo ir efektyvumo.

Lietuvoje populiariausios AEI sritys yra hidroenergija, vėjo ir saulės energetika. Hidroenergijos projektų rengimas dažniausiai būna itin sudėtingas, kadangi reikia apsvarstyti daugelį faktorių: vandens telkinių kitimą, žuivitakius, įtaką ekosistemai ir pan. Situacija su vėjo elektrinėmis yra šiek tiek paprastesnė, tačiau vėjo greitis Lietuvoje yra itin žemas, ypač nedideliuose aukščiuose, taigi investicijos į mažas vėjo elektrines dažniausiai nėra efektyvios, norint, kad vėjo elektrinės generuotų pajamas rekomenduotina statyti dideles vėjo elektrines. Saulės elektrinės Lietuvoje turi palankias sąlygas plėtrai, kadangi jos gali būti bet kokio dydžio ir statomos bet kurioje teritorijoje, nes jų generuojama elektra stipriai nesiskirs. Taip pat saulės elektrinės nereikalauja didelių investavimo išlaidų, specialių leidimų ar sudėtingo projektavimo. Būtent dėl šių priežasčių šiame baigiamajame magistro darbe pasirinkta nagrinėti saulės energetiką.

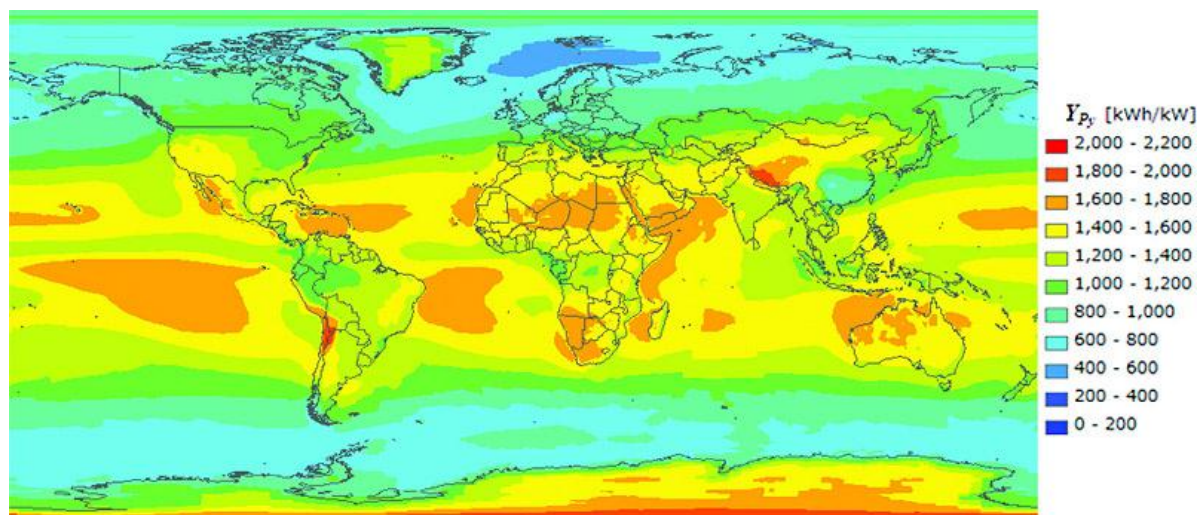
1.4 Saulės energetika, fotovoltinės saulės elektrinės ir jų veikimo principas

Saulės energija – Saulėje vykstančių reakcijų metu išsiskirianti energija. Saulės energija, pasiekusi Žemę, lemia jos klimatą ir palaiko gyvybę, tačiau tą energiją taip pat galima panaudoti ir paversti šilumos ar elektros energija.

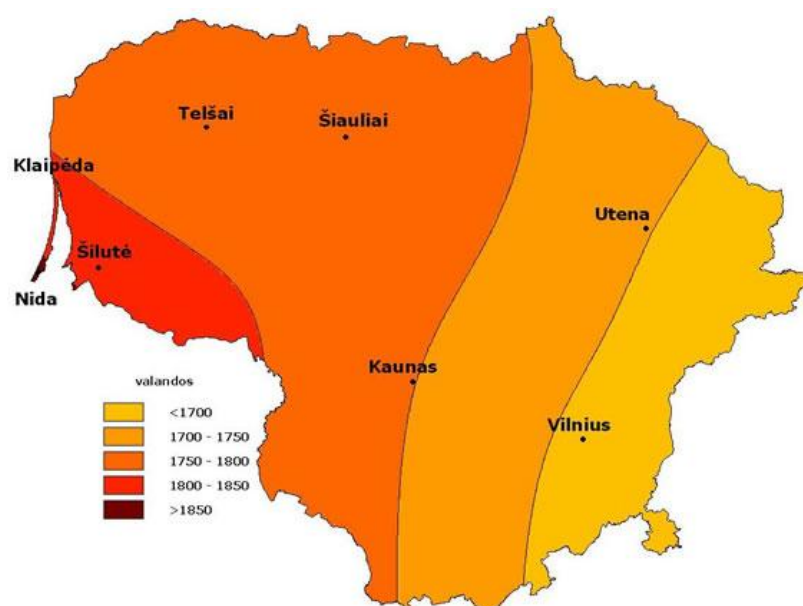
Žemė gauna 174 petavatų (PW) saulės radiacijos aukštutinėje atmosferoje. Apie 30 % yra atspindima atgal į kosmosą, o likusi dalis yra sugerama debesų, vandenynų ir žemės. Saulės šviesos spektras, kuris žemės paviršiuje yra labiausiai paplitęs, yra matomas, tačiau taip pat yra ir nematomų infraraudonųjų bei ultravioletinių saulės spindulių, kurie savyje turi energijos.

Visas saulės energija, kurią Žemė sugeria yra apie 3 850 000 exadžauliai (EJ) per metus (2.1 pav.). 2002 metais tai buvo daugiau energijos per valandą, nei pasaulis sunaudoja per metus. Visas saulės energijos kiekis, pasiekiantis Žemę, yra toks didelis, kad per vienerius metus yra apie du kartus didesnis, nei visas neatsinaujinančių išteklių energijos potencialas Žemės planetoje (Solar energy 2016).

Saulės energija gali būti naudojama skirtingais lygmenimis visame pasaulyje, daugiausia priklausant nuo atstumo nuo pusiaujo.



1.2 pav. Saulės energijos potencialas Žemėje (Solar energy 2016)



1.3 pav. Lietuvos saulės energijos žemėlapis (Solar energy 2016)

Saulės energija yra laikoma teigiama aplinkos, sociologine ir ekonomine prasme. Jos teigiamas poveikis:

- Sumažėja šiltnamio ir toksinių dujų emisijos;
- Atgaunama degradavusi žemė;
- Sumažėja elektros energijos perdavimų linijos;
- Padidėja vandens išteklių kokybė;
- Padidėja energetinis nepriklausomumas regioniniu ir valstybiniu lygiu;
- Auga darbo galimybės;
- Stabilizuojasi energijos kainos.

Tačiau yra ir neigiamas poveikis:

- Saulės elektrinės dažnai yra priklausomos nuo vietos;
- Šiek tiek sudarkomas kraštovaizdis;

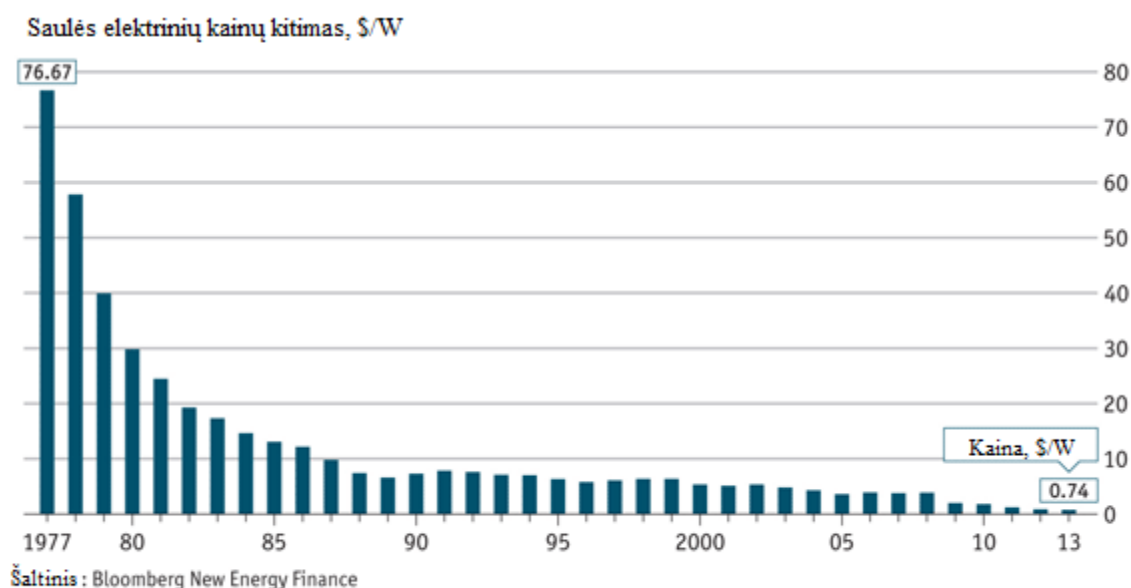
- Prarandama dirbama žemė ir kiti galbūt ekonomiškai naudingi plotai;
- Poveikis ekosistemoms, kai saulės jėgainių parkas yra didelis;
- Netyčiniai chemikalų išleidimai į aplinką;
- Profesinė rizika įrengimo ir eksploatavimo metu.

Tačiau projektuojant, planuojant ar parenkant vietą ir valdant šie neigiami poveikiai gali būti apeiti arba išvengti.

2011 metais tarptautinė energijos agentūra pareiškė: „Neišsenkamų, prieinamų ir švarių saulės energijos technologijų vystymas turės didelę ir ilgalaikę naudą. Tai padidins valstybių energetinį saugumą per neišsenkamų, vietinių ir svarbiausia nepriklausomų resursų naudojimą, taip pat padidins ekologinę pusiausvyrą, sumažins taršą, sumažins klimato kaitos spartą ir palaikys mažesnes iškastinio kuro kainas. Šie privalumai yra globalūs. Vadinasi papildomos išlaidos šiai energijos šakos vystymui turi būti skatinamos; jos turi būti sumaniai leidžiamos ir plačiai dalinamos“ (Solar energy 2016).

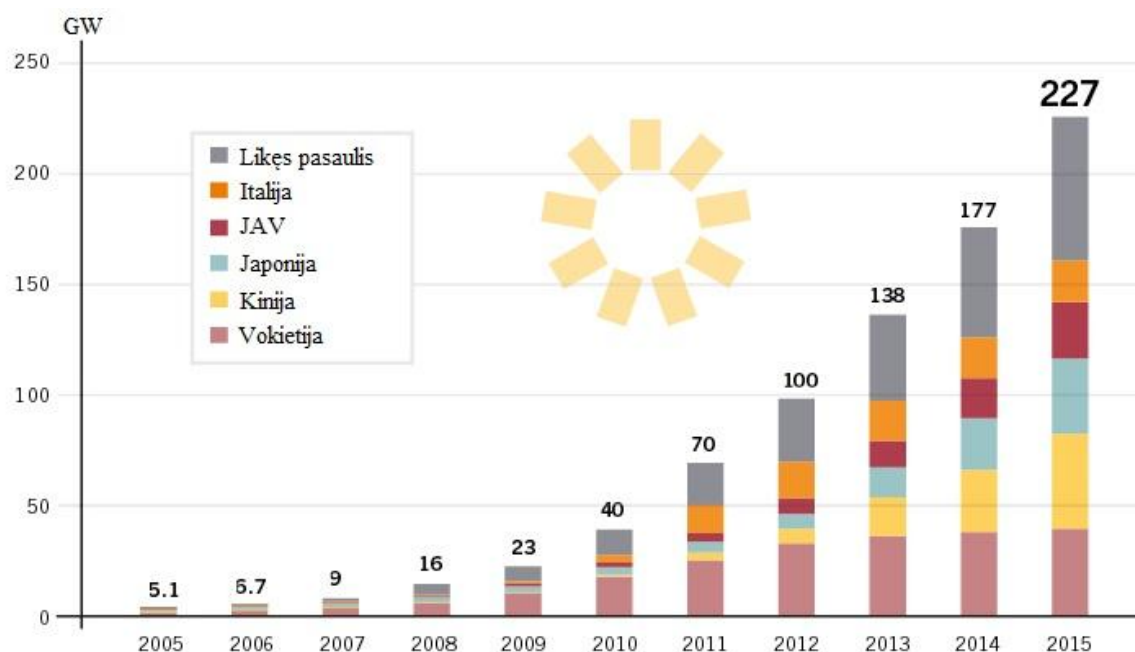
Saulės energija yra saulės spindulių virsmas į elektros energiją tiesiogiai, naudojant foto-elektą. Foto-elektros procesas yra paprastas, ji verčia šviesą į elektros srovę naudodama fotoefektą – elektronų išspinduliavimą iš elektromagnetinių bangų veikiamos medžiagos paviršiaus (Fotoefektas 2016).

Fotovoltinių saulės elektrinių galia visame pasaulyje nesustojamai auga daugiausia dėl jų kainos kritimo. Atsiradus fotovoltinėms saulės elektrinėms jos buvo, mažos, brangios ir neefektyvios. Tačiau ilgainiui, didinant jų efektyvumą, galią ir sudėtį jų kainą stipriai krito. 1977 metais ji buvo 76,67 Dol./W, o 2013 metais nukrito iki 0,74 Dol./W (Pricing sunshine 2012). Taigi per mažiau nei 40 metų jų kaina krito daugiau nei 100 kartų.



1.4 pav. Saulės elektrinių kainų kitimas pasaulyje 1977-2013 (Pricing sunshine 2012)

2015 metais buvo pasiektas rekordinis saulės elektrinių prieaugis – prie elektros tinklo buvo prijungta net 50 GW saulės elektrinių, apie 185 mln. saulės modulių. 2015 metų pabaigoje bendra saulės elektrinių galia visame pasaulyje siekė 227 GW. Šis saulės elektrinių prieaugis daugiausia vyko dėl didėjančio saulės energetikos konkurencingumo, naujų vyriausybės programų norint sumažinti savo CO2 emisijas (Sawin *et al.* 2016).



1.5 pav. Bendra pasaulio fotovoltinių saulės elektrinių galia (Sawin *et al.* 2016).

1.5 pav. matyti, kad daugiausia saulės elektrinių diegiama Kinijoje ir JAV, Europoje šiek tiek mažiau. Europoje bendra saulės elektrinių galia siekia 95 GW (Sawin *et al.* 2016). Šiame žemyne fotovoltinių saulės elektrinių integracija juda šiek tiek sunkiau nei likusiame pasaulyje dėl kelių priežasčių. Pirma regionas nori atsisakyti pardavimo tarifų didelėms saulės elektrinėms ir skatinti saulės elektrinių diegimą savo energijos reikmėms patenkinti, o ne parduoti. Antra, dabartinis elektros tinklas nėra pilnai pritaikytas vis didėjančiai atsinaujinančių energijos išteklių integracijai (Sawin *et al.* 2016). Trečia, esamos tradicinės elektros kompanijos priešinasi atsinaujinančių energijos išteklių integracijai.

Daugelyje valstybių fotovoltinės saulės elektrinės užima vis didesnę elektros rinkos dalį ir tampa vis svarbesnės. 2015 metais Italijoje jos padengė 7,8% viso elektros poreikio, Graikijoje – 6,5%, Vokietijoje – 6,4% (Sawin *et al.* 2016).

Fotoelektrinės saulės energijos sistemos elektros energiją generuoja konvertuodamos saulės radiaciją į tiesioginę elektros srovę, naudodamos puslaidininkius, kurie turi gerą fotoefektą. Fotoelektriniam energijos gamybos procesui yra naudojamos saulės plokštės, kuriose yra daug saulės elementų, turinčių fotoelektrinių medžiagų. Šios medžiagos yra monokristalinis silikonas, polikristalinis silikonas, amorfinis silikonas, kadmio teliūridas ir varis, indis, galis, selenitas ir sulfidas (Desideri *et al.* 2013).

Fotoelektriniai prietaisai yra paprasti savo dizaine ir nereikalauja daug priežiūros, o didžiausias jų privalumas yra tai, kad pavienės jėgainių sistemos gali gaminti energiją nuo mikrovatų iki megavatų. Jie naudojami kaip galios šaltinis, vandens pumpavimui, naminiams saulės sistemoms, komunikacijoms, palydovams, kosmoso transportui ir didelėse energijos gamybos parkuose. Dėl tokių didelių ir plačių panaudojimo galimybių fotoelektrinių saulės energijos sistemų poreikis kiekvienais metais vis auga (Desideri *et. al.* 2013).

Fotovoltinės saulės elektrinės yra itin paprastos. Jos gali būti statomos tiek savo reikmėms patenkinti, tiek ir komerciniams tikslams. Standartinės saulės elektrinės susideda iš dviejų pagrindinių komponentų: saulės modulių ir įtampos keitiklių – inverterių. Taip pat žinoma naudojamos papildoma įranga – montavimo konstrukcijos, elektrinė įranga – jungikliai, kabeliai, skaitikliai.

Saulės moduliai gali būti dviejų tipų: monokristaliniai ir polikristaliniai. Monokristaliniai saulės moduliai yra efektyvesni nei polikristaliniai, tačiau brangesni. Polikristaliniai saulės moduliai šiuo metu yra populiariausi saulės elektrinių statybų srityje. Monokristaliniai saulės moduliai statomi tik tuomet, kuomet norima gauti didesnę galią iš mažesnio ploto.

Įtampos keitikliai – inverteriai keičia nuolatinę elektros srovę į kintamą ir tinkamą naudoti mūsų kasdieniame gyvenime. Inverterių būna įvairių, jie skirstomi pagal galią, pagal naudojimą: tinkliniai, kombinuoti, autonominiai. Lietuvoje šiuo metu populiariausia naudoti tinklinius inverterius ir savo saulės elektrines prijungti prie bendro tinklo sudarius sutartį su skirstymo tinklais.

Fotovoltinės saulės elektrinės elektros energiją gamina fotoefekto principu. Infraraudoniesiems, ultravioletiniams ir regimiems šviesos spinduliams pasiekus saulės modulius ir ant jų esantį silicį jie sujudina jame esančius elektronus, šie elektronai yra surankami ant puslaidininkių, esančių saulės celėse, kuriais elektra keliauja į inverterį. Inverteryje ši elektra yra pakeičiama mums įprastą 50 Hz elektros energiją, kurią galima vartoti namų ūkyje.

Saulės energijos patekimas į elektros tinklus apsunkina saulės elektrinių vystymąsi ir integraciją į tinklus. Kadangi saulės energija yra nepastovus ir kintantis energijos šaltinis jį reikia stabilizuoti ir pritaikyti prie elektros tinklo standartų. Būtent šią funkciją ir atlieka inverteris, kuris elektros energiją pritaiko prie tinkle esančių parametrų. Lietuvoje ant savo namų stogų populiariausia statyti iki 10 kW saulės elektrines, tačiau vis dar statomos ir didesnės – komercinės elektrinės.

Prie tinklo prijungtų saulės elektrinių veikimo principas yra pagamintą perteklinę (nesunaudotą) elektros energiją tiekti į tinklą, ją parduodant arba duodant „pasaugoti“ ir atsiimant vėliau už tam tikrą mokestį.

Taigi norint, kad saulės elektrinė būtų prijungta prie elektros tinklų būtina užtikrinti, kad į elektros tinklą nepateks netinkama elektros energija. Tai užtikrina inverteris, kuris turi nuolat stebėti ne tik saulės elektrinės bet ir tinklo parametrus – įtampą, dažnį ir bangos formą. Inverteris taip pat gali būti tinklinis, hibridinis ir autonominis. Šiame darbe saulės elektrinės nagrinėjamos tik su tinkliniais inverteriais, kurie savo technologija yra paprastesni, pigesni, daugiau naudojami ir lengviau pritaikomi prie elektros tinklo. Taip pat šie inverteriai naudoja energiją ne tik iš saulės modulių, bet ir iš tinklo. Viena iš to priežasčių yra užtikrinimas, kad tinklui atsijungus elektros energija, pagaminta saulės elektrinėje nepatektų į tinklą. Vos tik atsiradus nesklandumams ar dingus elektrai tinkle kiekvienas tinklinis inverteris iškart atsijungs pagal saugumo protokolą UL1741. Dar viena priežastis, kodėl šie inverteriai privalo būti prijungti prie tinklo yra ta, kad jie galėtų stebėti taip pat nuolat kintančius elektros tinklo parametrus – įtampą, dažnį, bangos formą ir sureguliuoti saulės elektrinėje pagamintą energijos įtampą šiek tiek aukščiau nei tinkle esanti įtampa, kad energija tekėtų į reikiamą pusę.

Tinklinių saulės elektrinių privalumai yra grynas elektros vartojimo matavimas, abipusis elektros tekėjimas, elektros pardavimas į tinklą. Tokios saulės elektrinės yra žymiai paprastesnės ir lengviau įdiegiamos, kadangi nereikalauja baterijų sistemos. Tokios sistemos absoliučiai visą savo pagamintą elektros energiją panaudoja ir turi labai mažus energijos nuostolius.

Tinklinių saulės elektrinių trūkumai yra tie, kad saulės elektrinei veikti tinklas taip pat būtinai turi veikti, tinklui atsijungus neveiks ir saulės elektrinė. Dažnai susiduriama su tinklo įtampos problemomis, kadangi tradiciniame elektros tinkle elektros tekėjimas buvo numatytas į vieną pusę, aukštesnės įtampos elektros patekimas į tinklą padidina ir bendrą tinklo įtampą.

1.5 Išmaniųjų elektros tinklų patirtis Europoje

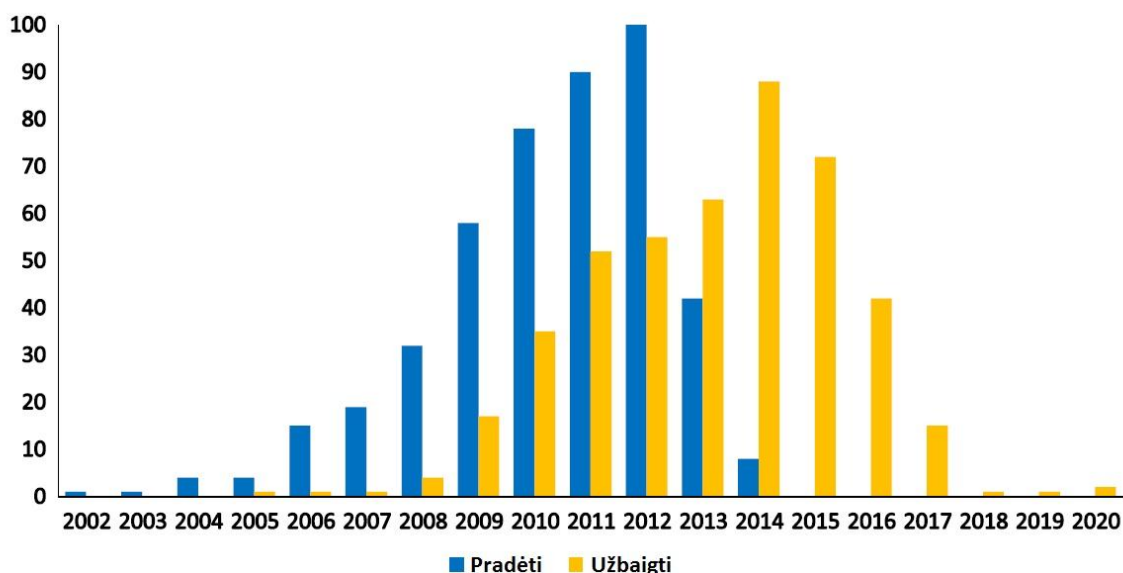
Europos elektros tinklai vystosi iš tradicinių į išmaniuosius, kad atitiktų 21 amžiaus standartus ir patenkintų ateities poreikius. Ateities elektros tinklai bus draugiški aplinkai, modernūs ir gebantys kontroliuoti dvipusį elektros srautą. 2005 metais Europos Komisija sukviėtė ekspertų grupę ir pavadino ją Išmaniųjų Tinklų Europos Technologijų Platforma (*angl. Smart Grid European Technology Platform*), kad šie sukurtų viziją ir tyrimų programą Europos išmaniajam tinklui, susitelkdami į tai, kad ateities tinklai turi būti labiau prieinami, lankstūs, patikimi ir ekonomiškai. Taip pat Europos Sąjungos Energijos ir Klimato Paketas (*angl. European Union Energy and Climate Package*) turi aiškią viziją padidinti atsinaujinančių energijos išteklių vartojimą (>20%), sumažinti šiltnamio dujų kiekį (>20%), ir padidinti energijos efektyvumą (>20%).

Norint pasiekti užsibrėžtus tikslus ir juos pranokti būtina kuo efektyviau išnaudoti atsinaujinančius energijos išteklius (Abdullah *et. al.* 2014). Norint efektyviai išnaudoti šiuos išteklius būtina modernizuoti dabartinio elektros tinklo infrastruktūrą.

Europoje naudojami elektros tinklai buvo pastatyti prieš 30-50 metų, kuomet elektra vartotojams buvo paskirstoma paprastu būdu. Dėl vis didėjančio elektros energijos poreikio turimi elektros tinklai tampa vis labiau apkrauti. Taip pat šiuo metu naudojami elektros tinklai turi 2-4% nuostolių elektros perdavimo lygmenyje ir 4-9% paskirstymo lygmenyje (Bajs *et. al.* 2004). Turimi tradiciniai elektros tinklai turi daug trūkumų – neefektyvi komunikacija tarp vartojimo ir gamybos, dėl kurios atsiranda nepanaudotos elektros energijos, kokybės ir tinklo valdymo problemos, pasikartojančios klaidos ir jų tvarkymas.

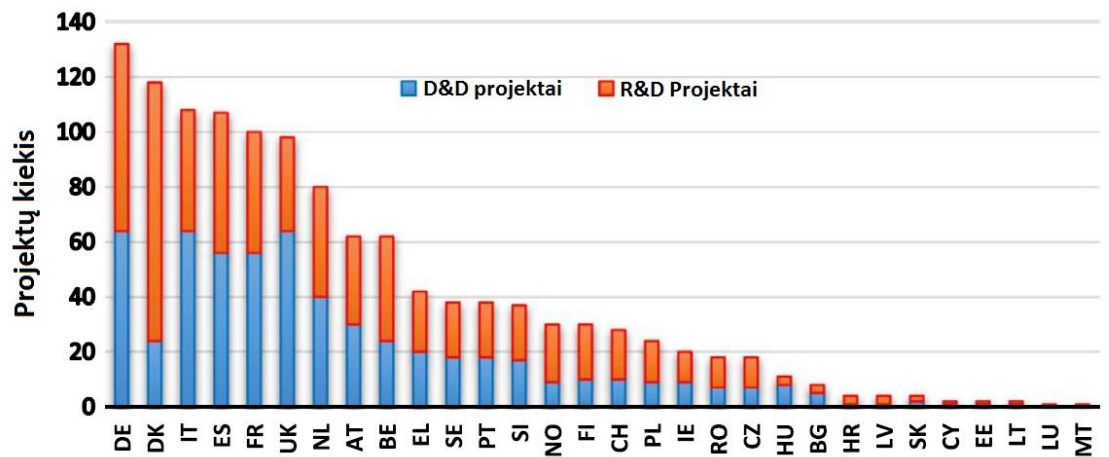
Šių dienų vartotojai nori išmanesnių sistemų savo nekilnojamame turte, kad galėtų kokybiškiau kontroliuoti savo elektros energijos suvartojimą (Vicenzo *et. al.* 2014). Išmanieji tinklai gali suteikti šią privilegiją, būtent dėl to jie tapo labai aktualūs. Išmanusis tinkas nebūtų visiškai naujas elektros tinklas, šios idėjos tikslas yra tobulinti dabar turimą elektros tinklą, kad jis atitiktų ateities elektros poreikius.

