

# GALIOS NUOSTOLIŲ MAŽINIMAS NAUDOJANT PASKIRSTYTĄ ELEKTROS ENERGIJOS GENERAVIMĄ (PEEG)

A. Krivoj<sup>1</sup>, E. Guseinoviėnė<sup>1</sup>, A. Knolis<sup>1</sup>, V. Jankūnas<sup>1</sup>, L. Simanyniėnė

<sup>1</sup>Klaipėdos universitetas, Jūrų technikos fakultetas, Bijūnų g. 17, Klaipėda LT-91225, [armantri@live.com](mailto:armantri@live.com)

## Anotacija

Šis projektas aprašo paskirstyto elektros energijos generavimo poveikį per aktyviosios ir reaktyviosios galios nuostolius elektros energijos paskirstymo sistemoje. Šis tyrimas paremtas realia Japonijos Kumamoto vietovės paskirstymo sistema. Programinės įrangos „DIGSILENT PowerFactory“ pagalba buvo suprojektuoti galimi aktyviosios ir reaktyviosios galios nuostolių mažinimo scenarijai. Tam, kad atrinkti geriausius rezultatus ir sumažinti labai didelį galimų aktyviosios ir reaktyviosios galios nuostolių mažinimo scenarijų skaičių, buvo sukurtos loginės prielaidos. Taip pat, šiame projekte pristatomi nauji indeksai, t.y. PEEG skverbties lygis ir PEEG sklaidos lygis. Šie indeksai suteikia labai didelę atramą projektuojant ir tiriant protingus optimalios galios tiekimo (OGT) scenarijus ir atrenkant geriausius rezultatus palyginimui.

RAKTINIAI ŽODŽIAI: galios nuostoliai, paskirstytas elektros energijos generavimas, elektros energijos paskirstymo sistema

## Abstract

This paper describes an impact of Distributed Generation (DG) over active and reactive power losses in distribution system. The investigation is based on the real distribution system of Kumamoto area, Japan. Using “DIGSILENT PowerFactory” software, simulations, to get best results in a shape of active and reactive power losses, have been done. In order to reduce very high number of simulations, logical assumptions have been created. Also, in this paper new indexes are presented, i.e. penetration level of DG and dispersion level of DG. Those indexes give high support running reasonable simulations for Optimal Power Flow (OPF) and collecting best results for comparison.

KEY WORDS: power losses, distribution generation, distribution system

## 1. Įvadas - Kas yra paskirstytas elektros energijos generavimas?

„Paskirstytas elektros energijos generavimas kartais vadinamas įterptuoju generavimu yra elektros energijos generavimas, kuris yra sujungtas su skirstomuoju tinklu geriau negu aukštos įtampos perdavimo tinklas. Paprastai tai yra smulkaus masto elektros energijos generavimas – dažniausiai tai yra atsinaujinančių energijos šaltinių generuojama elektros energija įtraukiant mažas hidro, vėjo, saulės ir kogeneracines jėgaines. Paskirstyto elektros energijos generavimo tobulinimas užima vyriausybės ilgalaikių aplinkos tikslų labai svarbią dalį. Šiandienos skirstomieji tinklai buvo pastatyti tiekti galią nuo nacionalinio perdavimo tinklo iki galutinio vartotojo.“[vert. 1]

Paskirstytas elektros energijos generavimas vis labiau reikalauja aktyvių skirstomųjų tinklų, kurie leidžia elektros srovei tekėti dviem kryptimis – arba elektros vartotojui namų ar verslo reikmėms, arba į tinklą kai vartotojas eksportuoja perteklinį kiekį sugeneruotos elektros energijos.

Tačiau, paskirstyto elektros energijos diegimo pagrindinė problema yra ta jog skirstomuosius generatorius yra sudėtinga sumontuoti ir visa įranga yra brangi.

