

SAULĖS ELEKTRINIŲ POVEIKIS ŽEMOS ĮTAMPOS ELEKTROS SKIRSTOMAJAM TINKLUI

Matas RAMANAUSKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: Matas.Ramanauskas@vdu.lt

Santrauka

Šiame darbe nustatyta, kokį poveikį saulės elektrinės turi žemos įtampos elektros skirstomajam tinklui. Tyrimui pasirinkta 0,4 kV įtampos kabelinė linija, prijungta prie 160 kVA galios modulinės transformatorinės. Linijoje yra prijungta 12 vartotojų, iš kurių 2 vartotojai yra administracinio pobūdžio, o 10 vartotojų yra buitinės paskirties, iš kurių 3 yra gaminantys vartotojai. Vartotojų instaliuotoji suminė galia yra 133 kW, o saulės elektrinių galia – 34kW. Tyrimo metu analizatoriumi „Metrel-mi2892“ atliktas kabelinės linijos monitoringas, esant kintančioms vartotojų apkrovoms ir skirtingoms saulės elektrinių generuojamoms galioms. Tiriamuoju laikotarpiu nustatyta, kad gaminantys vartotojai į elektros tinklą patiekdavo 3 kartus daugiau elektros energijos negu sunaudodavo. Tyrimo metu nustatyta, kad linijose, kuriose prijungtos saulės elektrinės, fazinės įtampos kinta diapazone nuo 223 V iki 247 V. Bendras įtampos harmoninis iškraipymas atskirose tinklo fazėse kito nuo 3 iki 7 %.

Reikšminiai žodžiai: saulės elektrinės, elektros energija, kokybės rodikliai, įtampa, harmoninis iškraipymas.

Įvadas

Europos Sąjungos (ES) Komisija 2019 m. gruodžio 11 d. komunikate „Europos žaliasis kursas“ nustatė naują augimo strategiją, kuria siekiama pertvarkyti ES taip, kad jos visuomenė pasižymėtų modernia, efektyviai išteklius naudojančia ir konkurencinga ekonomika, kurioje ne vėliau kaip 2050 m. būtų pasiektas poveikio klimatui neutralumo tikslas (ES 2022/869, 2022). Saulės elektrinės – šiuo metu tai viena populiariausių temų ne tik pasaulyje, bet ir Lietuvoje. Sparčiai kylant elektros kainoms, o saulės elektrinių gamybos kaštams atpigus, išaugo didelė jų paklausa. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija teikia paramą žmonėms, norintiems tapti gaminančiais vartotojais.

Į skirstomuosius elektros tinklus integruojant daugiau saulės elektrinių, jos pasyvųjį elektros tinklą paverčia aktyviu. Tai reiškia, kad galios srautas pasidaro dvikryptis, o galia tiekama ir iš skirstomojo tinklo, ir iš saulės elektrinės. Dvikryptis galios srautas daro poveikį elektros tinklo saugumui, patikimumui ir įtampos stabilumui. Dauguma saulės elektrinių prijungiamos prie skirstomųjų elektros tinklų, kuriuose būna dažni elektros energijos tiekimo trikdžiai (Sikorski ir kt., 2015).

Mažos galios saulės elektrinės, jungiamos į elektros skirstomąjį tinklą, kuris priklauso elektros skirstomojo tinklo operatoriui „ESO“. Skirstomąjį elektros tinklą sudaro daugiau nei 127 tūkst. km elektros oro ir kabelių linijos. Iš jų 65,5 % – elektros oro linijos ir 34,5 % – kabelinės (AB ESO, 2024). Gaminančių vartotojų saulės elektrinių įrengtoji galia sudaro apie 90 % Lietuvos saulės elektrinių suminės galios. Gaminantys vartotojai 2023 m. sausio–lapkričio mėnesiais pagamino 5 % (apie 0,54 TWh) Lietuvoje suvartotos elektros energijos. Per 2023 m. gaminančių vartotojų skaičius ir elektrinių įrengtoji galia išaugo daugiau nei dvigubai. Gaminančių vartotojų skaičius nuo 42 600 padidėjo iki 88 300, o galia – nuo 427 iki 944 MW (LREM, 2024). Didėjant gaminančių vartotojų skaičiui kyla grėsmė elektros tiekimo patikimumui ir kokybei. Atskirais atvejais, kai generuojami dideli energijos srautai, o vartojimas yra mažas, atsiranda įtampos pokyčių ir ne simetrijos skirstomajame elektros tinkle tikimybė. Todėl saulės elektrinių diegimas turi būti gerai apgalvotas, įvertinus visas galimas rizikas. Tam skiriamas didelis dėmesys, atliekami tinklo pralaidumo bandymai, monitoringas. Tinklui stabilizuoti ir valdyti nuolat turi būti atliekami stebėjimai, vyksta nenutrūkstamas tinklo valdymas (Kenneth ir kt., 2014).

