



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo geležinkelio iešmų šildymo sistemoje tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Vitalijus Almazovas

Projekto autorius

Doc. Robertas Keršys

Vadovas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo geležinkelio iešmų šildymo sistemoje tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Vitalijus Almazovas

Projekto autorius

Doc. Robertas Keršys

Vadovas

Doc. Ramūnas Skvireckas

Recenzentas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Vitalijus Almazovas

Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo geležinkelio iešmų šildymo sistemoje tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Vitalijus Almazovas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Išduota studentui – Vitalijui Almazovui

1. Projekto tema

Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo geležinkelio iešmų šildymo sistemoje tyrimas

(Lietuvių kalba)

Research on the Use of Renewable Energy Resources in the Heating System of Railway Switches

(Anglų kalba)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Tikslas: Ištirti atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimą geležinkelio iešmų šildymo sistemoje
Uždaviniai:

1. Atlikti geležinkelio iešmų šildymo sistemų ir atsinaujinančių energijos išteklių jėgainių tyrimų literatūros analizę.
2. Atlikti iešmų šildymo sistemų elektros energijos sąnaudų statistinę analizę.
3. Parengti tyrimų metodiką ir atlikti eksperimentinius tyrimus, siekiant nustatyti geležinkelių iešmų šildomų paviršių temperatūras bei elektros energijos sąnaudas.
4. Įvertinti orų sąlygų analizę, siekiant geležinkelio iešmų šildymui panaudoti atsinaujinančius energijos išteklius.
5. Ištirti atsinaujinančių energijos išteklių jėgainių integravimo geležinkelio infrastruktūroje galimybes, atsižvelgiant į vietos reljefą ir energetinius poreikius.

3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

Geležinkelio iešmų temperatūrinis tyrimas atliekamas Pilviškių geležinkelio stoties kelyne. Oro temperatūra tyrimo metu ne aukštesnė nei 0 C°. Iešmų šildymo sistema valdoma automatiškai ar rankiniu režimu. Metrologinė įranga turi būti su galiojančia LMI metrologinės inspekcijos patikra ir sertifikatu.

4. Papildomi reikalavimai projektui, ataskaitai ir jos priedams

Netaikoma

Projekto autorius

Vitalijus Almazovas

2025-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Data)

Projekto vadovas

Doc. Robertas Keršys

2025-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Data)

Krypties studijų
programų vadovas

Prof. Artūras Keršys
(Vardas, Pavardė)

2025-02-15
(Data)

Almazovas, Vitalijus. Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo galimybių geležinkelio iešmų šildymo sistemoje tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Robertas Keršys; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypties grupė): Transporto inžinerija (E12), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: geležinkelio iešmai, iešmų šildymas, atsinaujinantys energijos ištekliai.

Kaunas, 2025. 119 p.

Santrauka

Šiame magistro baigiamajame darbe analizuojama atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) integravimo galimybė į geležinkelio iešmų šildymo sistemas, siekiant LTG grupės vystomų strateginių projektų įgyvendinimo, kurie ženkliai prisidės prie klimato kaitos švelninimo ir LTG Grupės siekio iki 2050 m. tapti klimatui neutralia organizacija. Tyrimo aktualumą lemia ir būtinybė užtikrinti geležinkelio transporto nepertraukiamą darbą nepalankiomis oro sąlygomis, mažinant elektros energijos sąnaudas ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas. Viena iš LTG infrastruktūros sričių, kurioje elektros energijos suvartojimo optimizavimas įgautų ypatingą reikšmę, yra geležinkelio iešmų šildymo sistemos. Šiame magistro darbe buvo siekiama ištirti atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) integravimo galimybes į geležinkelio iešmų šildymo sistemą, siekiant padidinti energijos efektyvumą ir sumažinti energetinę priklausomybę. Darbe keliami pagrindiniai tikslai: įvertinti AEI taikymo Pilviškių geležinkelio stoties kelyne, prielaidas ir efektyvumą, parengti eksperimentinę tyrimų metodiką bei atlikti empirinius skaičiavimus realiomis sąlygomis.

Teorinėje darbo dalyje aptariama iešmų klasifikacija, jų konstrukciniai elementai ir eksploatacinės problemos, ypač susijusios su sniego bei ledo kaupimusi žiemos metu. Pateikiama išsami iešmų šildymo technologijų analizė, apimanti suslėgto oro, dujinio, varžinio elektrinio, indukcinio bei geoterminio šildymo metodus. Kiekviena sistema įvertinama pagal jos energijos konversijos efektyvumą, eksploatacijos patikimumą, atsiperkamumą ir techninio pritaikomumo galimybes. Indukcinio šildymo technologija, veikdama 40–70 Hz dažniu, pasižymi didesniu energijos efektyvumu lyginant su varžiniu šildymu, o geoterminės sistemos nors ekonomiškai perspektyvios šiltesniuose regionuose, ribotos esant itin žemai temperatūrai.

AEI apžvalgoje pateikiami pasauliniai saulės, vėjo, hidroenergijos, bioenergijos ir geoterminių šaltinių naudojimo duomenys. Nagrinėjamos HAWT ir VAWT tipo vėjo jėgainių technologijos, jų ašies padėties įtaka efektyvumui, įrengimo vietos pasirinkimo kriterijai bei eksploataciniai ypatumai. Taip pat analizuojama fotovoltinių modulių diegimo galimybė, jų konversijos efektyvumas ir ekonomiskumo rodikliai. Pristatomi šaltinių duomenys rodo, kad vėjo ir saulės energija yra labiausiai augantys atsinaujinančios energijos sektoriai.

Empirinė dalis apima tyrimus, atliktus Pilviškių geležinkelio stotyje, kur realiomis sąlygomis matuoti skirtingų iešmų grupių šildymo sistemos parametrai – temperatūra, elektros sąnaudos, oro sąlygų įtaka. Tyrimo metu buvo naudojama sertifikuota matavimo įranga – termovizorius *FLIR ThermoCam I7* bei infraraudonųjų spindulių temperatūros matuoklis *EMSItest IR-8839*. Eksperimentai buvo vykdomi Pilviškių geležinkelio stoties kelyne, penkiose iešmų grupėse (VS21–VS25), fiksuojant temperatūrinius ir elektros suvartojimo duomenis prie skirtingų iešmų valdymo ciklų. Gauti duomenys statistškai išanalizuoti, apskaičiuoti sąnaudų vidurkiai, jų priklausomybė nuo aplinkos sąlygų bei identifikuotos šildymo sistemos optimizavimo galimybės. Oro sąlygų analizė apėmė vėjo

greičio ir saulės spindulių srautų pokyčių tyrimus, kurių rezultatai leido nustatyti AEI diegimo efektyvumo ribas Lietuvos klimato kontekste.

Darbo metu išanalizuoti ir vertinti penki skirtingi vėjo jėgainių gamintojai, įvertintas jų našumas, įrengimo sąlygos bei atitikimas Pilviškių teritorijos specifikai. Galiausiai, atliktas stoties teritorijos tyrimas, siekiant identifikuoti optimalią vietą jėgainės įrengimui pagal landšafto reljefą, infrastruktūrinius apribojimus ir energetinio srauto prieinamumą.

Apibendrinant galima teigti, kad AEI integravimas į iešmų šildymo infrastruktūrą yra techniškai įmanomas, ekonomiškai pagrįstas ir ekologiškai naudingas sprendimas. Tačiau galutinė technologijų analizė turi būti grindžiama išsamiau teritorijos, oro sąlygų ir energijos sąnaudų įvertinimu.

Almazovas, Vitalijus. Research on the Use of Renewable Energy Resources in the Heating System of Railway Switches. Masters's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof. Robertas Keršys; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Transport Engineering (E12), Engineering Science.

Keywords: railway switches; switch heating; renewable energy sources.

Kaunas, 2025. 119 p.

Summary

This master's thesis analyses the potential for integrating renewable energy sources (RES) into railway switch heating systems, aiming to contribute to the implementation of strategic projects developed by LTG Group, which will significantly aid in mitigating climate change and support LTG Group's goal of becoming a climate-neutral organization by 2050. The relevance of this research is also driven by the need to ensure the uninterrupted operation of railway transport under adverse weather conditions, while reducing energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions. One of the areas within LTG's infrastructure where energy consumption optimization would be particularly impactful is the railway switch heating systems.

The main objectives of this thesis are to examine the possibilities of integrating RES into switch heating systems to enhance energy efficiency and reduce dependence on fossil fuels, to assess the preconditions and effectiveness of RES application, to develop an experimental research methodology, and to perform empirical calculations under real conditions.

