



## INVESTICIJŲ Į SAULĖS ELEKTRINES IŠMANIUOSIUOSE TINKLUOSE EFEKTYVUMO ĮVERTINIMAS

Karolis BUŽINSKAS<sup>1</sup>, Paulius RUDZKIS<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Verslo vadybos fakultetas, Finansų inžinerijos katedra,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva  
El. paštas: <sup>1</sup>Karolis.Buzinskas@gmail.com; <sup>2</sup>Paulius.Rudzkis@vgtu.lt*

**Santrauka.** Šiame straipsnyje nagrinėjama saulės elektrinių plėtos ir jų integracijos į dabartinį elektros tinklą problema. Straipsnio tikslas yra išnagrinėti ir įvertinti investicijų į saulės energetikos projektus išmaniuosiuose elektros tinkluose efektyvumą. Analizuojama išmaniųjų tinklų koncepcija ir saulės energetikos galimybės juose. Pateikiami projektų investicijų efektyvumo ir rizikos vertinimo metodai, labiausiai tinkantys atsinaujinančios energetikos projektams. Projekto efektyvumas apskaičiuojamas analizuojant investicijų į saulės elektrinę sukurtus pinigus srautus ir finansinius rodiklius. Skaičiuojant vertinamos suinteresuotos šalys ir jų gaunama vertė, nagrinėjamas dabartinių saulės energetikos projektų potencialas kartu su jų integracija ir pinigų srautais išmaniuosiuose tinkluose. Pabaigoje įvertinama suinteresuotų šalių gaunama vertė, pinigų srautai ir finansiniai rodikliai.

**Reikšminiai žodžiai:** išmanieji tinklai, saulės energetika, investicijų efektyvumas, investicinis projektas, finansiniai rodikliai.

### Įvadas

Pasaulio energetikos sistema patiria didelius pokyčius – mažėja priklausomybė nuo iškastinio, kuro ir didėja atsinaujinančių energijos išteklių integracija. Po Paryžiaus klimato kaitos konferencijos atsinaujinančių energijos išteklių integracija į elektros tinklus toliau didės. Norint prisitaikyti prie greitai kintančių pasaulio energetikos tendencijų būtina sukurti ne tik energetiškai, bet ir ekonomiškai efektyvų elektros tinklą.

Mokslinio tyrimo aktualumas – dėl atsinaujinančios energetikos integracijos kinta pati energetikos struktūra, rinka ir tiekimas. Vartotojai tampa inovatyvūs, elektros rinkoje tampa ne tik vartotojais, bet ir gamintojais. 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 populiarsnė ir plačiau naudojama Europoje ir pasaulyje. Naujos saulės elektrinės gali generuoti elektros energiją daugiau nei 30 metų. Mokslinio tyrimo problema – kartu su didėjančia atsinaujinančių energijos išteklių integracija į elektros tinklą atsiranda poreikis transformuoti tinklo infrastruktūrą. Dėl šių pokyčių tikslinga įvertinti saulės elektrinių projektų potencialą išmaniuosiuose tinkluose. Paskutinius kelerius metus saulės energetikai tenka daug dėmesio, tačiau didžioji dalis autorių nagrinėja technologinius ir finansinius aspektus neatsižvelgdami į infrastruktūros kitimo tendencijas. Išmanieji tinklai iš esmės pakeičia saulės energetikos projektų verslo aplinką, skatina elektros energijos vartotojų dalyvavimą elektros energijos mainus ir prisideda prie naujų verslo modelių kūrimo.

Mokslinio tyrimo naujumas – saulės energetikos plėtra sparčiai vystosi, kartu su saulės ir kitos atsinaujinančios energetikos plėtra keičiasi ir patys elektros tinklai, kad galėtų prisitaikyti prie sunkiau nuspėjamų elektros generavimo pokyčių. Įvertinus saulės energetikos projektų potencialą išmaniuosiuose elektros tinkluose bus galima daug efektyviau išnaudoti turimus saulės energijos ir finansinius išteklius.

Šio tyrimo objektas yra investicijos į saulės energetiką, o straipsnio tikslas – įvertinti investicijų į saulės energetikos projektus išmaniuosiuose elektros tinkluose efektyvumą. Tikslui pasiekti bus apžvelgiami išmanieji tinklai, identifikuojami tinkami investicijų efektyvumo ir rizikos vertinimo metodai, parenkami tinkami finansiniai rodikliai ir įvertinamas realus tokios saulės elektrinės projektas.

### Išmaniųjų elektros tinklų technologijos, infrastruktūra ir savybės

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 sukurs aplinką naujų technologijų vystymuisi – elektromobilių naudojimui elektros tinkle, paklausos-pasiūlos sistemoms (angl. Demand response) ir naujos energijos rinkos sukūrimui (nauji verslo modeliai, nauja rinka, nauji rinkos dalyviai, vartotojų įtraukimas).