2014 metais Europos Komisijos Jungtinis Ataskaitų Centras – EC-JRC (*angl. European Commission Joint Report Centre*) paskelbė išsamią ataskaitą apie 30 valstybių, kurios dirbo su išmaniųjų tinklų vystymu 2002-2014 metais (Covrig *et. al.* 2014). Iš viso šiuo laikotarpiu buvo vystomi 459 projektai, susiję su išmaniaisiais tinklais, pavyzdžiui išmaniojo tinklo valdymas, išskirstytų energijos išteklių integracija, didelės galios atsinaujinančios energijos integracija, išmaniojo namo programos, elektromobilių studijos, informacijos ir komunikacijos technologijų vystymas, elektros talpinimo tyrimai. Iš visų projektų 287 buvo nacionaliniai, 172 tarptautiniai.

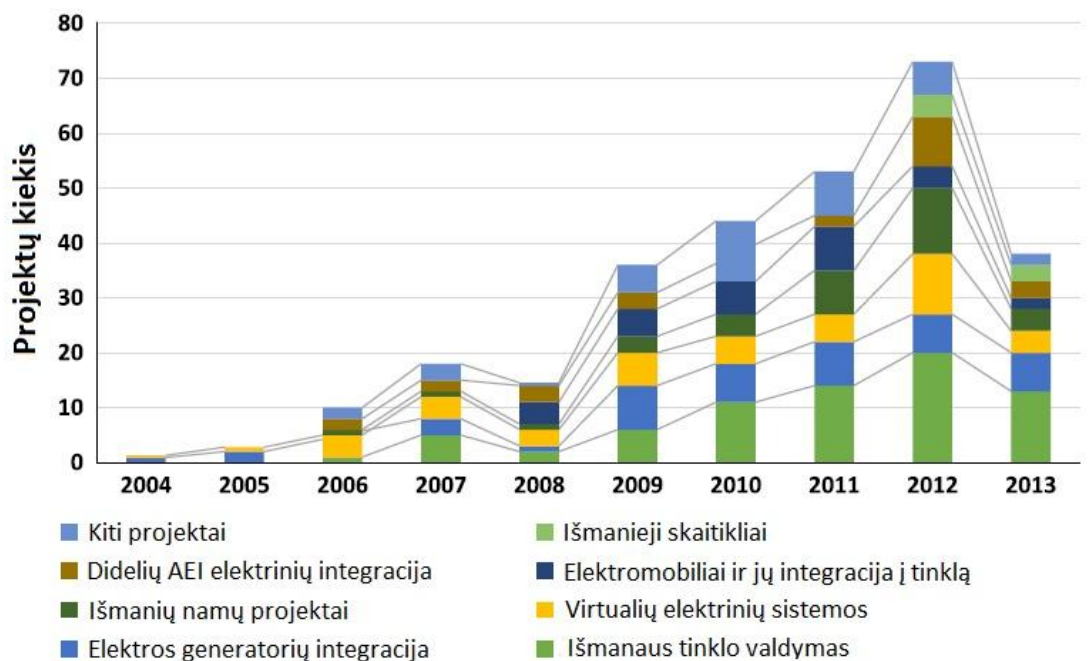


1.6 pav. Išmaniųjų tinklų projektai Europoje (Covrig *et. al.* 2014)

Bendra visų projektų finansavimo suma siekė 3,15 mlrd. Eur.. Daugiausia į projektus investavo Jungtinė Karalystė, Prancūzija ir Ispanija. Dėl vystymo ir pritaikymo projektų 2014 metais susikūrė 400 naujų kompanijų, kurios ir toliau vysto išmaniųjų tinklų infrastruktūrą. Didžiausia dalis projektų buvo vystomi Vokietijoje, Danijoje ir Italijoje (Covrig *et. al.* 2014).



1.7 pav. Projektų skaičius pagal grupę Europos valstybėse (Covrig *et. al.* 2014)



1.8 pav. Projektų skaičius pagal projektų tipą (Covrig *et. al.* 2014)

Išvertinus 1.6, 1.7 ir 1.8 paveikslus galima teigti, kad investicijos į išmaniuosius tinklus yra didelės ir projektai yra vystomi bei pritaikomi naudojamame elektros tinkle. Daugumą šių projektų administruoja ir koordinuoja didelės tarptautinės elektros tinklų organizacijos tokios kaip ENTSO-E ar CORESCO.

ENTSO-E

ENTSO-E yra pagrindinis valdymo organas, prižiūrintis, koordinuojantis Europos elektros tinklą ir valdantis patikimą rinkos platformą. Jis pradėjo veikti 2009 metų Liepos mėnesį sudarius sutartį tarp 5 narių: „Nordic Electricity“ (NORDEL), Jungtinės Karalystės perdavimo sistemų operatorių asociacijos (UKSOA), elektros perdavimo ir koordinavimo sąjungos (UCTE), Airijos perdavimo sistemų operatorių asociacijos (AT-SOI) ir Baltijos perdavimo sistemų operatorių (BALTISO). Pagrindinis šios organizacijos tikslas yra realizuoti vieningą ir efektyvią

elektros bei dujų rinką, palaikant minimalią elektros ir dujų kainą, tobulinant standartus ir užtikrinant patikimą energijos tiekimą. Šiuo metu šioje organizacijoje yra 42 elektros perdavimo organizacijos iš 35 Europos šalių ir taip sudaro didžiausią pasaulyje elektros sistemą su daugiau nei 220.000 km. 400 ir 200kW linijomis, tiekiančiomis elektros energiją per Europos elektros tinklą. ENTSO-E per metus pagamina apie 3000 TWh elektros energijos (European network 2016).

CORESCO

Dėl vis augančios atsinaujinančių energijos išteklių integracijos, galios ir greito Europos elektros rinkos vystymosi tempo 2009 metais buvo įkurta CORESCO organizacija. Ji atsakinga už elektros perdavimo organizacijų koordinavimą, stiprinimą ir tarpvalstybinį monitoringą, kad pagerintų saugumą, patikimumą ir elektros tinklų efektyvumą tarp centrinių ir vakarinių Europos valstybių. 2011 metais CORESCO patobulino savo veiklą ir pradėjo naudoti monitoringo sistemą, kuri remiasi elektros poreikiu realiuoju laiku. Po 3 savo veiklos metų CORESCO tapo svarbia ir patikima organizacija, tobulinančia elektros energijos patikimumą ir saugumą.

Naujausios išmaniųjų tinklų technologijos, sukurtos Europoje pavertė ją šių technologijų lyderiu. Planuojama, kad šis technologijų vystymasis nesustos ir sieks ambicingų Europos Sąjungos planų įgyvendinimo. Daugiausia akademinių tyrimų bus atliekama Airijos elektros tyrimų centre (*angl. Electricity Research Centre*), Airijos programinės įrangos tyrimų centre (*angl. Irish Software Engineering Research Centre*) ir jungtiniame technologijų tyrimų centre (*angl. United Technologies Research Centre*) (Your smart 2014). Berlyno technikos universitete, kuris turi savo išmaniųjų tinklų laboratoriją taip pat bus atliekami tyrimai, vystomos technologijos, susijusios su išmaniaisiais tinklais, pavyzdžiui elektromobilių integracija į išmaniuosius tinklus.

Tačiau išmaniųjų tinklų plėtra turi ir savų barjerų, kuriuos reikės peržengti. Vienas iš jų yra sistemos integravimas į dabartinį elektros tinklą, tai yra integracija tarp fizinio ir rinkos sluoksnių siekiant šių sluoksnių komunikavimo tarpusavyje. Kitas barjeras yra politinis – būtina imtis aiškių ir koordinuotų politinių priemonių skatinti išmaniųjų tinklų plėtrą ir integraciją. Trečias barjeras yra technologinis. Norint integruoti išmaniuosius tinklus vis dar reikia vystyti energijos talpinimo sprendimus, informacijos ir komunikacijos technologijas, tinklo valdymo ir monitoringo sprendimus ir efektyvią išskirstytų energijos išteklių integraciją. Ketvirtasis barjeras yra vartotojų sąmoningumas ir dalyvavimas elektros energijos valdymo procese (Simoes *et. al.* 2012).

Išmanieji tinklai turi labai daug perspektyvų, ypač didėjant išskirstytų energijos generatorių plėtrai ir atsinaujinančios energetikos integracijai. Iš nagrinėtos medžiagos matyti, kad kai kurie išmaniųjų elektros tinklų projektai jau yra prasidėję arba dar nepradėti. Atsižvelgiant į tai ir jau dabar naudojamas išmaniųjų tinklų technologijas galima teigti, kad ši permaina jau prasidėjo ir anksčiau ar vėliau išmaniųjų tinklų technologijos bus pradėtos naudoti ir Lietuvoje.

1.6 Išmanieji elektros tinklai Lietuvoje

Lietuvoje išmanusis elektros tinklas yra dar itin naujas ir mažai girdėtas terminas. Apie jį pradėta galvoti pradėjus aktyviai į elektros tinklą integruoti saulės elektrines. Dėl to atsirado dvipusis elektros tekėjimas, reikalaujantis šiek tiek kitokios elektros energetikos infrastruktūros, taigi pradėti diegti dvipusiai elektros skaitikliai ir AEEAS – automatizuotos elektros energijos apskaitos sistemos saulės elektrinių savininkams.

Dvipusiai elektros skaitikliai ir AEEAS yra pirmieji įrenginiai, kurie turėtų būti diegiami norint pradėti vystyti elektros tinklo infrastruktūrą ir pradėti jo transformaciją į išmanųjį elektros tinklą. Įprastiniai elektros skaitikliai fiksuoja elektros energiją kuomet ji teka tik į vieną pusę. Tai reiškia, kad saulės ar kito tipo atsinaujinančios energetikos elektrinei gaminant elektros energiją nuosavame name ta ši energija fiksuojama kaip vartojama elektros energija. Dvipusiai elektros skaitikliai gali atskirti elektros vartojimą nuo gamybos. AEEAS siunčia duomenis apie elektros energijos vartojimą ir gamybą tiesiogiai elektros tinklo operatoriui, taigi šis visuomet žino koku metu kiek elektros energijos yra pagaminama ir suvartojama. Ilgainiui AEEAS technologijos dėka bus sukurti modeliai, pagal kuriuos bus galima nuspėti šiuos du kintamuosius: elektros energijos suvartojimą ir gamybą. Tačiau šiuo metu tokius elektros skaitiklius ir monitoringo sistemas turi tik atsinaujinančius energijos išteklius turintys gyventojai – iniciatyvūs elektros vartotojai.

Lietuvos Respublikos Energetikos Ministerija siūlo pakeitimus Lietuvos Respublikos Elektros Energetikos Įstatyme ir Lietuvos Respublikos Atsinaujinančių Išteklių Energetikos Įstatyme dėl tradicinio elektros tinklo transformavimo į išmanųjį. Šiuo projektu siekiama (Lietuvos Respublikos 2016):

- sureglamentuoti didelių skirstomųjų tinklų plėtros planavimo tvarką;
- patikslinti ir papildyti pažeidžiamų elektros energijos vartotojų statusą reglamentuojančias EEĮ nuostatas;
- papildyti ir patikslinti Elektros Energijos Įstatyme naudojamus terminus;
- papildyti garantinio elektros energijos tiekimo reglamentavimą būtinomis nuostatomis;
- siekiant įgyvendinti formuojamą valstybės politiką išmaniųjų tinklų ir išmaniosios apskaitos srityje nustatyti teisinę pagrindą atitinkamai institucijai reglamentuoti reikalavimus išmaniesiems tinklams ir išmaniosios apskaitos sistemoms;
- įstatymo lygmeniu reglamentuoti centralizuotą prekybą iš atsinaujinančių energijos išteklių pagaminta elektros energija;
- atskirti tinklų operatorių išduodamų prijungimo sąlygų ir išankstinių prijungimo sąlygų parengimo kaštus nuo kitų tinklų operatorių teikiamų paslaugų sąnaudų;

- užtikrinti balansavimo elektros energijos pirkimo–pardavimo sutarčių, sudaromų su perdavimo sistemos operatoriumi, sąlygų objektyvumą;
- patobulinti viešuosius interesus atitinkančių paslaugų schemos reglamentavimą atsižvelgiant į elektros energijos rinkoje vykstančius pokyčius;
- nustatyti atlyginimo už elektros tinklų tiesimui nustatytus ir nustatomus servitusus tvarką;
- atlikti kitus Elektros Energijos Įstatymo nuostatų patikslinimus siekiant aiškesnio ir nuoseklesnio teisinio reglamentavimo.

Be siekio įstatymus suderinti tarpusavyje, Elektros Įstatymo projektu siekiama:

- siekiant įgyvendinti formuojamą valstybės politiką išmaniųjų tinklų ir išmaniosios apskaitos srityje nustatyti teisinę pagrindą atitinkamai institucijai reglamentuoti reikalavimus išmaniesiems tinklams ir išmaniosios apskaitos sistemoms;
- patikslinti licencijos, leidimo ar atestato galiojimo sustabdymo pagrindus išvengiant reglamentavimo nenuoseklumo;
- įgyvendinti Valstybės kontrolės rekomendacijas dėl energetikos paslaugų teikimo ir prekių tiekimo sąnaudų priežiūros;
- supaprastinti savivaldybių patikėjimo teise valdomų valstybei priklausančių elektros energetikos objektų perdavimo energetikos įmonėms tvarką, siekiant užtikrinti šių objektų tinkamą eksploatavimą.

Papildomai Atsinaujinančių Išteklių Energetikos Įstatymo projektu siekiama:

- įstatymo lygmeniu reglamentuoti centralizuotą prekybą iš atsinaujinančių energijos išteklių pagaminta elektros energija;
- nuo Atsinaujinančių Išteklių Energetikos Įstatymo projekto įsigaliojimo panaikinti elektros energijos gamybos iš atsinaujinančių energijos išteklių (toliau – AEI) skatinimo priemonę – atleidimą nuo balansavimo atsakomybės didelės galios elektrinėse;
- aiškiai reglamentuoti Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatyme (toliau – AIEĮ) numatytų AEI skatinimo priemonių taikymą;
- patikslinti asmenų, planuojančių statyti ar įrengti elektrinę ar plėtojančių elektros energijos gamybos iš AEI pajėgumus, prievolių įvykdymo užtikrinimo ir grąžinimo sąlygas,
- atlikti kitus AIEĮ nuostatų patikslinimus siekiant aiškesnio ir nuoseklesnio teisinio reglamentavimo;
- papildomai praplečiamas elektros energijos gaminančių vartotojų ratas ir numatoma galimybė tiek fiziniams, tiek juridiniame asmenims, įrengusiems saulės šviesos energijos elektrines, vykdyti vadinamąją „dvipusę elektros energijos apskaitą“, t. y. pagamintą elektros energiją vartoti savo reikmėms, o nesuvartotą – tiekti į elektros tinklus, ir, esant poreikiui, ją atgauti iš tinklų.

Lietuvoje realių išmaniųjų elektros tinklų pavyzdžių dar nėra, apie juos pradėta kalbėti dėka atsinaujinančių išteklių integracijos į skirstomuosius elektros tinklus, kadangi diegiant atsinaujinančios energijos elektrines būtina įdiegti ir AEEAS, kuri yra vienas pirmųjų išmaniojo elektros tinklo dalių, galinti realiu laiku stebėti ir perduoti informaciją apie elektros energijos gamybą arba suvartojimą.

1.7 Išmaniųjų elektros tinklų verslo modeliai ir jų įtaka tradicinėms elektros įmonėms

Perėjimas iš tradicinio elektros tinklo prie darnesnio ir efektyvesnio išmaniojo elektros tinklo gali suformuoti daug pokyčių energetikos rinkose. Tradicinio elektros tinklo verslo modelis yra statinis, jame egzistuoja gamintojai ir vartotojai. Gamintojai gamina elektros energiją ir ją parduoda, o vartotojai už šią elektrą moka elektros paskirstymo įmonėms. Išmaniajame elektros tinkle skatinamas elektros vartojimo mažinimas, atsinaujinančių energijos išteklių integravimas į tinklą. Šios rūšies elektros tinkle vartotojai tampa aktyvūs, kadangi jie gali gaminti elektros energiją ir ją disponuoti, todėl išmaniajame elektros tinkle vystomi dinamiški verslo modeliai (Gellings 2009).

Išmaniajame elektros tinkle atsiranda naujos verslo koncepcijos, nauji verslo modeliai ir kuriama papildoma pridėtinė vertė. Dėl šių naujų, nestandartinių verslo modelių kinta ir pati energetikos rinka. Šiuo metu egzistuojančioms elektros energijos veiklomis užsiimančioms kompanijoms pagrindinis klausimas kaip jos gali užsidirbti iš išmaniųjų elektros tinklų dėl vis didėjančio elektros tinklo efektyvumo ir vartotojų skatinimo taupyti arba patiems gamintis elektros energiją. Būtent dėl šio klausimo kai kurios kompanijos pradėjo savo restruktūrizavimą, pavyzdžiui kompanija „E.ON“ suprato, kad jų dabartinis verslo modelis, kuriame remiamasi elektros energijos generavimo didinimu naudojant tradicinius energijos išteklius tampa vis rizikingesnis (Fox-Penner 2010, Lehr 2013, Richter 2013). Reaguodama į energetikos rinkoje vykstančius pokyčius kompanija nusprendė nukreipti savo verslo modelį link AEI, elektros paskirstymo tinklų, vartotojų energijos taupymo sprendimų ir atskirti šias veiklas nuo tradicinės energetikos. Šis procesas buvo pavadintas perėjimu prie tvarios energetikos, kuri sujungia racionalesnį energijos naudojimą vystant energetinį efektyvumą ir taupymą didinant AEI (Peura 2013). Tačiau net jei ir visos kompanijos pereitų prie tvarios energetikos plėtos jis vis dar gali susidurti su pelningo verslo modelio problema (Bocken *et. al.* 2014, Bohnsack *et. al.* 2014, Boons; Ludeke-Freund 2013, Boons *et. al.* 2013). Taigi nepaisant to fakto, kad išmaniųjų tinklų technologijos jau egzistuoja, elektros kompanijos vis dar patiria sunkumų kuriant vertę naudojantis išmaniaisiais elektros tinklais (Catalin *et. al.* 2014; Mah *et. al.* 2013).

Verslo modeliai formuoja kompanijų strategiją, kurios dėka sukuriamą vertę (Osterwalder 2004). Verslo modelio esmė yra metodo, kuriuo kompanija sukuria vertę savo klientams, įpareigoja juos už ją sumokėti ir paverčia tą vertę pelnu (Teece 2010). Kaip ir visi

modeliai, kurie yra naudojami supaprastinti realybę, taip ir verslo modeliai yra skirti supaprastinti kompanijos procesus, kad jie būtų aiškiai matomi, analizuojami ir valdomi (Ostwalder 2004). Pagrindinė verslo modelių logika yra surasti unikalią kombinaciją tarp kompanijos turimų išteklių ir galimybių ir tuomet nustatyti efektyviausią būdą kaip struktūrizuoti santykį tarp šių išteklių ir galimybių norint sukurti vertę kompanijai ir jos klientams (DaSilva; Trkman 2013). Atsiradus naujoms technologijoms verslo modeliai gali padėti vadovybei nustatyti kaip naudojantis šiomis technologijomis įmonė gali gauti naudos. Todėl kai kurie mokslininkai verslo modelius apibūdina kaip tarpininkus tarp technologinių inovacijų ir vertės kūrimo (Baden-Fuller; Haefliger 2013). Verslo modeliai kompanijoms suteikia analitines priemones kaip atpažinti naujų technologijų keliamus iššūkius ir kaip jais pasinaudoti (Ostwalder 2004).

Vienas pagrindinių trukdžių verčiančių kompanijas pergalvoti savo verslo modelius yra naujų technologijų atsiradimas (Chesbrough 2010). Šios naujos technologijos gali būti apibūdinamos 2 požiūriais: besiremiančios galimybėmis ir besiremiančiomis rinka (Bergek *et. al.* 2013). Pirmuoju atveju technologijos matomos kaip technologinė pertrauka, verčianti kompanijas atlikti esminius pokyčius savo galimybėse (Anderson; Tushman 1990). Antruoju atveju šios naujos technologijos keičia vartotojų poreikius ir produkto naudą (Markides 2006). Nors ir naujų technologijų atsiradimas reikalauja kompanijų pakeisti savo verslo modelius, ne visos kompanijos yra tam pasiryžusios (Sabatier *et. al.* 2012). Konservatyvios kompanijos dažniausiai radikalai priešinasi šiems pokyčiams ir laikosi įprastų vertės kūrimo procesų, vietoje naujų technologijų pripažinimo ir integravimo. Palyginimui, tikėtina, kad naujos kompanijos sukurs ar pakeis savo verslo modelius ir integruos technologijų pokyčius, kadangi jos nėra stipriai pririštos prie tam tikrų verslo modelių (Bohnsack *et. al.* 2014). Todėl tikėtina, kad prisitaikydamos prie vykstančių pokyčių šios kompanijos sugebės pritraukti daugiau naujų klientų nei konservatyvios kompanijos.

Verslo modelių inovacija apibūdinama kaip kardinaliai kitokio verslo modelio atradimas egzistuojančiame modelyje (Markides 2006). Ji gali įtraukti siūlomos vertės pakeitimą ar naujų šaltinių vertei kurti atradimą. Nors verslo modelių inovacijos gali būti inicijuojamos tiek naujų kompanijų kiek ir senų, akivaizdžiai matosi, kad senos kompanijos sunkiai susidoroja su verslo modelio atnaujinimu. Senų kompanijų barjerai verslo inovacijai yra sąmoningi ir nesąmoningi: baimė prarasti esamus pinigų srautus ir kompanijų vadovų nenoras pripažinti naujovių (Chesbrough 2010).

Verslo modelių inovacijų barjerai tampa sunkesni kuomet jie susiję su tvariomis technologijomis (Boons; Ludeke-Freund 2013). Daugelis kompanijų vis dar susiduria su pagerintų aplinkos sąlygų privalumais problemomis (Bocken *et. al.* 2014). To pasekmėje identifikuoti organizaciniuose pokyčiuose dėl darnaus vystymo atsirandantys barjerai, kurie vyksta individualiuose, organizaciniuose ir sisteminiuose lygiuose (Lozano 2013). Pavyzdžiui vadovai ne

visuomet mato tvarių technologijų naudą dėl to, kad trumpame laiko periode ji yra ribota (Hahn *et. al.* 2014) ar jie susiduria su sunkumais perteikiant tvarių technologijų privalumus savo klientams (Pinkse; Dommisse 2009). Tokie su darniu vystymu susiję barjerai yra svarbūs verslo modelių inovacijų kontekste, kadangi naujų technologijų pritaikomumas ir pripažinimas priklauso nuo to kaip šiuos pokyčius vertina klientai ir kokie naudą iš to jie gali gauti. Taigi tokie barjerai gali atsirasti ne tik dėl vidinių kompanijų priežasčių, bet ir dėl išorinių.

Visai neseniai elektros rinka buvo sąlyginai stabili, tačiau šiuo metu ji patiria didelius ir greitus pokyčius dėl AEI integracijos ir energetinio efektyvumo didinimo. Išmaniųjų elektros tinklų atsiradimas tradicines elektros kompanijas verčia susidurti su darniu vystymu mažinant žmonijos poveikį aplinkai ir naujų socialinių verslo modelių pritaikymu suteikiant vartotojams daugiau galios.

Taigi išmaniųjų elektros tinklų technologijos gali labai stipriai pakeisti elektros kompanijas ir pačią elektros energetikos rinką. Dvipusis elektros tekėjimas ir informacija pakeistų vertės grandinę elektros generavime, perdavime, paskirstyme ir tiekime. Tarpusavio priklausomybė tarp šių lygių padidėtų, o atotrūkis tarp gamintojų ir vartotojų sumažėtų. Dėl to vartotojai pradėtų reikalauti papildomų paslaugų ar galimybių, nes vien tik elektros tiekimo jiems nebeužtektų. Taigi elektros kompanijos, norėdamos išlikti besikeičiančioje aplinkoje privalo koreguoti savo verslo modelius, kad išliktų greta besikeičiančių rinkos taisyklių. Tačiau demonstraciniai išmaniųjų elektros tinklų projektai parodė, kad daugelis kompanijų vis dar neplanuoja koreguoti savo verslo modelių (Catalin *et. al.* 2014). Pažvelgus iš vienos pusės elektros kompanijos gali jausti grėsmę savo turimiems pinigų srautams dėl išmaniųjų elektros tinklų, dėl ko jos laikysis atokiau nuo šios technologijos, pažvelgus iš kitos pusės jei šios kompanijos sugebės surasti naują verslo modelį, kuris jiems leis pasinaudoti naujomis vertės kūrimo galimybėmis jos gali pradėti aktyviai pripažinti naują technologiją.

Kol vartotojai didina ir pripažįsta AEI plėtrą ir vartojimą ir mažina tradicinių elektros kompanijų pinigų srautus šios nesugeba atnaujinti savo verslo modelių ir prisitaikyti prie pokyčių. Pagrindinis jų atsakymas vyriausybėms remiančioms AEI buvo prašymai pakeisti iškastinį kurą naudojančias elektrines didelę galios AEI parkais. Nors pati elektros energijos generavimo technologija kardinaliai pasikeitė elektros kompanijos savo verslo modelių nekeitė, pavyzdžiui pats vertės pasiūlymas ir pinigų srautų generavimas išliko beveik nepakitęs (Richter 2013). Iš to galima spręsti, kad kompanijos negali įsivaizduoti verslo modelių, kurie įtrauktų ne tik didelės galios elektrines bet ir paskirstytus energijos generavimo šaltinius.

Per pastarąjį dešimtmetį versle pradėjo vystytis socialiniai-techniniai pokyčiai, susikūrė nauji vartotojų poreikiai, kurie koreguoja tradicinį požiūrį į elektros kompanijų sukuriamą vertę.

Išmanieji elektros tinklai galėtų suformuoti pereinamąją terpę, kad kompanijos galėtų reaguoti į šiuos vartotojų poreikių pokyčius.

Pirma nauja elgesio tendencija tarp vartotojų yra aplinkos apsaugos propagavimas. Daugelis pasaulio valstybių įdiegė valstybines paramos schemas, tokias kaip FIT, norėdamos paskatinti vartotojus ir industriją sumažinti savo iškastinio kuro suvartojimą (Al-saleh; Mahroum 2014). Taigi atitinkamai susirūpinimas aplinkos apsauga stipriai išaugo (Richter 2013). Išmaniojo elektros tinklo pritaikymas galėtų padidinti vartotojų susidomėjimą AEI. Taip pat tokie elektros tinklai gali geriau susidoroti su kintama AEI prigimtimi (Clastres 2011). Nepaisant to fakto, kad padidėjęs AEI suvartojimas galėtų kelti pavojų elektros kompanijų pinigų srautams, naujas „žalias“ įvaizdis galėtų jas motyvuoti investuoti į centralizuotas AEI elektrines arba teikti pagalbines paslaugas šių elektrinių integracijai.