The theoretical part discusses the classification of railway switches, their structural elements, and operational issues, particularly those related to snow and ice accumulation during the winter season. A comprehensive analysis of switch heating technologies is provided, covering compressed air, gas, resistive electric, inductive, and geothermal heating methods. Each system is evaluated in terms of its energy conversion efficiency, operational reliability, cost-effectiveness, and technical applicability. Inductive heating technology, operating at frequencies of 40–70 kHz, demonstrates greater energy efficiency compared to resistive heating, whereas geothermal systems, although economically viable in warmer regions, are limited under extremely low temperatures.

The overview of RES presents global data on the use of solar, wind, hydro, biomass, and geothermal energy sources. Technologies of Horizontal-Axis Wind Turbines (HAWT) and Vertical-Axis Wind Turbines (VAWT) are analysed, including the influence of turbine axis orientation on efficiency, site selection criteria, and operational characteristics. The possibilities for photovoltaic module installation, their conversion efficiency, and economic indicators are also discussed. Data from various sources indicate that wind and solar energy are the fastest-growing sectors within renewable energy.

The empirical part covers research conducted at Pilviškiai railway station, where parameters of switch heating systems across different switch groups — temperature, electricity consumption, and the influence of weather conditions — were measured under real-world conditions. Certified measuring equipment was used, including FLIR ThermoCam I7 thermal imaging cameras and EMSIttest IR–8839 infrared temperature sensors. Experiments were carried out on five switch groups (VS21–VS25) at the Pilviškiai railway yard, recording temperature and electricity consumption data across different

switch operation cycles. The collected data were statistically analyzed, with the calculation of average consumption, its dependence on environmental conditions, and identification of optimization opportunities for the heating system. Weather condition analysis included examining variations in wind speed and solar radiation fluxes, which enabled the determination of RES implementation efficiency limits within the Lithuanian climate context.

The study also analysed and evaluated five different wind turbine manufacturers, assessing their performance, installation requirements, and suitability for the specifics of the Pilviškiai site. Additionally, a site survey of the station area was conducted to identify the optimal location for turbine installation, taking into account landscape topography, infrastructure constraints, and access to energy flows.

In summary, the integration of RES into switch heating infrastructure is technically feasible, economically viable, and environmentally beneficial. However, the final choice of technologies must be based on a comprehensive assessment of site characteristics, weather conditions, and energy consumption profiles.

Turinys

Lentelių sąrašas	11
Paveikslų sąrašas	12
Santrumpų ir terminų sąrašas	14
Įvadas.....	15
1. Literatūros analizė.....	17
1.1. Temos indentifikavimas	17
1.1.1. Geležinkelio iešmų pagrindai	17
1.1.2. Pagrindiniai iešmų konstrukcijos elementai	18
1.2.2. Vėjo energija	22
1.2.3. Hidroenergija.....	23
1.2.4. Bioenergija	23
1.2.5. Geoterminė energija	23
1.3.1. Sniego šalinimas suspaustu oru	26
1.3.2. Sniego nuo iešmų šalinimas dujomis	27
1.3.3. Iešmų valymas nuo apledėjimo šildant elektra.....	28
1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	33
2. Tyrimo metodika	35
2.1. Tyrimo objektas.....	37
2.2. Tyrimui naudotos matavimo priemonės	38
2.3. Tyrimo rezultatai	40
2.3.1. VS21 iešmų grupės tyrimas.....	41
2.3.2. VS22 iešmų grupės tyrimas.....	44
2.3.3. VS23 iešmų grupės tyrimas.....	46
2.3.4. VS24 iešmų grupės tyrimas.....	50
2.3.5. VS25 iešmų grupės tyrimas.....	53
2.4. Tyrimo dalies apibendrinimas	56
3. Statistinė analizė	58
3.1. Statistikos teorija	58
3.2. Tyrimo statistinė analizė.....	60
3.3. Statistinio tyrimo apibendrinimas.....	65
4. Oro sąlygų įvertinimas	67
4.1. Vėjo srauto ir energijos vertinimas.....	67
4.2. Saulės energijos panaudojimo vertinimas	74
4.3. Oro sąlygų tyrimo apibendrinimas	77
5. Vėjo jėgainių analizė	79
5.1. Vėjo jėgainių statymo teisinis reglamentavimas	79
5.2. Vėjo jėgainių gamintojai	79
5.2.1. Ecorote vėjo jėgainės.....	81
5.2.2. Astralux vėjo jėgainės.....	85
5.2.3. Hi VAWT vėjo jėgainių gamintojas	87
5.2.4. Windspire vėjo jėgainės.....	92
5.2.5. Aeolos vėjo jėgainės	95
5.3. Jėgainių generuojamos energijos poreikio analizė	99
5.4. Jėgainės pasirinkimo apibendrinimas.....	101

6. Vietos jėginei statyti tyrimas	103
6.1. Pilviškių stoties teritorijos tyrimas	103
6.2. Vietos jėginei statyti nustatymas	105
6.3. Vietos jėginei statyti skyriaus apibendrinimas	107
Išvados	109
Literatūros sąrašas	110
Priedai.....	120
1 priedas. Elektros tiekimas, automatinis iešmų šildymas VS25-M4	120
2 priedas. Termovizoriaus <i>Flir ThermanCam I7</i> specifikacijos.....	121
3 priedas. Infraraudonųjų spindulių temperatūros matuoklio <i>EMSItest IR-8839</i> sertifikatas...	122
4 priedas. Pilviškių geležinkelio stoties iešmyno AMS	123
5 priedas. Kybartų AMS paros laiko fiksuoti meteorologiniai duomenys	124
6 priedas. Lietuvos vėjo greičio vidurkis pagal sezoną	125
7 priedas. Metinis vėjo greičių grafikas	126
8 priedas. Beauforto skalė	127
9 priedas. Vėjo srauto energijos, W/m^2 lentelė pagal kintamus duomenis	128
10 priedas. 2023 03 – 2024 02 metinė vėjo krypties diagrama	130
11 priedas. <i>Ecorote</i> galios kreivės.....	131
12 priedas. <i>HI VAWT</i> galios kreivės.....	132
13 priedas. <i>Aeolos</i> galios kreivės.....	133
14 priedas. Jėgainės ir iešmų automatikos veikimo loginė schema	134
15 priedas. Pilviškių stoties teritorijos reljefo pjūviai	135
16 priedas. Vėjo jėgainių duomenys	142
17 priedas. Jėgainių sugeneruotos energijos poreikis.....	144

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Atsinaujinančių energijos šaltinių rūšys.....	20
2 lentelė. RH ir IH įrenginių lygiavertės energijos sąnaudos tirpstant ledo gabalėliui.....	30
3 lentelė. Kambro gręžinių duomenys	33
4 lentelė. Iešmų valymo režimų savybės.....	35
5 lentelė. Iešmų šildymo elementų ilgiai, vardinės srovės ir galios.....	36
6 lentelė. Iešmų grupės VS21 temperatūrų matavimo rezultatai	42
7 lentelė. Iešmų grupės VS22 temperatūrų matavimo rezultatai	46
8 lentelė. Iešmų grupės VS23 temperatūrų matavimo rezultatai	48
9 lentelė. Iešmų grupės VS24 temperatūrų matavimo rezultatai	52
10 lentelė. Iešmų grupės VS25 temperatūrų matavimo rezultatai	55
11 lentelė. Kybartų AMS vėjo duomenų grafiko skaitinės reikšmės.....	70
12 lentelė. Vėjo srauto energija pagal kintamus parametrus.....	73
13 lentelė. Vidutinė atskirų mėnesių saulės spindėjimo trukmė	76
14 lentelė. <i>Ecorote</i> jėgainių techniniai duomenys	81
15 lentelė. <i>Ecorote</i> gamintojo VATW jėgainių galia, W pagal vėjo greitį.....	82
16 lentelė. <i>Ecorote</i> pagaminamos elektros energijos kiekis, kWh per mėnesį	84
17 lentelė. <i>Astralux LTD</i> patentuota vėjo turbinos jėgainė	85
18 lentelė. <i>Astralux</i> VATW elektrinių galių skaičiavimai, W	86
19 lentelė. <i>Astralux</i> jėgainių pagaminamos elektros energijos kiekis, kWh per mėnesį	87
20 lentelė. <i>Hi VAWT</i> vėjo jėgainių techniniai parametrai	88
21 lentelė. <i>Hi VATW</i> jėgainių teoriniai skaičiavimų duomenys.....	89
22 lentelė. <i>HI VAWT</i> jėgainių pagaminamos elektros energijos kiekis, kWh per mėnesį	91
23 lentelė. <i>Windspire</i> vėjo jėgainių techniniai parametrai	92
24 lentelė. <i>Windspire</i> VAWT galių teoriniai duomenys.....	93
25 lentelė. <i>Windspire</i> jėgainių pagaminamos elektros energijos, kWh per mėnesį.....	94
26 lentelė. <i>Aeolos</i> vėjo jėgainių techniniai parametrai.....	95
27 lentelė. <i>Aeolos</i> VAWT teoriniai galios skaičiavimai	96
28 lentelė. <i>Aeolos</i> pagaminamos elektros energijos kiekis kWh per mėnesį.....	98
29 lentelė. Pilviškių geležinkelio stoties iešmyno elektros sąnaudos, kWh	100
30 lentelė. Jėgainių sugeneruotos energijos perteklius	101