## 2. Pagrindinė straipsnio dalis

### 2.1 Optimalios galios tiekimo (OGT) samprata

Optimalios galios tiekimo (OGT) algoritmo tikslas yra nustatyti veikimo tašką, kuris optimizuoja generavimo kainą, galios nuostolius, padidina galimų apkrovų ribas ir t.t. Tradiciniai optimizavimo metodai buvo naudojami efektyviai išgauti OGT, tačiau dėl lanksčių kintamos srovės perdavimo sistemų (LKSPS) įrenginių ir energetikos sektoriaus dereguliacijos, tradiciniai energetikos sistemų modeliai ir praktika yra įtraukti į ekonomikos rinkos valdymą. Dėl šios priežasties, OGT tapo komplikuoja. Neseniai pasirodė dirbtinio intelekto metodai, kurie gali išspręsti daugelį komplikuočių OGT problemų.

<sup>1</sup> Informacija surinkta iš internetinio šaltinio tinklalapio Ofgem - “Distribution Generation – the way forward“. Londonas, Jungtinė Karalystė. Puslapiai 1-3.

## 2.2 Kokia yra galios nuostolių mažinimo problema?

„Nuostolių mažinimo problemoje visas galios generavimas yra funkcija, kuri turi būti sumažinta, nes minimalus galios generavimas duotai apkrovai maitinti reiškia mažesnius galios nuostolius.“ [vert. 2]

Yra priežastys, kurios sukuria rimtas problemas mažinant galios nuostolius:

1) Naujos įrangos diegimas kaip paskirstymo generatoriai skirstomuosiuose tinkluose yra sudėtingas procesas ir reikalauja milžiniškų investicijų. Taigi, ne kiekviena vietovė yra finansiškai pajėgi pirkti naują įrangą, tokią kaip saulės energijos kolektoriai, vėjo jėgainės. Dėl šios priežasties kai kurios vietovės yra priverstos mokėti už galios nuostolius jų skirstomuosiuose tinkluose;

2) Atsinaujinantys energijos šaltiniai tokie kaip saulė, vėjas nėra pajėgūs efektyviai sumažinti galios nuostolius, nes tokiu atveju kai yra apkrovos pikas skirstomajame tinkle ir tuo metu nėra saulės ir vėjo (arba šie atsinaujinantys energijos šaltiniai yra prastai prieinami), tuomet yra neįmanoma tiekti galią į tinklą arba galios tiekimas į tinklą yra labai nežymus. Tai reiškia jog galios nuostoliai nėra mažinami arba mažinami labai nežymiai;

3) Taip pat, galios nuostoliai priklauso nuo perdavimo sistemų. Daugelis perdavimo sistemų yra pasenusios ir perduoda galią su dideliais nuostoliais. Ta pati problema yra ir su elektrinėmis. Jeigu yra reikalavimas generuoti tam tikrą kiekį galios, yra naudojama daugiau kuro tam, kad kompensuoti nuostolius ir sukurti generatorius. Kaip bebūtų, už viską sumoka galutinis vartotojas;

4) Galios nuostoliai paskirstymo sistemoje pagrįdė atsiranda dėl transformatorių ir maitinimo linijų. Transformatoriuje galios nuostoliai atsiranda dėl šerdies ir apvijos (vario) nuostolių. Maitinimo linijų varža sukuria aktyvios galios nuostolius. Dažniausiai aktyvios galios nuostoliai kelia susirūpinimą komunalinių paslaugų teikimo įmonėms, nes aktyvios galios nuostoliai sumažina perduodamos energijos efektyvumą vartotojams arba jie yra priversti padengti nuostolius mokėdami didesnę kainą už kilovatvalandę. Nepaisant to, reaktyvios galios nuostoliai yra nemažiau reikšmingi. Taip yra dėl to jog reaktyvios galios tiekimas turi būti patikrinamas esant tam tikros įtampos lygio poreikiui sistemoje. Dėl šios priežasties reaktyvioji galia leidžia perduoti aktyviają galią perdavimo linijomis ir skirstomaisiais tinklais vartotojams. „Skirtingų tipų apkrovos, prijungtos prie skirstyklų taip pat daro didelę įtaką galios nuostolių lygiui.“ [vert. 3]