Antroji nauja elgesio tendencija auganti tarp vartotojų yra noras valdyti savo elektros suvartojimą (Clastres 2011). Kylančios elektros kainos ir padidėjęs elektros prietaisų vartojimas pakėlė vartotojų sąskaitas už elektrą. Neseniai atliktoje apklausoje apie energetinio efektyvumo elgseną tarp vartotojų, 82% respondentų parodė susirūpinimą dėl elektros energijos kainų ir palaikė žemas investicijų kainas turinčių energetinių efektyvumo priemonių įdiegimą (Mardookhy *et. al.* 2014). Išmanieji elektros tinklai padidintų vartotojų galimybę kontroliuoti savo elektros suvartojimą. Išmanieji elektros skaitikliai, turintys vizualines elektros vartojimo atvaizdavimo priemones leistų vartotojams lengviau suvokti savo elektros suvartojimą ir jį koreguoti (Geelen *et. al.* 2013). Be abejonės jei vartotojai pradėtų efektyviau kontroliuoti savo elektros suvartojimą ir stengtųsi jį mažinti tai vėl keltų grėsmę tradicinių elektros kompanijų pinigų srautams. Tačiau šis pokytis jau vyksta, tradicinėms elektros kompanijoms siūloma pakeisti savo siūlomą vertę parduodant elektros energiją kaip prekę į energijos efektyvumo paslaugų teikimą (Fox-Penner 2010) taip skatinant darnų vystymą.

Trečia nauja elgesio tendencija daranti įtaką vartotojų lūkesčiams yra elektromobiliai. Jų pakrovimas reikalauja nemažai elektros energijos ir tai turi poveikį elektros tinklui ir bendram vartotojo elektros suvartojimui. Elektromobiliai gali kelti didelę grėsmę tradiciniam elektros tinklui ypač jei jų krovimo laikas bus tas pats kaip ir šiuo metu daugiausia apkrovos tinkle sudarantis laikas (Clastres 2011). Norėdamos išnaudoti šią situaciją elektros kompanijos galėtų investuoti į elektromobilių krovimo stoteles, kurios netolimoje ateityje atneštų daug naudos.

Dar viena nauja elgesio tendencija yra kokybiškos ir nenutraukiamos elektros energijos poreikis. Dėl naujų vartotojų poreikių, AEI integracijos, elektromobilių skaičiaus augimo atsiras daug didesnės apkrovos elektros tinkle, taigi kokybiškos ir nenutrūkstamos elektros palaikymas netolimoje ateityje bus labai svarbus. Išmaniųjų elektros tinklų komunikacijų infrastruktūra leistų

elektros kompanijoms pamatyti vykstančias klaidas realiu laiku ar net prieš įvykstant problemai ir ją sutvarkyti naudojant įvairius išskirstytus energijos generatorius.

Taigi išmaniojo elektros tinklo vystymas kelia grėsmę tradiciniams elektros kompanijų vertės kūrimo metodams. Suteikiant daugiau galios vartotojams, daugiau laisvės kontroliuoti savo elektros energijos suvartojimą, skatinant juos vartoti AEI sumažintą pelną iš elektros pardavimo (Adam 2008). Tačiau atsirastų kitokie vertės kūrimo metodai, kurie galėtų generuoti naują pelną. Esminė verslo modelių inovacijos dalis elektros kompanijoms būtų kurti naujus pinigų srautus, kurie nebūtų susiję su elektros pardavimu.

Vienas iš tokių naujų pinigų srautų galėtų būti didelio informacijos kiekio, kurį turėtų išmanusis elektros tinklas, panaudojimas. Paskatinti vartotojų energetinio efektyvumo priemonės elektros kompanijos galėtų jiems suteikti įrankius ar priemones, kurios leistų matyti elektros energijos suvartojimą realiu laiku. Dėl to vartotojai turėtų leisti elektros kompanijoms taip pat stebėti šį suvartojimą ir disponuoti turima informacija. Ši informacija galėtų būti naudojama elektros tinklo optimizavimui, skirtingų elektros apmokestinimo metodų koregavimui, pavyzdžiui pagal tikslesnį elektros vartojimo laiką (Faruqi *et. al.* 2010), informacija galėtų būti suteikiama trečioms šalims – įvairių mechanizmų gamintojams, kad jie galėtų geriau suprasti vartotojų poreikius, konsultacinėms įmonėms, kad šios galėtų suteikti energetinio efektyvumo konsultavimo paslaugas. Yra ir daug kitų tokios informacijos panaudojimo būdų, taigi tai be abejonės galėtų generuoti papildomas pajamas elektros kompanijoms.

Išmaniųjų elektros tinklų integracija pakeistų dabartinius elektros kompanijų verslo modelius ir sumažintų jų generuojamas pajamas iš elektros pardavimo. Tačiau suteikdamas daugiau informacijos ir kontrolės toks elektros tinklas galėtų suteikti ir kitokių pajamų šaltinių, kurie galėtų generuoti daugiau pelno. Nors ir tradicinės elektros kompanijos priešinasi verslo modelių inovacijoms dėl AEI integracijos, ilgo atsipirkimo laikotarpio, nesugebėjimo perteikti privalumų savo klientams ar žinių naujiems verslo modeliams operuoti neturėjimo, šios kompanijos gali kurti vertę parduodamos paslaugas, o ne elektrą. Panaudojant milžiniškus informacijos kiekius, teikiant konsultacijas, optimizuojant tinklą ir vykdant kitokias išmaniajame elektros tinkle įprastas veiklas elektros kompanijos galėtų sukurti naujus verslo modelius ir naują vertę tiek sau, tiek savo klientams.

1.8 Skyriaus išvados

1. Išmanusis tinklas yra elektros tinklas, kuriame integruota daugybė skirtingų skaitmeninių duomenų apdorojimo ir susisiekimo technologijų ir paslaugų elektros tinklui infrastruktūra. Išmanieji elektros tinklai apjungia vartotojus, tiekėjus, skirstytojus ir visus elektros energetikos rinkoje dalyvaujančias dalyvius.

2. Išmaniajame tinkle veikia 7 kategorijos jungiančios viena kitą informacijos ir energijos srautais: vartotojai, rinkos, paslaugų teikėjai, operacijos, komercinės elektrinės, elektros pardavimas ir elektros paskirstymas.

3. Pagrindinės išmaniojo elektros tinklo funkcijos yra nenutraukiama elektros energija, paskirstytų energijos išteklių integracija į elektros tinklą, poreikio ir pasiūlos paslauga, išmanusis elektros srautų monitoringas, išmaniųjų įrenginių integracija, baterijų sistemų ir elektromobilių integracija.

4. Pagrindiniai išmaniojo elektros tinklo privalumai yra saugumas, aplinkos tausojimas, elektros energijos kainos kritimas, gyvenimo kokybė, elektros tinklų patikimumas, mažesni elektros paskirstymo nuostoliai tinkle, tikslesnis ir greitesnis monitoringas.

5. AEI egzistuoja visose geografinėse vietovėse ir jie yra neišsenkami. Pagrindinės, populiariausios ir plačiausiai naudojamos AEI rūšys yra vėjo, saulės energija, hidroenergija, bioenergija ir geoterminė energija.

6. Žemė iš Saulės gauna labai didelį energijos potencialą, kurį galima panaudoti fotoefekto principu – paverčiant į elektros energiją. Tai yra atliekama fotovoltinėse saulės elektrinėse, kurios vis pinga, populiarėja ir tobulėja. Tokios elektrinės susideda iš saulės modulių, inverterių ir baterijų sistemų. Jos dažniausiai yra prijungiamos prie elektros tinklo, kuriam gali parduoti savo pagamintą energiją.

7. Europoje išmanieji elektros tinklai jau vystomi. Šiuo laikotarpiu vystomi 459 projektai, kurių bendra finansavimo suma siekė 3,15mlrd. Eur.. Daugumą šių projektų koordinuoja tarptautinės elektros energetikos asociacijos: ENTSO-E, CORESCO. Ateityje planuojama nesustoti vystyti tokių projektų ir vystyti Europos elektros tinklą.

8. Lietuvoje apie išmaniuosius elektros tinklus dar beveik nekalbama, bet pradėta imtis labai mažų veiksmų jų diegimui. Visos naujos saulės elektrinės savo komercinės apskaitos skyduose įsirengti AEEAS ir dvipusės energijos skaitiklius.

9. Išmaniojo elektros tinklo integracija gali sukelti nemažai problemų tradicinių elektros kompanijų verslo modeliams. Dėl didėjančio tinklo efektyvumo, vartotojų elektros taupymo skatinimo ir AEI plėtros mažės elektros kompanijų pelnas iš elektros pardavimo. Tačiau šį nuostolį galima pakeisti didesniu pelnu koreguojant verslo modelį ir užsiimant ne tik elektros pardavimu bet ir paslaugomis, tai sukuriant naują vertę sau ir savo klientams.

2. ATSINAUJINANČIOS ENERGETIKOS PROJEKTŲ IŠMANIUOSIUOSE ELEKTROS TINKLUOSE INVESTICIJŲ EFEKTYVUMO VERTINIMO METODAI

Elektros tinklo skaitmenizavimas atveria daug galimybių naujoms pridėtinę vertę sukuriančioms paslaugoms. Vienas iš svarbiausių išmaniojo elektros tinklo prioritetų yra atsinaujinančios energetikos integracija į elektros tinklus. Atsinaujinančios energijos vystymas gali duoti grąžą, sunkiausia yra apskaičiuoti tikslią tos grąžos vertę.

Norint įvertinti konkretaus investicinio projekto efektyvumą reikia nustatyti ir įvertinti kaštus, pelningumą, riziką ir parinkti tinkamus investicijų efektyvumo įvertinimo metodus. Priklausomai nuo analizuojamos situacijos vienais atvejais geriau tinka kokybiniai metodai, kitais – kiekybiniai. Kiekybiniai metodai dažniausiai taikomi norint įvertinti investicijų efektyvumo priežasčių ir veiksnių, kurie gali paveikti investiciją, analizei. Kokybinių metodų pagrindą sudaro galimų įvykių, priežasčių ir pasekmių loginė analizė, kuri vėliau taikoma galimam nuostoliui pagrįsti, jį įvertinti ir sumažinti. Nors kokybiniai metodai neleidžia tiksliai nustatyti skaitinės investicinės vertės, jie sudaro pagrindą tolimesniam tyrimui, kuriame vėliau gali būti taikomi kiekybiniai metodai.

Kiekybiniuose rizikos tyrimuose plačiai taikomi tikimybių teorijos, matematinės statistikos ir operacijų tyrimo metodai. Kiekybinė analizė taikoma investicijos efektyvumo veiksniams, sritims, tipams nustatyti ir klasifikuoti, priežastims identifikuoti, galimoms neigiamoms pasekmėms įvertinti, išmatuoti ir sumažinti nuostoliams (Frame 2003).

Stiprioji kokybinių metodų pusė yra ta, kad jie gali būti taikomi nuo pat proceso pradžios, o trūkumas yra analizės subjektyvumas, kadangi investicijų efektyvumo vertinimas vieniems veiksniams intuityviai priskiria didesnę reikšmę nei kitiems.

Norint apskaičiuoti potencialią atsinaujinančios energijos suteikiamą vertę išmaniuosiuose tinkluose būtina išsiaiškinti, kas yra vertė, kaip ji skaičiuojama ir kokios šalys yra suinteresuotos gauti šią vertę. Tam apskaičiuoti galima naudoti finansinius rodiklius: dabartinę grynąją vertę, investicijų grąžą, vidinę grąžos normą ir nuosavo kapitalo pelningumo rodiklį.

Įvertinus visus minėtus rodiklius reikia parinkti tinkamiausią naudoti metodą, sukurti konceptualų modelį norint įvertinti investicijų efektyvumą.

2.1 Vertės teorijos koncepcija

Vertė ir investicijų efektyvumas yra neatsiejami dalykai. Tvarios energetikos ir išmaniųjų tinklų vystymas turi vykti kartu su ekonomikos augimu. Jau visuotinai pripažinta, kad atsinaujinanti energetika duoda teigiamą grąžą visuomenei ir pelną investuotojams, tačiau išmanieji

tinklai yra itin nauji ir nedaug ištirti, taigi kyla klausimas, kokias sąlygas reikia sukurti investuotojams? Kokia nauda gaunama tiesiogiai? Kokia nauda sukurama visuomenei?

Išmanieji tinklai teikia ne tik ekonominę naudą, taip pat jie prisideda prie naujos energetikos infrastruktūros plėtojimo, energijos taupymo ir darnaus vystymo, taigi visuomenės ir politinių jėgų palaikymas yra labai svarbus veiksnys vystant energetikos infrastruktūrą. Prieš nagrinėjant investicijų efektyvumą reikėtų apibrėžti išmaniųjų tinklų projektų kuriamos vertės komponentus ir suinteresuotas šalis, kadangi investicinio projekto sukuriamą vertę ir rizikos veiksniai kiekvienai šaliai gali skirtis.

2.1.1 Vertės ir suinteresuotų šalių teorija

Neoklasikinėje teorijoje ekonominė vertė sukuriamą kuomet vartotojas už prekes ar paslaugas moka daugiau negu kaštai išleisti jai pagaminti. Šioje teorijoje vertė generuojama iš vartotojo mokamos pridėtinės vertės ir gamintojo sukuriamos pridėtinės vertės. Vartotojo pridėtinė vertė yra kainų skirtumas tarp kainos, kurią jis sumoka už prekę ar paslaugą ir mažiausios kainos, kurią jis turėtų sumokėti, o gamintojo pridėtinė vertė yra kainos už kurią parduodama prekė ar paslauga ir resursų jai pagaminti skirtumas (Argandona 2011).

Jei produktas patenkina kliento dabartinius poreikius neprarasdamas galimybės patenkinti ir ateities poreikius vadinasi bus sukuriamą didesnė vertė, kadangi vartotojai už tokią prekę ar paslaugą bus linkę mokėti didesnius pinigus. Taip pat jei gamintojas naudoja geresnes technologijas, sumažinančias pagaminimo kaštus vertė vėlgi gali būti padidinama. Dėl šių priežasčių vertės teorija yra atskiriama į du segmentus. Jei nors viena iš šių sąlygų yra patenkinama gamintojas gali efektyviau realizuoti savo turimus išteklius ir padidinti pelną (Argandona 2011).

Vertės kūrimo procesas prasideda sukuriant vertę vartotojams. Tai gali būti pasiekiamą pasiūlant aukštesnę kokybę, ilgesnį gyvavimo laikotarpį turinčius produktus, kurie labiau patenkina klientus. Tuomet klientai yra linkę mokėti daugiau pinigų už produktus. Tačiau vertė gali būti sukuriamą ir kitais būdais, pavyzdžiui mažinant gamybos kaštus, informuojant potencialius klientus apie produkto savybes, formuojant visuomenės požiūrį, mažinant kainas, išstumiant konkurentus iš rinkos ar bent jau sumažinant jų užimamą rinkos dalį ir pan. (Argandona 2011).

Visi paminėti veiksniai veikia ne tik vartotojus, bet ir suinteresuotas šalis. Suinteresuotų šalių modelyje vertės teorija leidžia suprasti, kad visi sukuriantys ir gaunantys vertę, tiek vidinėje įmonės pusėje (darbuotojai, vadovai, savininkai), tiek išorinėje (vartotojai, tiekėjai, bendruomenės, gamta ir pan.) turi būti laikomi suinteresuotomis šalimis. Didinant vertę vartotojams ir tiekėjams negalima garantuoti, kad kitos suinteresuotos šalys liks nepaveiktos. Todėl kuriant vertę reikia pasverti ir kitus veiksnius – ar prekei ar paslaugai yra alternatyvos, apribosiančios rinkos dalį, ar apie produktą ar paslaugą yra suteikta informacija, t.y. ar vartotojas žinos kaip ja tinkamai naudotis ir pan. Taigi didinant ekonominę vertę visoms suinteresuotoms šalims negarantuoja vertės augimo

kiekvienai iš jų. Todėl reikia įvertinti kaip ši vertė yra išskirstoma, gaunama ir padalinama (Argandona 2011).

Vertės gavimą galima apsvarstyti iš trijų pusių: kaip derybų tarp suinteresuotų šalių rezultatą, kaip kompanijos strategijos pasiekti aukščiausią ekonominį ir neekonominį pelną rezultatą ir kaip nelogiškų veiksmų atsiskiriančių nuo galios, tokių kaip dėkingumas ar dovanos, rezultatą.

Taigi žvelgiant iš derybų metu tarp suinteresuotų šalių rezultatą vertės dalybos priklauso nuo kiekvienos šalies galios. Pavyzdžiui darbuotojų galia priklausys nuo prekės ar paslaugos savybių, t.y. rinkos poreikio, produkto kokybės reikalavimų, nuo kompanijos užimamos rinkos, dažniausiai didelių kompanijų darbuotojai uždirba daugiau ir pan. Antruoju atveju bandant pasiekti aukščiausią ekonominį ir neekonominį pelną ar norint išvengti vertės pasidalijimo konflikto galima mažinti gamybos kaštus ir riziką, vystyti darbuotojų ar klientų lojalumą ar gerinti kompanijos įvaizdį visuomenėje (Kurucz *et. al.* 2008). Šis vertės pasidalijimo būdas yra itin optimistiškas, kadangi sušvelnina potencialų konfliktą pasiūlydamas potencialias ateities galimybes. Trečiuoju atveju vertės dalybų konfliktas gali būti išvengiamas kuomet kompanija pradeda mokėti aukštesnes nei standartines algas savo darbuotojams, pasamdo neįgalius darbuotojus, kuomet moka daugiau už neapdirbtas medžiagas, rūpinasi aplinkos apsauga. Šiuo atveju kompanija (Freeman 2007). Šis konflikto sprendimo būdas greičiausiai yra humaniškesnis, kadangi siūlant ekonomines kompensacijas suinteresuotoms šalims galima gauti jų pasitikėjimą.

2.1.2 Vertės komponentai išmaniuosiuose tinkluose

Išmaniųjų tinklų kontekste vertė kuriama teikiant elektros energijos paslaugas ir gaunant tam tikrą naudą iš teikiamų paslaugų. Bendrosios ekonominės vertės atveju išskiriami du pagrindiniai vertės komponentai: naudojimo vertė ir nenaudojimo vertė (Crowards 1997). Yra ir trečias komponentas – atidėta alternatyvi vertė, šis komponentas gali būti priskiriamas ir naudojimo ir nenaudojimo vertei.

Tiesioginio naudojimo vertė siejama su prekėmis ir paslaugomis, kurios yra vartojamos tiesiogiai. Netiesioginė naudojimo vertė suprantama kaip ne tiesiogiai gaunama ekonominė ir neekonominė vertė. Tai vertė, kuri nėra pažeidžiama ar sumažinama naudojant prekę ar paslaugą. Pavyzdžiui saulės energetikos tiesioginė vertė yra elektros energija, o netiesioginė vertė yra švarus oras, švarūs vandens telkiniai, sveikatos problemų mažėjimas, išaugusi nekilnojamo turto vertė.

Nenaudojimo vertės sąvoka pirmą kartą buvo iškelta 1967 m. Ją pasiūlė John V. Krutilla. Ją sudaro vertės, nesusijusios su esamu, būsimu ar potencialiu prekės ar paslaugos naudojimu. Nenaudojimo vertė skirstoma į atidėtos alternatyvos vertę, egzistavimo ir palikimo vertes. Atidėtos alternatyvos vertę atspindi prekės naudojimo atsisakymas dabar, kad ją būtų galima panaudoti ateityje, kaip pavyzdį galima panaudoti draudimą. Egzistavimo vertę sudaro žinojimas, kad tokia paslauga ar prekė egzistuoja, pavyzdžiui gamtinių rezervatų išlaikymas, ne kiekvienas

juose lankosi, tačiau visi vertina tai, kad jų yra. Palikimo vertė gaunama atsisakant naudotis vertybe dabar, suvokiant, kad tai sudarys galimybę šia vertybe naudotis ateities kartoms, pavyzdžiui klimato kaitos mažinimo programos.

Išmaniuosiuose tinkluose tinka visi minėti vertės komponentai. Tiesioginio naudojimo vertę galima apibūdinti kaip elektros mainų dėka atnešamą pelną, nenaudojimo vertė gaunama nenaudojant tam tikro kiekio elektros tinklų ir taip mažinant jų eksploatavimo išlaidas.

2.1.3 Suinteresuotų šalių gaunama vertė

Suinteresuotos investicinio projekto šalys nėra tik gamintojas ar paslaugos teikėjas ir vartotojas, jos gali būti vidinės ir išorinės – darbuotojai, vadovai, savininkai, vartotojai, tiekėjai, bendruomenės, gamta ir pan. 1984 m. Freeman'as pasiūlė suinteresuotų šalių (*angl. Stakeholders*) koncepciją: organizacijos suinteresuotos šalys laikomos „bet kurios grupės ar individai, kurie gali paveikti arba būti paveikti to, kaip organizacija siekia savo tikslų“ (Freeman 2010). Ši teorija padeda ne tik apibrėžti organizacijos tikslus, bet ir tiria, kaip galima derinti suinteresuotų šalių grupių interesus.

Saulės energetikos projektuose išskiriamos 3 pagrindinės suinteresuotų šalių grupės: savininkai arba aktyvūs vartotojai, investuotojai ir elektros tinklų operatoriai. Kiekviena iš šių grupių yra svarbi organizacijos išlikimui ir turi savo poveikio svorį.

Aktyvūs vartotojai – elektros energijos vartotojai, kurie gali būti fiziniai ir juridiniai asmenys, turintys saulės elektrinę. Šios grupės pagrindiniai interesai yra elektros energijos patikimumas, dalyvavimas elektros rinkoje ir kuo aukštesnė elektros pardavimo kaina. Taigi čia vertė gali būti interpretuojama per elektros energijos kainų pokyčius.

Investuotojai yra projekto rėmėjai, kurie suteikia vartotojams reikiamą pinigų sumą įsigyti saulės elektrinėms. Taigi saulės elektrinių sukuriama vertė išmaniuosiuose tinkluose šiai suinteresuotai šaliai galima apibrėžti per ateities pinigų srautus.

Elektros tinklo operatoriai yra juridiniai asmenys, užsiimantys elektros tiekimo ir paskirstymo veikla. Šiai grupei svarbus veiksnys yra elektros tinklų priežiūra ir stabilumas. Saulės elektrinės gali būti diegiamos individualiuose namuose ir būti nedidelės galios, taip didinant išskirstytų generatorių kiekį valstybėje ir mažinant elektros perdavimo atstumus tarp gamintojų ir vartotojų. Taigi saulės elektrinės šioje grupėje sukuria vertę per elektros tinklų priežiūros kaštų mažinimą, elektros perdavimo atstumo trumpinimą ir elektros nuostolių mažinimą.

2.1 lent. Saulės energijos technologijų sukuriame vertė išmaniuosiuose tinkluose kiekvienai suinteresuotai grupei

Suinteresuota šalis/grupė	Gaunama vertė
Investuotojai	Tiesioginiai pinigų srautai per elektrinės gyvavimo laikotarpį
Aktyvūs vartotojai	Elektros energijos pardavimas
	Energetinio saugumo užtikrinimas
Elektros tinklo operatoriai	Elektros energijos perdavimo nuostolių mažinimas
	Elektros tinklų priežiūros kaštų mažinimas
	Mažesnės išlaidos aukštos įtampos elektros tinklų naudojimui

Sunku tiksliai ir galutinai apibrėžti suinteresuotų šalių grupių aibę, kadangi šios šalys priklauso nuo konkretaus projekto. Paminėtos suinteresuotos šalys gali būti naudojamos AEI energetikos projektams: mažoms vėjo, saulės elektrinėms. Šiame darbe bus analizuojama 10kW saulės elektrinė, kuri yra naudojama iniciatyvaus vartotojo kartu su 14 kWh baterijų sistema, taigi šiame darbe projektas bus vertinamas iš 3 paminėtų suinteresuotų šalių grupių: aktyvių vartotojų, investuotojų ir elektros tinklo operatorių.

2.2 Investicinių projektų efektyvumo vertinimo metodai

Investavimas, bendrąja prasme, – tai atidėtas vartojimas (Lydeka 1999). Vardan tikėtinos didesnės vartojimo galios ateityje atsisakoma dalies dabarties (einamojo) vartojimo. Klasikinis pavyzdys -pensijų fondai. Darbuotojai einamajam vartojimui gauna ne visą savo darbo užmokestį. Dalį atlyginimo jie atideda į kaupiamąją sąskaitą ateities vartojimui.

Investicijos suprantamos, kaip įdedamų lėšų srautas, su tam tikru tikslu atitrauktas nuo einamojo jo suvartojimo (Investicijos 2016). Investicijas sudaro dvi pagrindinės tokių įdėjimų grupės: kapitalą formuojančios (realiosios, grynosios) ir finansinės investicijos.

Kapitalą formuojančios investicijos — gamybos ir paslaugų sferos palaikymui ir vystymui skirtos investicijos. Jos apima: investicijas į pagrindinį kapitalą, išlaidas kapitalo remontui, investicijas žemei, žemėvaldos objektams įsigyti, investicijas į nematerialius aktyvus (patentus, licenzijas, programinius produktus, mokslinius-tiriamuosius, bandomuosius-konstrucinius darbus, investicijas į materialinių priemonių atsargų papildymą, t.t.) (Investicijos 2016). “Turto” sąvoka apima materialias vertybes, kurias galima matyti, jausti, laikyti ar kolekcionuoti ir teises susijusias su jų gamyba, tobulinimu, kaupimu.

Finansinės investicijos – tai lėšų įdėjimas į fondų ar pinigų rinkų vertybes. Fondų rinkos vertybes sudaro: valstybės trumpalaikės obligacijos, valstybės skolos obligacijos, t.t. Pinigų rinkoje perkami ir parduodami šie vertybiniai popieriai: valiuta, depozitai, tarpbankiniai komerciniai kreditai, t.t. (Investicijos 2016). Finansų rinkos objektu yra finansiniai aktyvai. Tai yra einamųjų

teisių paraiškos į tam tikras vertybes, išreikštos juridinę galią turinčio dokumento nustatyta forma, pvz., akcijos ar obligacijos. Šiuo atveju pagrindini; investitoriaus uždavinys yra optimalaus investicijų portfelio suformavimas ir valdymas, fondų rinkoje perkant ir parduodant vertybinius popierius, taigi, vykdant trumpalaikes finansines operacijas.

Investicinis projektas – tai efektyvus į pokyčius nukreiptų ribotų išteklių sisteminis valdymas, siekiant konkretaus tikslo ateityje. Investicinius projektus būtina įvertinti efektyvumo požiūriu. Nuo jų ekonominio pagrindimo, efektyvumo įvertinimo rezultatų priklauso investiciniai sprendimai, o nuo šių – investicinio projekto įgyvendinimo sėkmė.