Paveikslų sąrašas

1.1 pav.	Geležinkelio ieško paskirties veikimo principas.....	17
1.2 pav.	Geležinkelio ieško konstrukcijos elementai.....	18
1.3 pav.	Rėminio bėgio ir smailės skerspjūvis	19
1.4 pav.	Ieško smailės profilio geometrija	20
1.5 pav.	Atsinaujinančios energijos gamyba pagal šaltinį, pasaulyje	21
1.6 pav.	Geoterminės energijos panaudojimas Pasaulyje	24
1.7 pav.	Aplėdėjęs geležinkelio iešmas.....	25
1.8 pav.	Principinė oro tiekimo schema geležinkelio kelyne.....	26
1.9 pav.	Geležinkelio iešmų šildymas dujų degikliais atvira liepsna	27
1.10 pav.	Geležinkelio ieško šildymo sistemos principinė schema	28
1.11 pav.	Kaitinimo elemento pozicija bėgio ir ieško skerspjūvyje	29
1.12 pav.	Indukcinė ritė.....	29
1.13 pav.	Geoterminio iešmų šildymo sistema	31
1.14 pav.	Kambro vandeninio sluoksnio temperatūrų pasiskirstymas.....	32
2.1 pav.	Pilviškių geležinkelio stoties kelyno schema	35
2.2 pav.	Temperatūrų matavimo vietos ant rėminio bėgio ir ieško.....	37
2.3 pav.	Termovizorius <i>Flir ThermanCam I7</i>	38
2.4 pav.	Infraraudonųjų spindulių temperatūros matuoklis <i>EMSItest IR-8839</i>	39
2.5 pav.	Pilviškių geležinkelio stoties iešmyno AMS duomenys	40
2.6 pav.	2024.02.10 paros laiko temperatūros pasiskirstymo kreivė	40
2.7 pav.	VS21-1K iešmas.....	41
2.8 pav.	Ieško VS21-1K termovaizdas.....	41
2.9 pav.	Ieško VS21-1K temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį.....	43
2.10 pav.	VS21 iešmų grupės elektros energijos sąnaudos.....	43
2.11 pav.	VS22-9 iešmas.....	44
2.12 pav.	Ieško VS22-9 termovaizdas	44
2.13 pav.	Ieško VS22-11 temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį.....	45
2.14 pav.	VS22 iešmų grupės elektros sąnaudos	45
2.15 pav.	VS23-21K iešmas.....	47
2.16 pav.	Ieško VS23-21K termovaizdas.....	47
2.17 pav.	Ieško VS23-21K temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį.....	49
2.18 pav.	VS23 iešmų grupės elektros sąnaudos	49
2.19 pav.	VS24-12K iešmas.....	50
2.20 pav.	Ieško VS24-12K termovaizdas.....	51
2.21 pav.	Ieško VS24-12K temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį.....	51
2.22 pav.	VS24 iešmų grupės elektros sąnaudos	53
2.23 pav.	VS25-4K iešmas.....	54
2.24 pav.	Ieško VS25-4K termovaizdas.....	54
2.25 pav.	Ieško VS25-4K temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį.....	56
3.1 pav.	VS21 iešmų grupės metinė statistinė diagrama.....	60
3.2 pav.	VS21 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros.....	60
3.3 pav.	VS22 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros.....	61
3.4 pav.	VS22 iešmų grupės metinė statistinė diagrama.....	61
3.5 pav.	VS23 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros.....	62

3.6 pav.	VS23 iešmų grupės metinė statistinė diagrama.....	62
3.7 pav.	VS24 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros.....	63
3.8 pav.	VS24 iešmų grupės metinė statistinė diagrama.....	63
3.9 pav.	VS25 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros.....	64
3.10 pav.	VS25 iešmų grupės metinė statistinė diagrama.....	64
3.11 pav.	Pilviškių geležinkelio stoties kelyno iešmų elektros metinių sąnaudų diagrama.....	65
4.1 pav.	Vidutinis metų vėjo greitis	67
4.2 pav.	Vėjų dažnumo grafikai	68
4.3 pav.	Metinis vėjų dažnių pasiskirstymas.....	69
4.4 pav.	Kybartų AMS duomenis sudaryta vėjo greičio diagrama	70
4.5 pav.	Vėjo srauto energija	71
4.6 pav.	Oro tankio priklausomybės nuo temperatūros kreivė.....	72
4.7 pav.	Vidutinio vėjo greičio srauto energijos kiekio pasiskirstymas pagal mėnesius	74
4.8 pav.	AE šaltinių naudojimas Lietuvoje	75
4.9 pav.	Metinė saulės spindėjimo trukmė 2024 m.....	75
4.10 pav.	Saulės apšvietos laiko ir elektros sąnaudų metinis pasiskirstymas	76
4.11 pav.	Iešmų elektros sąnaudų priklausomybė nuo saulės apšvietos laiko	77
5.1 pav.	Vėjo jėgainių naudingumo koeficiento priklausomybė nuo vėjo.....	80
5.2 pav.	<i>Ecorote</i> vėjo jėgainė.....	81
5.3 pav.	<i>Ecorote</i> VATW elektrinių galių kreivės	82
5.4 pav.	<i>Ecorote</i> galių kreivių skirtumas	83
5.5 pav.	<i>Ecorote</i> pateiktų ir apskaičiuotų galių skirtumas procentais.....	83
5.6 pav.	<i>Ecorote</i> sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio.....	84
5.7 pav.	<i>Astralux LTD</i> patentuota vėjo turbinos jėgainė	85
5.8 pav.	<i>Astralux</i> VATW generuojamos galios kreivės.....	86
5.9 pav.	<i>Astralux</i> sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio.....	86
5.10 pav.	Hibridinė vėjo, saulės fotovoltinių panelių elektrinė [.....	88
5.11 pav.	Mažų vėjo jėgainių (ICC-SWCC™) atitikties sertifikatas	89
5.12 pav.	<i>HI VAWT</i> galių kreivės.....	90
5.13 pav.	<i>HI VAWT</i> jėgainės galių skirtumo tarp apskaičiuotų ir deklaruotų kreivės	90
5.14 pav.	<i>HI VAWT</i> sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio.....	91
5.15 pav.	<i>Windspire Energy</i> sumontuota jėgainė	92
5.16 pav.	<i>Windspire</i> VAWT galių kreivės	93
5.17 pav.	<i>Windspire</i> sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio	94
5.18 pav.	<i>Aeolos 5 kW</i> jėgainė Dubajuje	96
5.19 pav.	<i>Aeolos</i> VAWT teorinės galių kreivės.....	97
5.20 pav.	<i>Aeolos</i> jėgainės galių skirtumo kreivės tarp apskaičiuotų ir deklaruotų duomenų	97
5.21 pav.	<i>Aeolos</i> pateiktų ir apskaičiuotų galių skirtumas procentais.....	98
5.22 pav.	<i>Aeolos</i> sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio	99
5.23 pav.	Jėgainių generuojamos elektros energijos ir iešmų sąnaudų persidengimas.....	100
6.1 pav.	Pilviškių geležinkelio stoties ribos (apibraukta geltonai).....	103
6.2 pav.	Pilviškių geležinkelio stoties teritorija reljefo žemėlapyje	104
6.3 pav.	Stoties ruožo reljefo 8-tas pjūvis	104
6.4 pav.	Stoties ruožo reljefo 8-tas pjūvis pagal mastelį.....	105
6.5 pav.	Vėjo jėgainių statymo vietos	106
6.6 pav.	Vėjo jėgainių statymo teritorija.....	107