Tyrimo tikslas – nustatyti, kokią įtaką saulės elektrinės turi žemos įtampos elektros skirstomojo tinklo kokybės rodikliams.

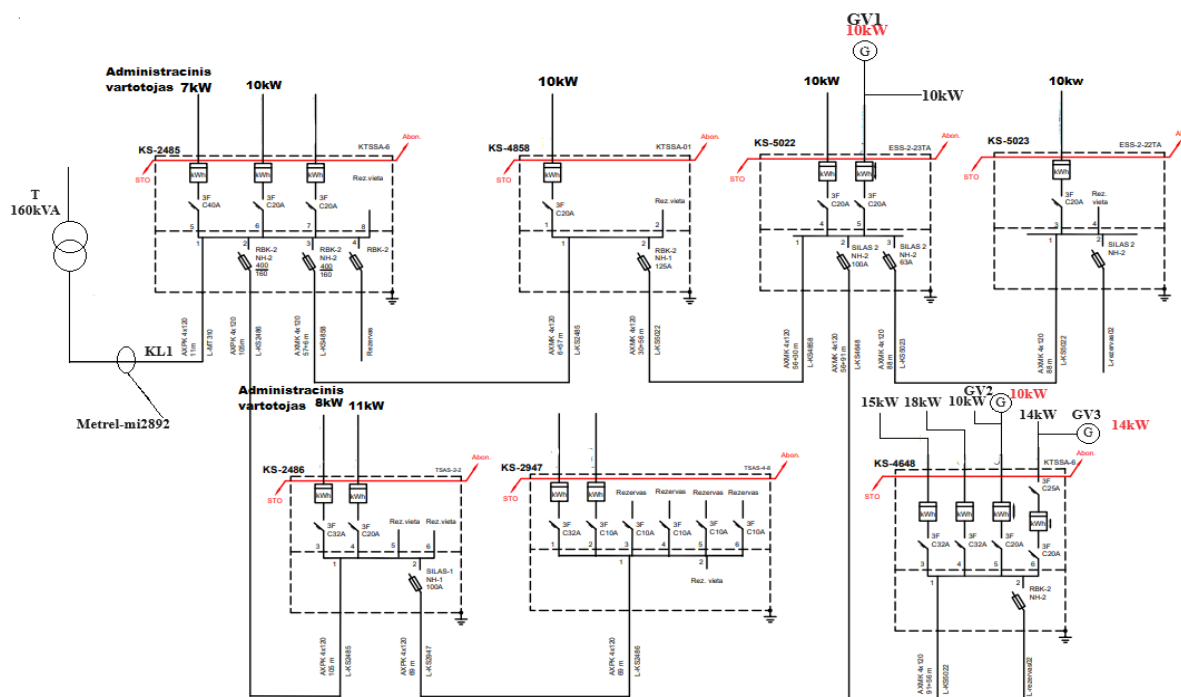
Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikti saulės elektrinių, prijungtų prie elektros skirstomųjų tinklų kabelinės linijos, elektros energijos generavimo analizę.
2. Ištirti pasirinktos skirstomojo tinklo kabelinės linijos kokybės rodiklius, esant įvairiems saulės elektrinių darbo režimams.