Bivainis J., Griškevičius A., Jakštas V. (1997), investicinių projektų vertinimui siūlo naudoti kompleksinę analizę, apimančią finansinę, ekonominę analizę ir ekspertinį vertinimą. Finansinės analizės paskirtis – įvertinti investicinių projektų efektyvumą tiesiogiai juos įgyvendinančiame ūkio subjekte (įmonėje). Ekonominė analizė skirta įvertinti investicinių projektų įtaką šalies, regiono ar ūkio šakos ekonomikai. Ekspertinis vertinimas skirtas kiekybiškai įvertinti tuos projekto veiksnius, kurie neturi kiekybinės išraiškos arba jų įvertinimas kiekybiniais metodais yra pernelyg brangus (Bivainis ir kt. 1997).

Taigi investicinio projekto efektyvumui įvertinti daugiausia naudojami finansiniai rodikliai: grynasis pelnas, investicijų atsiperkamumas, grynoji dabartinė vertė, vidinė pelno norma, pelningumo rodiklis, investicijų pelningumo rodiklis, nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis.

Norint įvertinti investicijų efektyvumą reikia aiškiai apibrėžti nagrinėjamus finansinius rodiklius, kuriais bus remiamasi atliekant analizę. Finansinė analizė yra viena svarbiausių analizių vertinant investicinius projektus, kadangi tik gaunami pinigų srautai gali užtikrinti tolimesnį projekto vystymąsi. Toliau bus nagrinėjami tokie finansiniai rodikliai kaip grynasis pelnas, investicijų atsipirkimo laikas, grynoji dabartinė vertė, vidinė pelno norma, rentabilumo indeksas, investicijų pelningumo rodiklis ir nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis.

Grynasis pelnas

Grynasis pelnas – įmonės finansinis rodiklis parodantis „tikrąjį“ rezultatą, iš pajamų atskaičius visas sąnaudas ir mokesčius. Grynojo pelno panaudojimo sritys (Grynasis pelnas 2016):

- *Kompanijų pelningumo palyginimui:* kiekvienas verslas turi atnešti grąžą, o geras verslas turi uždirbti daugiau nei konkurentui. Pelningumo palyginimui dažniausiai naudojama pelno marža, kapitalo (nuosavybės) grąža ir turto grąža, nors kartais lyginamas ir absoliutus pelnas.
- *Pelningumo pokyčių analizei:* lengviausia sekti įmonės veiklos rezultatus lyginant paskutinį pelną su prieš tai buvusiu (atitinkamu ankstesnių metų laikotarpiu, jei verslas turi sezoniškumo požymių) periodu.

- *Akcijų vertinimui*: grynasis pelnas naudojamas populiariausiam akcijų vertinimo rodikliui – P/E paskaičiuoti. Kuo aukštesnis grynasis pelnas, tuo mažesnis P/E rodiklis, ir savo ruožtu tuo patrauklesnės tokios akcijos investavimui.

Grynasis pelnas apskaičiuojamas naudojantis šia formule (Net profit 2016):

$$GP = P - M \quad (2.1)$$

Čia: GP – grynasis pelnas, Eur.;

P – Pajamos, Eur.;

M – mokesčiai, Eur..

Taigi grynasis pelnas yra pirminis rodiklis kiekvienoje finansinėje analizėje, kadangi jis nusako potencialią investicijos grąžą.

Investicijų atsipirkimo laikas

Atsipirkimo laikotarpis yra vienas svarbiausių ir paprasčiausių metodų, padedantis priimti sprendimą. Šis metodas įvertina neapibrėžtumą, atsižvelgia į trumpalaikius projekto rezultatus ir, atitinkamai, į įmonės likvidumą. Atsipirkimo laikotarpis gali būti naudingu rizikos matu situacijoje, kai neapibrėžta gali būti tik projekto egzistavimo trukmė. Tikimybė, kad tam tikra investicija duos pelno (arba bent jau neduos nuostolių), yra tuo didesnė, kuo trumpesnis atsipirkimo laikotarpis (Investicijų efektyvumo 2016). Todėl visi priimantys sprendimą turi įvertinti tikimybę, kad projekto egzistavimo laikas po atsipirkimo periodo bus pakankamai ilgas, kad investicija būtų patraukli. Atsipirkimo laikotarpio metodas patrauklus renkant aukštas pajamas duodančius trumpalaikius projektus, tačiau ignoruoja rentabilesnius ilgalaikius projektus.

Atsipirkimo laikas – laiko trukmė, per kurį nediskontuotos prognozuojamos piniginių lėšų įplaukos viršija nediskontuotą investicijų sumą. Tai metų, reikalingų kompensuoti startines investicijų išlaidas, skaičius.

Investicijų atsipirkimo laiko skaičiavimo metodika yra itin paprasta, įvertintos išlaidos į projektą ir projektą pinigų srautai kiekvienais metais. Priimama, kad pinigų srautai kiekvienais metais bus identiški. Pagal juos skaičiuojama kuomet pinigų balansas taps teigiamas (Payback method 2016).

Išsamesnis yra kitas atsipirkimo laiko nustatymo metodas. Taikant jį, atsipirkimo laikotarpis $n_{ok}(PP)$ suprantamas kaip tam tikras periodas, per kurį grynojo pelno, diskontuoto iki investicijų užbaigimo momento, suma lygi investicijų sumai.

$$\sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+i)^k} = \sum_{j=1}^t IC_j \quad (2.2)$$

Čia P_k – metinės pajamos, Eur.;

IC_j – investicijos, Eur.;

t – investicijų užbaigimo terminas.

Pagrindinis atsipirkimo laikotarpio rodiklio *ok n* trūkumas yra tas, kad jis neparodo viso investicijų funkcionavimo periodo, todėl jam neturi įtakos visa lėšų grąža, kuri yra už *ok n* ribų. Dėl šios priežasties atsipirkimo laiko rodiklis neturėtų būti svarbiausias investicijų priėmimo kriterijus, jį reikėtų taikyti tik kaip papildomą rodiklį, priimant sprendimą.

Grynoji dabartinė vertė

Grynosios dabartinės vertės (*NPV – angl. net present value*) rodiklis yra labiausiai paplitęs ir yra vienas iš svarbiausių investicijų efektyvumo finansinio vertinimo kriterijų. Rodiklio esmė – grynosios dabartinės vertės apskaičiavimas, iš diskontuotų iki investavimo pradžios momento pinigų įplaukų sumos atėmus diskontuotų iki to paties momento piniginių mokėjimų (išlaidų) sumą.

Kadangi pinigų srautai pasiskirstę laike, jie diskontuojami pagal tam tikrą procentinę normą *i*. Šiuo atveju labai svarbu parinkti tinkamą procentinės normos dydį.

Nepaisant skirtingų pavadinimų, diskontuoti taikoma procentinė norma finansų rinkoje turi parodyti laukiamą vidutinį paskolų palūkanų normų lygį. Svarbus momentas nustatant procentinę normą, naudojamą mokėjimų srautui diskontuoti, yra rizikos veiksnių nagrinėjimas. Investiciniame procese rizika, neatsižvelgiant į jos konkrečias formas, gali sumažinti realią įdėto kapitalo grąžą lyginant su laukiama kapitalo grąža. Kadangi per ilgesnį laikotarpį kapitalo grąžos sumažėjimas gali būti gana ženklus, reikėtų diskontavimui taikomą procentinę normą pakoreguoti. Iš to matyti, kad iš investicijų gaunamos dabartinės pajamų vertės yra sąlygiškos charakteristikos, nes jos iš esmės priklauso nuo ateityje pasirinktos palyginamosios normos.

Parenkant palyginamąją normą iš principo orientuojamasi į egzistuojantį arba laukiamą apytikrą paskolos palūkanų lygį. Rekomenduojama taikyti minimaliai patrauklią pajamų normą (*angl. minimum attractive rate of return*). Atliekant investicijų finansinio efektyvumo analizę, atsižvelgiama į rinkoje nusistovėjusią kapitalo vertę; apytikslę akcijų, kredito palūkanų normų, įvairių vertybinių popierių pelningumo rodiklius; subjektyvius vertinimus, paremtus stambių finansinių institucijų ar korporacijų patirtimi.

Vis dėlto nustatant taikytiną diskontuoti palūkanų normą vienas iš svarbiausių momentų yra rizikos įvertinimas. Pastaruoju metu atsinaujinančios energetikos sektoriuje įvyko didelių pokyčių, taigi į juos turi būti atitinkamai atsižvelgiama.

Nagrinėjant grynąjį pinigų srauto dabartinės vertės nustatymo galimybes, galima teigti, kad gaunami srautai būna labai įvairūs, todėl kiekvienam atvejui reikia taikyti labiausiai tinkančias formules. Jei yra vienkartinė investicija, grynąją dabartinę vertę matematiškai galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+i)^k} - IC \quad (2.3)$$

kur P_k – metinės pajamos per n metų, IC – pradinės investicijos, i – palyginimo (diskonto) norma.

Jei yra nevienkartinė investicija, o finansiniai ištekliai nuosekliai investuojami kelerius metus (m – metų), NPV apskaičiavimo formulė modifikuojama tokiu būdu:

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+i)^k} - \sum_{j=1}^m \frac{IC_j}{(1+i)^j} \quad (2.4)$$

Vidinė pelno norma

Analizuojant verslo projektų efektyvumą, vidinė pelno norma (*IRR* – angl. *Internal Rate of Return*) yra vienas iš reikšmingiausių rodiklių. Šis rodiklis apibūdina pritrauktų finansavimu lėšų ir tų lėšų kainos santykį. Vidinė pelno norma suprantama kaip diskonto norma, kurios taikymas užtikrina laukiamų piniginių mokėjimų (išlaidų) dabartinės vertės ir laukiamų piniginių įplaukų dabartinės vertės lygybę.

Vidinės pelno normos rodiklis apibūdina maksimaliai galimą santykinį išlaidų lygį. Pavyzdžiui, jei įgyvendinant projektą gauta banko paskola, tai *IRR* reikšmė rodo viršutinę leistino banko procentinės normos lygio ribą, kurios viršijimas padaro projektą nepelningą. Ši reikšmė apskaičiuojama naudojantis formule:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV(i_1)}{NPV(i_1) - NPV(i_2)} \times (i_1 - i_2) \quad (2.5)$$

Rentabilumo indeksas ir investicijų efektyvumo koeficientas

Rentabilumo indekso (*PI* – angl. *Profitability Index*) apskaičiavimo metodas yra grynosios dabartinės vertės (*NPV*) nustatymo metodo tęsinys. *PI* rodiklis, skirtingai nuo *NPV*, yra santykinis dydis. Jei investicijos vienkartinės, tai šis rodiklis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$PI = \left(\sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+i)^k} \right) / IC \quad (2.6)$$

Čia P_k – metinės pajamos, Eur.;

IC – standartinės investicijos, Eur..

Jei $PI=1$, tai reiškia, kad investicijų pajamingumas atitinka rentabilumo normatyvą (palyginimo normą). Esant $PI<1$, investicijos nerentabilios, nes neužtikrina šio normatyvo reikalavimų.

Investicijų efektyvumo koeficiento (*ARR*) apskaičiavimo metodo esmė yra ta, kad vidutinių metinių pajamų dydis (*PN*) dalinamas iš vidutinio investicijų dydžio. Pats koeficientas išreiškiamas procentais.

Investicijos vidutinė reikšmė randama dalinant pirminę kapitalinių investicijų sumą iš dviejų, jei laikoma, kad pasibaigus analizuojamojo projekto įgyvendinimo laikui visos kapitalinės išlaidos bus nurašytos; jei nutariama, kad bus likutinė arba likvidacinė vertė (*RV*), tai jos dydis turi būti atimtas. Taigi šio koeficiento reikšmė nustatoma taip:

$$ARR = \frac{PN}{0,5(IC-RV)} \quad (2.7)$$

Šį rodiklį galima lyginti su rentabilumo koeficientu. Pagrindinis šio metodo trūkumas yra tas, kad formuojant piniginius srautus neįskaitomas laiko veiksnys

Investicijų pelningumo rodiklis

Investicijų pelningumo rodiklis (*angl. return on investment-ROI*) yra finansinis rodiklis, kuris parodo iš investicijos gautą naudą. Esminį vaidmenį skaičiuojant investicijų pelningumo rodiklį atlieka laikas, nes tam, jog investicija atneštų naudos, reikia laiko. Šis rodiklis skirtas įvertinti investicijos efektyvumą arba palyginti jį su kitomis investicijomis (Return of 2016). Šis rodiklis skaičiuojamas naudojanti šia formule (Investicijų pelningumo 2016):

$$ROI = \frac{GP}{IC_n + IC_s} \quad (2.8)$$

Čia: GP – grynasis pelnas, Eur.;

IC_n – Nuosavos investicijos, Eur.;

IC_s – Skolintos investicijos, Eur..

Dažniausiai investicijų pelningumo rodiklis naudojamas siekiant įvertinti bendrovės pelningumą (arba operacijos pelningumą bendrovės viduje), atsižvelgiant į investiciją. Yra ir kiti pelningumo matai – pardavimų pelningumas (*angl. sales profitability*) arba turto pelningumas (*angl. total assets profitability*) (Kaip skaičiuojama 2013).

Nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis

Nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis (*angle. Return of equity-ROE*) parodo kiek efektyviai panaudojamas nuosavas įmonės kapitalas (įmonės savininkų investuoti pinigai ir turtas), t.y. kiek kiekvienam įmonės nuosavo kapitalo eurui tenka grynojo pelno. Norint jį suskaičiuoti reikia grynąjį pelną padalinti iš nuosavo kapitalo. Šis rodiklis skaičiuojamas naudojantis šia formule (Nuosavo kapitalo 2016):

$$ROE = \frac{GP}{IC} \quad (2.9)$$

Šis rodiklis svarbus akcininkams, kadangi jo reikšmė parodo investuotų pinigų grąžą. Potencialius investuotojus jis taip pat domina, kadangi jiems tapus akcininkams šis rodiklis rodytų jų investuotų pinigų grąžą. Priklausomai nuo šalies ekonominės ir finansinės būklės laikoma, kad 10% ir didesnis nuosavo kapitalo pelningumas nėra blogas, o 15% geras. Tačiau vertinant šias reikšmes reikia atsižvelgti kokioje šakoje veikia įmonė, kokia šalies paskolų ir indėlių rinkos būklė. Krizės metu 5% nuosavo kapitalo pelningumo dydis gali būti laikomas geru.

2.3 Investicinių projektų efektyvumo ir rizikos vertinimo metodai

Investavimas yra viena rizikingiausių žmogaus finansinės veiklos sričių, nes būtent čia susiduriama su didžiausiu neapibrėžtumu. Norint išvengti visų nepageidaujamų ir rizikingų

finansinės bei investicinės veiklos padarinių, būtina pažinti riziką, ją kiekybiškai išmatuoti ir ekonomiškai įvertinti. Taigi prieš investuojant reikia išnagrinėti informaciją apie investavimo objektą, žinoti jo finansinę padėtį rinkoje, ateities perspektyvas dirbti. Siekiant pažinti bet kokią reiškinį, svarbu suvokti jo esmę ir atsiradimo priežastis (Aleksnevičienė 1997).

Rizika daugeliu atvejų susijusi su nepatenkinamais ūkiniais rezultatais, išteklių ir pelno nuostoliais. Tačiau tai vienapusiškas požiūris į riziką. Jei riziką apibūdinsime tik kaip galimas patirti neigiamas pasekmes, bus nesuprantamas kai kurių asmenų pasiryžimas rizikuoti. Juk priimant bet kokią sprendimą, tikimasi iš jo gauti naudos, o ne patirti nesėkmę, todėl ir sutinkama rizikuoti. Atsižvelgiant į tai, kai kurie autoriai (Moyer ir Kretlow 1997) riziką apibūdina kaip tikimybę, kad faktiškos pajamos gali nukrypti nuo laukiamų.

Apibendrinant mokslinėje literatūroje įvairių autorių siūlomus ilgalaikių investicijų rizikos vertinimo metodus, pagrindiniais ir labiausiai paplitusiais galima laikyti:

- Kokybinius – lūžio taško analizė, jautrumo analizė, analizė pagal scenarijus, Monte Karlo imitacinis modeliavimas, sprendimų medis, statistinis, atsipirkimo laikas, ekspertinis įvertinimas. Jais galima vertinti konkretaus projekto riziką;
- Kiekybinius – patikimumo ekvivalentai, diskonto norma, įvertinanti rizikos dydį. Jie pasirenkami, kai siekiama palyginti dviejų ir daugiau galimų investicinių projektų riziką tarpusavyje.

Lūžio taško analizės metodas – tai finansinės analizės ir planavimo metodas, leidžiantis nustatyti lūžio tašką, parodantį pardavimų apimtį, kuri būtina, kad įmonė padengtų veiklos išlaidas. Tai yra pastoviųjų ir kintamųjų kaštų, pardavimų ir pelno tarpusavio priklausomybės tyrimo analitinis metodas (Norvaišienė ir Bagdzevičienė 2000). Lūžio taško analizės metodas padeda vaizdžiai pavaizduoti ir informuoti kaip kinta įmonės išlaidos ir pajamos keičiantis gamybos apimčiai. Šio metodo trūkumai yra tai, kad jis apima tik 3 parametrų – kainos, kintamųjų išlaidų ir pastoviųjų išlaidų kitimo įtaką projekto rezultatui, neatsižvelgiant į investicijų sumą, pinigų laiko vertę ir kapitalo kainą. Taip pat šį metodą itin sudėtinga pritaikyti keletui produkcijos rūšių, dėl pastoviųjų išlaidų paskirstymo. Lūžio taško analizės metodas apima tik vieną periodą, kuris paprastai lygus vienerių metų laikotarpiui ir kintant pastoviesiems kaštams, paprastas lūžio momento grafikas yra nepraktiškas. Taip pat šio metodo trūkumas yra tas, kad egzistuoja išlaidos su ilgalaikė nauda, kuri atneša naudą vėlesniais laikotarpiais.

Atsipirkimo laiko metodas apskaičiuojamas metais, kurių reikia, kad būsimaisiais pinigų srautais būtų padengtos pradinės investicijos. Atsipirkimo laikas yra vienas iš kriterijų, pagal kurį vertinama rizika. Kuo ilgesnis projekto atsipirkimo laikas, tuo didesnė rizika.

Daugelis Lietuvos ir užsienio autorių (Neverauskas; Stankevičius 2000, Norvaišienė 2000), analizavę atsipirkimo laiko metodą, išskiria tokius šio metodo privalumus:

lengva ir paprasta apskaičiuoti, metodas suteikia galimybę tarpusavyje palyginti investavimo alternatyvas, padeda išrinkti mažiausiai rizikingą projektą. Jei akcentuojamas likvidumas, metodas leidžia įmonei išlaikyti lankstumą ir vėliau lengviau išnaudoti nelauktas galimybes. Atsipirkimo laiko metodą patogu naudoti, kai trūksta kapitalo investicijoms finansuoti, naudojant šį metodą nebūtina skaičiuoti pinigų srautų visam projekto gyvavimo laikotarpiui ir jis parodo kiek laiko investicijos susaistytos su projektu.

Pagrindiniai 4 šio metodo trūkumai yra tai, kad sunku tiksliai nustatyti momentą, nuo kurio baigiasi investicijos ir pasideda atsipirkimas, ignoruojama pinigų laiko vertė, todėl pinigų vertė ir vėlesniais, ir ankstesniais metais yra tokia pati. Trečiasis trūkumas yra tai, kad neįmanoma įvertinti bendro projekto rizikos lygio, kadangi neįvertinamas rezultatų daugiavariantiškumas po projekto atsipirkimo laikotarpio. Paskutinis trūkumas yra tai, kad tokio rizikos mato negalima įtraukti į projekto rezultatyvumo rodiklių koregavimo, atsižvelgiant į rizikos veiksnį, procesą.

Jautrumo analizės metodas – tai šiuo metu vienas plačiausiai naudojamas metodas praktikoje. Projekto vertės nustatymas dažnai remiasi vienintelių apibrėžtų reikšmių, kurios nustatomos „geriausio spėjimo būdu“, suteikimu projekto parametrų. Metodo tikslas yra išryškinti svarbiausius veiksnius, galinčius turėti daugiausia įtakos projektui, bei patikrinti kiekvieno jų įtaką projekto rezultatams. Bruožai, suteikiantys jautrumo analizei privalumų prieš kitus metodus yra skaičiavimų paprastumas, ekonominis matematinis rezultatų natūralumas bei jų aiškumo akivaizdumas. Šis metodas yra vienas tinkamiausių kokybinių metodų, kuomet įmonė stokoja rinkos arba ekspertų informacijos. Pavyzdžiui lūžio taško analizė nėra tinkama dėl savo laikotarpio periodiškumo ir rezultatų, kurie gaunami kaupiamuoju, bet ne piniginiu principu. Tačiau nepaisant jautrumo analizės metodo populiarumo mokslininkai (Aleksavičienė 1997, Norvaišienė; Bagdzevičienė 2000, Moyer; Kretlow 1997), analizavę šį metodą, nurodo bent po kelis jo trūkumus:

- Tiriama tik vieno faktoriaus kitimo įtaka bendram projekto rezultatui;
- Didelis projekto jautrumas nebūtinai reiškia didelį projekto rizikingumą;
- Nėra nustatoma galimų ryšių tarp atskirų veiksnų, neatsižvelgiama į jų koreliaciją;
- Jautrumo analizės metodas pateikia tik rizikos poveikio suvokimą, bet neišreiškia šio poveikio kiekybine prasme;
- Nenumato alternatyvių projektų įgyvendinimo galimybių.

Monte Karlo imitacinis modeliavimas – tai rizikos analizės metodas, kuriuo ateities įvykiai modeliuojami kompiuteriu, gaunant numatomus pelno normas ir rizikos indeksus. Taikant šį metodą sudaromas matematinis modelis su neapibrėžtomis parametrų reikšmėmis, o žinant tikimybinį projekto parametrų paskirstymą bei ryšį tarp parametrų pasikeitimų (koreliaciją) gaunamas projekto rezultatyvumo pasiskirstymas. Metodo esmė yra siekiant įvertinti rezultato kintamumą, jo parametrų suteikiami atsitiktiniai dydžiai ir tikimybės; sudaromos parametrų

kombinacijos, išsiskiriančios savo gausa ir įvairove (Aleknavičienė 1997). Mokslininkų (Norvaišienė; Bagdzevičienė 1999) nuomone šis metodas įgalina tiksliau įvertinti investicinių projektų riziką, nes gali apimti kur kas daugiau NPV komponentų ir jų tarpusavio kombinacijų, dėl to galima tiksliau nustatyti NPV kitimo amplitudę, laukiamą NPV, vidutinį kvadratinį nuokrypį ir variacijos koeficientą. Nors atliekant investicinių projektų rizikos analizę Monte Karlo metodu gaunami patikimesni rezultatai, nei naudojant kitus vertinimo metodus mokslinėje literatūroje (Norvaišienė; Bagdzevičienė 2000, Moyer; Kretlow 1997) nurodomi 3 pagrindiniai šio metodo trūkumai. Pirmasis yra nors programinę kompiuterių įrangą lengva naudoti, tačiau sunku tiksliai apibrėžti pačias koreliacijas. Antrasis trūkumas yra aiškių sprendimo taisyklių trūkumas. Radus laukiamą NPV ir riziką, pritrūksta mechanizmo, galinčio nustatyti ar laukiama NPV pakankamai kompensuos jos riziką. Paskutinis trūkumas yra tas, kad šis metodas ignoruoja diversifikacijos įtaką projektams kompanijos viduje ir investuotojų asmeninių investicijų portfeliams, kuri suteikia daug rizikos mažinimo privalumų.

Analizė pagal scenarijus leidžia nustatyti kelių veiksmų tarpusavio sąveiką, t.y. jų kitimą vienu metu ir tokiu būdu įvertinti jų kombinuotą poveikį projekto NPV. Metodo esmė yra „blogų“ ar „gerų“ aplinkybių visumų palyginimas su labiausiai tikėtina situacija arba baziniu atveju. Daugelio autorių (Neverauskas; Stankevičius 2000, Norvaišienė; Bagdzevičienė 2000) nuomone, šis metodas pagrįstas galimų piniginių srautų modeliavimu trimis projekto įgyvendinimo sąlygų variantams: pesimistiniam, optimistiniam ir baziniam (labiausiai tikėtinam). Optimistinio ir pesimistinio variantų NPV skirtumas parodo rizikos laipsnį. Kuo šis skirtumas didesnis, tuo projektas rizikingesnis.

Kaip ir visi metodai šis taip pat turi trūkumų:

- Analizuojami tik keli projekto NPV rezultatai, nors praktikoje tokių galimų rezultatų gali būti daugybė;
- Šios analizės pagalba gauti rezultatai dažnai būna nepatikimi, nes mažai tikėtina, kad vienu metu visi parametrai įgaus geriausias ir blogiausias reikšmes;
- Analizės rezultatai priklauso nuo vertintojų požiūrio į riziką ir pelningumą.

Statistiniu metodu nustatomas konkrečių investicijų efektyvumas ir jo pasireiškimo dažnumas bei sudaroma labiausiai tikėtina prognozė ateičiai. Šis metodas taikomas skaičiuojant laukiamą kiekvieno darbo ir viso projekto trukmę. Metodo esmė – nustatant nuostolių galimybę analizuojami visi statistiniai duomenys, liečiantys kompanijos veiklos rezultatyvumą (Garškienė 1997). Kadangi riziką matematine prasme galima apibūdinti kaip nuostolių gavimo tikimybę, tai statistiniai metodai kaip tik ir leidžia ją nustatyti, tik reikia žinoti kurio nors reiškinių visas galimas pasekmes (rezultatus) ir šių rezultatų gavimo tikimybę. Nagrinėjamoje literatūroje (Norvaišienė; Bagdzevičienė 1999) skiriami du tikimybių nustatymo metodai: objektyvus

(grindžiamas dažnumo, kuriuo vyksta tam tikri įvykiai, įvertinimu) ir subjektyvus (remiasi subjektyviais kriterijais ir nuomonėmis). Praktikoje jie taikomi abu.

Statistinio metodo privalumai kitų rizikos metodų atžvilgiu: nustatant nuostolių galimybę analizuojami visi statistiniai duomenys, liečiantys įmonės pelningumą, taip gaunama patikima prognozė; neturint savų duomenų galima pasinaudoti kitų įmonių investiciniais veiklos rezultatais. Trūkumai: įvertinant projektą ir darant išvadas, remiamasi tikimybinėmis charakteristikomis, sunkiai pritaikomomis praktikoje; statistinio rizikos laipsnio apskaičiavimo metodas reikalauja didelio duomenų kiekio, kurio ne visuomet įmonė turi.

Statistinis metodas gali būti integruojamas kartu su ekspertiniu, tačiau kaip savarankiškas netinkamas dėl to, kad jis grindžiamas praeities duomenimis, o kiekvienas investicijų projektas yra unikalus.

Sprendimų medžio metodas gali būti naudojamas nagrinėjant daugybę alternatyvių veiksmų bei galimybių apimančias problemas. Pagal naudojimo tikslą šis metodas yra vienas ainiausių. Mokslinėje literatūroje (Norvaišienė; Bagdzevičienė 2000, Gitman; Joehnk 1998) pateikiamas šio metodo apibūdinimas yra – sprendimų medžiai remiasi tam tikrų veiksmų sukeltų rezultatų tikimybių nustatymu. Kiekvienam rezultatui suteikiama subjektyvi tikimybė, apskaičiuojamas svertinis rezultatas ir įvertinama NPV po kiekvieno veiksmo įgyvendinimo.