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

- ŠESD** – šiltnamio efektą sukeliančios dujos
- LTG** – Lietuvos geležinkelių įmonių grupė
- SE** – Saulės energija
- VJ** – vėjo jėgainė
- HAWT** – horizontalios ašies vėjo jėgainė
- VAWT** – vertikalios ašies vėjo jėgainė
- AE** – atsinaujinanti energija
- AEI** – atsinaujinantys energijos ištekliai
- JAV** – Jungtinės Amerikos Valstijos
- FRA** – federalinė geležinkelių administracija
- RH** – varžinis šildymo elementas
- IH** – indukcinis šildymo elementas
- AMS** – automatinė meteorologinė stotis
- SKN** – daugiametis klimato vidurkis (1991–2020)
- LAS07** – Lietuvos valstybinė aukščių sistema

Terminai:

- Kelynas** – stoties ribose esančių geležinkelio kelių ir jo mazgų visuma.
- Geležinkelio iešmas** – mechaninis įtaisas, leidžiantis traukiniams pervažiuoti iš vieno bėgių į kitus.
- Iešmynas** – geležinkelio stoties kelyno iešmų grupė.
- Greitbėgiai** – trumpi bėgių galai, esantys šalia pagrindinio bėgio priešais iešmo kryžmę.
- Karbonizacija** – cheminė reakcija, kurios metu kalcio hidroksidas reaguoja su anglies dioksidu ir susidaro netirpus kalcio karbonatas: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.
- Pirolizė** – cheminių medžiagų skaidymas be oro.
- Varžinis** – tai laidininko šildymo būdas kai šiluma generuojama dėl elektros srovės pasipriešinimo laidininke.
- Tenas** – varžinis kaitinimo elementas
- Vėjaratis** – pagrindinis vėjo jėgainių energijos absorbcijos elementas.

Įvadas

Valstybinė geležinkelių sistema yra raktas į šalies ekonomikos klestėjimą ir sėkmę. Be to, geležinkelių infrastruktūros paslaugos, turi būti patikimos ir punktualios, kad pritrauktų keleivių ir krovinių gabenimo klientus. Tam labai svarbu turėti stabilią ir patikimą infrastruktūrą, o ignoruojamos klaidos geležinkelių tinklų eksploatavime gali turėti fatališkų ir finansiškai sunkiai pakeliamų pasekmių. Todėl vienas iš pagrindinių geležinkelių sistemos tikslų yra užtikrinti saugų, patikimą ir nepertraukiamą, geležinkelio mazgų bei jų elementų darbą. Siekiant užtikrinti vieno iš pagrindinių geležinkelio infrastruktūros, sistemos elemento – iešmo monofunkcinį darbą, ypač nepalankiomis oro sąlygomis, būtinos tinkamos pagalbinės sisteminės priemonės [1]. Šiam tikslui Lietuvos geležinkelių sistemoje žiemos metu naudojamos iešmų ir iešminių raktų šildymo sistemos, užtikrinančios stabilų iešmų darbą ir sklandų traukinių eismą. Lietuvos geležinkelių sistemos valdytojai yra atsakingi už tai, kad infrastruktūra būtų efektyviai ir veiksmingai prižiūrima, bei išlaikomi saugos ir veiklos tikslai. Nors anksčiau Lietuvos geležinkelių stočių kelyne buvo taikomos iešmų apipūtimo oru sistemos, jos ne visada pasiteisindavo, todėl nuo 2000 metų Lietuvoje pereita prie efektyvesnių elektrinių šildymo sistemų, kurios veikia centralizuotai ir automatizuotai, taip padidindamos sistemos efektyvumą. Nepaisant to, elektros energija šildant iešmus patiriami dideli energetiniai nuostoliai, tai šiuo metu labai aktualu, nes sudaro didelius sąnaudų kaštus. Siekiant geležinkelių infrastruktūros sistemoje sumažinti sąnaudų kaštus ir ŠESD bei CO₂ pėdsaką, taip AEI integracija tampa vis svarbesnė Lietuvos geležinkelių infrastruktūroje. Dar daugiau dėmesio skiriama ir alternatyviems degalams, tokiems kaip elektra, vandenilis ir biodegalai, jų naudojimas tampa vis populiariesnis, taip prisidedant prie švaraus ir ilgalaikio transporto sistemos vystymosi [2].

Darbo aktualumą lemia atsinaujinančių energijos šaltinių integracija į geležinkelių infrastruktūrą, kuri turi būti patikima ir ilgalaikėje perspektyvoje atsiperkanti, tuo pačiu didinanti energetinį nepriklausomumą. Iešmų šildymo sistemoms žiemos sezono metu būdingas didelis energijos intensyvumas, kuris didina priklausomybę nuo centralizuotų energijos tiekimo šaltinių bei sąlygoja dideles eksploatacines išlaidas. Šiuo kontekstu AEI (ypač saulės, vėjo ir geoterminės energijos) technologijos tampa tikslinga alternatyva, galinčia mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas bei didinti energetinį saugumą. Lietuvoje LTG įmonė atsižvelgdama į tarptautinius įsipareigojimus išsikėlė tikslą tapti klimatui neutralia organizacija. Numatant iki 2030 m. sumažinti bendrą CO₂ dujų kiekį geležinkelių transporte iki 30%, lyginant su 2005 metų duomenimis. Be to, praktinė ES valstybių – patirtis įrodo, kad AEI integracija į geležinkelių sektorių yra ne tik įmanoma, bet ir techniškai bei ekonomiškai naudinga.

Darbo naujumas pasireiškia tuo, kad Lietuvoje dar nebuvo išsamiai atliktas praktinis tyrimas, vertinantis AEI integravimo į iešmų šildymo infrastruktūrą galimybes realiomis sąlygomis. Šis tyrimas pirmą kartą lokaliai apjungia AEI potencialo analizę su konkretaus objekto – Pilviškių stoties iešmyno, klimatinių ir energetinių parametrų įvertinimu, remiantis tiek statistine analize, tiek eksperimentiniais matavimais.

Tiriamąo darbo tikslas: Ištirti atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimą geležinkelio iešmų šildymo sistemoje

Uždaviniai:

1. Atlikti geležinkelio iešmų šildymo sistemų ir atsinaujinančių energijos išteklių jėginių tyrimų literatūros analizę.

2. Atlikti iešmų šildymo sistemų elektros energijos sąnaudų statistinę analizę.
3. Parengti tyrimų metodiką ir atlikti eksperimentinius tyrimus, siekiant nustatyti geležinkelio iešmų šildomų paviršių temperatūras bei elektros energijos sąnaudas.
4. Atlikti oro sąlygų analizę, siekiant geležinkelio iešmų šildymui panaudoti atsinaujinančius energijos išteklius.
5. Ištirti atsinaujinančių energijos išteklių jėgainių integravimo geležinkelio infrastruktūroje galimybes, atsižvelgiant į vietos reljefą ir energetinius poreikius.

Galutinis darbo rezultatas – empiriniais duomenimis pagrįstas modelis, leidžiantis optimizuoti geležinkelio iešmų šildymo sistemų energijos vartojimą, pasitelkiant atsinaujinančios energijos šaltinius, pritaikomas Lietuvos klimatinėmis sąlygomis.

1. Literatūros analizė

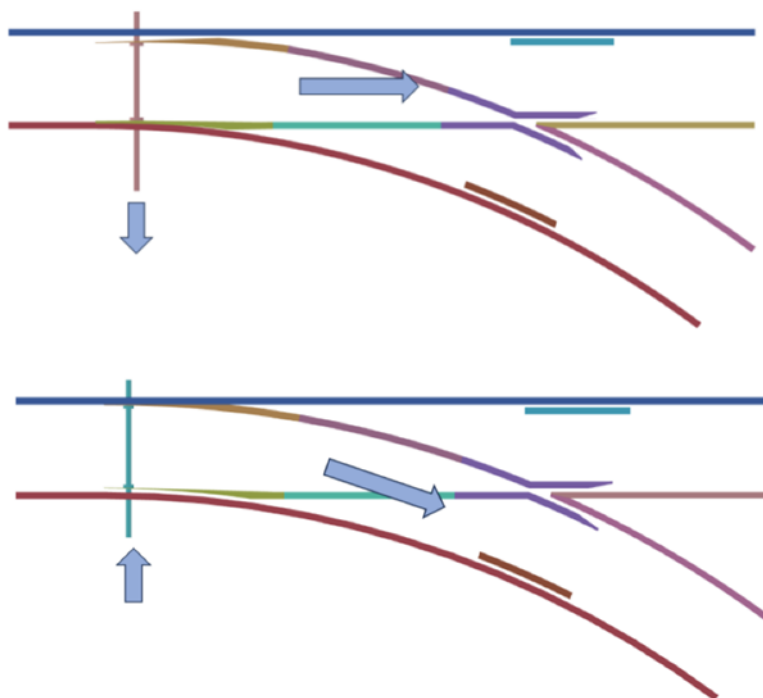
Šio skyriaus pirmoje dalyje bus apžvelgiama geležinkelio iešmų klasifikacija, tipai bei eksploatacijos ypatumai, antroje dalyje bus apžvelgti atsinaujinantys energijos šaltiniai, naudojami geležinkelių sistemų poreikiams tenkinti.

