

PRAMONINĖS PASKIRTIES PASTATO SU HIBRIDINE SAULĖS ELEKTRINE DARBO TYRIMAS

Ažuolas MACIJASKAS, Kauno technikos kolegija, Elektros energetikos studijų programos studentas, el. paštas azuolas.macijauskas@stud.ktk.lt

Gediminas DAUKŠYS, Kauno technikos kolegija, Elektros energetikos studijų programos dėstytojas, el. paštas gediminas.dauksys@edu.ktk.lt

Santrauka

Šio tyrimo tikslas – ištirti būdus ir metodus elektros energijos suvartojimui pramoniniuose pastatuose mažinti. Darbas apima elektros skaičiavimus, kad būtų galima nustatyti tinkamiausią saulės elektrinių pajėgumą įmonės poreikiams ir pasirinkti modulius, automatines apsaugos priemones. Pasiūlytos sąlygos ir galimybės, leidžiančios kiekvienai gamybos įmonei sumažinti savo energijos suvartojimą ir tapti efektyvia ir konkurencinga gamybos ir saugojimo sektoriuje.

Reikšminiai žodžiai: saulės elektrinė, saulės moduliai, inverteris

Įvadas

Pasaulis tampa vis žalesnis, o atsinaujinantys energijos šaltiniai tampa vis reikalingesni. Europos direktyvų reikalavimų laikymasis tampa dideliu iššikiu Lietuvai. Siekiant, kad visa Europos Sąjunga taptų klimato kaitai neutraliu regionu iki 2050 metų (Europos Komisija, 2019), vis dažniau naudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai. Viena iš tokių energijos šaltinių yra saulė, o energijos gamyba iš jos tampa vis pigesnė. Pavyzdžiui, dar 1979 m. vienas vatas instaliuotos saulės elektrinės kainavo 100 JAV dolerių (Photovoltaic prices), o 2019 m. – tik 0,38 USD už vatą. Tobulėjant technologijoms ši kaina tik dar labiau mažės. Lietuvoje dauguma instaliuotų saulės elektrinių priklauso mažiems, iki 30 kW galios, individualių vartotojų elektros gamybai. Tačiau vis labiau didėja paklausa iš verslo sektoriaus, kadangi siūloma parama ir skatinamos atsinaujinančios energijos šaltinių įrengimo galimybės (Lietuvos statistikos departamentas).

Tyrimo tikslas – suprojektuoti pramoninės paskirties pastato vidinį tinklą ir hibridinę saulės elektrinę ant pastato stogo.

Tyrimo uždaviniai

1. Įvertinti pastato galios poreikius;
2. Apskaičiuoti saulės elektrinės įrengimo galimybes ir parinkti reikiamus modulių bei keitiklių kiekius;
3. Parinkti kintamosios srovės kabelius;
4. Parinkti apsaugos prietaisus.

Tyrimų objektas ir metodai

Numatomas projekto objektas yra Anykščių rajone. Tai 2 aukštų pastatas. Pastato pagrindinis plotas 2052m². Pastatas naudojamas sunkiai technikai laikyti, atsarginėms dalims sandėliuoti, taip pat patalpomis naudojasi mechanikas, be to, yra šiuo metu nenaudojamos ofiso patalpos (1 pav.).



1 pav. Pastato planas
Fig. 1. Building plan

Stogo tipas – sutapdintas bituminis paviršius. Maksimalus pasvirimo kampas – iki 4 laipsnių. Stogas susideda iš 3 skirtingo aukščio dalių.

- Pirmoji stogo dalis – rytinė, 3,9 metro aukštyje, 478 m² ploto. Šią dalį užstoja aukštesnė dalis iš vakarų pusės, taigi ši stogo dalis preliminariai vertinama kaip ne optimali saulės elektrinei įrengti.
- Antroji stogo dalis – centrinė, 9,3 metro aukštyje, 957 m² ploto. Ši stogo dalis saulės elektrinei įrengti vertinama palankiausiai, kadangi stogas yra iškilęs netgi aukščiau negu aplinkoje esantys medžiai, pačią elektrinę galima bus orientuoti palei pastato pasisukimą – 209° azimute arba 29 laipsnių nuokrypiu nuo pietų krypties. Verta pabrėžti, kad esamos kliūtys, galinčios šešėliuoti: iki pusantro metro aukščio kaminai, pietinėje pusėje – iki 0,7 metro aukščio parapetas.
- Likusi stogo dalis – 445 m². Esanti vakarinėje pastato dalyje, 4,1 m aukščio. Vertinama kaip neoptimali, nes iš rytų užstoja aukščiausioji stogo dalis, o iš vakarų šešėliuoja prie pat esantys medžiai (2 pav.).