Pagrindinis šio metodo privalumas yra tai, kad jis naudingas, kai planuojami vėlesnio laikotarpio rezultatai priklauso nuo ankstesnio laikotarpio rezultatų, arba kai esant kelioms investavimo alternatyvoms, investicijų įgyvendinimo planas iki tam tikro laiko sutampa, tačiau nuo tam tikro laiko pradeda skirtis. Trūkumai yra tai, kad įvertinama tik viena tikslo funkcija, metodas gali būti naudojamas tik esant santykinai mažam neapibrėžtų kintamųjų skaičiui. Metode neįvertinamas galimas kintamųjų reikšmių nuokrypis, taip pat pakitus bent vienos sprendimų medžio viršūnės projekto realizavimo sąlygoms automatiškai kinta ir NPV reikšmės. Naudojantis sprendimų medžio metodu ir norint įvertinti didelį sprendimų ir galimų aplinkos būsenų skaičių, dėl didelės apimties sprendimų medžio galutinės tikslo funkcijos reikšmės apskaičiavimas bei reikalingų duomenų surinkimas ir įvertinimas tampa sudėtingas.

Diskonto normos, įvertinančios rizikos dydį, metodas reikalauja nustatyti kapitalo nerizikingo investavimo kainą ir projekto rizikos kainą. Šis metodas dažniausiai taikomas priimant ilgalaikius investavimo sprendimus. Diskonto normos metodu galima įvertinti būsimų pinigų įplaukų neapibrėžtumą. Kai kurių autorių (Bivainis ir kt. 1997) teigimų, šis metodas daugiausiai remiasi NPV suvokimu, t.y. investavimo sprendimas priimamas, jei jo NPV didesnis arba lygus 0. Riziką įvertinančių diskonto normos metodu kiekvieno projekto grynųjų pinigų įplaukos diskontuojamos pagal riziką įvertinančią normą, o ne pagal įmonės kapitalo kaštus. Kuo

rizikingesnė investiciją, tuo didesnė turi būti laukiama grąža, kad investuotojai patikėtų savo kapitalą.

Diskonto normos, įvertinančios rizikos dydį metodas pakankamai paprastas praktiniam naudojimui. Vidutinio rizikos laipsnio projektų diskonto normą galima apskaičiuoti remiantis fondų rinkos stebėjimų duomenimis. Tačiau šio metodo trūkumai yra tai, kad rizikai ir laikui įvertinti naudojamas tas pats matas, o tai gali trukdyti priimant galutinį sprendimą. Dažnai tos pačios diskonto normos naudojamos visiems įmonės projektams, tokiu būdu neįvertinama rizika, susijusi su konkrečiais projektais. Taip pat rizikos priedo dydis nustatomas intuityviai, o tai reiškia, kad skirtingo žmonės įves skirtingas pataisas vienam ir tam pačiam projektui įvertinti.

Šis metodas taikytinas kai siekiama palyginti dviejų ir daugiau galimų investicinių projektų riziką tarpusavyje. Tačiau metodo taikymas gali sukelti problemų dėl diskonto normos korekcijų patikimumo. Šis metodas parodys tik ekonominį efektyvumą.

Ekspertinis metodas – papildomas rizikos vertinimo metodas, kuris naudojamas kai nepakanka statistinių duomenų. Jis skirtas vertinti veiksniai, kurie neturėdami kiekybinės išraiškos, nebuvo įvertinti finansinėje ar ekonominėje analizėje. Metodo esmė – investuotojai turi pasikliauti ekspertų išvadomis apie investicijų efektyvumo lygių pasireiškimo tikimybes arba leistinos ir kritinės rizikos pasireiškimo galimybių įvertinimu. Ekspertų nustatomais vertinimo kriterijais dažniausiai siūloma laikyti šiuos verslo projekto analizės metu apskaičiuotus rodiklius: projekto NPV, IRR, investicijų rentabilumą, riziką, įvertinamą imitaciniu modeliavimu, atsipirkimo laiką, riziką, įvertintą keičiant pinigų srautą, prekių ir paslaugų eksporto santykinę dalį, riziką, įvertintą naudojant skirtingą diskonto koeficientą, importuojamų pagrindinių žaliavų, skirtų gamybai, santykinę dalį bei daugelį kitų rodiklių (Bivainis ir kt. 1997). Šis metodas taikomas tuomet, kai įmonei prieinama rinkos arba ekspertų informacija, kuri turi būti pakankamai patikima.

Šio metodo panaudojimas nėra sudėtingas, nes norint atlikti ekspertinę rizikos analizę, nebūtina turėti tikslius duomenis ir brangią programinę įrangą, o rizikos įvertinimą galima atlikti dar iki projekto efektyvumo skaičiavimo. Tačiau esminis trūkumas yra rezultatų patikimumas, kuris priklauso nuo ekspertų kompetencijos ir požiūrio į riziką bei pelningumą.

Patikimumo ekvivalentų metodo esmė – būsimi investicijų pinigų srautai yra diskontuojami laisva nuo rizikos diskonto norma, o po to kiekvienų metų NPV nustatomas patikimumo ekvivalentas. Vienetui prilygintas patikimumo ekvivalentas išreiškia nerizikingas investicijas. Kadangi patikimumo ekvivalentų naudojimas betarpiškai siejamas su rizika kaip laiko funkcija, jis mažinamas kiekvienų sekančių metų pinigų srautams. Mokslininkai (Aleknavičienė 1997, Moyer; Kretlow 1997) teigia, kad šis metodas yra teorinio pobūdžio ir intuityviai logiškas vien todėl, kad rizika stiprėja laukui bėgant. Jis neturi praktinio pagrindimo, nes nėra metodikos kaip nustatyti patikimumo ekvivalentus. Kadangi šie ekvivalentai siejami su rizikos stiprėjimu laiko

tėkmėje, daug paprasčiau taikyti atsipirkimo laiko metodą. Taigi šio metodo trūkumai yra tai, kad nėra metodikos rizikingo pinigų srauto patikimumo ekvivalentui apskaičiuoti ir kiekvienas individas turi savo įvertinimą, kuris gali kisti plačiose ribose.

Taigi išanalizavus investicinių projektų rizikos vertinimo metodus, galima teigti, kad nėra vienintelio idealaus metodo, kuriuo būtų galima remtis ir tiksliai įvertinti riziką. Norint kuo tiksliau įvertinti riziką reikėtų naudotis keliais ar net visais minėtais projekto vertinimo metodais.

2.4 Skyriaus išvados

1. Vartotojo pridėtinė vertė yra kainų skirtumas tarp kainos, kurią jis sumoka už prekę ar paslaugą ir mažiausios kainos, kurią jis turėtų sumokėti, o gaminto pridėtinė vertė yra kainos už kurią parduodama prekė ar paslauga ir resursų jai pagaminti skirtumas. Vertė gali būti padidinama vystant produkto kokybę, ilgaamžiškumą, mažinant gamybos kaštus, informuojant potencialius klientus, formuojant visuomenės požiūrį, mažinant kainas ir didinant pardavimus.

2. Vertės kūrimo procesai veikia ne tik vartotojus ir gamintojus, bet ir visas kitas suinteresuotas šalis. Kintant vertei nėra užtikrinta, kad ši vertė nepakis ir suinteresuotoms šalims. Vertės gavimą galima apsvarstyti iš trijų pusių: kaip derybų tarp suinteresuotų šalių rezultatą, kaip kompanijos strategijos pokyčius tikintis geresnio ekonominio ir neekonominio rezultato ir kaip nelogiškų veiksnių rezultatą.

3. Išmaniuosiuose elektros tinkluose yra abu vertės komponentai – tiesioginio naudojimo vertė ir nenaudojimo vertė. Tiesioginio naudojimo vertė gali būti išreiškiama per elektros mainų procesu vykstančius pinigų srautus, netiesioginė vertė yra švarus oras ar išaugusi nekilnojamo turto vertė. Nenaudojimo vertė išreiškiama per mažėjantį elektros tinklą naudojimą ir mažesnes jo priežiūros išlaidas.

4. Saulės energetikos projektuose išskiriamos 3 pagrindinės suinteresuotų šalių grupės: aktyvūs vartotojai, investuotojai ir elektros tinklų operatoriai. Visos šios suinteresuotos gauna vertę integruojant atsinaujinančią energetiką į išmanųjį elektros tinklą, nuo tiesioginių pinigų srautų elektros mainų procesuose iki mažesnių išlaidų už elektros perdavimą.

5. Investicijų efektyvumui įvertinti pasirinkti finansiniai rodikliai: grynas pelnas, investicijų atsipirkimo laikas, grynoji dabartinė vertė, vidinė pelno norma, rentabilumo indeksas, investicijų efektyvumo koeficientas, investicijų pelningumo rodiklis ir nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis. Visi šie rodikliai padės įvertinti investicijų į saulės elektrinės projektą efektyvumą.

6. Matuojant investicinių projektų efektyvumą labai svarbu įvertinti ir riziką. Rizikai tirti gali būti naudojami kokybiniai – lūžio taško analizė, jautrumo analizė, sprendimų medis ir pan. metodai ir kiekybiniai – patikimumo ekvivalentai, diskonto norma ir pan. Skyriuje apžvelgiami lūžio taško analizės metodas, atsipirkimo laiko metodas, jautrumo analizės metodas, Monte Karlo

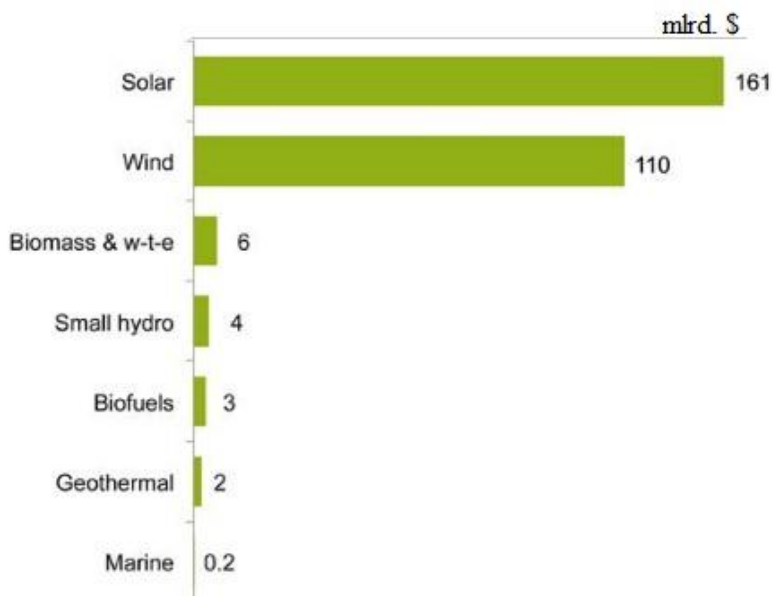
imitacinis modeliavimas, analizė pagal scenarijus, statistinis metodas, sprendimų medžio metodas, diskonto normos, įvertinančios rizikos dydį, metodas, ekspertinis metodas ir patikimumo ekvivalentų metodas. Išanalizavus visus minėtus investicijų efektyvumo ir rizikos vertinimo metodus galima teigti, kad nėra vieno tobulo metodo, kuriuo būtų galima remtis, taigi norint kuo tiksliau įvertinti šiuos rodiklius reikėtų naudoti visus ar bent jau keletą metodų.

Taigi vertinant saulės elektrinės projektą naudosime atsipirkimo laiko ir analizės pagal scenarijus metodus, taip pat projektą vertinsime pagal visus minėtus finansinius rodiklius.

3. SAULĖS ENERGIJOS KONKURENCINGUMAS IR INVESTICIJŲ GRAŽA

Apžvelgus išmaniųjų tinklų technologijas, saulės energijos principus ir tendencijas, investicinių projektų vertinimo kūrimo principus bei metodus, kuriame modelio struktūros ir parametrų specifikacijai parinktas Lietuvoje ir pasaulyje greitai besivystantis atsinaujinančių energijos išteklių tipas – saulės energetika. Šis energetikos tipas puikiai atitinka Lietuvos klimato ir geografinės sąlygas. Kiekvienas atsinaujinančios energijos projektas yra individualus ir stipriai priklauso nuo savo geografinės padėties, naudojamų technologijų, taikomų paramos mechanizmų, baigiamojo magistrinio darbo analitinėje dalyje bus naudojama maža, 10 kW saulės elektrinė, kadangi šio tipo elektrinės yra vienos populiariausių bei patraukliausių Lietuvoje. Analizei bus naudojami jau pastatytos saulės elektrinės duomenys, bei duomenys iš saulės elektrinių įmonės.

Saulės energetika yra viena perspektyviausių atsinaujinančios energijos technologijų ir į ją investuojama daugiausia. 2015 metais į saulės energetiką buvo investuota 161 mlrd. Dol., kuomet į antrą vietą užėmusią atsinaujinančios energetikos technologijų rūšį – vėjo energetiką buvo investuota 110 mlrd. Dol. (McCrone *et. al.* 2016). Taip pat remiantis naujausia tarptautinės energetikos agentūros (IEA) ataskaita tikimasi, kad atsinaujinanti energetika išliks sparčiausiai auganti elektros energijos generavimo šaka ir 2021 metais generuos iki 60% pasaulio energijos poreikio – 7600 TWh (International energy 2016).



3.1 pav. Investicijos į atsinaujinančią energetiką pagal energetikos rūšį 2015 metais (McCrone *et. al.* 2016)

Lietuvoje saulės elektrinės dar nėra itin populiarios, tačiau jų atsiranda vis daugiau, ypač mažų: iki 10kW, kurios skirtos savo elektros energijos poreikiams patenkinti. Jos populiarėja dėl valstybės siūlomos finansinės paramos ir galimybės parduoti elektros energiją į tinklą.

2016 metų pradžioje Lietuvoje veikė 73 MW saulės elektrinių (Įrengtoji galia 2016). Lietuvoje didesnė atsinaujinančios energetikos investicijų dalis atitenka vėjo energetikai, tačiau vėjo elektrinės yra brangios, o mažos saulės elektrinės jau yra įperkamos, būtent todėl pasirinkta tirti maža saulės elektrinė su baterijų sistema.

Saulės energetika išmaniajame tinkle gali dalyvauti beveik visuose jo siūlomuose procesuose, šie procesai priklauso nuo saulės elektrinės ir baterijų sistemos dydžio. Norint įvertinti potencialią saulės elektrinės sukuriamą vertę reikia išanalizuoti kokiuose tiksliai procesuose saulės elektrinė galės dalyvauti ir kurti vertę. Investicijų į saulės energetikos projektus sukuriamą vertę priklauso nuo daugelio faktorių: naudojamų saulės modulių, bendrų išlaidų už saulės elektrinę, saulės elektrinės geografinės padėties, nors Lietuvoje ji nėra labai svarbi, kadangi saulės energijos intensyvumas visoje valstybės teritorijoje stipriai nesiskiria, nuo to kaip sumontuota saulės elektrinė ir kokia gaunama valstybės parama. Todėl norint nustatyti investicijų efektyvumą kitose valstybėse kiekvieną technologiją reikia vertinti atskirai.

3.1 Tiriamos saulės elektrinės efektyvumo įvertinimas

Saulės elektrinių efektyvumas turi didelę įtaką investicijos efektyvumui, kadangi priklauso nuo daugelio minėtų faktorių. Pirminis veiksnys kurį reikėtų įvertinti tai yra elektrinės vieta valstybėje, nes nors iš saulės energijos intensyvumas daug nesiskiria, tačiau 20 metų bėgyje jis turės didelę reikšmę. Lietuva turi itin geras sąlygas vystyti saulės energetikai, ypač pajūrio zonoje.

Norint nustatyti konkrečius saulės elektrinės gaminamos energijos parametrus ir numatomą projekto sukuriamą vertę Lietuvoje reikia atlikti saulės elektrinės efektyvumo ir energijos produkcijos analizę. Saulės energijos kiekis tenkantis kiekvienam Lietuvos regionui pavaizduotas 3.2 paveikslėlyje. Taigi remiantis naujausiu saulės energijos potencialu Lietuvoje galima teigti, kad 1 kW saulės modulių per metus gali pagaminti nuo 750kWh iki daugiau nei 975kWh elektros energijos. Iki 10 kW saulės elektrinėms nereikia ypatingo statinio ar panašių leidimų. Tokioms elektrinėms reikia tik atitinkamo galios įvado į namą ir leidimo plėtoti elektros energijos gamybos pajėgumus ir leidimo gaminti elektros energiją (Leidimų plėtoti, 2016). Tokių elektrinių Lietuvoje gali atsirasti itin daug, kadangi Lietuvos Respublikos vyriausybės nutarime dėl atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo elektros energijai gaminti skatinimo kvotų ir aukcionų regionų patvirtinime apribojimai šioms elektrinėms nėra numatyti (Dėl atsinaujinančių, 2012).

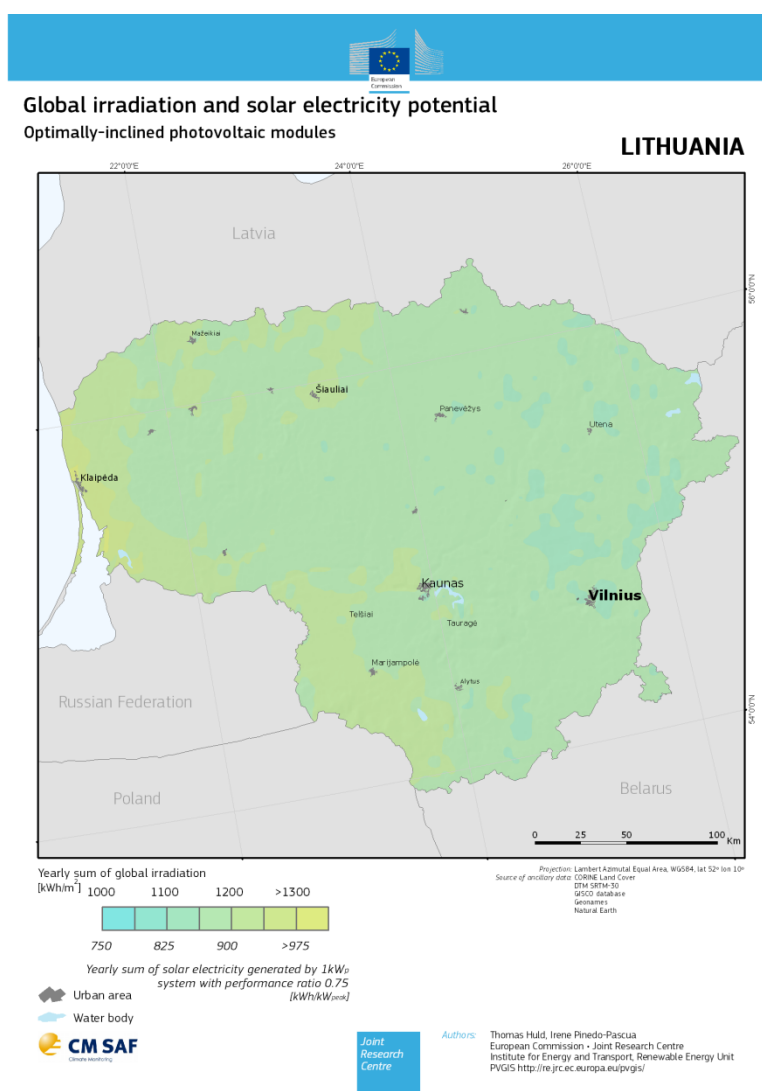
Saulės elektrinių efektyvumui taip pat daug reikšmės turi į kokią geografinę pusę yra atsisukę saulės moduliai ir koku kampu jie yra pakrypę. Be abejonės Lietuvoje palankiausia, kad saulės elektrinė būtų atsisukusi į Pietų pusę 180° kampu. Elektrinės pokrypio kampas yra šiek tiek sudėtingesnė dilema, kadangi pačios elektrinės efektyvumas priklauso nuo to koku kampu saulės spinduliai pasiekia saulės modulių paviršių. Didžiausias efektyvumas yra tuomet, kai saulės spinduliai modulį pasiekia 90° kampu, tačiau kiekvienu metų laikotarpiu saulės pozicija danguje

visuomet skiriasi. Pavyzdžiui žiemą, Sausio mėnesį Klaipėdos regione palankiausias kampas yra 18° , o vasarą, Birželio mėnesį 58° (Solar angle 2016).

3.1 lent. Saulės elektrinės pokrypio kampai kiekvieną mėnesį Klaipėdos regione (Solar angle 2016)

Mėnesis	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Pokrypio kampas, °	18	26	34	42	50	58	50	42	34	26	18	10

Sistemų galinčių nuolatos sekti saulės buvimo vieną danguję ir koreguoti elektrinės pokrypio kampą yra, tačiau jos yra labai brangios ir kenkia investicijai. Būtent todėl būtina nustatyti optimalų saulės kampą. Išanalizavus kiekvieno mėnesio optimalius kampus ir išvedus vidurkį gauname, kad optimaliausias kampas saulės elektrinei Klaipėdoje yra 34° .



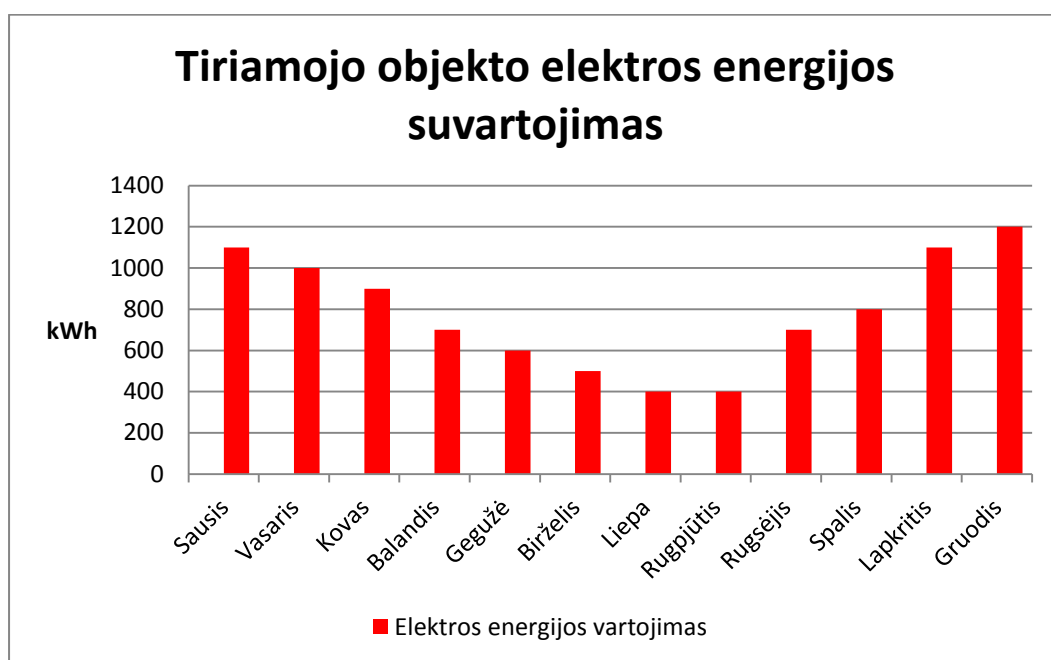
3.2 pav. Metinė saulės ekspozicija Lietuvoje (Huld *et. al.* 2012)

Taip pat analizuojant tokių projektų sėkmę labai svarbu įvertinti ir laiko faktorių, kadangi investicijos visame pasaulyje yra itin didelės, dėl ko tiek technologija, tiek ir kaina kinta pakankamai greitai. Kadangi visas pasaulis planuoja integruoti vis daugiau atsinaujinančių energijos

išteklių į savo elektros tinklus atitinkamai augs ir investicijos, o tai savo ruožtu mažins technologijų kainas. Dėl išvardytų priežasčių šiame baigiamajame darbe vertinant saulės elektrinės finansinius parametrus bus remiamasi jau egzistuojančios saulės elektrinės finansiniais ir techniniais duomenimis.

3.2 Investicijų į saulės elektrinę įvertinimas ir saulės elektrinės energijos gamybos prognozės.

Prieš vertinant investicijas į saulės elektrinę būtina įvertinti suvartojamą elektros energiją. Pasirinkto tiriamojo objekto Klaipėdoje metinis elektros energijos suvartojimas yra 9400kWh. Mėnesinis elektros energijos suvartojimas pavaizduotas 3.3 pav.

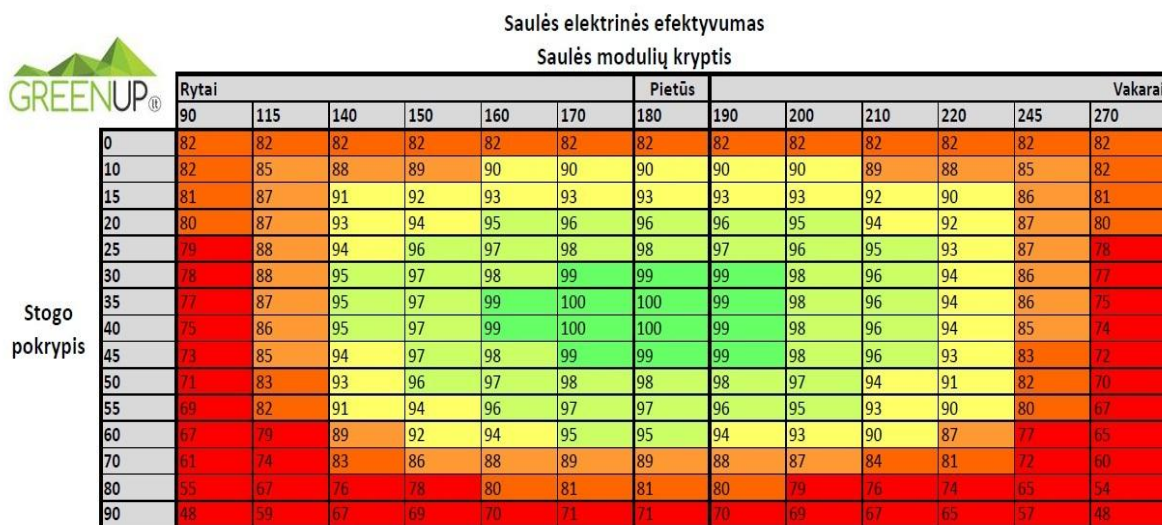


3.3 pav. Mėnesinis tiriamojo objekto elektros energijos suvartojimas

Išanalizavus elektros energijos vartojimą galima parinkti baterijų sistemą, kuri bus diegiama kartu su saulės elektrine. Renkantis baterijų sistemą labai svarbu atsižvelgti į tris kriterijus: dieninį elektros suvartojimą, saulės elektrinės energijos gamybą ir dienas, kurias norima išgyventi dingus elektros energijai tinkle. Pirmąjį kriterijų galima apskaičiuoti panaudojant turimą elektros energijos suvartojimo analizę, įvertinant kiek vidutiniškai kiekvieną mėnesį per dieną buvo suvartojama elektros energijos ir išvesti to skaičiaus vidurkį. Taigi išanalizavus dieninį elektros energijos suvartojimą gauname, kad vidutiniškai per dieną buvo suvartojama 25,83kWh elektros energijos.