Išmanusis tinklas yra kitos kartos elektros energijos tinklas, galintis optimizuoti energijos efektyvumą naudojant realiojo laiko (angl. *Real time*) informaciją tarp visų elektros tinkle dalyvaujančių veikėjų. 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, geriau integruoti atsinaujinančios energetikos technologijas, sumažinti elektros tinklo priežiūrai skiriamas išlaidas ir taršą (Park *et al.* 2014).

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 (National institute of Standards and Technology 2014). Išmanusis tinklas buvo suskirstytas į 7 kategorijas, apibūdinančias visus išmaniajame elektros tinkle dalyvaujančius dalyvius (1 lentelė).

1 lentelė. Nacionalinio standartų ir technologijos instituto konceptualaus išmaniojo elektros tinklo modelio kategorijos (National institute of Standards and Technology 2014)  
Table 1. National Institute of Standards and Technology conceptual smart electricity grid model categories (National institute of Standards and Technology 2014)

Kategorija	Apibūdinimas
1. Vartotojai	Kategorija, kurios dalyviai vartoja elektros energiją. Privatūs, komerciniai ir pramoniniai vartotojai. Dalyviai gali ir gaminti, 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. 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, kuriuose 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.

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. Pagrindinės išmaniojo elektros tinklo savybės:

- *Nepertraukiamas elektros energijos tiekimas*. 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). Elektros tinklai nuolat kinta ir darosi vis sudėtingesni, kontroliuoti tinklą tampa vis sudėtingiau, todėl atsiranda poreikis taikyti naujus metodus ir technologijas (Doguc, Emmanuel 2012). Nuotolinis hibridinės elektros sistemos monitoringas ir automatizuotas tinklo valdymas kintančiame skirstymo lygmenyje stipriai prisideda prie tinklo patikimumo ir efektyvumo (Colmenar-santos *et al.* 2015).
- *Paskirstytų energijos išteklių integracija į elektros tinklą*. Paskirstyti energijos ištekliai yra nedidelės galios energijos generatoriai, kurie gali padėti balansuoti elektros energijos sistemą. Minėti generatoriai gali būti baterijų sistemos, atsinaujinančios energijos elektrinės ir pan. (Electric power research institute 2016; Howlander *et al.* 2015).
- *Paklausos-pasiūlos paslauga*. Federalinė energijos reguliavimo komisija (angl. Federal Energy Regulatory Commission) paklausos-pasiūlos paslaugą apibūdina kaip pokyčius elektros vartojime reaguojant į elektros kainų kitimą laike arba kaip paskatinamąją priemonę sumažinti elektros energijos suvartojimą, kuomet elektros kaina yra aukšta (Federal energy Regulatory Commission 2015). Ši paslauga vartotojams suteikia galimybę dalyvauti elektros tinklo valdyme sumažinant savo elektros suvartojimą arba perkeliant jį į kitą laiką ir taip gaunant finansinę naudą.

- *Elektros srautų monitoringas*. Elektros srautų matavimas, informacijos kaupimas ir apdorojimas yra būtinas išmaniųjų tinklų vystymuisi. Dėl pažangios elektros matavimo infrastruktūros operatoriai ir skirstytojai gali surinkti tikslesnę informaciją daug greičiau ir taip padidinti elektros energijos tiekimo patikimumą (IEEE Smart Grid 2012).
- *Išmaniųjų įrenginių integracija*. Išmanieji įrenginiai gali komunikuoti ir keistis informacija su elektros energijos tinklu, automatiškai išsijungti esant dideliame energijos vartojimui tinkle ir įsijungti, kuomet tinkle apkrovų nėra (Nistor *et al.* 2015; Xue *et al.* 2015). Tokie įrenginiai koreguoja elektros vartojimą, padeda užtikrinti bendrą elektros tinklo stabilumą ir gali vartotojui sumažinti išlaidas 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. Perteklinė energija, generuojama iš atsinaujinančių energijos išteklių gali būti talpinama baterijų sistemose ir esant elektros trūkumui tinkle atiduodama kitiems vartotojams. Elektromobiliai taip pat gali atlikti šią funkciją (Science daily 2007).

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 išreikšiami kaip tikimybės, 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).

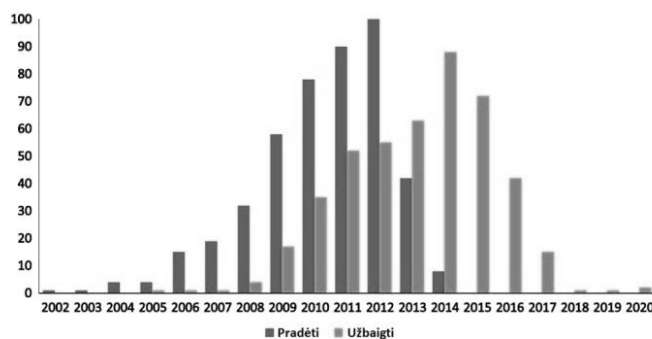
Augantys išskirstytų elektros generatorių ištekliai didina elektros tinklo tvirtumą ir atsparumą pažeidimams. Išmanieji skaitikliai elektros tinklo infrastruktūrai suteikia greitesnę ir efektyvesnę komunikaciją ir reakcijos laiką. Taip pat šie skaitikliai sudaro galimybę esant sisteminiam poreikiui sumažinti ar atjungti vartotoją nuo elektros tinklo.