2 pav. Pastato stogo planas
Fig. 2. Building roof plan

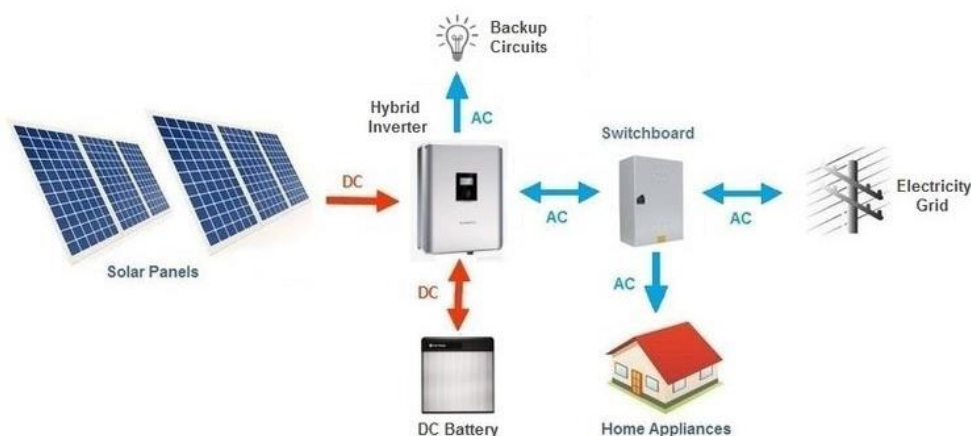
Pastatas priklauso III elektros energijos tiekimo patikimumo kategorijai. Tai reiškia, kad šio tipo vartotojas yra aprūpinamas elektra iš vieno elektros šaltinio. Iš viso leistina naudoti galia – 100 kW.

Pagrindinę apkrovą sudaro dirbtuvėse esantis pramoninis suvirinimo aparatas (iki 11kW galios), pramoninis kompresorius (5,5 kW galios) ir pastato apšvietimas.

Iš saulės elektrinės projektavimo dalies galima bus naudoti ant stogo pastatomas modulių montavimo konstrukcijas. Jų stabilumas užtvirtinamas su balansavimu – apskaičiuotu trinkelio dėliojimu ant konstrukcijos. Modulių energija tiekama į elektros keitiklį – inverterį. Jo galia apribota pagal įvado leidžiamą naudoti galią. Taip pat prieš prijungiant prie vidinio tinklo, kintamos įtampos pusėje pastatomas automatinis jungiklis likusiam elektros tinklui apsaugoti. Pagrindiniai darbai pastate vyksta dienos metu, bus siekiama kuo daugiau tiesioginio elektros suvartojimo iš saulės modulių.

Projektuojant vidinį tinklą parenkami kabelių storai, nustatomos apsaugos priemonės.

Hibridinės saulės elektrinės esminis privalumas – elektros padavimas į vidinį tinklą iš elektros kaupiklių dingus pagrindiniam elektros energijos šaltiniui (3 pav.). Projektavimo metu prie tinklo skyde planuojama įrengti mechaninę arba kompiuterinę logiką, kuri dingus elektrai perduotų įtampą tik į avarinio apšvietimo grandinę.



3 pav. Principinė hibridinės elektrinės su avarine elektros grandine schema
Fig. 3. Hybrid solar power plant essential diagram.