Tyrimų objektas ir metodai

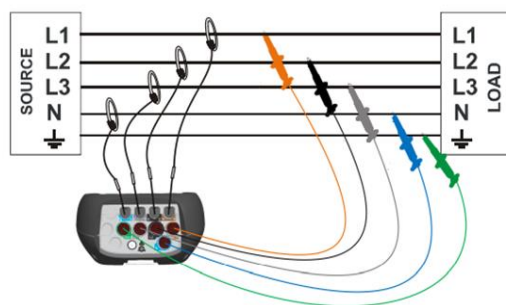
Tyrimui pasirinkta 0,4 kV įtampos kabelinė linija, prijungta prie 160 kVA galios modulinės transformatorinės (žr. 1 pav.). Linija, kurios ilgis 569 m, jungia transformatorinę ir vartotojus kabeliu AXPk 4*120mm². Linijoje įrengtos septynios kabelinės spintos KS ir septynios komercinės apskaitos spintos KAS. Linijoje yra prijungta 12 vartotojų, iš kurių 2 vartotojai yra administracinio pobūdžio. 10 vartotojų yra buitinės paskirties, iš kurių 3 yra gaminantys vartotojai. Vartotojų instaliuotoji suminė galia yra 133 kW, o saulės elektrinių galia – 34 kW.

Administracinio pobūdžio vartotojų galia – 7 kW ir 8 kW. Šešių buitinių vartotojų galia yra 10kW, o likusių keturių vartotojų galia – 11kW, 14kW, 15kW, 18kW



1 pav. Tiriamos 0,4 kV linijos schema.
 Fig. 1. Scheme of the 0.4 kV line under investigation.

Tyrimo metu analizatoriumi „Metrel-mi2892“ atliktas kabelinės linijos monitoringas, esant kintančioms oro sąlygoms, kintančioms vartotojų apkrovoms ir skirtingoms saulės elektrinių generuojamoms galioms. Devynių vartotojų įvaduose yra įrengti išmanieji skaitikliai T211, kurių duomenys panaudoti tyrimo rezultatų analizei.



2 pav. Metrel mi2892 jungimas prie 3 fazių, 4 laidų sistemos.
 Fig. 2. Connecting the Metrel mi2892 to a 3-phase, 4-wire system.

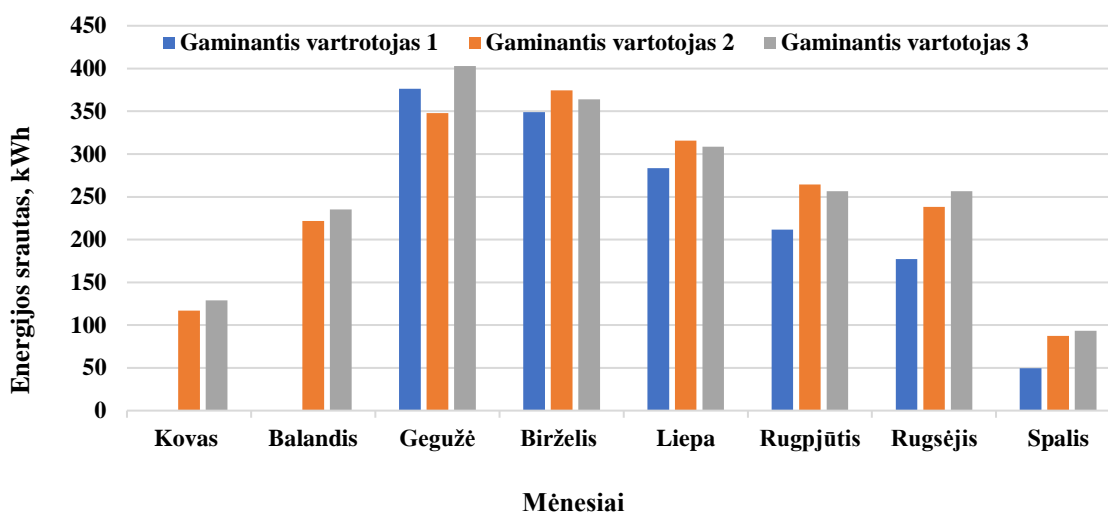
„Metrel mi2892“ yra multifunkcinis prietaisas, skirtas laidų testavimui, izoliacijos matavimui ir elektros tinklo įtampos matavimams (Metrel mi2892 charakteristika, 2024). Analizatorius atitinka „IEC 61000-4-30 Edition 3“ standartą. Prietaiso įtampos matavimo diapazonas – 50 ... 1730 V, dažnių diapazonas – 42,5... 69 Hz, Srovės matavimo diapazonas 50 mA ... 17 000 A (priklauso nuo naudojamų srovės matavimo replių) ir harmonikų matavimo diapazonas nuo pirmosios iki penkiasdešimtosios.