1.1. Temos indentifikavimas

Ši studija yra apie atsinaujinančių energijos šaltinių integraciją į geležinkelio iešmų šildymo sistemą, energijos sąnaudoms mažinti tyrimą, skirtą pasirinktos stoties iešmų sistemai.

1.1.1. Geležinkelio iešmų pagrindai

Vieni svarbiausių geležinkelių tinklų elementų yra iešmai ir kelių pervažos, kurie leidžia traukiniams persijungti ir kirsti kitus bėgius. Nepaisant iešmų būtinumo geležinkelių sistemose, jų patikimumas yra mažesnis nei įprastų bėgių. Kaip pranešama *Network Rail* žurnale, iešmų defektai yra atsakingi už daugumą vėlavimų per 2019–2020 metus. Britanijos geležinkelių tinkle keleivių ir krovinių vežimo paslaugos iš viso vėlavo 481 719 minučių [2]. *Deutsche Bahn* pranešime rašoma, kad 19 % visų vėlavimo minučių Vokietijos geležinkelyje per 2010 metus įvyko dėl iešmų gedimų [3], tuo įrodydami, kad iešmai yra vienas svarbiausių geležinkelio kelio elementų. Pats iešmas – tai susikertančio viršutinės geležinkelio kelio dalies konstrukcinis įrenginys, kaip pavaizduota 1.1 paveiksle, geležinkelio iešmo paskirties principas skirtas nukreipti judantį sąstatą iš vieno kelio į kitą [4].



1.1 pav. Geležinkelio iešmo paskirties veikimo principas [5]

Iešmai klasifikuojami pagal:

- 1) plane išsidėsčiusių ir susijungiančių kelių kiekį;
- 2) bėgių tipus;
- 3) kryžmių ženklus;

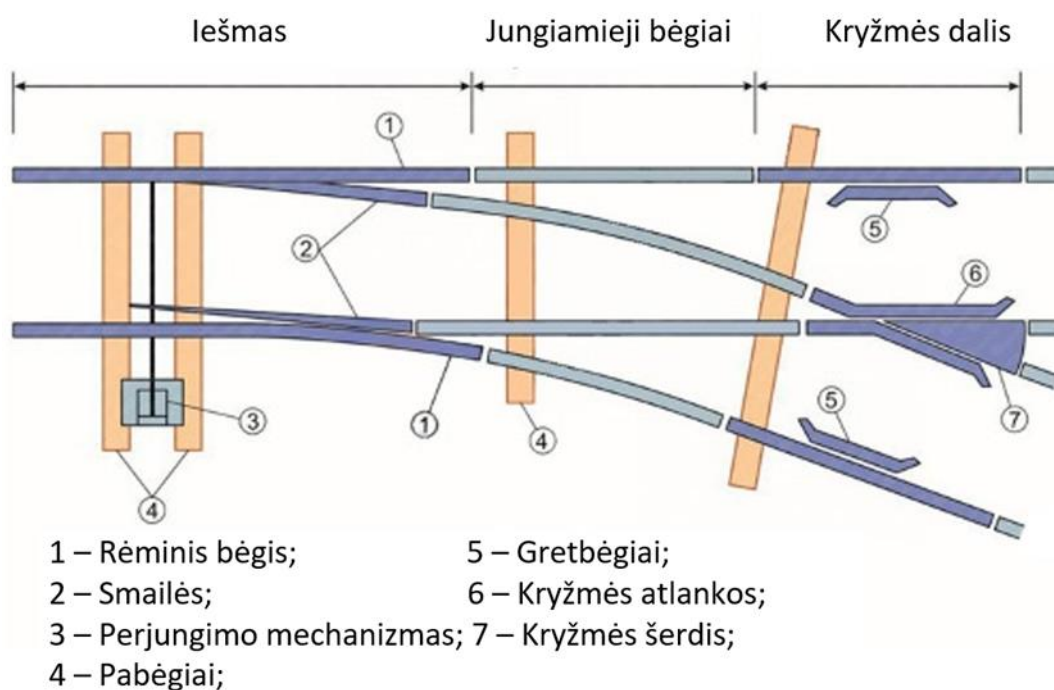
4) konstrukciją.

Pagal plane išsidėsčiusių ir susijungiančių kelių kiekį iešmai skirstomi į šiuos tipus:

- 1) pavienius, kuriuose yra tik viena atšaka nuo pagrindinio kelio;
- 2) dvigubus, kuriuose yra dvi atšakos nuo pagrindinio kelio;
- 3) kryžminius, kurie įrengiami vietose kur du keliai susikerta smailu kampu ir užtikrina sąstato nukreipimą iš vieno kelio į kitą [4].

1.1.2. Pagrindiniai iešmų konstrukcijos elementai

Apibūdinant pagrindinius iešmo konstrukcijos elementus, kurie vaizduojami 1.2 paveiksle, tai yra perjungimo bėgiai, kurie taip pat vadinami smailėmis; rėminiai bėgiai; gretbėgiai; kryžmės atlankos; kryžmės šerdis; iešmų perjungimo mechanizmo, dar vadinamo raktu; pabėgių [6]. O atkarpos, iš kurių jis sudarytas, yra iešmo; jungiamųjų bėgių ir kryžmės dalys [5].



1.2 pav. Geležinkelio iešmo konstrukcijos elementai [5]

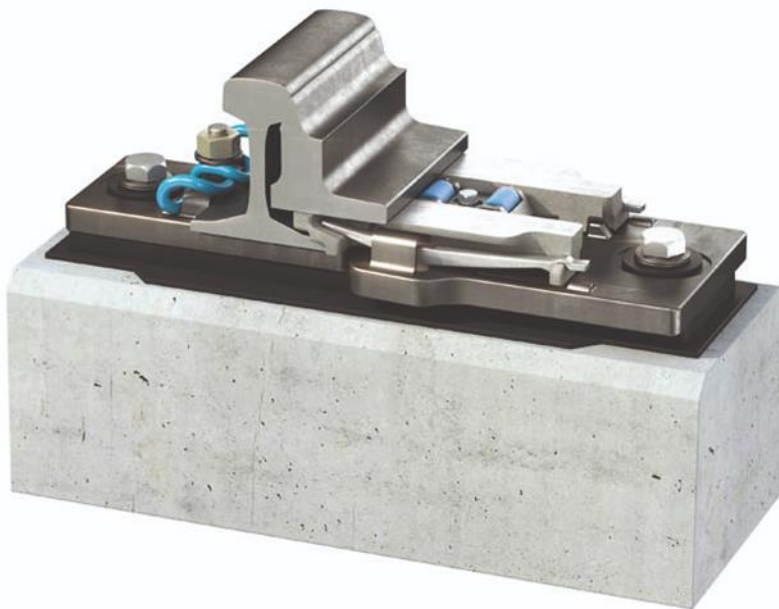
Kaip minima klasikinėje teorijoje, rėminis bėgis yra gaminamas iš standartinio bėgio [13]. Toks bėgis gulintis tiesiame kelyje, yra vadinamas tiesiuoju bėgiu, o gulintis įsikertančiame kelyje – kreive [14].

Rėminiai bėgiai yra bėgiai, esantys šalia iešmo bėgių, prie kurių glaudžiasi smailės, kai jie yra uždaroje padėtyje. Rėminiai bėgiai kitu atveju yra įprasti bėgiai, kurie yra apdirbami, gręžiami ir sulenkiami taip, kaip reikia, kad atitiktų posūkio lanko ir atskirų perjungimo taškų bėgių konstrukciją [7, 9].

Jungiamieji bėgiai prie rėminio bėgio jungiami antšovomis (tvarslėmis), arba suvirinančiomis jungtimis (elektros lanku, arba termitu), atsižvelgiant į lanko tipą.

Smailės, per visą ilgį turi mechanškai nusmailintą galvutę, kad būtų galima liestis su rėminiais bėgiais, taip pat nukreipti palaikyti traukinio ratus [10]. Priglaustos smailės skerspjūvis pavaizduotas 1.3 paveiksle, kuriame matomas rėminio bėgio ir žemo profilio smailės skerspjūvis. Šios smailės

paprastai gaminamos naudojant įprastus bėgius apdirbant specialiomis staklėmis. Būtent smailės prisiglaudimo vietoje prie rėminio bėgio ir kyla didžiausia rizika apledėjimui ir suspausto sniego sangrūdai. Dėl suspausto sniego, arba ledo, iešmas gali prarasti funkcionalumą ir nepriglusti prie rėminio bėgio. Atsiradus kritiniam tarpui tarp iešmo smailės ir rėminio bėgio išauga rizika riedmenų nuriedėjimui nuo bėgių. Šių rizikų prevencijai naudojamos įvairios valymo nuo apledėjimo ir sniego sistemos.