5) Įtampos kritimo problema. Ši problema privalo būti sumažinta tam, kad išlaikyti įtampą apkrovos taškuose įtampos standartų ribose. Įtampos kritimo problema gali išaugti kai įtampa yra perduodama dideliais atstumais arba maitina dideles apkrovas. Šios problemos sprendimas tampa būtinybe, nes sistemos įtampa skirtingose šynose privalo būti kontroliuojama. Įtampos kontroliavimas reiškia reaktyvios galios kontroliavimą. Šynų įtampos kontroliavimas valdant reaktyviają galią yra labai rūpimas klausimas komunalinių paslaugų teikimo įmonėms mažinant galios nuostolius;

6) Nuostoliai paskirstymo sistemoje dėl apkrovos disbalanso. Yra apkrovos, kurios naudoja nestabilią galią. Kai apkrova naudoja daugiau galios, tuomet nuostoliai tinkle yra didesni dėl didesnės galios paklausos linijoje.

Milžiniškos apkrovos sukuria galios disbalansą ir dėl to yra gaunami didesni nuostoliai. Tai reiškia jog tinklo atnaujinimas dėl apkrovų balansavimo yra labai rekomenduojamas tam, kad pašalinti visus sistemos nuostolius;

7) Galios nuostoliai dėl elektros energijos vagysčių;

8) Galios nuostoliai dėl skaitliukų naudojimo.

## 2.3 Problemos analizė klasikinėje Kumamoto paskirstymo sistemoje (KKPS)

### 2.3.1 Bendrai

KKPS yra 15 – os šynų paskirstymo sistema, kuri yra naudojama Kumamoto vietovėje (Japonija). Šis bandomasis skirstomasis tinklas buvo testuojamas su programine įranga „*DIGSILENT PowerFactory*“, kuri leidžia gauti geriausias OGT rezultatus šioje paskirstymo sistemoje.

### 2.3.2 Naujų indeksų apibrėžimas: PEEG skverbties lygis ir PEEG sklaidos lygis

PEEG poveikio per aktyvios ir reaktyvios galios nuostolius scenarijai gali būti apibrėžti specialiais indeksais – PEEG skverbties lygiu ir PEEG sklaidos lygiu.

Skverbties lygis leidžia žinoti, kuri paklausios galios dalis yra tiekiamą iš PEEG.

Skaidos lygis leidžia žinoti santykį šynų, kuriuose yra įdiegta PEEG su visomis šynomis, kuriuose yra paskirstymo sistemos apkrovos. Skverbties lygis ir sklaidos lygis turi apibrėžtas lygtis:

$$\%PEEG_{Skverbties\ lygis} = \frac{P_{PEEG}}{P_{paklausa}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\%PEEG_{Skaidos\ lygis} = \frac{\text{\textit{šynų skaičius su PEEG}}}{\text{\textit{šynų skaičius su apkrovomis}}} \times 100\% \quad (2)$$

## 2.4 Loginių prielaidų kūrimas

Prielaidos, kurios bus pristatytos, suteikia didelę atramą projektuojant ir analizuojant tik svarbiausius scenarijus, kurie parodo geriausius aktyvios ir reaktyvios galios nuostolių rezultatus.

Prielaida Nr. 1 teigia: Svarbiausias PEEG vienetų diegimo kriterijus yra apibrėžiamas pagal galios paklausą šynoje. Šyna, kuri yra sujungta su apkrova ir ta apkrova turi didžiausią aktyvios galios paklausą, tokia šyna yra laikoma labiausiai apkrauta ir laikoma svarbiausia šyna.

Prielaida Nr. 2 teigia: Kiekvienas PEEG vienetas generuoja vienodą galią esant bet kokiam skverbties lygiui. PEEG vienetų generuojama galia yra proporcinga skverbties lygiui.