### Išmaniųjų elektros tinklų pasaulinė patirtis

2005 metais Europos Komisija sukviesta ekspertų grupė sukūrė viziją ir tyrimų programą Europos išmaniajam tinklui. Europos Sąjungos Energijos ir klimato paketas (angl. European Union Energy and Climate Package) turi aiškia viziją padidinti atsinaujinančių energijos išteklių vartojimą (>20 %), sumažinti šiltnamio dujų kiekį (>20 %), ir padidinti energijos efektyvumą (> 20 %). Norint pasiekti užsibrėžtus būtina kuo efektyviau išnaudoti atsinaujinančius energijos išteklius (Abdullah *et al.* 2014). Norint efektyviai išnaudoti šiuos išteklius reikia modernizuoti dabartinio elektros tinklo infrastruktūrą.

Europoje naudojami elektros tinklai buvo pastatyti prieš 30–50 metų. Dėl didėjančio elektros energijos poreikio dabartiniai elektros tinklai yra technologiškai pasenę. Taip pat šiuo metu naudojami elektros tinklai turi 2–4 % sisteminių nuostolių elektros perdavimo lygmenyje ir 4–9 % – paskirstymo lygmenyje (Bajs *et al.* 2004).

2014 metais Europos Komisijos Jungtinis Ataskaitų Centras – EC-JRC (angl. European Commission Joint Report Centre) paskelbė išsamią ataskaitą apie 30 valstybių, kurios 2002–2014 metais vystė išmaniuosius tinklus (Covrig *et al.* 2014). Šiuo laikotarpiu buvo vystomi 459 projektai, susiję su išmaniaisiais tinklais, iš kurių 287 buvo nacionaliniai, 172 tarptautiniai projektai.



1 pav. Išmaniųjų tinklų projektai Europoje (šaltinis: Covrig *et al.* 2014)

Fig. 1. Smart grid projects in Europe (source: Covrig *et al.* 2014)

Bendra šių projektų vertė siekė 3,15 mlrd. EUR. Daugiausia į projektus investavo Jungtinė Karalystė, Prancūzija ir Ispanija. Dėl vystymo ir pritaikymo projektų 2014 metais susikūrė apie 400 naujų kompanijų, kurios ir toliau vysto išmaniųjų tinklų infrastruktūrą (Covrig *et al.* 2014). Šių investicijų dėka minėtos valstybės turi išsivysčiusias energetikos sistemas, dėl kurių gali labai efektyviai išnaudoti savo atsinaujinančios energetikos išteklius ir vystyti tvarią energetiką, bei darnią ekonomiką.

## Investicinių projektų efektyvumo vertinimo metodai

Bivainis, Griškevičius ir Jakštas (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 projektus, kurie neturi kiekybinės išraiškos arba jų įvertinimas kiekybiniais metodais yra pernelyg brangus (Bivainis *et al.* 1997).

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

Finansinė analizė yra viena svarbiausių metodų vertinant investicinius projektus, kadangi tik gaunami pinigų sratai gali užtikrinti tolimesnį projekto vystymąsi. Toliau bus nagrinėjami tokie finansiniai rodikliai kaip grynasis pelnas, investicijų atsipirkimo laikas, grynoji dabartinė vertė, vidinė grąžos norma ir nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis.

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 naudingas rizikos matu situacijoje, kai neapibrėžta gali būti tik projekto egzistavimo trukmė (Wikipedia 2017a). Atsipirkimo laikotarpio metodas patrauklus renkant aukštas pajamas duodančius trumpalaikius projektus, tačiau ignoroja rentablesnius ilgalaikius projektus.

Taikant išsamaus atsipirkimo laiko nustatymo metodą, atsipirkimo laikotarpis nok (PP) suprantamas kaip tam tikras periodas, per kurį grynojo pelno, diskontuoto iki investicijų užbaigimo momento, suma lygi investicijų sumai (Wikipedia 2017a).

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

čia:  $P_k$  – metinės pajamos, EUR;  $IC_j$  – investicijos, EUR;  $t$  – investicijų užbaigimo terminas;  $k$  – investicinis laikotarpis;  $j$  – išlaidų laikotarpis.

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 (Investopedia 2017).

Kadangi pinigų sratai pasiskirstę laike, jie diskontuojami pagal tam tikrą procentinę normą  $i$ . Šiuo atveju labai svarbu parinkti tinkamą procentinės normos dydį (Investopedia 2017).