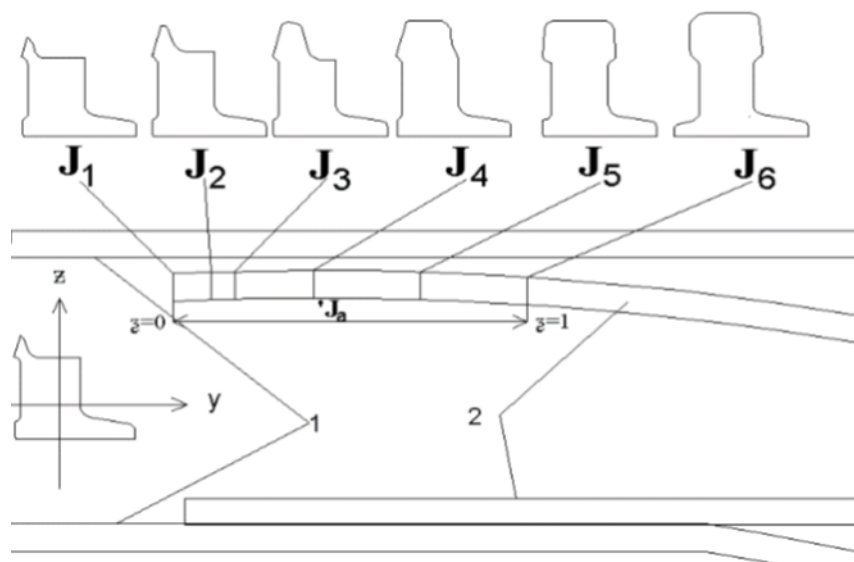
1.3 pav. Rėminio bėgio ir smailės skerspjūvis [13]

Iešmo smailės bėgelis yra paslankus visuose taškuose, išskyrus galą, esantį arčiausiai kryžmės. Iešmų smailės bėgiai tarpusavyje yra sujungti su atramine trauke, kuri leidžia nukreipti kelio kryptį.

Iešmų smailės dar skirstomos į aukšto ir žemo profilio smailės [10, 11]. Aukšto profilio iešmų smailės yra tokio paties aukščio kaip ir rėminis bėgis. Būtent dėl to atsiranda problemų iešmo perjungimo schemoje, nes tokios smailės padas turi būti projektuojamas aukščiau rėminio bėgio pado arba rėminio bėgio pado viena pusė turi būti nupjauta, taip prarandamas rėminio bėgio stiprumas [11]. Todėl tokio profilio smailės yra nebenaudojamos.

Žemo profilio iešmų smailės gaminamos iš specialaus išvalcuoto bėgio, kuris yra žemesnio profilio nei standartiniai bėgiai [12]. Žemo profilio iešmų smailės skerspjūviai pavaizduoti 1.4 paveiksle. Iešmo smailės geometrija aprašyta Mindaugo Simonavičiaus, Marijono Bogdevičiaus moksliniame straipsnyje *Iešmo smailės ir pavaros matematinis modelis* [14].

Žemo profilio iešmo smailės naudojamas tam, kad nereikėtų silpninti rėminio bėgio tose vietose, kur smailė prisiglaudžia prie jo [16]. Tokių iešmų smailių tvirtinimas ties padu yra sudėtingesnis, kadangi šių smailių profilis sužemintas ir jų padas yra aukščiau už pagrindo padą. Bandant supaprastinti sužeminto profilio smailės šaknies tvirtinimą, šios smailės galinė dalis suformuojama presuojant iki standartinio takelio aukščio profilio [15].



1.4 pav. Iešmo smailės profilio geometrija: 1 – rėminiai bėgiai; 2 – iešmo smailės; J1, J2, J3, J4, J5, J6, – iešmo smailės pjūvio profilio geometrija [14]

Greitbėgiai (kontrolinis turėklas) yra trumpi bėgių galai, esantys šalia pagrindinio bėgio priešais iešmo kryžmę. Jie skirti užtikrinti, kad ratai eitų atitinkama jungė per kryžmę, kad traukinys nenuvažiuotų nuo bėgių.

Iešmų perjungimo – valdymo įtaisas, judina iešmų smailių bėgius. Perjungimo smailės galima perkelti iš vienos padėties į kitą rankiniu jungikliu, mechaniniu, arba elektromechaniniu (elektra valdomu) jungikliu [15]. Abiem atvejais valdymo įtaisas yra išdėstyti iešmo pradžioje priešais jungiklio švaistiklius, netoli perjungimo bėgių taškų [15].

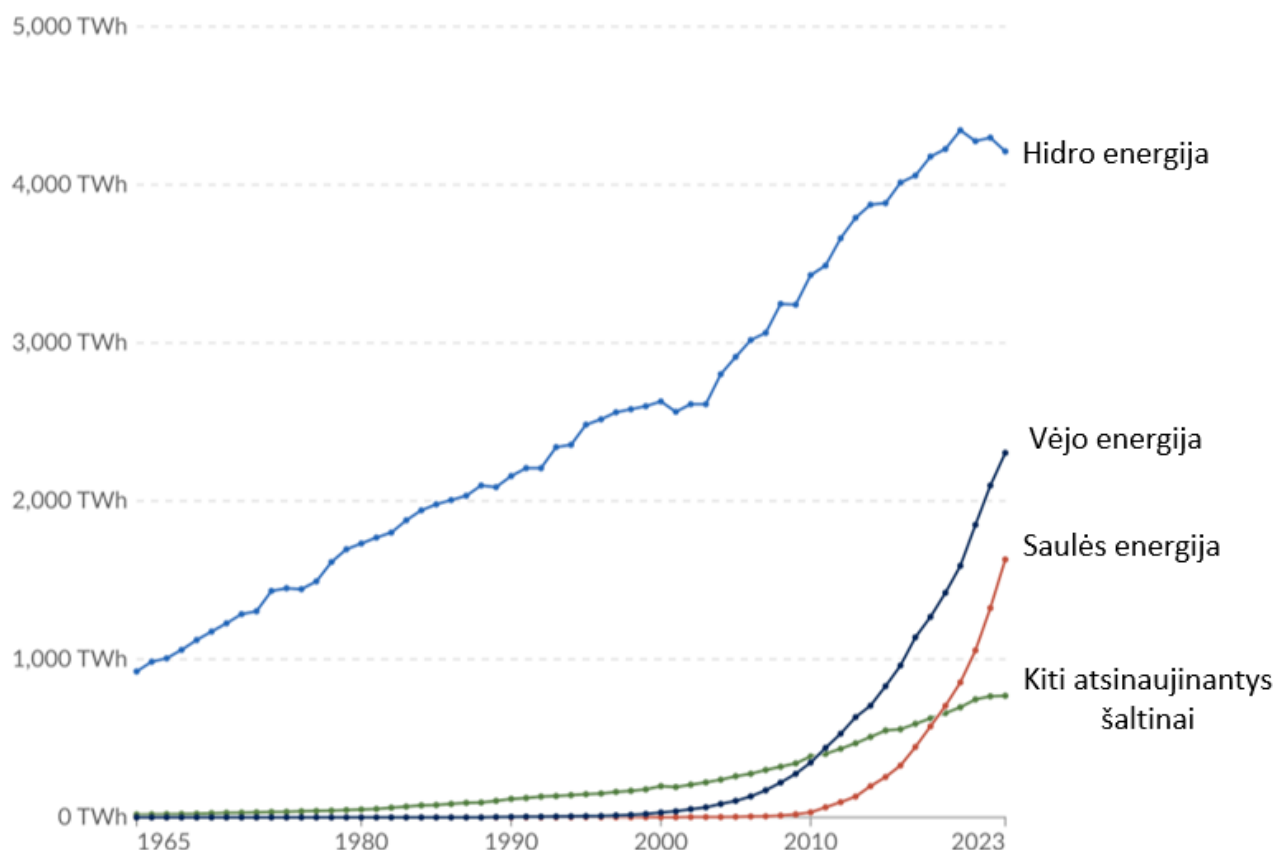
1.2. Atsinaujinančių energijos šaltinių analizė

Atsinaujinanti energija – tai energija, kuri gaunama iš natūralių šaltinių, ir kurie atsinaujina gamtoje greičiu, viršijančiu jos suvartojimą. Tokių nuolat atsinaujinančių šaltinių pavyzdžiai yra saulės šviesa, vėjas, hidroenergija, bioenergija, geoterminė energija, jie visi išvardyti 1 lentelėje [16]. Kaip savo tyrime publikuoja Tze Zhang Ang'as atsinaujinantys šaltiniai priešingai nei iškastinis kuras – anglis, nafta ir dujos, gali suteikti neišsemiamos energijos kiekį, kurios ištekliai yra visur aplinkui mus [17].