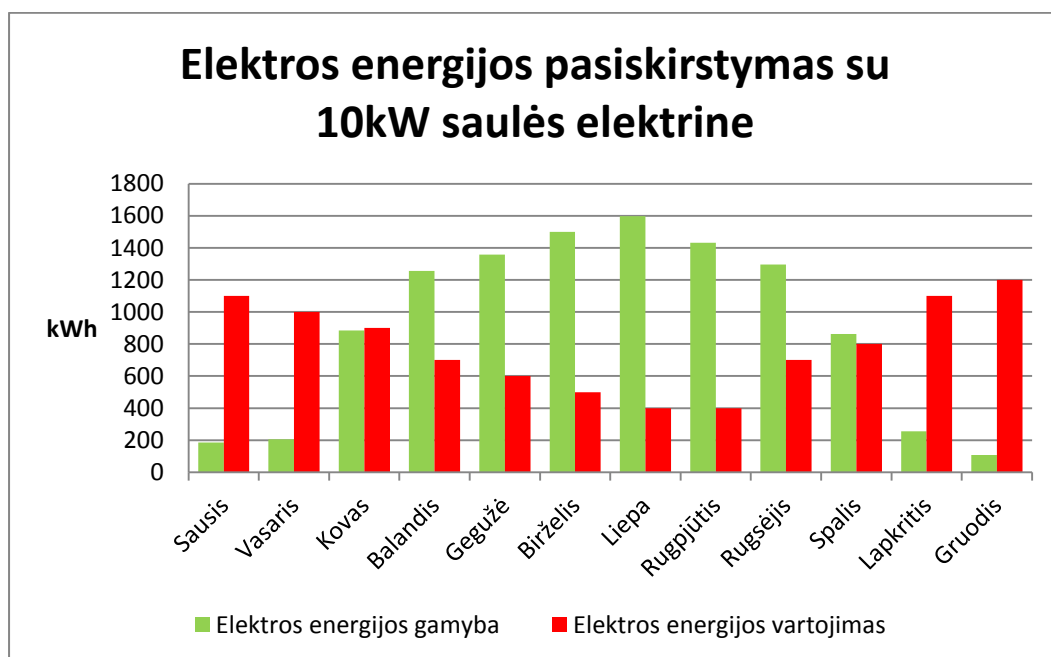
Pagal metinį elektros energijos suvartojimą parenkama 10 kW saulės elektrinė, nes ji turėtų padengti šį suvartojimą. Kadangi saulės elektrinės efektyvumas priklauso nuo saulės ir yra sunkiai prognozuojamas labai daug kas priklauso nuo vietovės parinkimo ir elektrinės pastatymo – koku kampu saulės elektrinė pakreipta ar į kurią pusę geografiškai ji yra atsisukus. Taigi šiam

projektui įvertinti naudosime modernią saulės elektrinių projektavimo programą PVSOL, kuri turi daugiau nei 20 metų saulės intensyvumo stebėjimo duomenis visame pasaulyje.



3.4 pav. Saulės elektrinės efektyvumas pagal pokrypio kampą ir geografinį nuokrypį
(5-10kW saulės 2016)

Pasinaudojus PVSOL programa nustatyta, kad pastačius 10 kW saulės elektrinę Klaipėdoje, nukreipus ją 180° į Pietus ir pakreipus saulės elektrinę optimaliausiu Lietuvoje 34° kampu gautas metinis elektros energijos kiekis yra 10939 kWh/metus.



3.5 pav. 10 kW saulės elektrinės Klaipėdos teritorijoje metinis elektros energijos gamybos kiekis ir nuosavo namo elektros energijos suvartojimas (Šaltinis: PVSOL programa)

Žinant saulės elektrinės elektros energijos gamybą kiekvieną mėnesį galima apskaičiuoti vidutinę dieninę elektros energijos gamybą taikant suvartojimo skaičiavimo metu naudotą metodą. Apskaičiuota vidutinė dieninė elektros energijos gamyba lygi 29,85 kWh. Taigi tokia saulės elektrinė turėtų pilnai padengti dieningus elektros energijos poreikius.

Kadangi saulės energijos gamyba yra kintanti ir sunkiai prognozuojama būtina turėti rezervinę elektros talpą šiai energijai talpinti, kuomet ji yra nenaudojama, kad ją būtų galima panaudoti vėliau. Saulės elektrinė padengs beveik visą elektros energijos poreikį, tačiau tam tikru dienos metu elektros energijos vartojimo nėra, o vakare jis yra šiek tiek didesnis. Tinklinei saulės elektrinei rekomenduojama turėti baterijų sistemą, kuri padengtų pusę dienos elektros poreikio, taigi šiuo atveju tokia sistema turėtų būti apie 14kWh (How to 2016).

Parinkus saulės elektrinę ir baterijų sistemą galima skaičiuoti investicijas. Saulės elektrinės nesustoja pigti, šiuo metu perkant saulės elektrinę savo elektros poreikiams patenkinti investicijos yra trejopos: saulės elektrinės įranga, baterijų sistema ir visos sistemos montavimas. Saulės elektrinių kaina sąlyginai panaši visose įmonėse, o montavimo kaina gali itin skirtis. Vertinimui bus imama 10 kW saulės elektrinė su 14 kWh baterijų sistema, skaičiavimuose taip pat bus naudojamas realaus namo, esančio Klaipėdos regione elektros energijos suvartojimo duomenys.

3.2 lent. Investicijos į 10kW saulės elektrinę su 10kWh baterija (Šaltinis: MB „Elektra man“)

Investicijų tipas	Kaina, Eur.
Saulės moduliai, 40vnt.	5600
Inverteris, 1 vnt.	1836,68
TESLA baterijų sistema (14kWh)	6200
Montavimo konstrukcijos	993,94
Kitos medžiagos	200
Projektavimas	400
Montavimas	1000
Viso	16230,62

Taigi įvertinus investicijas į saulės elektrinę matome, kad 10kW saulės elektrinė su 14kWh TESLA baterijų sistema kainuos 16230,62Eur.. Ši investicija gali būti padengiama ir savomis lėšomis, bet ją vertinsime su banko paskola. Vertinant šią investiciją bus imama 5 metų vartojimo paskola su 6,5% palūkanomis (Vartojimo paskolos 2016). Taigi paėmus tokią paskolą bendrosios metinės išlaidos pirmuosius 5 metus siektų 3457,12Eur..

Pasirašius elektros energijos pardavimo sutartį su skirstomaisiais elektros tinklais šią elektros energiją dabartiniais duomenimis galima parduoti už 0,169Eur./kWh (Elektros energijos 2016). Vadinasi tiesioginės metinės pajamos iš šios saulės elektrinės vien tik parduodant elektros energiją turėtų būti:

$$P = r \times E \quad (3.1)$$

Čia P – pajamos, Eur.;

r – elektros energijos supirkimo kaina, Eur.;

E – energijos kiekis, kWh.

$$P = 0,169 \times 10939 = 1848,69 \text{ Eur.}$$

Tačiau tikėtina, kad elektros energijos gamyba gali svyruoti taigi reikia įvertinti potencialų elektros energijos generavimo nuokrypį. Remiantis Amerikoje atliktais tyrimais su saulės energijos elektros gamybos nuokrypiu nustatyta, kad standartinis nuokrypis nuo planuojamo rezultato vidutiniškai skiriasi 4,83% (Zhang *et. al.* 2013). Taigi įvertinus šį nuokrypį galima apskaičiuoti kiek skirsis numatoma energijos prognozė.

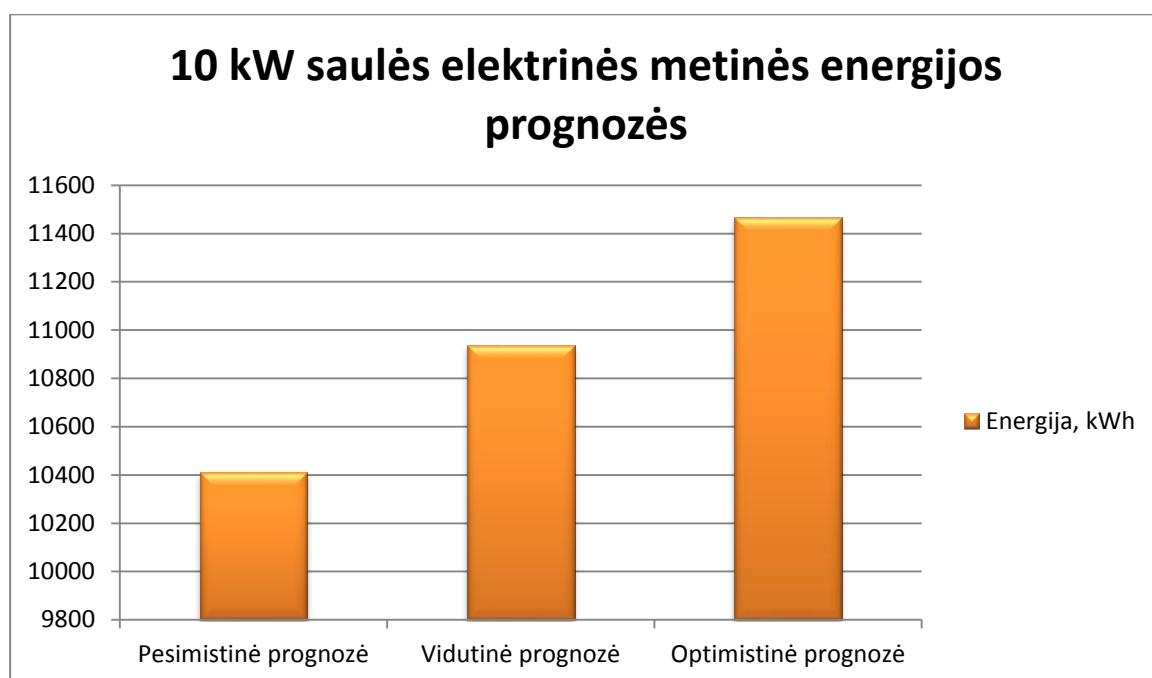
$$E_{\min/\max} = E \times (1 \mp \Delta e) \quad (3.2)$$

Čia $E_{\min/\max}$ – minimalus ar maksimalus prognozuojamos energijos kiekis, kWh;

Δe – standartinis saulės elektrinės nuokrypis nuo prognozės.

$$E_{\min} = 10939 \times (1 - 0,0483) = 10410,64 \text{ kWh}$$

$$E_{\max} = 10939 \times (1 + 0,0483) = 11467,35 \text{ kWh}$$



3.6 pav. 10 kW saulės elektrinės metinės energijos prognozės: pesimistinė, vidutinė ir optimistinė.

Įvertinus galimus energijos gamybos nuokrypius galima apskaičiuoti ir kiek kis metinis pelnas pesimistiniu ir optimistiniu variantais.

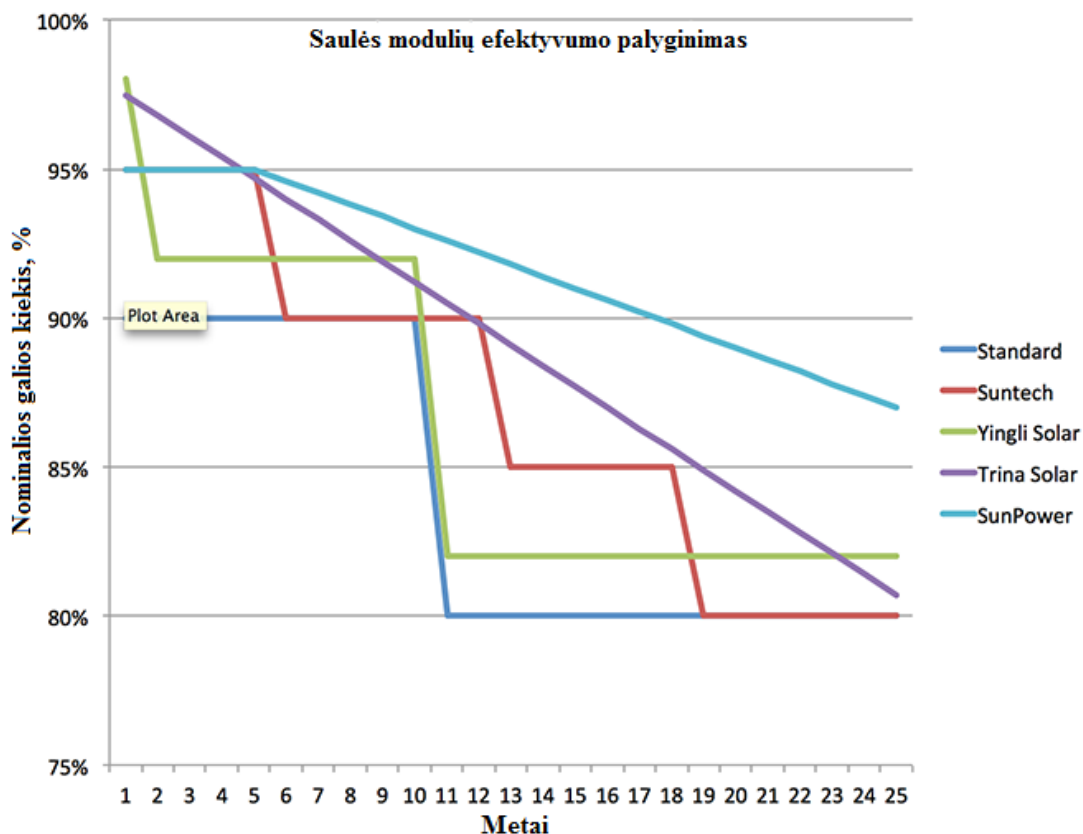
$$P_{\min} = r \times E_{\min} = 0,169 \times 10410,64 = 1759,40 \text{ Eur.}$$

$$P_{\max} = r \times E_{\max} = 0,169 \times 11467,35 = 1937,98 \text{ Eur.}$$

Iš gautų rezultatų galima matyti, kad elektros energijos generacijos prognozė yra itin tiksli ir neturės didelės įtakos tolimesniems investicijų efektyvumo skaičiavimams. Metinis pelnas iš 10 kW saulės elektrinės gali vyrauti tarp 1759,40 ir 1937,98 Eur., tačiau vidutiniškai jis sieks 1848,69 Eur.. Būtent šiuo skaičiumi remsimės ir tolimesniuose skaičiavimuose.

3.3 Pagrindiniai tiriamosios saulės elektrinės pinigų srautai

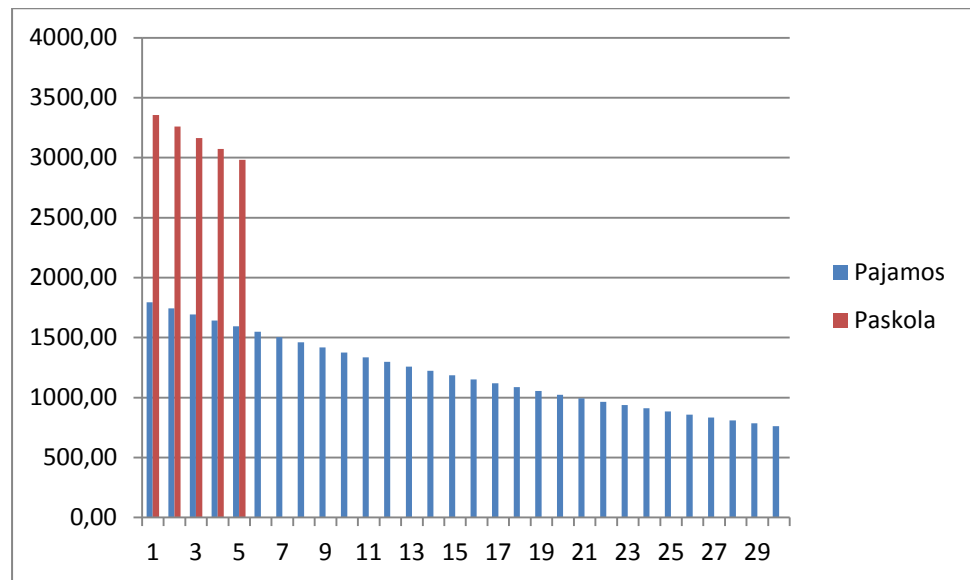
Dabartinė projekto vertė priklauso nuo ateityje generuojamų pinigų srautų (Agar 2005). Saulės elektrinės eksploatavimo laikotarpis gali siekti 30 metų, kadangi saulės moduliams dažniausiai siūloma 25 metų garantija. Tuomet modulių efektyvumas nenukrenta žemiau 80% (The real 2014).



3.7 pav. Saulės modulių efektyvumo kitimas laike (The real 2014)

Kadangi saulės moduliai po 25 metų vis dar veikia 80% efektyvumu, saulės elektrinę vertinsime 30 metų. Taigi investicijos į saulės elektrinę siekė 16230,62 Eur. Kadangi buvo imama paskola su 6,5% palūkanomis jos galutinė kaina siekia 17285,61 Eur. Kiekvienais metais atnešamas pelnas gali vyrauti tarp 1759,40 ir 1937,98 Eur., tačiau mes naudosime vidutinę vertę: 1848,69 Eur. Kadangi nėra nustatytos tikslios diskonto normos saulės elektrinių pinigų srautams imsime tris skirtingas diskonto normas: 3%, 5%, 7%. Taigi esamą dabartinę vertę galima įvertinti diskontuotų pinigų srautų metodu ir naudojant 2.4 formulę:

$$NPV_3 = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{1848,69}{(1 + 0,03)^n} - \sum_{j=1}^{m=5} \frac{3457,12}{(1 + 0,03)^m} = 20402,54 \text{ Eur.}$$



3.8 pav. Diskontuotos saulės elektrinės pajamos ir paskolos grąžinimo išlaidos, su $i=3\%$

Kiti NPV rodikliai su 5% ir 7% diskonto normomis skaičiuojami analogiškai.

$$NPV_5 = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{1848,69}{(1 + 0,05)^k} - \sum_{j=1}^{m=5} \frac{3457,12}{(1 + 0,05)^j} = 13451,38 \text{ Eur.}$$

$$NPV_7 = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{1848,69}{(1 + 0,07)^k} - \sum_{j=1}^{m=5} \frac{3457,12}{(1 + 0,07)^j} = 8765,60 \text{ Eur.}$$

Įvertinus diskontuotus pinigų srautus matosi, kad saulės elektrinė per 30 metų garantuotai atsipirks. Ir tai bus tik su elektros energijos pardavimu į elektros tinklus, tačiau su šia elektros energija galima užsiimti daugiau veiklų, kurios gali būti vertingesnės.

Įvertinus diskontuotus pinigų srautus galima vertinti vidinę pelno normą, naudojantis 2.5 formule:

$$IRR = 1.03 + \frac{20402,54}{20402,54 - 8765,6} \times (1.03 - 1.07) = 0,96$$

Įvertinus vidinę pelno normą, kuri lygi 96% galima teigti, kad projektas efektyvus. Toliau galima vertinti investicijų pelningumo rodiklį (ROI), kuris nusako kiek ši investicija bus efektyvi. Skaičiuojant šį rodiklį svarbu atsižvelgti į tai, kad nuosavų investicijų čia nebus, taigi $IC_n = 0$. Vertinant šį rodiklį galima vertinti diskontuotus pinigų srautus, taigi investicijų pelningumas lygus:

$$ROI_3 = \frac{36235,14}{0 + 15832,60} = 228,86\%$$

$$ROI_5 = \frac{28418,90}{0 + 14967,52} = 189,87\%$$

$$ROI_7 = \frac{22940,47}{0 + 14174,87} = 161,84\%$$

Vertinant investicijų pelningumo rodiklį matome, kad investicija atsipirks ir kiekvienas investuotas euras atneš nuo 1,62 Eur. iki 2,29 Eur. grynojo pelno.

Kitas žingsnis investicijos efektyvumui apibrėžti yra nustatyti nuosavo kapitalo pelningumo rodiklį (ROE), kuris nusako koks yra investuotų lėšų panaudojimo efektyvumas.

$$ROE_3 = \frac{36235,14}{15832,60} = 228,86\%$$

$$ROE_5 = \frac{28418,90}{14967,52} = 189,87\%$$

$$ROE_7 = \frac{22940,47}{14174,87} = 161,84\%$$

Apskaičiavus nuosavo kapitalo pelningumo rodiklį galima pastebėti, kad jis sutampa su investicijų pelningumo rodikliu, taip yra todėl, kadangi projektas visiškai finansuojamas imant paskolą, taigi čia nuosavos investicijos imamos kaip paskola. Taip pat abu rodikliai yra geri ir atspindi, kad projektas bus pelningas.

Įvertinus saulės elektrinės projektą gauti rezultatai yra teigiami, minimalus NPV=8765,60 Eur., maksimalus NPV=20402,54 Eur.. Vidinė pelno norma (IRR) yra 96%, o nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis ir investicijų pelningumo rodiklis vyrauja tarp 161,84% ir 228,86%.

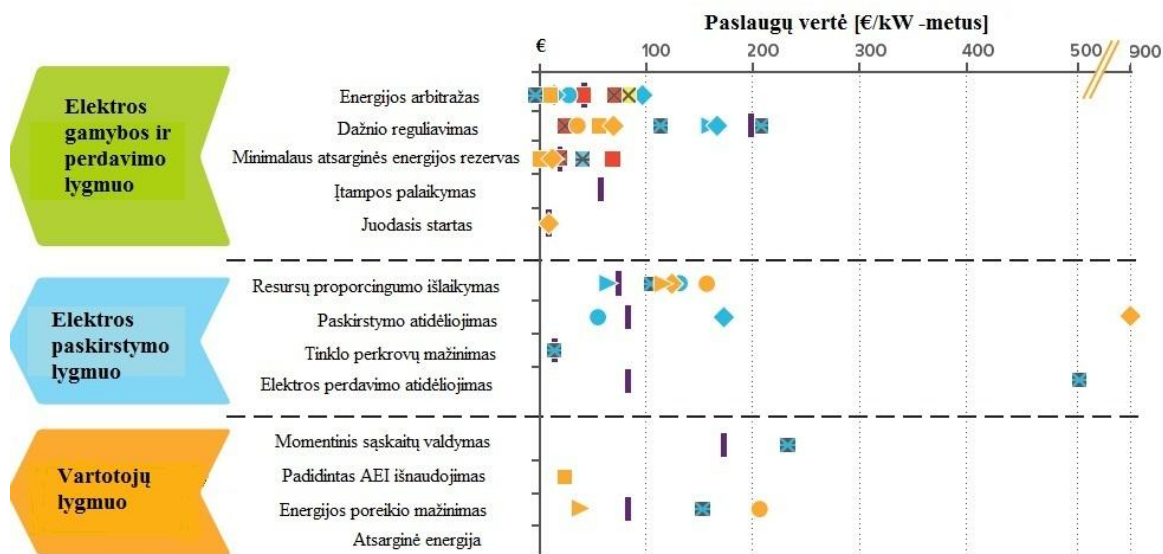
3.4 Saulės elektrinės integravimo į išmaniuosius elektros tinklus įranga ir kriterijai

Išmanieji elektros tinklai kuriami būtent dėl didėjančios atsinaujinančių išteklių integracijos į elektros tinklą, todėl saulės energijos integracija yra svarbi šio proceso dalis. Norint integruoti saulės elektrinę į išmaniuosius elektros tinklus būtini keli pagrindiniai elementai. Pirmas iš jų yra išmanusis skaitiklis. Šis išmanusis skaitiklis, skirtingai nei tradicinis, stebi ir perduoda duomenis apie elektros suvartojimą ir gamybą bei tiekimą į elektros tinklą. Naudojant tokius elektros skaitiklius elektros perdavimo bendrovės ir operatoriai gali stebėti elektros gamybą ir suvartojimą realiu metu (Smart meter 2016). Lietuvoje kiekvienas saulės elektrinės savininkas, norintis prisijungti prie bendro elektros tinklo privalo įsidiesti automatizuotą elektros energijos apskaitos sistemą (AEEAS), kuri ir atlieka išmaniojo skaitiklio funkcijas (Elektros energijos 2013).

Antras įrenginys, kurį galima įdiegti į savo saulės elektrinės sistemą ir paversti ją našesne ir kartu išnaudoti visus išmaniojo tinklo privalumus yra baterijos valdymo sistema (BMS). Ši sistema valdo bateriją ir prižiūri, kad ji veiktų optimaliausiai, t.y. neperkaistų, palaiko įtampą, atlieka sistemos monitoringą, renka informaciją, ją apdoroja, kontroliuoja pačią bateriją ir energijos srautus (Battery management 2016).

Naudojant šiuos du įrenginius galima nesunkiai įsijungti į išmaniojo tinklo procesus, vykstančius elektros tinkle ir iš to generuoti papildomas pajamas. Bendrai naudojant saulės energiją

galima užsiimti daugeliu veiklų išmaniajame tinkle. Amerikoje, Rocky Mountain institute atliktuose tyrimuose, nustatyta, kad išmaniajame elektros tinkle galima užsiimti energijos arbitražu, dažnio reguliavimu, energijos rezervo paslaugomis, įtampos palaikymu tinkle, juodojo starto paslaugomis, resursų proporcingumo išlaikymu, elektros paskirstymo atidėliojimu, tinklo perkrovų mažinimu, elektros perdavimo atidėliojimu, momentiniu sąskaitų valdymu, energijos poreikio mažinimu, elektros energijos pardavimu ir padidinti atsinaujinančių energijos išteklių naudojimą. Taip pat atliktuose tyrimuose nustatytos ir potencialios šių paslaugų vertės, pavaizduotos 3.11 pav. (Fitzgerald *et. al.* 2015).



3.9 pav. Elektros paslaugų išmaniajame tinkle vertės (Fitzgerald *et. al.* 2015)

Paveikslėlyje matomos skirtingos ikonos apibūdina skirtingų institucijų tyrimų rezultatus. Matome, kad visos paslaugos suskirstytos į tris kategorijas: elektros gamybos ir perdavimo lygmenį, elektros paskirstymo lygmenį bei vartotojų lygmenį. Šiame baigiamajame magistro darbe analizuojama 10kW saulės elektrinės sistema kartu su 14 kWh baterija, turint tokią sistemą galima užsiimti vartotojų lygmenyje esančiomis funkcijomis. Tačiau šiuose tyrimuose buvo vertinami vienetiniai atvejai. Vartotojų lygmenyje esant dideliam nedidelių saulės elektrinių kiekiui jos kartu gali atlikti visas minėtas funkcijas. Tačiau darbe bus koncentruojamasi ties elektros suvartojimu, elektros pardavimu, energijos poreikio mažinimu, tinklo perkrovų mažinimu.

Taigi integruojant saulės elektrines į išmanųjį elektros tinklą reikia nedaug papildomos įrangos: išmaniųjų skaitiklių, baterijų ir BMS. Turint šią įrangą išmaniajame elektros tinkle galima užsiimti beveik visomis jo siūlomomis veiklomis.

3.5 Tiriamo projekto suinteresuotos šalys, jų vaidmuo ir sukuriama vertė

Suinteresuotos šalys tai visi veikėjai išmaniajame tinkle, kurie bus paveikti jame vykdomų procesų. Šiame baigiamajame magistriniame darbe bus išskiriamos 3 suinteresuotos šalys: vartotojai, investuotojai ir elektros tinklo operatoriai. Visos šios suinteresuotos šalys gauna saulės

elektrinių procesų išmaniajame elektros tinkle sukuriama vertę. Kiekviena suinteresuota šalis turi būti analizuojama atskirai, nors ir tam tikros vertės gali sutapti.