Tyrimo metu naudojant „EnergyIP“ programą atliktas gaminančiųjų elektros energijos vartotojų monitoringas. Naudoti išmaniųjų apskaitos skaitiklių T211 rodmenys, kurie fiksuoja iš skirstomojo tinklo vartojamą ir į tinklą generuojamą elektros energiją. Prietaisas atitinka „IEC 62055-31“ standartą.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Tyrimų metu nustatyti tiriamos linijos gaminančiųjų vartotojų iš skirstomojo tinklo naudotos (importuotos) elektros energijos srautai 2023 m. kovo–spalio mėnesiais (žr. 3 pav.). Didžiausius elektros energijos poreikius tiriamuoju laikotarpiu turėjo gaminantis vartotojas 1, kurio leistinoji galia yra didžiausia – 14 kW. Šis vartotojas tiriamuoju laikotarpiu iš elektros tinklo sunaudojo 805 kWh. Kiti du vartotojai, kurių leistinoji galia yra vienoda (10 kW), tiriamuoju laikotarpiu iš skirstomojo elektros tinklo importavo atitinkamai 320 kWh ir 690 kWh. Visų gaminančiųjų elektros energijos

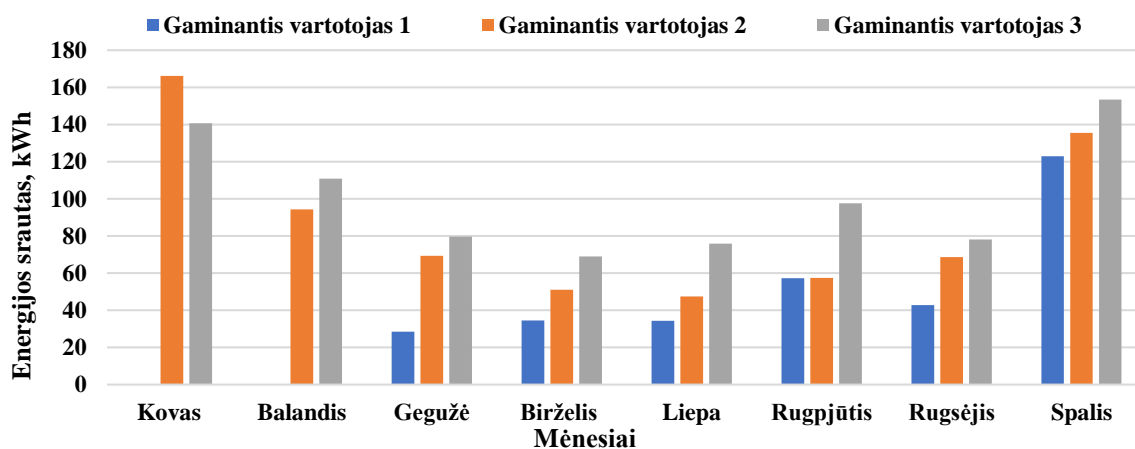
vartotojų iš elektros tinklo tiekiamos elektros energijos srautai pasiskirstė panašiai – didesni kovo, balandžio ir spalio mėnesiais ir mažesni gegužės–rugsėjo mėnesiais.



3 pav. Gaminančių elektros energijos vartotojų importuotos energijos srautai 2023 metais.

Fig. 3. Electricity is imported from the distribution network in 2023.

Per septynis tyrimo mėnesius gaminantys vartotojai į elektros skirstomąjį tinklą patiekė (eksportavo) 5460 kWh elektros energijos, iš jų 1447 kWh eksportavo pirmasis gaminantis vartotojas, 1967 kWh antrasis ir 2046 kWh trečiasis gaminantis vartotojas (žr. 4 pav.). Per septynis mėnesius gaminantys vartotojai į tinklą eksportavo 3 kartus daugiau elektros energijos negu importavo.