1 lentelė. Atsinaujinančių energijos šaltinių rūšys

Atsinaujinantys energijos šaltiniai	Panaudojimas
Vėjo energija	Oro masių srauto judėjimo absorbuojimas panaudojant mentes, kinetinė energija paverčiama į mechaninę,
Hidroenergija	Tekančio vandens kinetinė energija, panaudojant mentes, o stovinčio vandens potencinė energija panaudojant patvanką ir turbinas paverčiama mechanine energija
Saulės energija	Saulės šviesa absorbuojama ir paverčiama tiek šilumine energija, tiek foto elementų pagalba elektros energija
Bioenergija	Augalų biomasės naudojimas biodegalų gamybai ir šiluminiai energijai išgauti, deginant katilinėse
Geoterminė energija	Po žemės paviršium esančios šiluminės energijos išnaudojimas

Energijos generavimas iš atsinaujinančių šaltinių yra susijęs su daug mažesne emisija nei deginant iškastinį kūrą [18, 19]. Jungtinių tautų publikacijoje skelbiama, kad energetikos perorientavimas nuo iškastinio kuro, kuris esamuoju laiku sudaro didžiąją dalį išmetamųjų teršalų emisijos, į atsinaujinančius energijos šaltinius yra labai svarbus norint daryti reikšmingą poveikį, įveikiant susidariusią klimato krizę [20]. Šiandien daugumoje šalių atsinaujinantys energijos šaltiniai yra pigesnė alternatyva ir sukuria tris kartus daugiau darbo vietų nei iškastinis kuras [22]. Apie spartų atsinaujinančių energijos šaltinių technologijų augimą dažnai pranešama moksliniuose straipsniuose, vienas tokių Hannah'as Ritchie's, Maxas Roseris ir Pablo Rosado atliktų tyrimų, kuriame teigiama, kad septintadalis pasaulio pirminės energijos dabar gaunama iš atsinaujinančių energijos šaltinių vaizduoja 1.5 paveikslas diagrama [21].



1.5 pav. Atsinaujinančios energijos gamyba pagal šaltinį, pasaulyje [21]

Linijinė diagramoje matyti, kaip kiekvienas šaltinis keičiasi laikui bėgant. Viso pasaulio perspektyvoje matyti, kad hidroenergiya yra didžiausias atsinaujinantis šaltinis, Tačiau vėjo ir saulės energija taip pat sparčiai auga. Iš diagramos duomenų nustatyta, kad hidro energijos gamyba siekia 4211,01 TWh, vėjo energija 2304,44 TWh, saulės energijos gamyba 1629,9 TWh, o likusiems atsinaujinantiems šaltiniams įskaitant ir bioenergiijos gamybą siekia 768,55 TWh.

1.2.1. Saulės energija

Saulės energija – tai saulės skleidžiama spinduliuotės energija ir viena iš atsinaujinančių energijos rūšių, kurios yra naudojamos visame pasaulyje [22]. Siekdami pagerinti ir sustiprinti SE konversijos efektyvumą, dauguma mokslininkų tyrinėja įvairias technologijas, skirtas optimizuoti SE sistemos efektyvumą [23]. Mokslininkai taip pat optimizuoja išlaidas ir energijos konversiją, kartu mažindami

poveikį aplinkai [24]. Yra du pagrindiniai SE sistemos tipai, tai yra saulės šiluminė energija ir fotovoltinė energija, pastaroji yra dažniausiai įdiegiama besivystančiose ir išsivysčiusiose šalyse. Šias dvi SE sistemas mokslininkai taip pat laipsniškai tobulina, siekdami didesnio efektyvumo [24, 25].

1.2.2. Vėjo energija

Vėjo energija yra antra pagal dydį atsinaujinančios energijos atsinaujinantis išteklius elektros gamybai po hidroenergijos [26] dėl gana paprastos ir lengvos infrastruktūros, ekonomiškumo ir technologijos išsivystymo [27]. Vėjo srautą į elektros energiją paverčia su vėjo mentėmis sukančias turbinas elektrinės. Yra dviejų tipų VJ parkai: sausumos vėjo parkai ir jūros vėjo parkai. Jūroje arba gėlame vandenyje įrengtas vėjo jėgainių parkas yra jūros vėjo jėgainių parko pavyzdys, o sausumos teritorijoje įrengtas vėjo jėgainių parkas yra sausumos vėjo jėgainių parkas [28]. Dauguma vėjo jėgainių yra ant sausumoje, nepaisant to, vėjo jėgainės jūroje sparčiai auga, ypač Europoje [29]. Vėjo parkų vietos parinkimas priklauso nuo vidutinio metinio vėjo greičio, kurio turėtų pakakti apskaičiuotai galiai generuoti. Pavyzdžiui, išsiplėtusi tuščia teritorija su dideliu aukščiu nuo jūros paviršiaus arba jūros pakrantė idealiai tinka sausumos vėjo jėgainėms. Vėjo turbinos gali būti suskirstytos į du tipus pagal jų rotorius ašies kampą Žemės atžvilgiu: horizontalią ašį ir vertikalią ašį.

1.2.2.1. Horizontalios ašies VE

Horizontalios ašies tipo, kuris yra populiariausias vėjo turbinos konstrukcija. Ją sudaro atrama, pagaminta iš plieninio arba betoninio stulpo, gondolos su pasukimo sistema, nukreipiančios vėjo turbiną stačiu atakos kampu į vėją, kuri yra sujungta vėjo turbinos stebulės dalies ir bokšto, rotorius su mentėmis, keitiklio ir pavarų dėžių [30]. Horizontalios ašies vėjo turbinos HAWT yra labiausiai paplitusi vėjo malūno konstrukcija. Dėl labiau išvystytų technologijų ir galimybių, taip pat ilgo sėkmingo veikimo. HAWT pirmenybė teikiama tiek sausumoje, tiek jūroje per pastaruosius 30 metų [31]. Siekiant didinti HAWT galią, būtina atsižvelgti į rotorius dydžio padidėjimą, kuris gali pabloginti vėjo turbinos sistemos veikimą, nes didesnis rotorius dydis turės didesnę svorį nei aerodinaminę apkrovą [32]. Vėjo turbinų svoris gali sukelti vėjo menčių nuovargio problemas, o tai sukelia ciklinę gravitacinę apkrovą [33]. Į šį veiksnį būtina atsižvelgti atliekant techninius skaičiavimus, kad būtų pasiektas didelių HAWT ilgaamžiškumas ir ekonomiškumas.

1.2.2.2. Vertikalios ašies VE

Vertikalios ašies vėjo jėgainės VAWT pasižymi savo sukimosi ašimi, kuri yra statmena žemės plokštumai ir dažniausiai statomos mieste [34]. Lyginant su HAWT, VAWT pasižymi mažesniu veikimo greičiu, geresnėmis paleidimo charakteristikomis, mažesne struktūrine atrama, nereikalauja pasukamojo mechanizmo ir kelia mažiau triukšmo bei turi daugiau galimybių panaudoti vėją iš skirtingų kryptų, lyginant su horizontalios ašies vėjo turbina HAWT [35]. Tačiau VAWT aerodinamikos efektyvumas yra mažesnis nei HAWT. VAWT gali teikti energetinius sprendimus miesto zonoms ir atokioms vietoms, kurios yra nutolusiose nuo pagrindinių skirstomųjų linijų arba vietose, kur dėl aplinkosaugos problemų neįmanoma įdiegti didelės galios vėjo jėgainių parko, ir leidžia veikti tik išsklaidytam elektros energijos gamybos blokams [36]. Mokslininkai analizuoja įvairius naujus VAWT modelius, siekdami padidinti jų naudingumo koeficientą, gerinant jų vėjo absorbciją [37]. Didėjant energijos poreikiams, vėjo energijos gamybos našumui pagerinti siūlomi aukštesni bokštai, didelio efektyvumo generatoriai ir ilgesnės rotorius mentės [38]. Siekiant sumažinti mechaninių komponentų apkrovą, tuo pačiu optimizuoti vėjo energijos, absorbciją esant

mažam vėjo greičiui, naudojami modernūs komunalinio masto vėjo turbinų generatoriai su reguliuojamo žingsnio ir visiškai kintamo greičio reguliavimo sistemomis. Dėl padidintų tinklo reikalavimų tarp generatoriaus ir tinklo dažniausiai naudojamas dalinės arba pilnos vardinės galios keitiklis [39].