Vartotojai

Vartotojai išmaniajame tinkle apibūdinami kaip aktyvūs vartotojai, galintys ne tik vartoti elektros energiją, bet ją gaminti ir talpinti. Kiekvienas vartotojas dalyvaudamas išmaniajame elektros tinkle vykstančiuose procesuose gali sukurti didesnę vertę tiek sau tiek ir kitiems elektros tinklo dalyviams ne tik parduodamas elektros energiją, bet ir užsiimdamas kitomis išmaniajame elektros tinkle vykstančiomis veiklomis. Kaip ir buvo paminėta anksčiau, vartotojai gali užsiimti šiomis veiklomis: energijos poreikio mažinimu, tinklo perkrovų mažinimu ir elektros pardavimu. Apskaičiuojant šių veiklų sukuriama vertę bus naudojamosi tiriamojo objekto elektros energijos suvartojimu, tiriamos saulės elektrinės elektros energijos gamyba, dabartinė elektros energijos rinkos kaina ir jau atliktų tyrimų (Fitzgerald *et. al.* 2015) rezultatais.

Tinklo perkrovų mažinimas yra elektros tinklo naudojimas vartotojų turimomis baterijų sistemomis ir esant per didelėms tinklo apkrovoms talpinant perteklinę elektros energiją į šias vartotojų turimas sistemas. Šios paslaugos principas yra itin paprastas – elektros tinklo operatoriui yra leidžiama disponuoti vartotojo turima baterijų sistema. Jis šią sistemą gali stebėti realiuoju laiku ir jau naudotis kai elektros tinklas yra perkrautas ir atsiranda elektros dingimo tikimybė. Ši paslauga įvertinta 10 Eur./kW per metus (Fitzgerald *et. al.* 2015). Naudojantis šia paslauga vartotojas per visą elektrinės eksploatavimo laikotarpį galėtų sugeneruoti papildomus 3000 Eur.

Energijos poreikio mažinimas taipogi yra sunkiai įvertinamas ir priklauso nuo daug kintamųjų: žmogaus įpročių, name naudojamų elektrinių prietaisų ir pan. Tačiau šiuo atveju vartotojas vėlgi gali generuoti pajamas per taupymą. Vartotojai naudodamiesi savo saulės elektrine išmaniajame elektros tinkle skatinami taupyti elektros energiją ir visą saulės elektrinėje pagaminamą elektros energiją sunaudoti. Taigi šį kriterijų galima vertinti pagal tiriamojo objekto energijos poreikį ir kiek saulės elektrinėje pagamintos elektros energijos jis suvartos savo poreikiams padengti. Atsižvelgiant į tiriamojo objekto elektros energijos suvartojimą pavaizduotą 3.5 paveiksle matosi, kad vartotojas galėtų sunaudoti 5737kWh elektros energijos per metus. Vadinas tiek elektros energijos iš tinklo vartotojas nepirks ir vertinant dabartinę elektros energijos kainą rinkoje, kuri lygi 0,12 Eur./kWh (Tarifų planai 2016) sugeneruos:

$$P = 0,12 \times 5737 = 688,44 \text{ Eur./metus}$$

Elektros energijos pardavimas iš vartotojo pusės gali būti dvejopas. Jis gali pardavinėti visą savo elektros energiją arba tik perteklinę ir suvartoti iš saulės pagaminamą elektros energiją. Kadangi pirmasis atvejis jau yra įvertintas ir parduodant visą savo pagaminamą elektros energiją vartotojas galėtų sugeneruoti 8765,60-20402,54 Eur. per visą saulės elektrinės eksploatavimo

laikotarpį. Tačiau reikia įvertinti ir antrąjį variantą, kuomet vartotojas parduos tik perteklinę savo elektros energiją.

3.5 paveiksle pavaizduotas elektros energijos suvartojimas ir gamyba. Aiškiai matosi, kad Lapkričio, Gruodžio, Sausio, Vasario ir Kovo mėnesiais vartotojas suvartos visą savo pagamintą elektros energiją. O likusiais mėnesiais jis pagamins daugiau, vadinasi šią elektrą jis galės parduoti. Taigi apskaičiavus elektros energijos perteklių pagal tiriamojo objekto elektros energijos suvartojimą gaunasi, kad jis turės 5.202kWh perteklinės elektros energijos, kurią jis gali parduoti rinkos kaina, kuri yra 0.169 Eur./kWh (Elektros energijos 2016).

$$P = 0,169 \times 5202 = 879,14 \text{ Eur./metus}$$

$$E_{min} = 5202 \times (1 - 0,0483) = 4950,74 \text{ kWh}$$

$$E_{max} = 5202 \times (1 + 0,0483) = 5453,26 \text{ kWh}$$

$$P_{min} = r \times E_{min} = 0,169 \times 4950,74 = 836,68 \text{ Eur./metus}$$

$$P_{max} = r \times E_{max} = 0,169 \times 5453,26 = 921,60 \text{ Eur./metus}$$

Šiuo atveju per visą saulės elektrinės eksploatavimo laikotarpį vartotojas sugeneruotų 25100,40-27648 Eur.

Taigi įvertinus vartotojų grupę galima teigti, kad vartotojai turėdami nuosavą saulės elektrinę išmaniajame elektros tinkle gali sugeneruoti nemažai papildomų pajamų iš nesunaudotos elektros energijos ar nepanaudotos baterijų sistemos. Visos šios pajamos gali būti generuojamos pasirašius sutartis su elektros tinklo operatoriumi ir leidžiant jam bet kuriuo momentu pasinaudoti turima saulės elektrinės elektros energija ar baterijų sistemos talpa.

Investuotojai

Investuotojais laikome bankus, kitas institucijas ar fizinius asmenis, galinčius suteikti finansinę paramą įsigyjant saulės elektrinę, baterijų sistemą ir prijungiant šią sistemą prie išmaniojo elektros tinklo. Investuotojams sukuriamą vertę priklauso nuo kredito dydžio, palūkanų ir finansuojamo nuosavo kapitalo lėšų. Vartojimo paskolos gali vyrauti nuo 6,5% iki 16% (Vartojimo paskolos 2016). Šiame projekte vertinta paskola su 6,5% palūkanomis, taigi tiesiogiai sukuriamą vertę projekto Investuotojui yra lygi 1054,99 Eur.

Elektros tinklo operatoriai

Elektros tinklo operatoriai tai įmonė, prižiūrinti elektros tinklus ir energijos srautus juose. Ši institucija vertę naudojantis išmaniaisiais tinklais sau susikurtų per mažesnes priežiūros išlaidas už elektros tinklą, perdavimo nuostolių mažinimą ir mažesnėmis išlaidomis aukštos įtampos elektros tinklų naudojimui.

Augant išskirstytų elektros generatorių skaičiui mažėtų ir elektros perdavimo nuostoliai, kadangi elektra vartotojams būtų perduodama iš artimiausių elektros generatorių. Šie nuostoliai tradiciniame elektros tinkle lygūs 4-9% paskirstymo lygmenyje (Bajs *et. al.* 2004). Norint įvertinti

šių nuostolių dydį galime jį palyginti su namo suvartojama elektros energija – 9400 kWh. Taigi jei galutinį vartotoją pasiekia 9400 kWh per metus, tokiam elektros energijos kiekiui nuostoliai turėjo būti lygūs 391,66-929,67 kWh, vertinant dabartinę elektros energijos kainą rinkoje – 0,12 Eur. (Tarifų planai 2016) šie nuostoliai lygūs 47-111,56 Eur. per metus. O išmaniajame tinkle elektros perdavimo nuostoliai gali būti sumažinti iki 2% būtent dėl trumpesnių elektros energijos perdavimo atstumų tarp gamintojų ir vartotojų (John 2015). Taigi nuostoliai galėtų būti sumažinami iki 191,84kWh arba 23 Eur./metus. Taip energijos paskirstymo kompanijos iš vieno elektros vartotojo galėtų sutaupyti 24-88,56 Eur. per metus. O per 30 metų ši suma siektų net 720-2656,8 Eur. vienam vartotojui. Galima įvertinti šį dydį perspektyvoje, ESO turi 1,6mln. klientų (Elektra 2016), jei kiekvienas iš jų per metus kompanijai sutaupytų 24-88,56 Eur., bendrai kompanija sutaupytų 38,4mln.-141,696mln. Eur. per metus.

Taigi bendrai vertinant saulės energetikos projektų išmaniuosiuose tinkluose atnešamą vertę galima teigti, kad tokių projektų vykdymas būtų naudingas ne tik vartotojams ir Investuotojams bet ir elektros tinklo operatoriams.

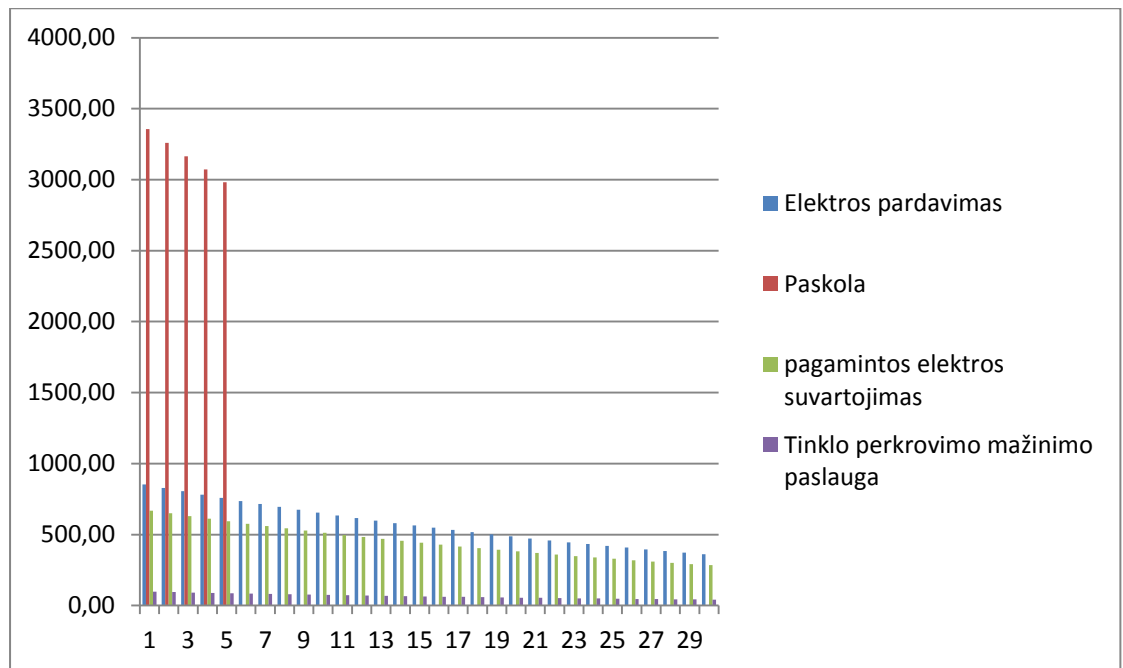
3.6 Finansinių rodiklių naudojantis išmaniojo elektros tinklo paslaugomis vertinimas suinteresuotoms šalims

Identifikavus pajamas, potencialias veiklas ir veiklų atnešamą pelną galima analizuoti saulės elektrinės projekto išmaniajame elektros tinkle finansinius rodiklius. Čia reikia įvertinti visus kintamuosius ir visas veiklas, kurios sukuria vertę kiekvienai suinteresuotai šaliai. Pradėsime nuo vartotojų. Analizuojamo projekto atnešama vertė vartotojui yra apibūdinama per perteklinės elektros energijos pardavimą, tinklo perkrovų mažinimo paslaugą, momentinio sąskaitų valdymo paslaugą ir energijos poreikio mažinimą. Taigi vertinant tinklo perkrovų mažinimą vartotojas galėtų sugeneruoti 100 Eur./metus, vertinant energijos poreikio mažinimą 688,44 Eur./metus, elektros energijos pardavimą 879,14 Eur./metus. Turint šiuos duomenis galima apskaičiuoti grynąjį pelną:

$$GP = (100 * 30 + 688,44 * 30 + 879,14 * 30) - 3457,12 * 5 = 32741,8 \text{ Eur.}$$

Toliau reikėtų skaičiuoti investicijų atsipirkimo laiką, tačiau tam reikia diskontuotų pinigų srautų. Apskaičiuoti šių pajamų diskontuotus pinigų srautus naudosime tris diskonto normas: 3%, 5%, 7%.

$$NPV_3 = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{879,14}{(1 + 0,03)^n} + \sum_{k=1}^{n=30} \frac{688,44}{(1 + 0,03)^n} + \sum_{k=1}^{n=30} \frac{100}{(1 + 0,03)^n} - \sum_{j=1}^{m=5} \frac{3457,12}{(1 + 0,03)^m} = 16852,71 \text{ Eur.}$$



3.10 pav. Diskontuoti saulės elektrinės projekto išmaniajame elektros tinkle pinigų srautai, kai diskonto norma lygi 3%.

Kiti diskontuoti saulės elektrinės projekto išmaniajame elektros tinkle pinigų srautai, kai diskonto normos lygios 5% ir 7% skaičiuojami analogiškai.

$$NPV_5 = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{879,14}{(1 + 0,03)^n} + \sum_{k=1}^{n=30} \frac{688,44}{(1 + 0,03)^n} + \sum_{k=1}^{n=30} \frac{100}{(1 + 0,03)^n} - \sum_{j=1}^{m=5} \frac{3457,12}{(1 + 0,03)^m} = 10667,27 \text{ Eur.}$$

$$NPV_7 = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{879,14}{(1 + 0,03)^n} + \sum_{k=1}^{n=30} \frac{688,44}{(1 + 0,03)^n} + \sum_{k=1}^{n=30} \frac{100}{(1 + 0,03)^n} - \sum_{j=1}^{m=5} \frac{3457,12}{(1 + 0,03)^m} = 6518,19 \text{ Eur.}$$

Turint NPV reikšmes galima vertinti investicijų atsipirkimo laiką. Tam vertinti naudosime 2.2 formulę:

$$PP_3 = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1 + 0,03)^k} - 15832,60 = 0$$

$$PP_3 = 10,04 \text{ metai}$$

$$PP_5 = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1 + 0,05)^k} - 14967,52 = 0$$

$$PP_5 = 8,98 \text{ metai}$$

$$PP_7 = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1 + 0,07)^k} - 14174,87 = 0$$

$$PP_7 = 9,28 \text{ metai}$$

Įvertinus tiriamosios saulės elektrinės projekto išmaniajame elektros tinkle atsipirkimo laiką matome, kad jis gali vyrauti tarp 9 ir 10 metų. Kitas svarbus finansinis rodiklis investicijų efektyvumui vertinti yra vidinė pelno norma:

$$IRR = 1,03 + \frac{16852,71}{16852,71 - 6518,19} \times (1,03 - 1,07) = 96,5\%$$

Vidinė pelno norma tiriamam projektui yra labai palanki. Toliau galima vertinti rentabilumo indeksą, naudojantis 2.6 formule. Šį indeksą taip pat galima vertinti pagal 3 skirtingas NPV:

$$PI_3 = \frac{16852,71}{15832,60} = 1,06$$

$$PI_5 = \frac{10667,27}{14967,52} = 0,71$$

$$PI_7 = \frac{6518,19}{14174,87} = 0,46$$

Remiantis rentabilumo indeksu galima teigti, kad projektas bus rentabilus tik, jei diskonto norma bus lygi 1,03 arba mažesnė. O didėjant diskonto normai norint projektą padaryti rentabilų reikėtų įgyvendinti vieną iš šių arba abi sąlygas: Prailginti elektrinės eksploatavimo laikotarpį arba sumažinti investicijas.

Sekančiame žingsnyje vertiname investicijų efektyvumo koeficientą naudojantis 2.7 formule. Čia naudosime nediskontuotus pinigų srautus ir rodiklį vertinsime su vidutinėmis metinėmis pajamomis, visa paskola ir nuline likutine verte:

$$ARR = \frac{100 + 688,44 + 879,14}{0,5(17285,61 - 0)} = 0,193$$

Vertinant investicijų efektyvumą matome, kad jis bus itin žemas, tačiau tai yra todėl, kad šiame rodiklyje nėra vertinamas laiko veiksnys, kuris yra labai svarbus.

Kitas investicijų efektyvumui įvertinti svarbus rodiklis yra investicijų pelningumo rodiklis (ROI):

$$ROI = \frac{32741,8}{0 + 17285,61} = 189,42\%$$

Taip pat po ROI apskaičiuojamas ir nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis (ROE):

$$ROE = \frac{32741,8}{0 + 17285,61} = 189,42\%$$

Taigi investicijų pelningumo rodiklis (ROI) ir nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis (ROE) lygūs 189,42%. Tai reiškia, kad vienas investuotas euras atneš 1,8942 Eur. grynojo pelno.

Toliau apžvelgsime analizuojamo saulės elektrinės projekto diskontuotus pinigų srautus elektros tinklo operatoriui. Tinklo operatorius per metus galėtų sutaupyti 720-2656,8 Eur., taigi vidutiniškai ši suinteresuota šalis sutaupyti 1688,4 Eur./metus, šis skaičius gali būti išreiškiamas kaip grynasis metinis pelnas, tačiau reikėtų jį įvertinti per visą projekto vykdymo laikotarpį:

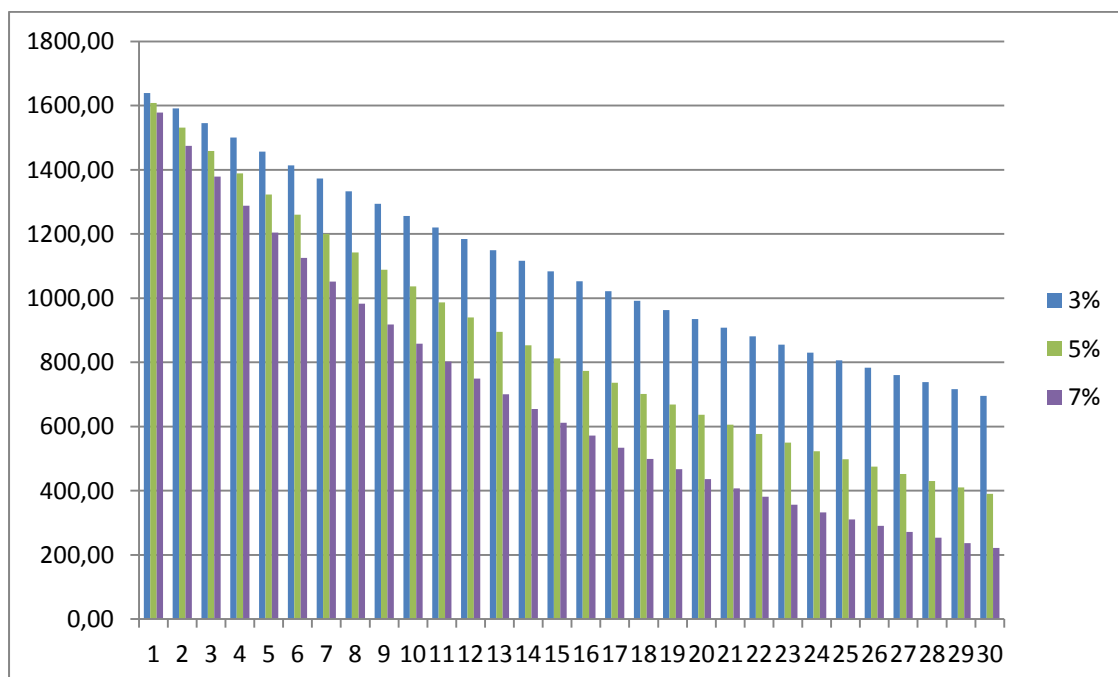
$$GP = 1688,4 * 30 = 50652 \text{ Eur.}$$

Tačiau naudojantis realiu scenarijumi, kuomet vertinant tokių investicijų grąžą įvertinamas ir technologijų nusidėvėjimas reikia apskaičiuoti šių pajamų diskontuotus pinigų srautus. Šiam dydžiui įvertinti taip pat naudosime tris diskonto normas: 3%, 5%, 7%. Tačiau čia išlaidas (IC) prilyginsime 0, kadangi tinklo operatorius vykdydamas šią paslaugą papildomų išlaidų nepatiria.

$$NPV_3 = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{1688,40}{(1 + 0,03)^n} = 33093,39 \text{ Eur.}$$

$$NPV_5 = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{1688,40}{(1 + 0,05)^n} = 25954,85 \text{ Eur.}$$

$$NPV_7 = \sum_{k=1}^{n=30} \frac{1688,40}{(1 + 0,07)^n} = 20951,43 \text{ Eur.}$$



3.11 pav. Diskontuoti saulės elektrinės projekto išmaniajame elektros tinkle pinigų srautai elektros tinklo operatoriui, kai diskonto norma lygi 3, 5 ir 7%.

Įvertinus diskontuotus pinigų srautus, tenkančius elektros tinklo operatoriui matome, kad remdamas saulės elektrinių integraciją ir propaguodamas išmaniojo tinklo veiklas tinklo operatorius sugeneruotų 20951,43-33093,39 Eur. per 30 metų iš vieno vartotojo, turinčio 10 kW saulės elektrinę su 14 kWh baterijų sistema.

3.7 Gautų rezultatų palyginimas su saulės elektrinės pinigų srautais nenaudojant išmaniojo tinklo suteikiamų galimybių.

Apskaičiavus saulės elektrinės pinigų srautus tiesiog parduodant elektros energiją į tinklą ir nevystant jokių papildomų išmaniojo elektros tinklo siūlomų veiklų matome, kad $NPV_{\min}=8765,60$ Eur., $NPV_{\max}=20402,54$ Eur., $IRR=96\%$, $ROI_{\min}=161,84\%$, $ROI_{\max}=228,86\%$, $ROE_{\min}=161,84\%$, $ROE_{\max}=228,86\%$. Taigi čia vertė kuriama tik vienai suinteresuotai šaliai – saulės elektrinės savininkui. O integravus saulės elektrinę į išmaniojo elektros tinklo procesus jos finansiniai rodikliai pakistų: $NPV_{\min}=6518,19$ Eur., $NPV_{\max}=16852,71$ Eur., $IRR=96,5\%$, $ROI=189,42\%$, $ROE=189,42\%$. Matosi, kad jie būtų mažesni, tačiau išmaniajame elektros tinkle atsirastų dar viena suinteresuota šalis: elektros tinklo operatorius, taigi jam sukuriamą vertę įvertinta: $NPV_{\min}=20951,43$ Eur., $NPV_{\max}=33093,39$ Eur.

Lyginant paprastą saulės elektrinės sukuriamą vertę nesinaudojant išmaniojo tinklo procesais su bendra sukuriamą vertę naudojantis išmaniaisiais elektros tinklais gauname, kad bendra sukuriamą vertę, vertinama diskontuotais pinigų srautais padidėja net iki $NPV_{\min}=27469,62$ Eur., $NPV_{\max}=49946,1$ Eur.

Taigi įvertinus suinteresuotas šalis išmaniajame elektros tinkle elektrinės savininkas generuotų mažesnius pinigų srautus, tačiau elektros tinklų operatoriai turėtų būti labiau suinteresuoti išmaniųjų elektros tinklų vystymu, kadangi bendra sudėtinė vertė visoms suinteresuotoms šalims būtų žymiai didesnė nei tik elektrinės savininkui.

3.8 Skyriaus išvados

1. Vertinant saulės energijos potencialą Lietuvoje pasirinktas tiriamasis objektas Klaipėdos teritorijoje. Atsižvelgiant į saulės elektrinių efektyvumo kriterijus parinkta 10kW saulės elektrinė. Norint išgauti maksimalų potencialų efektyvumą saulės elektrinė statoma Pietų kryptimi, 34° kampu. Renkant baterijų sistemą įvertinta tiriamojo objekto elektros suvartojimas ir potenciali saulės elektrinės energijos gamyba, po analizės parinkta 14kWh baterijų sistema.

2. Įvertinus saulės elektrinių situaciją Lietuvos rinkoje gautas pasiūlymas 10kW saulės elektrinei su 14kWh baterijų sistema. Elektrinei statyti pasirinkta įmonė MB „Elektra man“, pasiūliusi žemiausią 16230,62 Eur. biudžetą. Taip pat pasirinktas ir investuotojas, suteiksiantis šį kreditą 5 metams su 6,5% palūkanomis. Taigi galutinė elektros kaina savininkui sieks 17285,61 Eur.

3. Vertinant standartinę elektros energijos gamybos nuokrypį elektrinė sugeneruotų 10410,64-11467,35kWh per metus, kas dabartine saulės elektrinių pagamintos elektros rinkos kaina būtų lygu 1759,4-1937,98 Eur. per metus.

4. Vien tik parduodant elektros energiją pagrindiniai finansiniai rodikliai naudojant diskontuotus pinigų srautus su trimis skirtingomis diskonto normomis būtų tokie: $NPV_{min}=8765,60$ Eur., $NPV_{max}=20402,54$ Eur., $IRR=96\%$, $ROI_{min}=161,84\%$, $ROI_{max}=228,86\%$, $ROE_{min}=161,84\%$, $ROE_{max}=228,86\%$.

5. Integravus saulės elektrinę į išmanųjį elektros tinklą aktyvus vartotojas galėtų kurti vertę iš šių veiklų: energijos poreikio mažinimas, tinklų perkrovų mažinimas, elektros energijos pardavimas. Investuotojas kurtų vertę per palūkanas, o elektros tinklo operatorius kurtų vertę nuostolių elektros tinkle mažinimą ir efektyvesnę elektros energijos panaudojimą.

6. Įvertinus visas minėtas veiklas gauname, kad aktyvaus vartotojo $GP=32741,8$ Eur., $NPV_{min}=6518,19$ Eur., $NPV_{max}=16852,71$ Eur., $PP_{min}=8,98$ metai, $PP_{max}=10,04$ metai, $IRR=96,5\%$, $PI_3=1,06$, $PI_5=0,71$, $PI_7=0,46$, $ARR=0,193$, $ROI=189,42\%$, $ROE=189,42\%$. Elektros tinklo operatoriaus $GP=50652$ Eur., $NPV_{min}=20951,43$ Eur., $NPV_{max}=33093,39$ Eur.

IŠVADOS IR SIŪLYMAI

1. Pasaulyje išmanieji elektros tinklai aktyviai tyrinėjami jau nuo 2002 metų. 2002-2005 metais Europoje buvo vykdomi tik keli projektai, tačiau jų skaičius sparčiai augo ir 2012 m. buvo pradėta apie 100 projektų, o 2014 m. – 459 išmaniųjų elektros tinklų projektai, kurių bendra finansavimo suma siekia 3,15 mlrd. Eur. Daugumą šių projektų koordinuoja tarptautinės elektros energetikos asociacijos: ENTSO-E, CORESCO. Lietuvoje išmaniųjų elektros tinklų plėtrai skiriama mažai dėmesio, elektros tinklų operatoriai daug apie juos nediskutuoja. Išmaniųjų elektros tinklų infrastruktūra pradedama diegti tik kartu su AEI, kur diegiamos AEEAS ir dvipusės energijos skaitikliai, šių priemonių dėka vartotojai gali parduoti elektros energiją į tinklą ir tai galima laikyti išmaniųjų elektros tinklų Lietuvoje pradžia.