Jei yra nevienkartinė investicija, o finansiniai ištekliai nuosekliai investuojami kelerius metus ( $m$ –metų), NPV apskaičiavimo formulė modifikuojama tokiu būdu (Investopedia 2017):

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+i)^k} - \sum_{j=1}^m \frac{IC_j}{(1+i)^j}, \quad (2)$$

čia:  $P_k$  – metinės pajamos per  $n$  metų;  $IC$  – pradinės investicijos;  $i$  – palyginimo (diskonto) norma.

Vidinė grąžos norma (IRR – angl. *Internal Rate of Return*) yra vienas iš reikšmingiausių rodiklių. Šis rodiklis apibūdina pritrauktų finansavimu lėšų ir tų lėšų kainos santykį. Šis rodiklis apibūdina maksimaliai galimą santykinę išlaidų lygį ir apskaičiuojamas (Finansistas 2017):

$$IRR = i_1 + \frac{NPV(i_1)}{NPV(i_1) - NPV(i_2)} \times (i_1 - i_2). \quad (3)$$

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 (Wikipedia 2017b). Šis rodiklis skaičiuojamas naudojanti šia formule (Auditum 2017a):

$$ROI = \frac{GP}{IC_n + IC_s}, \quad (4)$$

čia:  $GP$  – grynasis pelnas, EUR;  $IC_n$  – Nuosavos investicijos, EUR;  $IC_s$  – Skolintos investicijos, EUR.

Nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis (angl. 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 (Auditum 2017b):

$$ROE = \frac{GP}{IC}. \quad (5)$$

Šis rodiklis svarbus akcininkams, kadangi jo reikšmė parodo investuotų pinigų grąžą. Potencialius investuotojus jis taip pat domina, kadangi jiems tapus akcininkams šis rodiklis rodys ir 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.

### 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 kokį reiškinį, svarbu suvokti jo esmę ir atsiradimo priežastis (Aleksnevičienė 1997).

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, 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 tarpusavyje priklausomybės tyrimo analitinis metodas (Norvaišienė, Bagdzevičienė 1999).

*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 (Norvaišienė, Bagdzevičienė 1999).

*Monte Karlo imitacinis modeliavimas* – tai rizikos analizės metodas, kuriuo ateities įvykiai modeliuojami kompiuteriu, gaunant numatomus pelno normos ir rizikos indeksus. Taikant šį metodą sudaromas matematinis modelis su neapibrėžtomis parametru reikšmėmis, o žinant tikimybinį projekto parametru paskirstymą bei ryšį tarp parametru pasikeitimų (koreliaciją) gaunamas projekto rezultatyvumo pasiskirstymas. Metodo esmė yra siekiant įvertinti rezultato kintamumą, jo parametrus suteikiami atsitiktiniai dydžiai ir tikimybės; sudaromos parametru kombinacijos, išsiskiriančios savo gausa ir įvairove (Aleksnevičienė 1997).

*Analizė pagal scenarijus* leidžia nustatyti kelių veiksmų tarpusavyje 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 (Norvaišienė, Bagdzevičienė 2000).

*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).

*Ekspertinis metodas* – papildomas rizikos vertinimo metodas, kuris naudojamas kai nepakanka statistinių duomenų. Jis skirtas vertinti veiksmus, 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 (Norvaišienė, Bagdzevičienė 2000).

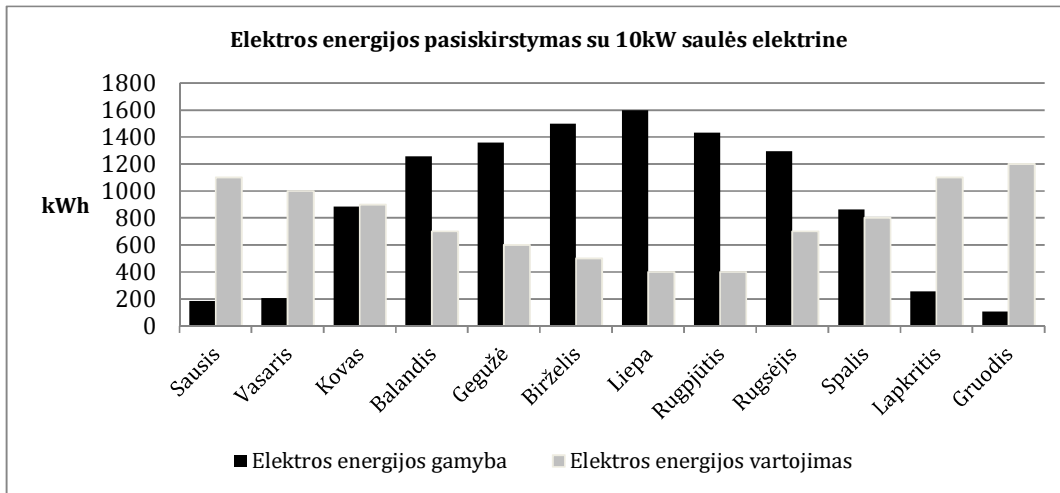
*Patikimumo ekvivalentų metodo* esmė – būsimi investicijų pinigų srautai yra diskontuojami laisva nuo rizikos diskonto norma, o po to kiekvienų metų NPV nustatomas patikimumo ekvivalentas (Norvaišienė, Bagdzevičienė 2000).