Šios projektuojamos avarinės sistemos su energijos kaupikliais privalumai:

- Momentinis galios tiekimas į avarinę grandinę, palyginus su dyzeliniu ar benzininiu generatoriumi. (Benzininiais / dyzeliniais generatoriams reikia iki 60 sekundžių laiko pasiekti darbinį sūkių, kad būtų tiekama numatyta galia (Navickas, 2013)).
- Avariniai generatoriai kas 3–4 mėnesius būti tikrinami specialistų, o saulės elektrinės įkraunamų kaupiklių įtampą galima stebėti visą laiką.

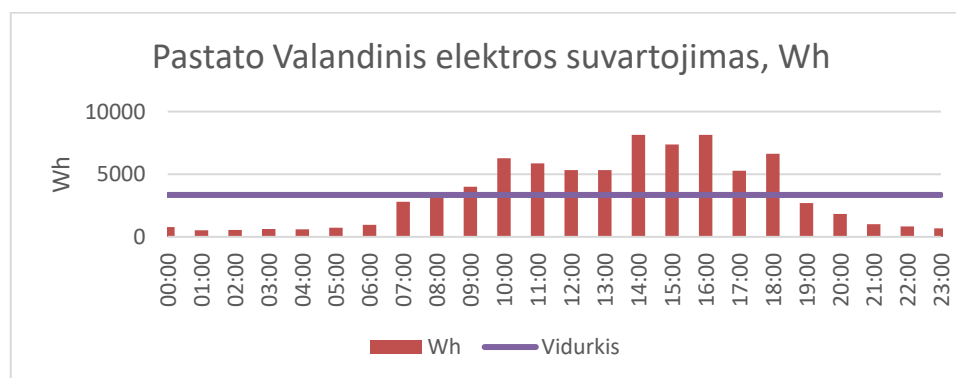
Paprastą dieną ir esant pagrindiniam elektros tiekimui elektrinė būtų sukonfigūruota ir veiktų šiuo principu:

1. Kaupikliai būtų įkraunami iki pilnos talpos elektros iš saulės modulių energijos.
2. Jeigu nėra elektros imtuvų, elektra parduodama į išorinį tinklą.
3. Jeigu atsiradęs suvartojimas pradeda viršyti modulių pagaminamą energiją, laikinai energija tiekama iš energijos kaupiklių.
4. Kaupiklių energiją leidžiama naudoti tol, kol nėra pasiekiamas energijos rezervas, skirtas avarinėms situacijoms.
5. Tuomet likusi reikalinga galia pradeda tiekti iš elektros tiekėjo.
6. Žiemos metu ar esant gedimui saulės modulių grandinėse, kaupikliams iki rezervinės galios palaikyti energija gali būti tiekama ir iš tinklo.

Labai pravartu pabrėžti, kad ateityje, kaip planuojama, bus atsisakyta „elektros pasaugojimo“ ir elektros skaitikliai bus susieti su rinkos kaina valandiniu tikslumu. Šiuo atveju tai reikš, kad kaupiklius galima bus užprogramuoti pakrauti pačia palankiausia kaina (LR Energetikos ministerija).

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Atliktas pastato naudojamos galios įvertinimas per parą, pateiktas 4 pav.



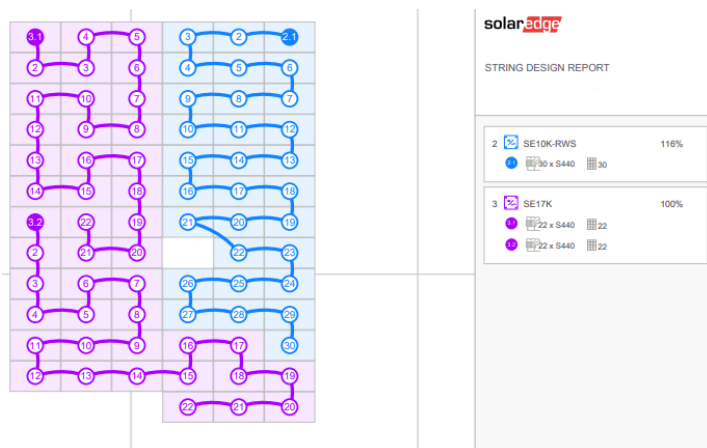
4 pav. Pastato valandinis elektros suvartojimas
Fig. 4. Building's hourly electricity consumption

Pastato vidutinis elektros suvartojimas per dieną yra apie 80 kWh, tai – 29200 kWh per metus. Apytikriai skaičiuojant, kaip siūlo Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, 1 kW įrengtosios galios saulės elektrinė vidutiniškai pagamina apie 1026 kWh elektros energijos per metus, tad šių pastatų poreikiams patenkinti reikia projektuoti 30 kW elektrinę.