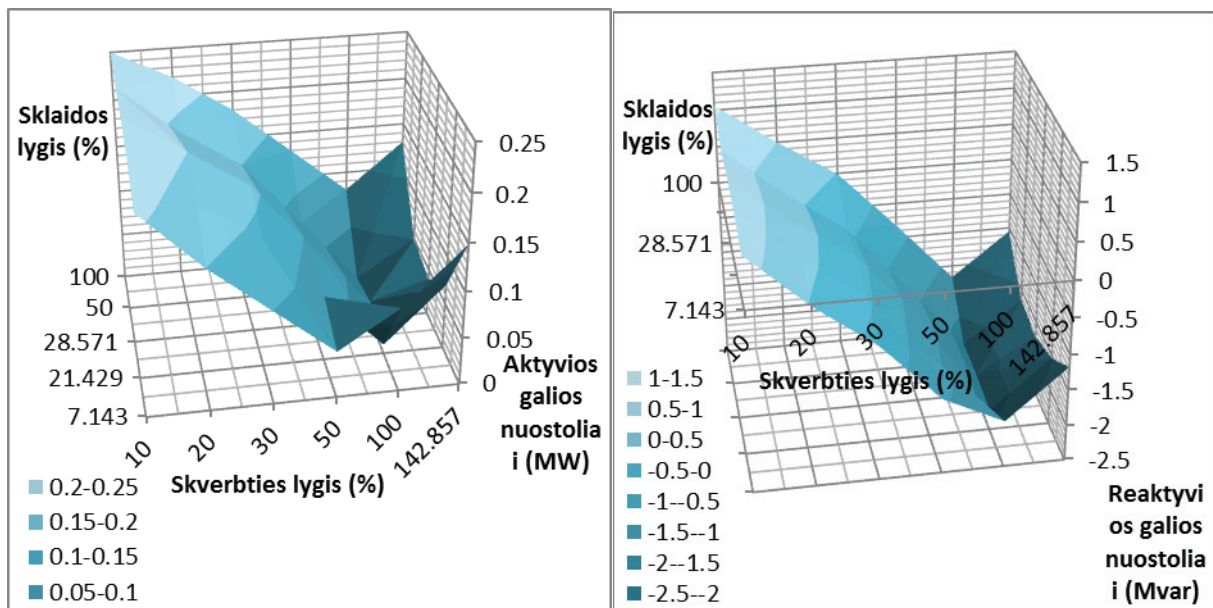
## 2.5 Rezultatai

1 lentelė rodo geriausius aktyvios ir reaktyvios galios nuostolių galutinius rezultatus naudojant tam tikras šynų kombinacijas su PEEG vienetais Kumamoto paskirstymo sistemoje (rezultatai, pažymėti žydra spalva, reprezentuoja geriausius rezultatus esant tam tikriems skverbties ir sklaidos lygiams):

Skaidos lygis (%)	Aktyvios ir reaktyvios galios nuostoliai ( $P_{nuostoliai}$ (MW) ir $Q_{nuostoliai}$ (Mvar))	Skverbties lygis (%), jo ekvivalentas aktyviaja galia (MW) ir scenarijaus numeris (Nr.)													
		0% ir 0MW	Scenar. Nr.	10% ir 1.89 MW	Scenar. Nr.	20% ir 3.78 MW	Scenar. Nr.	30% ir 5.67 MW	Scenar. Nr.	50% ir 9.45 MW	Scenar. Nr.	100% ir 18.9 MW	Scenar. Nr.	142.857% ir 27MW	Scenar. Nr.
0 %	$P_{nuostoliai}$	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$Q_{nuostoliai}$	1.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.14 3 %	$P_{nuostoliai}$	-	-	0.21	55	0.15	56	0.10	57	0.05	58	0.09	41	0.15	18
	$Q_{nuostoliai}$	-	-	0.70	-	-0.03	-	-0.63	-	-1.45	-	-1.85	-	-1.17	-
21.4 29 %	$P_{nuostoliai}$	-	-	0.23	85	0.18	86	0.14	87	0.07	88	0.01	89	0.07	90
	$Q_{nuostoliai}$	-	-	0.81	-	0.14	-	-0.43	-	-1.33	-	-2.22	-	-1.54	-
28.5 71 %	$P_{nuostoliai}$	-	-	0.24	91	0.20	92	0.16	93	0.09	94	0.02	95	0.04	96
	$Q_{nuostoliai}$	-	-	0.85	-	0.21	-	-0.34	-	-1.23	-	-2.20	-	-1.71	-
50 %	$P_{nuostoliai}$	-	-	0.24	97	0.19	98	0.15	99	0.08	100	0.01	101	0.05	101
	$Q_{nuostoliai}$	-	-	0.83	-	0.18	-	-0.39	-	-1.28	-	-2.22	-	-1.64	-
100 %	$P_{nuostoliai}$	-	-	0.25	103	0.22	104	0.18	105	0.13	106	0.08	107	0.13	108
	$Q_{nuostoliai}$	-	-	1.06	-	0.50	-	-0.01	-	-0.82	-	-1.67	-	-1.05	-