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.

### Investicijų į saulės elektrinę išmaniajame tinkle efektyvumo įvertinimas

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 energijos 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, mokslinio straipsnio 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.

Prieš vertinant investicijas į saulės elektrinę būtina įvertinti suvartojamą elektros energiją. Pasirinkto tiriamojo objekto Klaipėdoje metinis elektros energijos suvartojimas yra 9400 kWh (Lietuvos Respublikos Energetikos Ministerija 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.



2 pav. 10 kW saulės elektrinės Klaipėdos teritorijoje metinis elektros energijos gamybos kiekis ir nuosavo namo elektros energijos suvartojimas (šaltinis: PVSOL programa 2016)

Fig. 2. 10 kW solar power plant yearly electricity production and consumption of a typical household in Klaipėda region (source: PVSOL programme 2016)

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. Iš Lietuvoje registruotos įmonės gautame pasiūlyme tokios saulės elektrinės kaina yra 16230,62 EUR. Saulės moduliai 5600 EUR, inverteris 1836,68 EUR, baterijų sistema 6200 EUR, montavimo konstrukcijos 993,94, kitos medžiagos 200 EUR, projektavimas 400 EUR, montavimas 1000 EUR (Šaltinis: komercinis pasiūlymas iš įmonės MB “Elektra man”).

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 (Bankai 2016). Taigi paėmus tokią paskolą bendrosios metinės išlaidos pirmuosius 5 metus siektų 3457,12 EUR.

Pasirašius elektros energijos pardavimo sutartį su skirstomaisiais elektros tinklais šią elektros energiją dabartiniiais duomenimis galima parduoti už 0,169 EUR/kWh (Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija 2016). Vadinasi tiesioginės metinės pajamos iš šios saulės elektrinės vien tik parduodant elektros energiją turėtų būti (Michael Bluejay 2015):

$$P = r \times E, \quad (6)$$

čia:  $P$  – pajamos, EUR;  $r$  – elektros energijos supirkimo kaina, EUR;  $E$  – energijos kiekis, kWh.

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

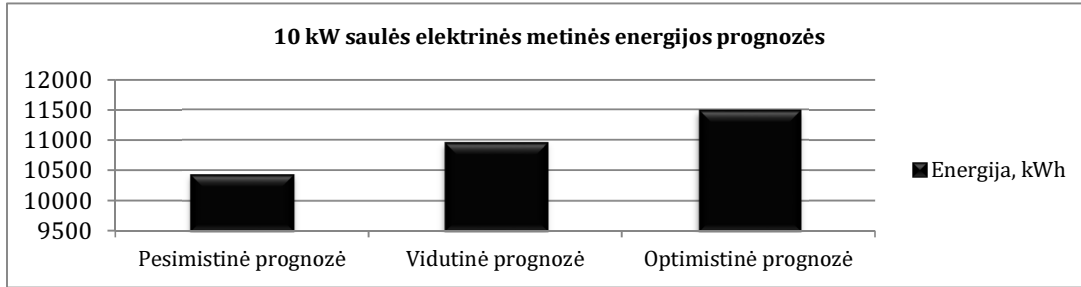
Tačiau tikėtina, kad elektros energijos gamyba gali svyruoti taigi reikia įvertinti potencialų elektros energijos generavimo nuokrypį. Remiantis Amerikoje atliktais tyrimais su saulės energijos elektros gamybos nuokrypiu nustatyta, kad standartinis nuokrypis nuo planuojamo rezultato vidutiniškai skiriasi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

$$E_{min/max} = E \times (1 \mp \Delta e), \quad (7)$$

čia:  $E_{min/max}$  – minimalus ar maksimalus prognozuojamas energijos kiekis, kWh;  $\Delta e$  – 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 pav. 10 kW saulės elektrinės metinės energijos prognozės: pesimistinė, vidutinė ir optimistinė (sudaryta autorių)  
Fig. 3. 10kW solar power plant yearly energy production forecast: pessimistic, average and optimistic (made by authors)

Įvertinus galimus energijos gamybos nuokrypius galima apskaičiuoti ir kiekis 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.

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 % (Energy informative 2014). Kadangi saulės moduliai po 25 metų vis dar veikia 80 % efektyvumu, saulės elektrinę vertinsime 30 metų. Taigi investicijos į saulės elektrinę siekia 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 %.