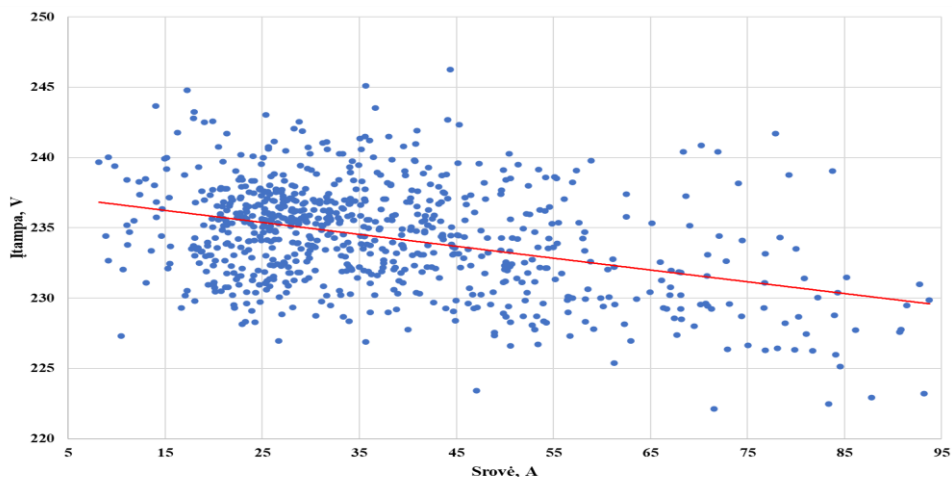
4 pav. Gaminančių elektros energijos vartotojų eksportuojamos energijos srautai 2023 metais.

Fig. 4. Electricity is exported to the distribution network in 2023.

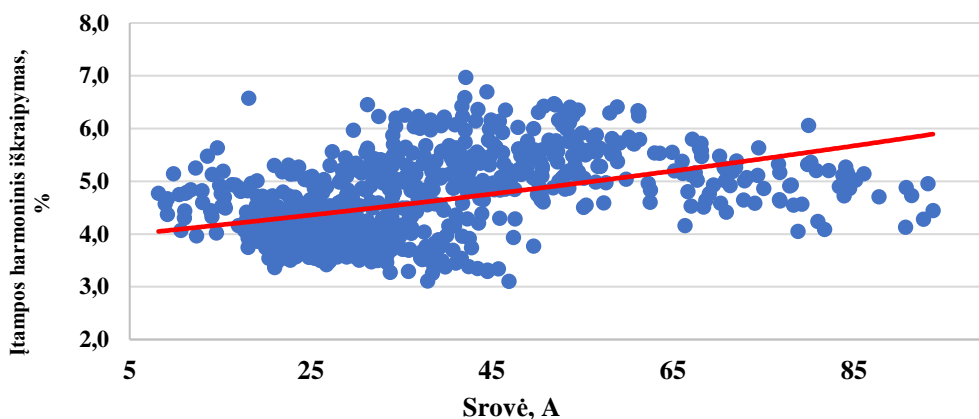
Didžiausi tiekiamos elektros energijos srautai susidarė gegužės–liepos mėnesiais (nuo 280 kWh iki 400 kWh per mėn.). Per šiuos tris mėnesius gaminantys vartotojai eksportavo apie 57 % visos per tiriamąjį laikotarpį patiektos energijos. Tačiau ir kovo bei spalio mėn. gaminantys vartotojai turėdavo nuo 50 iki 129 kWh elektros energijos perteklių.

Tyrimo metu nustatyti skirstomojo elektros tinklo įtampų pokyčiai saulės elektrinių darbo metu (žr. 5 pav.). Nustatyta, kad saulės elektrinėms tiekiant elektros energiją į skirstomąjį tinklą fazinės įtampos atskirose fazėse kito gana plačiame diapazone (nuo 223 V iki 247 V), tačiau neviršijo nustatytų standartinės įtampos normų $230 \text{ V} \pm 10 \%$ (arba 207–253 V ribose).

Tyrimo metu nustatyta, kad bendrasis įtampų harmoninis iškraipymas, kuris atskirose tinklo fazėse kito nuo 3 % iki 7 % (žr. 6 pav.). Bendras harmoninis iškraipymas (THD) yra visų pagrindinio dažnio harmoninių komponentų, esančių netiesinėje elektros ir elektroninėje įrangoje, suma. Šis tyrimas atliktas tik tais laiko tarpais, kai į elektros tinklą buvo tiekama gaminančių vartotojų perteklinė elektros energija.