2. Darbe atlikta išmaniųjų elektros tinklų technologijų, infrastruktūros ir savybių analizė parodė, kad išmaniajame elektros tinkle įdiegtos automatizavimo, informacijos ir komunikacijų technologijos, kurios tarpusavyje keičiasi informacija, dėl to gali tiksliau, kokybiškiau ir greičiau įvykdyti elektros mainų veiklas, valdyti energijos rezervą ir didinti tinklo patikimumą. Toks elektros tinklas apjungia vartotojus, tiekėjus, skirstytojus, gamintojus ir kitus elektros tinklo dalyvius. Pagrindiniai išmaniojo elektros tinklo pranašumai yra nenutraukiamas elektros tiekimas, paklausos-pasiūlos paslauga, išmanusis elektros srautų monitoringas, išmaniųjų įrenginių ir elektromobilių integracija į tinklą. Taip pat išmanusis tinklas suteikia galimybę į elektros tinklą integruoti išmanius elektros energijos kaupimo komponentus ir modernias elektros srautų valdymo sistemas, kurių dėka būtų aktyviai didinamas elektros tinklo efektyvumas.

3. Atsinaujinančios energijos technologijos keičia energetikos rinką tiek finansiškai, tiek technologiškai ir yra neatsiejama išmaniojo tinklo dalis. Išmanieji tinklai suteiks naujas galimybes AEI plėtrai, technologijų pritaikymui ir efektyviam panaudojimui. Dėka AEI ir išmaniojo tinklo sąveikos atsiranda daug naujų vertės kūrimo būdų ir naujų verslo modelių. Šie nauji verslo modeliai koncentruojasi į visus tinklo dalyvius ir leidžia visiems dalyvauti energijos mainuose bei iš to uždirbti.

4. Išmaniojo elektros tinklo vystymas turi tiek teigiamų, tiek neigiamų aspektų. Vartotojams jis suteikia daugiau galimybių dalyvauti elektros rinkoje ir uždirbti papildomas pajamas, tačiau elektros tinklų kompanijoms išmanusis tinklas reiškia papildomas investicijas infrastruktūrai ir verslo modelių pertvarkymą be aiškių vertės kūrimo šaltinių.

5. Išanalizavus išmaniųjų elektros tinklų poveikį tradicinių elektros kompanijų verslo modeliams atsiranda naujos galimybės kurti vertę. Siūloma pereiti prie kitokio elektros mainų verslo modelio, kuriame elektros tiekimas taptų neatskiriama išmaniojo tinklo paslaugų dalis ir pardavinėti elektrą ne kaip prekę, bet kaip paslaugą, taip pat papildomos pajamos gali būti gaunamos iš informacijos rinkimo ir tikslingo jos panaudojimo.

6. Remiantis suinteresuotų šalių teorija AEI projektuose išskiriamos 3 pagrindinės suinteresuotos šalys: aktyvūs vartotojai, investuotojai ir elektros tinklo operatoriai. Vertinant investicijų efektyvumą nustatyta, kad aktyviems vartotojams tinkamiausi yra investicijų grąžos, kapitalo ir pelningumo rodikliai, tuo tarpu investuotojams svarbūs yra turto panaudojimo efektyvumo rodikliai ir rizikos vertinimo rodikliai. Vertinant riziką rekomenduotina naudoti kelis ar visus iš rizikos vertinimo metodų.

7. Norint 1 namui įdiegti saulės elektrinę reikėtų 17285,61 Eur. investicijų. Atlikta analizė parodė, kad tokios investicijos atsipirkimo laikas siektų 9-10 metų. Tačiau jis priklauso nuo elektrinės kainos, jos efektyvumo, montavimo, elektros kainos rinkoje, paslaugų, kurias galima teikti turint saulės elektrinę įkainių.

8. Atlikus saulės energetikos projekto energijos poreikių analizę ir saulės elektrinės išmaniajame elektros tinkle investicinio projekto analizę gauti rezultatai, kad saulės energetikos projektai gali atnešti daug daugiau naudos naudojantis išmaniojo tinklo paslaugomis visoms suinteresuotoms šalims. Įvertinus projektą gaunama, kad analizuojama saulės elektrinės sistema per visą savo eksploatavimo laikotarpį sugeneruotų dvigubai daugiau grynojo pelno nei į ją buvo investuota, o elektros tinklo operatoriui trigubai daugiau.

9. Vertinant diskontuotus pinigų srautus saulės elektrinė daugiau vertės sukurs visoms suinteresuotoms šalims. NPV nesinaudojant išmaniojo tinklo paslaugomis elektrinės savininkui sieks 20402,54 Eur., o naudojantis bendras suinteresuotų šalių NPV sieks 49946,10 Eur. Taigi naudojantis išmaniuoju tinklu sukuriamą vertę yra daugiau nei 2 kartus didesnė.

10. Įvertinus investicijų į saulės elektrinės integruotos į išmanųjį elektros tinklą projekto efektyvumą, nustatyta, kad projektas yra efektyvus, nes vartotojui netgi pesimistiniu atveju projekto $NPV_{\min}=6518,19$ Eur., optimistiniu atveju $NPV_{\max}=16852,71$ Eur., o elektros tinklo operatoriaus $NPV_{\min}=20951,43$ Eur., $NPV_{\max}=33093,39$ Eur. Taigi gautas NPV parodo, kad projektas vartotojui gali atnešti tiek pat pelno kiek į jį yra investuojama, o elektros tinklo operatoriui iki 2 kartų daugiau. Remiantis kitais projekto finansiniais rodikliais $IRR=96,5\%$ ar $ROI=189,42\%$ taip pat galima teigti, kad investicija bus efektyvi.

LITERATŪRA

Abdullah, M.; Agalgaonkar, A.; Muttaqui, K. 2014. Climate change mitigation with integration of renewable energy resources in the electricity grid of New South Wales, Australia. *Vulongong in Renewable Energy* 66 (2014). Wollongong, New South Wales, Australia. 305-313.

Adam, R. 2008. Munich. *From distribution to contribution, commercializing the smart grid* [interaktyvus]. Munich [Žiūrėta 2016 m. Spalio 14 d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.strategyand.pwc.com/media/uploads/FromDistributiontoContribution.pdf>>.

Agar, C. 2005. *Capital investment and financing: a practical guide to financial evaluation*. Oxford. Boston. Elsevier: Butterworth-Heinemann. 444p.

Al-Saleh, Y.; Mahroum, S. 2014. *A critical review of the interplay between policy instruments and business models: greening the built environment a case in point*. J. Clean. Prod. 109: 1-11.

Aleknavičienė, V. *Investicijų rizikos valdymas (žemės ūkio produktus gaminančių ir perdirbančių įmonių pavyzdžiu): dr. dis., socialiniai mokslai, ekonomika (6B)/Darbo vadovė N. Žaltauskienė, LŽŪU. Kaunas. 1977. 97p.*

Anderson, P.; Tushman, M. L. 1990. Technological discontinuities and dominant designs: a cyclical model of technological change. *Administrative Science Quarterly* 35(4):604-633.

Archer, C. L.; Jacobson, M. Z. 2005. Evaluation of global wind power. *Journal of geophysical research* 110: 1-6.

Argandona, Antonio. 2011. *Stakeholder theory and value creation*. IESE Business School – University of Navarra. Barcelona. 15p.

Amin, S. M.; Wollenberg, B. 2005. Towards a smart grid: power delivery for the 21st century. *IEEE Power Energy Magazine* 3(5): 34-41.

Baden-Fuller, C.; Haefliger, S. 2013. Business models and technological innovation. *Long Range Plann.* 46: 419-426.

Bajs, D.; Majstrovic, M.; Majstrovic, G. 2004. *New procedure for transmission networking planning in Croatia*. Energy Institute HRVOJE POŽAR. Zagreb. 6p.

Battery management system. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta Lapkričio 11 d.] Prieiga per internetą: < https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_management_system>.

Bergek, A.; Berggren, C.; Magnusson, T.; Hobday, M. 2013. Technological discontinuities and the challenge for incumbent firms: destruction, disruption or creative accumulation? *Res. Policy* 42: 1210-1224.

Bioenergy. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Kovo 15 d.] Prieiga per internetą: < <https://en.wikipedia.org/wiki/Bioenergy>>.

Bivainis, J.; Griškevičius, A.; Jakštas, V. 1997. *Investicinių projektų vertinimas*. Vilnius: Lietuvos inform. instit. 38p.

Bocken, N. M. P.; Short, S. W.; Rana, P.; Evans, S. 2014. A literature and practise review to develop sustainable business model archetypes. *J. Clean. Prod.* 65: 42-56.

Bohnsack, R.; Pinkse, J.; Kolk, A. 2014. Business models for sustainable technologies: exploring business model evolution in the case of electric vehicles. *Res. Policy* 43: 284-300.

Boons, F.; Ludeke-Freund, F. 2013. Business models for sustainable innovation: state of the art and steps towards research agenda. *J. Clean. Prod.* 45: 9-19.

Boons, F.; Montalvo, C.; Quist, J.; Wagner, M. 2013. Sustainable innovation, business models and economic performance: an overview. *J. Clean. Prod.* 45: 1-8.

Car prototype generates electricity, and cash. Science daily. [interaktyvus] 2007. [Žiūrėta 2016 m. Sausio 10 d.] Prieiga per internetą: < <https://www.sciencedaily.com/releases/2007/12/071203133532.htm> >.

Catalin, A.; Covrig, F.; Ardelean, M.; Vasiljevska, J.; Mengolini, A.; Fulli, G.; Amoiralis, E.; Jimenez, M. S.; Filiou, C. 2014. *Smart grid projects Outlook 2014*. European Commission Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport. Peten. 157p.

Chesbrough, H. 2010. Business model innovation: opportunities and barriers. *Long. Range Plann.* 43: 354-363.

Clastres, C. 2011. Smart grids: another step towards competition, energy security and climate change objectives. *Energy Policy* 39: 5399-5408.

Colmenar-santos, A.; Perez, M.; Borge, D.; Perez, C. 2015. Reliability and management of isolated smart grid with dual mode in remote places: application in the scope of great energetic needs. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 73: 805-818.

Covrig, C.; Vasiljevska, J.; Mengolini, A.; Fulli, G. 2014. *Smart grid projects Outlook 2014*. Luxembourg: European Commission Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport. 157 p.

Crowards, T. 1997. Nonuse Values and the Environment: Economic and Ethical Motivations, *Environmental Values* 6 (2): 163-167

DaSilva, C. M.; Trkman, P. 2013. Business model: what it is and what is not. *Long Range Plann.* 1-11.

Desideri, U.; Zepparelli, F.; Morettini, V.; Garroni, E. 2013. Comparative analysis of concentrating solar power and photovoltaic technologies: Technical and environmental evaluations. *Applied Energy* 102: 765-784.

Dėl atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo elektros energijai gaminti skatinimo kvotų ir aukcionų regionų patvirtinimo. Lietuvos Respublikos Vyriausybės Nutarimas Nr. 810. 2012. Vilnius.

Distributed energy resources. Electric power research institute [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Sausio 9 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.epri.com/Our-Work/Pages/Distributed-Electricity-Resources.aspx>>.

Doguc, O.; Emmanuel, R. M. J. 2012. An automated method for estimating reliability of grid systems using Bayesian networks. *Reliability Engineering & System Safety* 104: 96-105.

Ellabban, O.; Abu-Rub, H.; Blaabjerg, F. 2014. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39: 748-764.

Elektra. Lietuvos Respublikos Energetikos Ministerija [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Gruodžio 2 d.] Prieiga per internetą: <<https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/elektra>>.

Elektros energijos gamintojams, naudojančioms atsinaujinančiosios energijos išteklius, fiksuoti tarifai, Eur/kWh (be PVM). Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 4 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.regula.lt/atsinaujinantys-istekliai/Puslapiai/tarifai.aspx>>.

Elektros energijos vartotojams įrengiamos automatizuotos elektros energijos apskaitos sistemos (AEEAS) įrangos techniniai reikalavimai. AB LESTO. 2013. Liepos 16 d. Nurodymas nr. 262.

European Commission, 2006. *Directorate-General for Research General for Research European Smart Grids Technology Platform: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future*. European Commission. Directorate-General for Research. Information and Communication Unit. Brussels. 44p.

European Commission, 2007. *An Energy Policy for Europe. Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament*. European Commission. Directorate-General for Research. Information and Communication Unit. Brussels. 28p.

European Commission, 2011. *Smart Grids: From Innovation to Deployment. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*. European Commission. Directorate-General for Research. Information and Communication Unit. Brussels. 13p.

European network of transmission system operators for electricity. [interaktyvus] 2016. [Žiūrėta 2016 m. Vasario 5 d.] Prieiga per internetą: <<https://www.entsoe.eu/about-entsoe/Pages/default.aspx>>.

Fitzgerald, G.; Mandel, J.; Morris, J.; Touati, H. 2015. *The economics of battery energy storage. How to multi-use, customer-sited batteries deliver the most services and value to customers and the grid*. Rocky Mountain Institute. Boulder. 41p.

Fotoefektas. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Sausio 15 d.] Prieiga per internetą: <<http://lt.wikipedia.org/wiki/Fotoefektas>>.

Fox-Penner, P. 2010. *Smart Power: Climate change, the Smart Grid, and the Future of Electric Utilities*. Vashington: Island Press. 344p.

Frame, K. D. 2003. *Managing Risk in Organizations. A Guide for Managers*. Vashington: Jossey-Bass. 288p.

Freeman, E. R. 2007. Ending the so-called ‚Friedman-Freeman‘ debate. *Business Ethics Quarterly*, 18 (2): 162-166

Freeman, E. R. 2010. *Strategic Management – a Stakeholder Approach*. Cambridge: Cambridge University Press. 292p.

Garškienė, A. 1997. *Verslo rizika*. Vilnius: Lietuvos informacijos institutas. 37p.

Geelen, D.; Reinders, A.; Keyson, D. 2013. Empowering the end-user in smart grids: recommendations for the design of products and services. *Energy Policy* 61: 151-161.

Gellings, C. W. 2009. *The smart grid: enabling energy efficiency and demand response*. The fairmont press inc: Lilburn. 250p.

Geothermal energy. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Kovo 28 d.] Prieiga per internetą: < https://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_energy>.

Gitman, L. J.; Joehnk, M. D. 1998. *Fundamentals of investing*. Addison: Wesley. 672p.

Grynasis pelnas. Finansistas [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 16 d.] Prieiga per internetą: < <http://www.finansistas.net/grynasis-pelnas.html>>.

Hahn, T.; Pinske, J.; Preuss, L.; Figge, F. 2014. Cognitive frames in corporate sustainability: managerial sensemaking with paradoxical and business case frames. *Acad. Manag. Rev.* 39: 463-487.

Heidari, N.; Pearce, J. M. 2016. A review of greenhouse gas emission liabilities as the value of renewable energy for mitigating lawsuits for climate change related damages. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55C: 899-908.

How advanced metering can contribute to distribution automation. [interaktyvus] 2012. [Žiūrėta 2016 m. Sausio 9 d.] Prieiga per internetą: < <http://smartgrid.ieee.org/resources?catid=0&id=186> >.

How to size your off-grid solar batteries. Instructables [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Spalio 25 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.instructables.com/id/How-to-Size-Your-Off-Grid-Solar-Batteries-1/>>.

Howlander, H.; Matayoshi, H.; Senjyu, T. 2015. Distributed generation incorporated with the thermal generation for optimum operation of a smart grid considering forecast error. *Energy Conversion and Management* 96: 303-314.

Huld, T.; Muller, R.; Gambardella, A. 2012. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy* 86, 1803-1815.

International Energy Agency. 2016. *Renewable Energy. Medium-Term Market Report 2016. Market Analysis and Forecasts to 2021*. Paris: ISBN Print. 282p.

Investicijų pelningumo rodiklis ROI. Auditum [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 10 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.auditum.lt/index.php/ekonominiu-terminu-zodynas/924-pelningumo-rodikliai/219-investiciju-pelningumo-rodiklis.html>>.

Investicijos. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 15 d.] Prieiga per internetą: <<https://lt.wikipedia.org/wiki/Investicijos>>.

Investicijų efektyvumo įvertinimas. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 16 d.] Prieiga per internetą: <https://lt.wikipedia.org/wiki/Investicij%C5%B3_efektyvumo_%C4%AFvertinimas>.

Įrengtoji galia. Elektros energetikos sistemos informacija. Energetikos sistema. Litgrid. [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Rugšėjo 5 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.litgrid.eu/index.php/energetikos-sistema/elektros-energetikos-sistemos-informacija/irengtoji-galia/502>>.

Įtampos svyravimo priežastys ir tipai. ESO [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 15 d.] Prieiga per internetą: <http://www.eso.lt/lt/verslui/elektra_99/vartoju-elektra/kadaryti-dingus-elektra-ar-pastebejus-itampos-svyravima/itampos-svyravimai/itampos-svyravimo-priezastys-ir-tipai.html>.

Your smart grid opportunity. Sustainable energy authority of Ireland. [interaktyvus] 2014. [Žiūrėta 2016 m. Vasario 8 d.] Prieiga per internetą: <http://www.seai.ie/Publications/Renewables_Publications/_New_Technologies/Ireland_Your_Smartgrid_Opportunity.pdf>.

John, D. McDonald. 2015. *The future of Grid Control: Smart Grid and Beyond*. Adv. Grid Tech. Workshop/ADMS at NREL. Golden. 28p.

Kaip skaičiuojama investicijų grąža. Verslas.in [interaktyvus]. 2013. [Žiūrėta 2016 m. Kovo 5 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.verslas.in/kaip-skaiciuojama-investiciju-graza/>>.

Keyhani, A. 2011. *Design of smart power grid renewable energy systems*. Hoboken: Wiley-IEEE Press, 592p.

Kurucz, E. C.; Colbert, B. A.; Wheeler, D. 2008. The business case for corporate social responsibility. *The Oxford Handbook on Corporate Social Responsibility*: 83-112.

Lehr, R. L. 2013. New utility business models: utility and regulatory models for the modern era. *The Electricity Journal* 26(8): 35-53.

Leidimų plėtoti elektros energijos gamybos pajėgumus ir leidimų gaminti elektros energiją išdavimas. Elektroniniai valdžios vartai [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Spalio 4 d.] Prieiga per internetą: < <https://www.epaslaugos.lt/portal/service/28044/22422> >.

Lietuvos Respublikos Elektros Energetikos Įstatymo Nr. VIII-1881 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 18, 31, 34, 39, 40, 41, 43, 44, 49, 51, 52, 58, 67, 70, 71, 72, 74, 75 straipsnių ir priedo PAKEITIMO ir įstatymo papildymo 39¹ straipsniu. Vilnius, 2016. 20p.

Lydeka, Z. 1999. Ekonominės sistemos vystymosi teorinis pagrindimas. *Inžinerinė ekonomika* 4: 1-5.

Lopez, A.; Roberts, B.; Heimiller, D.; Blair, N.; Porro, G. 2012. *U.S. renewable energy technical potentials: a GIS-based analysis.* National Renewable Energy Laboratory. Golden. 40 p.

Lozano, R. 2013. Are companies planning their organisational changes for corporate sustainability? An analysis of three case studies on resistance to change and their strategies to overcome it. *Corp. Soc. Responsib. Environ. Manag.* 20: 275-295.

Mah, D. N.; Wu, Y. Y.; Ip, J. C.; Hills, P. R. 2013. The role of the state in sustainable energy transitions: a case study of large smart grid demonstration projects in Japan. *Energy Policy* 63: 726-737.

Mardookhy, M.; Sawhney, R.; Ji, S.; Zhu, X.; Zhou, W. 2014. A study of energy efficiency in residential buildings in Knoxville, Tennessee. *J. Clean. Prod.* 85: 241-249.

Markides, C. 2006. Disruptive innovation: in need of better theory. *J. Prod. Innov. Manag.* 23: 19-25.

McCrone, A.; Moslener, U.; d'Estais, F.; Usher, E.; Gruning, C. 2016. *Global trends in renewable energy investment 2016.* Frankfurt: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 84p.

Moyer, R. C.; Kretlow, W. 1997. *Contemporary financial management.* Cincinnati: South-Western College Pub; 7edition. 854p.

Net profit. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 16 d.]. Prieiga per internetą: < https://en.wikipedia.org/wiki/Net_profit >.

Neverauskas, B.; Stankevičius, V. 2000. Projektų rizika. Analizė ir atsakomieji veiksniai. *Inžinerinė ekonomika* 2(17): 75-81.

Nistor, S.; Wu, J.; Sooriyabandara, M.; Ekanayake, J. 2015. Capability of smart appliances to provide reserve services. *Applied Energy* 138: 590-597.

National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce. *NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards.* Office of the National Coordinator for smart grid Interoperability. 2014. 246p.

Norvaišienė, R.; Bagdzevičienė, R. 2000. Investicinių projektų rizikos vertinimo metodai. *Organizacijų vadyba: sisteminiai tyrimai* 13: 127-137.

Norvaišienė, R. 2000. *Sisteminis investicinių projektų rizikos vertinimas*. Daktaro disertacija. Kaunas. 134 p.

Norvaišienė, R. Bagdzevičienė, R. 1999. Tikimybių teorijos panaudojimas investicinių projektų rizikos vertinimui. *Organizacijų vadyba: sisteminiai tyrimai* 9: 81-91.

Nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis (ROE). Auditum [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 10 d.] Prieiga per internetą: < <http://www.auditum.lt/index.php/ekonominiu-terminu-zodynas/924-pelningumo-rodikliai/218-nuosavo-kapitalo-pelningumo-rodiklis.html>>.

Ostwalder, A. 2004. *The business model ontology – a proposition in a design science approach*. Lausanne. 169p.

Paris agreement. Wikipedia [interaktyvus] 2016. [Žiūrėta 2016 m. Spalio 15 d.] Prieiga per internetą: <https://en.wikipedia.org/wiki/Paris_Agreement>.

Park, K. C.; Kim, J. H.; Kim, S.; Y. 2014. A study of factors enhancing smart grid consumer engagement. *Energy Policy* 72: 211-218.

Payback mehtod. Payback period formula. Accounting tools [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 17 d.] Prieiga per internetą: < <http://www.accountingtools.com/payback-period-formula>>.

Peura, P. 2013. From Malthus to sustainable energy – theorethical orientations to reforming the energy sector. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 19: 309-327.

Philibert, C; Frankl, P; Jones, R; Houssin, D; Gaghen, R. 2011. *Solar energy perspectives: executive summary*. International energy agency. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development/ International Energy Agency. 234p.

Pinske, J.; Dommisse, M. 2009. Overcoming barriers to sustainability: an explanation of residential builders reluctance to adopt clean technologies. *Bus. Strateg. Environ.* 18: 515-527.

Prising sunshine. The economist [interaktyvus]. 2012. [Žiūrėta 2016 m. Spalio 28 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2012/12/daily-chart-19>>.

Reports on demand response and advanced metering. Federal Energy Regulatory Commission. [interaktyvus] 2016. [Žiūrėta 2016 m. Sausio 9 d.]Prieiga per internetą: <<https://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/demand-response/dem-res-adv-metering.asp>>.

Return of investment. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Kovo 5 d.] Prieiga per internetą: < https://en.wikipedia.org/wiki/Return_on_investment>.

Richter, M. 2013. Business model innovation for sustainable energy: German utilities and renewable energy. *Energy policy* 62: 1226-1237.

Rudzkis, P. 2014. *Investicijų į atsinaujinančių išteklių energetiką rizikos vertinimas*. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika. 152p.

Sabatier, V.; Craig-Kennard, A.; Mangematin, V. 2012. When technological discontinuities and disruptive business models challenge dominant industry logics: insights from the drugs industry. *Technol. Forecast. Soc. Change* 79: 949-962.

Sawin, L. J.; Seyboth, K.; Sverrisson, F. 2016. *Renewables 2016. Global status report*. REN21, 2016. Paris: REN21 Secretariat. ISBN 978-3-9818107-0-7. 272p.

Simoës, M.; Roche, R.; Kyriakides, E.; Suryanarayanan, S.; Blunier, B.; McBee, K.; Nguyen, P.; Ribeiro, P.; Miraoui, A. 2012. A comparison of smart grid technologies and progresses in Europe and the U.S. industry applications. *IEEE Transactions* 48(4): 1154-1162.

Smart meter. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta Lapkričio 12 d.] Prieiga per internetą: <https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter>.

Solar angle calculator. Solar electricity handbook 2016 [interaktyvus]. [Žiūrėta Spalio 16 d.] Prieiga per internetą: <<http://solarelectricityhandbook.com/solar-angle-calculator.html>>.

Solar energy. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Sausio 14 d.] Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy>.

Solar may produce most of world's power by 2060. Bloomberg [interaktyvus]. 2011. [Žiūrėta 2016 m. Spalio 14 d.] Prieiga per internetą: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2011-08-29/solar-may-produce-most-of-world-s-power-by-2060-iea-says>>.

Statistical review of world energy. British Petroleum [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Spalio 15 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>.

Tarifų planai ir kainos. ESO [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 14 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/esu-klientas/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/kiek-kainuoja-elektra-2016/tarifu-planai-ir-kainos-nuo-2016-liepos-1d..html>>.

Teece, D. J. 2010. Business models, business strategy and innovation. *Long Range Plann.* 43: 172-194.

The real lifespan of solar panels. Energy informative [interaktyvus]. 2014. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 7 d.] Prieiga per internetą: <<http://energyinformative.org/lifespan-solar-panels/>>.

The smart grid: an introduction. 2008. Washington: Litos Strategic Communication. 200p.

Types of wind turbines. Centurion energy [interaktyvus]. 2014. [Žiūrėta 2016 m. Kovo 28 d.] Prieiga per internetą: <<http://centurionenergy.net/types-of-wind-turbines>>.

Vartojimo paskolos. Bankai.lt [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 4 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.bankai.lt/paskolos/vartojimo>>.

Vicenzo, G.; Alexis, M.; Catalin, F.; Anna, M.; Mircea, A.; Fulli, G. 2014. Smart grid projects in Europe: Lessons learned and current developments. Luxembourg: European Commission Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport. 142 p.

Wakefield, M.; Faruqui, A.; Hledik, R.; Bossart, S.; Lamontagne, C.; Small, F.; Walls, D.; Lee, R.; Benz, B.; Violette, D. 2010. *Methodological approach for estimating the benefits and costs of smart grid demonstration projects*. 178 p.

Wind power. Wikipedia [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Kovo 10 d.] Prieiga per internetą: < https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power >.

Xia, S.; Luo, X.; Chan, KW. 2014. A framework for self-healing smart grid with incorporation of multi-agents. *Energy Procedia* 61: 2123-2126.

Xue, X.; Wang, S.; Yan, C.; Cui, B. 2015. A fast chiller power demand response control strategy for buildings connected to smart grid. *Applied Energy* 137: 77-87.

Zhang, J.; Hodge, M. B.; Florita, A.; Lu, S.; Hamann, F. H.; Banunarayanan, V. 2013. Metrics for evaluating the accuracy of solar power forecasting. In *3rd International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems, London, United Kingdom, October 21-22, 2013*. 1-10.

5-10 kW saulės elektrinė. Greenup [interaktyvus]. 2016. [Žiūrėta 2016 m. Lapkričio 4 d.] Prieiga per internetą: <<http://greenup.lt/produktas/saules-elektrine/>>.