Vertinant saulės elektrinę ir potencialius jos pinigų srautus išmaniuosiuose elektros tinkluose reikia išskirti suinteresuotas šalis. 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.

Vartotojai išmaniajame tinkle apibūdinami kaip aktyvūs vartotojai arba projekto vystytojai, 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. Apskaičiuojant šių veiklų sukuriamą vertę bus naudojamos 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 gali generuoti pajamas per taupymą.

Taigi šį kriterijų galima vertinti pagal tiriamojo objekto energijos poreikį ir kiek saulės elektrinėje pagamintos elektros energijos jis suvartotų savo poreikiams padengti. Atsižvelgiant į tiriamojo objekto elektros energijos suvartojimą pavaizduotą 2 paveiksle matosi, kad vartotojas galėtų sunaudoti 5737 kWh elektros energijos per metus. Vadinasi tiek elektros energijos iš tinklo vartotojas nepirks ir vertinant dabartinę elektros energijos kainą rinkoje, kuri lygi 0,12 EUR/kWh (ESO 2017) 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. Šiame tyrime vertinsime tik perteklinės elektros energijos pardavimą. 2 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 5202 kWh perteklinės elektros energijos, kurią jis gali parduoti rinkos kaina, kuri yra 0,169 EUR/kWh (Valstybės kainų 2016).

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

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.

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 sukuriama vertė priklauso nuo kredito dydžio, palūkanų ir finansuojamo nuosavo kapitalo lėšų. Vartojimo paskolos gali vyrauti nuo 6,5 % iki 16 % (Bankai 2016). Šiame projekte vertinta paskola su 6,5 % palūkanomis, taigi tiesiogiai sukuriama vertė projekto investuotojui yra lygi 1054,99 EUR.

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). 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. (ESO 2017) Šie nuostoliai lygūs 47–111,56 EUR per metus. Išmaniajame tinkle elektros perdavimo nuostoliai gali būti sumažinti iki 2 % (John 2015). Taigi nuostoliai galėtų būti sumažinami iki 191,84 kWh 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 1,6 mln. klientų (Lietuvos Respublikos Energetikos Ministerija 2016), jei kiekvienas iš jų per metus kompanijai sutaupyti 24–88,56 EUR, bendrai kompanija sutaupyti 38,4 mln. – 141,696 mln. EUR per metus.

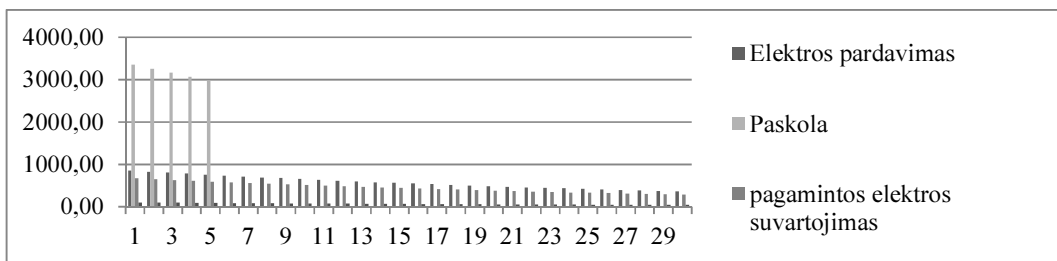
Identifikavus pajamas, potencialias veiklas ir veiklų atnešamą pelną galima analizuoti saulės elektrinės projekto išmaniajame elektros tinkle finansinius rodiklius. Čia reikia įvertinti visus kintamuosius ir visas veiklas, kurios sukuria vertę kiekvienai suinteresuotai šaliai. Analizuojamo projekto atnešama 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 naudodime tris diskonto normas: 3%, 5 %, 7 %.

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





4 pav. Diskontuoti saulės elektrinės projekto išmaniajame elektros tinkle pinigų srautai, kai diskonto norma lygi 3 % (sudaryta autorių)

Fig. 4. Discounted money flows of solar power plant in smart grid electricity grid, when discount rate is 3% (made by authors)

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

$$NPV_5 = 10667,27 \text{ EUR.}$$

$$NPV_7 = 6518,19 \text{ EUR.}$$

Turint NPV reikšmes galima vertinti investicijų atsipirkimo laiką. Tam vertinti naudosime 1 formulę:

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

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

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

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

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 gražos norma:

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

Vidinė gražos norma tiriamam projektui yra labai palanki. 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 sutaupytų 1688,4 EUR/metus, šis skaičius gali būti išreiškiamas kaip grynasis metinis pelnas, tačiau reikėtų jį įvertinti per visą projekto vykdymo laikotarpį:

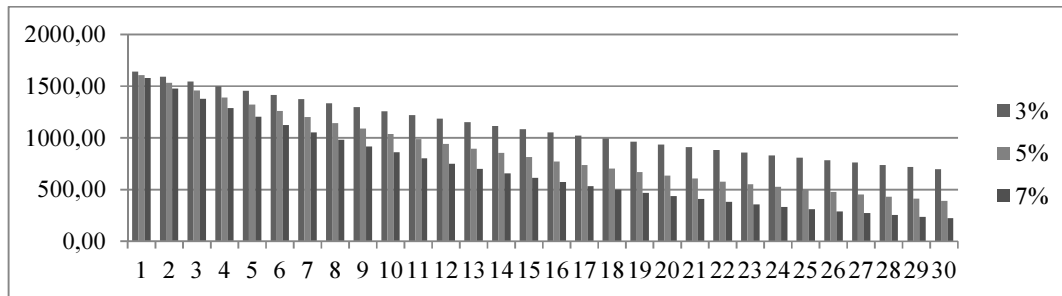
$$GP = 1688,4 * 30 = 50652 \text{ EUR.}$$

Naudojantis realiu scenarijumi, kuomet vertinant tokių investicijų gražą 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.

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

$$NPV_5 = 25954,85 \text{ EUR.}$$

$$NPV_7 = 20951,43 \text{ EUR.}$$



5 pav. Diskontuoti saulės elektrinės projekto išmanijame elektros tinkle pinigų srautai elektros tinklo operatoriui, kai diskonto norma lygi 3, 5 ir 7 % (sudaryta autorių)

Pic. 5. Discounted money flows of solar power plant in smart grid for electricity grid operator, when discount rate is 3, 5 and 7% (Made by authors)

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.

## Išvados

Išmanieji elektros tinklai yra pranašesni prieš šiuolaikinius elektros tinklus, nes jie sujungia informacijos, komunikacijos ir automatikos technologijas taip užtikrindami sklandesnę, efektyvesnę ir kokybiškesnę elektros tiekimą. Saulės energetika išmaniuosiuose tinkluose taip pat turi didelį potencialą tiek technologiškai, tiek ekonomiškai, kadangi ji gali būti lengvai pritaikoma ir integruojama į elektros tinklą, mažinti elektros kainas rinkoje ir suteikia naujas verslo modelių kūrimo galimybes.

Vertinant investicijų į saulės elektrinių išmaniuosiuose tinkluose projektų efektyvumą reikia atsižvelgti į daug aplinkybių pradedant nuo pačios elektrinės įvertinimo ir jos duomenų tikslumo pereinant prie tinkamų investicijų efektyvumo ir rizikos įvertinimo metodų parinkimo bei finansinių rodiklių apskaičiavimo.

Išmanieji elektros tinklai gali sukurti geresnę aplinką įvairaus dydžio saulės energetikos projektams. Šie projektai yra ekonomiškai efektyvūs ir be valstybės paramos bei gali atnešti finansinę naudą visoms suinteresuotoms šalims. Tolimesniuose tokių projektų tyrimuose turėtų būti atsižvelgta į potencialią valstybės paramą, kuri paskatintų investicijas į šią sritį. Taip pat vertinant tolimesnius tokio tipo investicinių projektus reikėtų įvertinti didesnę išmaniojo elektros tinklo teikiamų paslaugų spektrą, atsižvelgti į potencialius naujus verslo modelius ir didesnę saulės elektrinių kiekį.

## 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: 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.014>
- Agar, C. 2005. *Capital investment and financing: a practical guide to financial evaluation*. USA, Elsevier: Butterworth-Heinemann. 444.
- Aleknavičienė, V. 1997. *Investicijų rizikos valdymas (žemės ūkio produktus gaminančių ir perdirbančių įmonių pavyzdžiu): daktaro disertacija*, Lietuvos žemės ūkio universitetas. Kaunas.
- Auditum. 2017a. *Investicijų pelningumo rodiklis ROI* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. sausio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.auditum.lt/index.php/ekonominiu-terminu-zodynas/924-pelningumo-rodikliai/219-investiciju-pelningumo-rodiklis.html>
- Auditum. 2017b. *Nuosavo kapitalo pelningumo rodiklis (ROE)* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. sausio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.auditum.lt/index.php/ekonominiu-terminu-zodynas/924-pelningumo-rodikliai/218-nuosavo-kapitalo-pelningumo-rodiklis.html>
- Bajs, D.; Majstrovic, M.; Majstrovic, G. 2004. *New procedure for transmission networking planning in Croatia*. Energy Institute HRVOJE POŽAR. Zagreb. 6.