Parinkti fotovoltiniai moduliai – *Trina solar* (Kinija) naujos serijos *Vertex S* monokristaliniai moduliai *TSM-405 DE09.08*, 405W. Gamintojo teigimu, šie moduliai po 25 metų eksploatacinio laikotarpio išlaikys 84,8 % savo nominalios galios. Šie moduliai pasirenkami dėl geriausio galios ir kainos santykio – 0,45 centai už vieną vatą. Šie moduliai turi panašią gamylinę garantiją kaip ir kiti moduliai, tačiau už ženkliai geresnę kainą – iki 30 % pigiau.

SolarEdge Šiuo metu siūlo inverterius su energijos kaupikliais iki 10 kW. Kadangi šių pastatų energijos poreikis yra didesnis, reikia rinktis ir antrą inverterį, kuris veiks nuosekliai. Moduliai prie inverterių jungiami į tokias grandines:

- SE10K-RWS (10kW inverteris) – viena grandinė 30 modulių;
- SE17K (17kW inverteris) – dvi grandinės po 22 modulius.



5 pav. Saulės elektrinės modulių jungimo schema (*SolarEdge Designer*)

Fig. 5. Solar module stringing scheme (*SolarEdge Designer*)

Projektuojamų grandinių galimybė buvo patikrinta inverterių gamintojo sukurtame puslapyje *SolarEdge Designer*. Matyti, kad šis išdėstymas yra leidžiamas, tad belieka įvykdyti visus įrangos reikalavimus (5 pav.).

Apskaičiuojamos didžiausios teorinės galios pagal šią formulę:

$$P_n = \text{Modulių galia} * \text{Modulių skaičius grandinėje};$$

$$P_1 = \text{Mod}_{galia} * \text{Mod}_{sk} = 0,405 * 30 = 12,15 \text{ kW}; \quad (1)$$

$$P_2 = \text{Mod}_{galia} * \text{Mod}_{sk} = 2 * (0,405 * 22) = 17,82 \text{ kW}. \quad (2)$$

Apskaičiuojamos inverterių atiduodamos maksimalios srovės:

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} * U_N} = \frac{12,15}{\sqrt{3} * 0,4} = 17,54 \text{ A}; \quad (3)$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} * U_N} = \frac{17,82}{\sqrt{3} * 0,4} = 25,72 \text{ A}. \quad (4)$$

Pagal keturgyslių kabelių lentelę parenkami tinkami kabeliai (1 lent.).

1 lent. Keturgyslių aliumininių kabelių maksimali srovė (Muliolis, 2010)

Table 1. 4-pole aluminium cable maximum current (Muliolis, 2010)

Skerspjūvis, mm ²	Aliuminių gyslų kabelio, A
4	23
6	30

Pirmasis inverteris 4 mm², antrasis – 6 mm² (aliumininiai), tokie kabeliai parinkti iš inverterio į kintamą tinklą.

Numatyta, kad montavimo metu abiejų keitiklių automatiniai jungikliai netilps į pastatą sumontuotą spintą, tam reikės papildomos dėžutės, todėl reikia apskaičiuoti bendrą srovę ir parinkti nuo papildomos dėžutės iki spintos tiesiamą kabelį.

$$I_p = I_1 + I_2 = 17,54 + 25,72 = 43,26 \text{ A}. \quad (5)$$

2 lent. Keturgyslių aliumininių ir varinių kabelių maksimali srovė (Muliolis, 2010)

Table 2. 4-pole aluminium and copper cable maximum current (Muliolis, 2010)

Skerspjūvis, mm ²	Aliuminių gyslų kabelio, A	Varinių gyslų kabelio, A
10	39	50
16	55	75

Kadangi šis atstumas greičiausiai bus labai nedidelis, galima pasirinkti ne tik 16 aliumininį kabelį, bet ir 10 varinį, reikėtų dar kartą patikrinti ir įvertinti, ar reikia lengvesnio prijungimo (plonesnio kabelio) prie pagrindinės spintos (2 lentelė).