5 pav. Tiriamos linijos įtampos priklausomybė nuo srovės.
Fig. 5. Dependence of the voltage of the investigated line on the current.



6 pav. Įtampos harmoninio iškreipimo priklausomybė nuo tiriamos linijos apkrovos.
Fig. 6. Dependence of voltage harmonic distortion on investigated line load.

Nustatyta, kad harmoniniai iškreipimai šiek tiek padidėja, didėjant linijos apkrovai. Harmoniniai iškreipimai, nustatyti standarte – EN 50160 (įtampos kokybės standartas EN 50160, 2024), turi būti mažesni arba lygūs 8 %. Harmoninis iškreipimas gali sukelti viršįtampius, cirkuliuojančias sroves, izoliacinėse medžiagose atsiranda perforacija, prasideda jų yrimas. Gali atsirasti garso ir vaizdo trikdžių. Mašinos padidėja mechaninės vibracijos.

Šie harmoniniai dažniai gali atsirasti dėl įvairių įtampos iškreipimo šaltinių (dažnio keitiklių, inverterių ir pan. įtaisų) ir gali turėti neigiamą įtaką elektros tinklo kokybei bei sukelti galios nuostolius.

Išvados

1. Gaminantys vartotojai tiriamuoju laikotarpiu į tinklą eksportavo 3 kartus daugiau elektros energijos, negu importavo. Nustatyta, kad gaminantys vartotojai didžiausią energijos perteklių į tinklą patiekė gegužės–liepos mėnesiais.
2. Saulės elektrinėms tiekiant elektros energiją į skirstomąjį tinklą fazinės įtampos atskirose fazėse kito gana plačiame diapazone (nuo 223 V iki 247 V), tačiau neviršijo nustatytų standartinės įtampos normų 207–253 V ribų, o bendrasis įtampos harmoninis iškreipimas atskirose tinklo fazėse kito nuo 3 % iki 7 % ir neviršijo standartuose numatytų ribų.

Literatūra

1. AB ESO. Prieiga per internetą: <https://www.eso.lt/lt/apie-mus/imones-veikla.html> (žiūrėta 2024 02 10).
2. Metrel MI2892. Prieiga per internetą: <https://www.metrel.si/en/shop/PQA/mi-2892.html> (žiūrėta 2024 03 03).
3. Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (ES) 2022/869. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:32022R0869> (žiūrėta 2024 03 02).
4. LREM. Gaminančių vartotojų bendras skaičius. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/naujienos/gaminanciu-vartotoju-saules-elektriniu-skaicius-ir-galia-per-metus-augo-daugiau-nei-dvigubai/> (žiūrėta 2024 03 09).
5. Įtampos kokybės standartas EN 50160. Leonardo Power Quality Initiative (LPQI) Power Quality Application Guide Voltage Disturbances 5.4.2 Standard EN 50160 (žiūrėta 2024 03 09).

6. Kenneth, A. P. et al. 2014. Voltage Rise Issue with High Penetration of Grid Connected PV. *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 47(3), p. 4959–4966.
7. Sikorski, T, Rezmer, J. 2015. Distributed generation and its impact on power quality in low-voltage distribution networks. In: Luszcz J, editor. *Power Quality Issues in Distributed Generation*. Rijeka, Croatia: IntechOpen, p. 1–39. DOI:10.5772/59895.

IMPACT OF SOLAR POWER PLANTS ON THE LOW VOLTAGE ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORK.

Summary

In this work, it was determined what effect solar power plants have on the low-voltage electricity distribution network. The 0.4 kV cable line chosen for the study is connected to a 160 kVA modular transformer station. 12 consumers are connected to the line, of which 2 consumers are administrative, and 10 consumers are domestic, of which 3 are generating consumers. The total power installed by consumers is 133 kW, and the power of solar power plants is 34 kW. During the research, cable line monitoring was carried out with the "Metrel-mi2892" analyzer, in the presence of changing consumer loads and different powers generated by solar power plants. During the research period, it was established that producing consumers supplied 3 times more electricity to the electricity grid than they consumed. During the study, it was found that the phase voltages in the lines where the solar power plants are connected varied in a range from 223 V to 247 V. The total harmonic distortion of the voltage in individual phases of the network varied from 3 to 7 %.

Keywords: solar power plants, electricity, quality indicators, voltage, harmonic distortion.