- Bankai. 2016. *Vartojimo paskolos* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. gruodžio 4 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.bankai.lt/paskolos/vartojimo>
- Bivainis, J.; Griškevičius, A.; Jakštas, V. 1997. Investicinių projektų vertinimas. Vilnius: Lietuvos informacijos institutas (LII). 38 p.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.06.007>
- Covrig, C.; Vasiljevskaja, J.; Mengolini, A.; Fulli, G. 2014. Smart grid projects Outlook 2014. Luxembourg: European Commission Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport. 157.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.res.2012.03.016>
- Electric power research institute. 2016. *Distributed energy resources* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. gruodžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.epri.com/Our-Work/Pages/Distributed-Electricity-Resources.aspx>
- Energy informative. 2014. *The real lifespan of solar panels* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. gruodžio 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://energyinformative.org/lifespan-solar-panels/>
- ESO. 2017. *Tarifų planai ir kainos* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/esu-klientas/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/kiek-kainuoja-elektra-2016/tarifai-planai-ir-kainos-nuo-2016-liepos-1d.html>
- 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. 44.
- 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. 28.
- 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. 13.
- Federal Energy Regulatory Commission. 2015. *Reports on demand response and advanced metering* [interaktyvus], [cituota 2016 m. gruodžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/demand-response/dem-res-adv-metering.asp>
- Finansistas. 2017. *Vidinė grąžos norma* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.finansistas.net/vidine-grazos-norma.html>
- 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. 41.
- Garškienė, A. 1997. *Verslo rizika*. Vilnius: Lietuvos informacijos institutas. 37 p.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.087>
- IEEE Smart Grid. 2012. *How advanced metering can contribute to distribution automation* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://smartgrid.ieee.org/resources?catid=0&id=186>
- Investopedia. 2017. *Net present value* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>
- John, D. McDonald. 2015. *The future of Grid Control: Smart Grid and Beyond*. Adv. Grid Tech. Workshop/ADMS at NREL. Golden. 28.
- Lietuvos Respublikos Energetikos Ministerija. 2016. *Elektra* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. gruodžio 12 d.]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/elektra>
- Michael Bluejay. 2015. *How much electricity costs, and how they charge you* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://michaelbluejay.com/electricity/cost.html>
- National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce. 2014. *NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards*. Office of the National Coordinator for smart grid Interoperability. 246 p.
- Nistor, S.; Wu, J.; Sooriyabandara, M.; Ekanayake, J. 2015. Capability of smart appliances to provide reserve services, *Applied Energy* 138: 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.011>
- Norvaišienė, R.; Bagdzevičienė, R. 1999. Tikimybių teorijos panaudojimas investicinių projektų rizikos vertinimui, *Organizacijų vadyba: sisteminiai tyrimai* 9: 81–91.
- Norvaišienė, R.; Bagdzevičienė, R. 2000. Investicinių projektų rizikos vertinimo metodai, *Organizacijų vadyba: sisteminiai tyrimai* 13: 127–137.
- Park, K. C.; Kim, J. H.; Kim, S.; Y. 2014. A study of factors enhancing smart grid consumer engagement, *Energy Policy* 72: 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.017>
- Science daily. 2007. *Car prototype generates electricity, and cash* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. gruodžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedaily.com/releases/2007/12/071203133532.htm>
- Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. 2016. *Elektros energijos gamintojams, naudojančioms atsinaujinančiosios energijos išteklius, fiksuoti tarifai, Eur/kWh (be PVM)* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. gruodžio 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.regula.lt/atsinaujinantys-istekliai/Puslapiai/tarifai.aspx>
- Wakefield, M.; Faruqi, 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.
- Wikipedia. 2017a. *Investicijų efektyvumo įvertinimas* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 16 d.]. Prieiga per internetą: [https://lt.wikipedia.org/wiki/Investicij%C5%B3\\_efektyvumo\\_%C4%AFvertinimas](https://lt.wikipedia.org/wiki/Investicij%C5%B3_efektyvumo_%C4%AFvertinimas)

- Wikipedia. 2017b. *Return of investment* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: [https://en.wikipedia.org/wiki/Return\\_on\\_investment](https://en.wikipedia.org/wiki/Return_on_investment)
- Xia, S.; Luo, X.; Chan, K. W. 2014. A framework for self-healing smart grid with incorporation of multi-agents, *Energy Procedia* 61: 2123–2126. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.090>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.084>
- 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 *3<sup>rd</sup> International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems*, 21–22 October 2013, London, United Kingdom, 1–10.

## EVALUATION OF INVESTMENT EFFICIENCY IN SOLAR POWER PLANTS USING SMART GRIDS

Karolis BUŽINSKAS, Paulius RUDZKIS

**Abstract.** This article reviews solar power plants development and their integration in the current electricity grid problem. The main purpose of the article is to research and evaluate investment efficiency in solar energy projects in smart grids. Smart grid concept and solar energy potential using it is investigated. You can find project investment efficiency and risk evaluation methods, which are most suitable for renewable energy projects. Project efficiency and financial ratios are calculated using money flows, which are created investing in solar power plant. While evaluating the efficiency stakeholders are being taken into account and the value they get. Current solar energy projects potential along with their integration and money flows in smart grids is examined. At the end of the article money flows, financial ratios and stakeholders values are evaluated.

**Keywords:** smart grids, solar energy, investment efficiency, investment project, financial ratios.