Moduliai montuojami aukščiausioje stogo plokštumoje, nes buvo nustatyta, kad ten bus mažiausias šešėlis. Tam buvo naudojama Aerocompact (Austrija) gamintojo siūloma konstrukcija *Compact Flat S15*. Šie stovai modulius pakreipia 15° kampu, tvirtinami ant konstrukcijos sudėliojant trinkelės (balastavimas). Taip nepažeidžiama vidinė stogo konstrukcija. Naudojantis gamintojo duodamu internetiniu įrankiu *aerotool* buvo detaliai apskaičiuota reikiama konstrukcija ir užimamas plotas – apie 326 m².

Išvados

1. Atlikus analizę nustatyta, kad pastato saulės elektrinės galia turi būti 29,6 kW;
2. Įvertinus modulių išdėstymo galimybes, parinkti *Trina Solar TSM-405 DE09.08*, 405 W moduliai ir *SolarEdge SE* serijos 10 ir 17 kW keitikliai.
3. Parinkti kintamosios įtampos aliumininiai kabeliai 5x4 mm², 5x6 mm² ir bendras – 5x16 mm².
4. Tinklo kabeliams apsaugoti nuo trumpo jungimo ir perkrovos parinkti C25 ir C50 srovės automatiniai jungikliai.

Literatūra

1. Aerocompact Aerotool designer. Prieiga per internetą: <https://aerotool.aerocompact.com/?lang=en-EN> (žiūrėta 2023-02-22)
2. Dažniausiai užduodami klausimai apie elektrą gaminančius vartotojus. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai/elektros-energija-gaminantys-vartotojai/dazniausiai-uzduodami-klausimai-apie-elektra-gaminancius-vartotojus> (žiūrėta 2023-02-19)
3. Europos Komisija „Švari mūsų visų planeta Strateginė klestinčios, modernios ir konkurencingos neutralizuoto poveikio klimatui Europos ekonomikos ateities vizija“ Prieiga per internetą: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN> (žiūrėta 2023-02-19)
4. Hybrid inverter electrical schematic Nuotrauka. Prieiga per internetą: <https://thesolarlabs.com/ros/content/images/size/w1000/2022/07/AC-Coupled-Solar-battery-system-.jpg> (žiūrėta 2023-02-10)
5. Lietuvos statistikos departamentas „Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas. Elektros galia“. Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize> (žiūrėta 2023-02-10)
6. Muliulis G. 2010. Skirstomųjų elektros tinklų projektavimas. Mokomoji knyga.
7. SolarEdge designer. Prieiga per internetą: <https://designer.solaredge.com/sites> (žiūrėta 2023-02-22)
8. Svinkūnas G., Navickas A. 2013. Elektros energetikos pagrindai: mokomoji Knyga.
9. US dollars per Watt, adjusted for inflation. Solar instalation. Prieiga per internetą: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices/> (žiūrėta 2023-02-10)

DESIGNING THE INTERNAL ELECTRICITY NETWORK OF AN INDUSTRIAL BUILDING WITH A HYBRID SOLAR POWER PLANT

Summary

At this study is carried out to investigate ways and methods to reduce electricity consumption in industrial premises. This thesis aims to identify and propose options for saving and reducing electricity consumption in the researched facility. The work includes electrical calculations to determine the most suitable capacity of the solar power plant for the company and the selection of modules, new lighting fixtures, and automatic protection measures in the power and lighting network. Diagrams of the DC and AC solar power plant were drawn up and drawings of the layout of the power plant and luminaires on site were provided. The work also includes an assessment of the safety and ecological solutions for the work, and the selection of earthing and lightning protection devices.

The conditions and options proposed to enable each production company to reduce its energy consumption and become an efficient and competitive company in the production and storage sector.

Keywords: solar power plant, solar modules, inverter.