## 3. Rezultatų palyginimas ir išvados

Tam, kad palyginti rezultatus kaip įmanoma geriau ir apibrėžti geriausią PEEG poveikį paskirstymo sistemai per aktyvios ir reaktyvios galios nuostolius, 1 paveiksle yra pateikti 3D grafikai, kurie puikiai reprezentuoja tyrimo rezultatus, t.y. aktyvios ir reaktyvios galios nuostolius priklausomai nuo skirtingų skverbties ir sklaidos lygių:



1 pav. 3D grafikai, kurie reprezentuoja aktyvios ir reaktyvios galios nuostolius priklausomai nuo skirtingų skverbties ir sklaidos lygių

Pagal esamus rezultatus, galima teigti jog pakanka įdiegti vieną PEEG vienetą su 7,143% sklaidos lygiu ir 50% skverbties lygiu, kur šis PEEG vienetas generuotų 9,45 MW aktyvios galios. Tuomet aktyvios galios nuostoliai būtų sumažinti 82,8 %. Deja, reaktyvios galios nuostoliai išlieka dideli ir neigiami. Tai reiškia jog reaktyvios galios tėkmė paskirstymo sistemoje įgija talpinį charakterį. Šiuo atveju mes labai puikiai galime kompensuoti šiuos nuostolius pridėdami induktyviąją reaktyviąją apkrovą tam, kad kompensuoti talpinės reaktyvios galios vartojimą.

Nepaisant to, jeigu yra būtina naudoti daugiau PEEG vienetų paskirstymo sistemoje, tuomet geriausias būdas sumažinti aktyvios ir reaktyvios galios nuostolius būtų naudoti aukštą skverbties lygį. Remiantis 2 – aja prielaida, teigiame jog kiekvienas sistemoje esantis PEEG vienetas generuoja vienodą kiekį galios. Taigi, turint aukštą sklaidos lygį (naudojant daugiau šynų su PEEG vienetais) ir aukštą skverbties lygį (kai kiekvienas PEEG vienetas generuoja daugiau aktyvios galios), mes galime žymiai sumažinti aktyvios galios nuostolius negu naudojant aukštą sklaidos lygį ir žemą skverbties lygį.

#### Literatūra

1. Ofgem. „Distribution Generation – the way forward“. Londonas, Jungtinė Karalystė. Puslapiai 1-3. Prieiga per internetą: <https://www.ofgem.gov.uk/ofgem-publications/43821/315-26march02fs.pdf>
2. Sharanya Jaganathan, Arun Sekar, Wenzhong Gao. 2008. „Formulation of Loss minimization Problem Using Genetic Algorithm and Line-Flow-based Equations“. IEEE. Puslapis 2. Prieiga per internetą: <http://www.upo.es/eps/troncoso/Citas/IEEE03/CitaIEEE03-7.pdf>
3. L.Ramesh, S.P.Chowdhury, S.Chowdhury, A.A.Natarajan, C.T.Gaunt. 2009. „Minimization of Power Loss in Distribution Networks by Different Techniques“. Indija ir Pietų Afrikos Respublika. Puslapiai 2 ir 3. Prieiga per internetą: <http://waset.org/publications/939/minimization-of-power-loss-in-distribution-networks-by-different-techniques>
4. Francisco M. Gonzalez-Longatt. Balandis 2007. „Impact of Distributed Generation over Power Losses on Distribution System“. Venesuela. Prieiga per internetą: <http://fglongatt.org/OLD/Articulos/A2007-04.pdf>