1.2.3. Hidroenergija

Hidroenergija yra per ilgus gyvavimo metus patikrintas ir ekonomiškai atsinaujinantis energijos šaltinis, kuriame elektros energija generuojama iš vandens išnaudojant landšaftinius pranašumus, kad iš potencinės energijos virstų į kinetinę. Palyginti su kitais AE šaltiniais, hidroenergija turi didžiausią konversijos efektyvumą, kuris yra apie 90 %, gaminti elektros energiją [40]. Hidroenergija sudaro 20% elektros energijos gamybos visame pasaulyje [41]. Hidroenergetikos sistema gali būti modifikuojama taip, kad atitiktų apkrovos poreikį su maksimaliu našumo koeficientu [42], todėl yra įvairių hidroenergijos tipų, tokių kaip hidroakumuliacinės sistemos, mažoji hidroelektrinė ir retesnės kaskadinės rezervuarinės hidroelektrinės. Kadangi hidroenergija yra konkrečiai vietai pritaikyta technologija, didelių statybos kaštus galima sumažinti planavimo etape tinkamai parinkus vietą ir projektuojant [43]. Hidroelektrinės yra ne tik švari energijos rūšis, bet gali nedelsiant tiekti energiją tinklams, o tai yra lanksti atsarginės energijos forma didelių elektros energijos tiekimo sutrikimų metu. Hidroenergija taip pat teikia daug privalumų, nesusijusių su elektros gamyba, pavyzdžiui, potvynių kontrolę, drėkinimo palaikymą ir vandens tiekimą [43]. Aplinkosauginiu požiūriu palyginti su kitais AE šaltiniais, hidroenergija vienas labiausiai keičiančių upių florą bei fauną. Keičiant užtvankų vandens lygį didėja upių pulsacija bei pakrančių erozija, kas stumia šį AE šaltinį link gamtai pavojingų veiksnių.

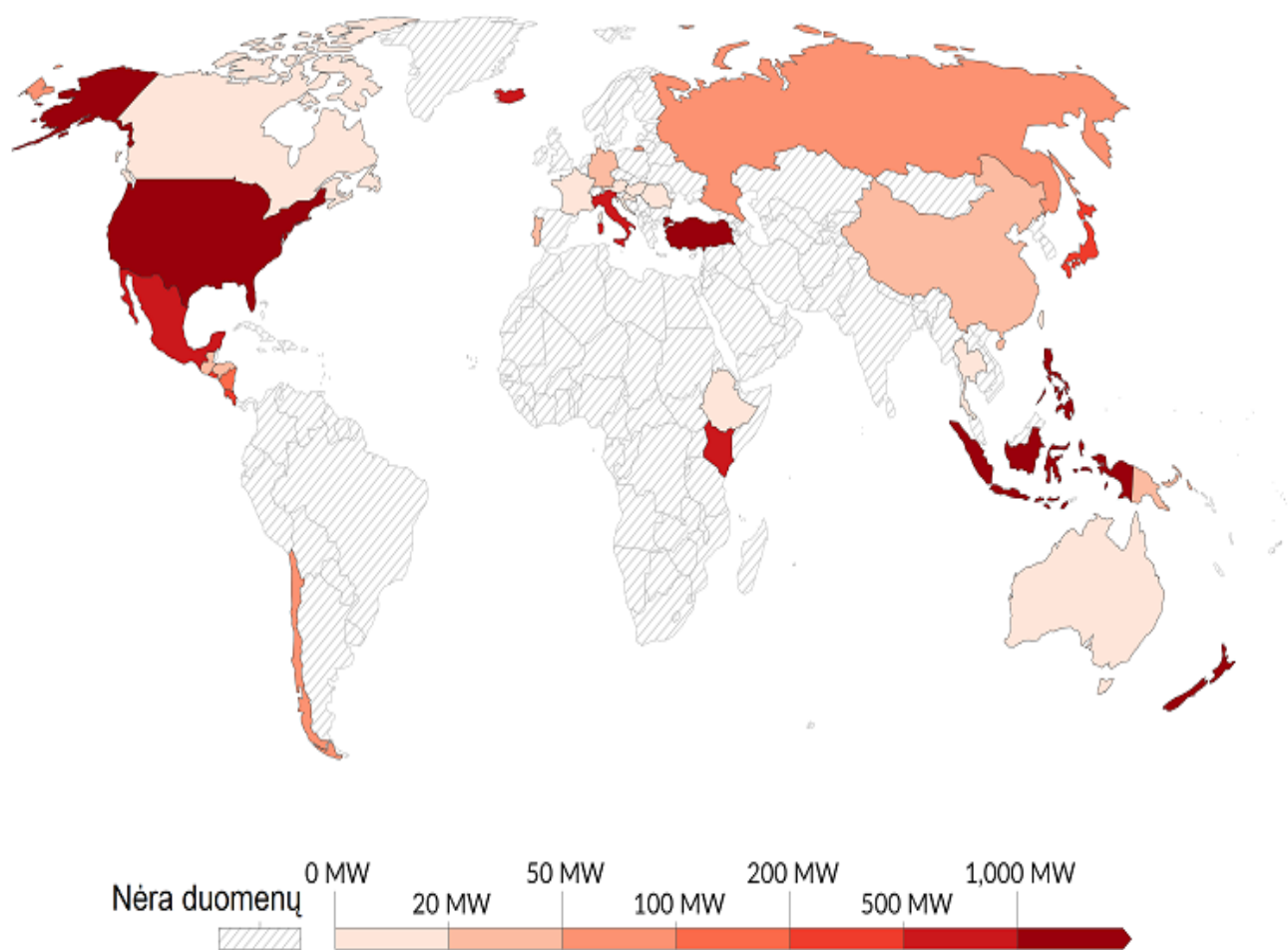
1.2.4. Bioenergija

Bioenergija tapo patraukliu uždaro ciklo AE šaltiniu, prisidedant prie šildymo ir transporto sektoriaus, taip pat aplinkai nekenksmingos elektros energijos gamybos [44]. Bioenergija atsiranda iš biologinių žaliavų, žinomų kaip biomasė, gaunama tradiciniais arba šiuolaikiniais metodais [45]. Tradiciniu būdu bioenergija gaunama iš žemės ūkio subproduktų, tokių kaip kuro mediena, medžio anglis, pasėlių liekanos ir gyvūnų išskyros, kurios vėliau perdirbamos naudoti miesto teritorijoje. Kita vertus, šiuolaikinė bioenergija yra naudojama šilumai ir elektros energijai gaminti keliose pramonės šakose naudojant biodujų, biodyzelino produktus, taikant įvairias biomasės šiluminės konversijos technologijas, tokias kaip karbonizacija, deginimas, dujinimas, deginimas ir pirolizė [46, 47]. Skirtingas terminis apdorojimas skirtingo tipo biomasė turi įtakos gautų produktų savybėms [48]. Biomasės naudojimas biokuro ir biodujų gamybai padeda gerinti sanitariją, sumažinti sąvartynų plotus, gerina atliekų tvarkymo praktiką ir įvairius darnaus vystymosi pasiekimus [49]. Bioenergija yra vystoma tarptautiniuose, nacionaliniuose ir regioniniuose planuose, ypač kaimo, nes ji gali daug resursų skirti kaimiškam vystymuisi auginant paklausą biokuro žaliavų auginimui [50].

1.2.5. Geoterminė energija

Geoterminė energija yra atsinaujinanti šilumos energija, gaunama iš žemės gelmių. Ji atsiranda dėl žemės vidaus karščio nuo radioaktyviųjų medžiagų skilimo; šiluma su vandeniu pakyla prie paviršiaus giliai cirkuliuojant požeminiame vandeniui ir į žemės plutą prasiskverbiant iš didelio gylio išsilydžiusiai magmai [51]. Kai kuriose vietose ši šiluma iškyla į paviršių natūraliomis karštų garų, ar karšto vandens srovėmis, kurios nuo priešistorinių laikų buvo naudojamos maudymuisi ir maisto ruošimui. Gręžiant gręžinius ši šiluma gali būti panaudota iš požeminių rezervuarų baseinams,

namams, šiltnamiams ir elektrinėms tiekti [52]. Geoterminė energija buvo pradėta eksploatuoti 1904 m. Larderello mieste Italijoje su eksperimentiniu 10 kW generatoriumi. Italija liko vienintelė šalis, gaminanti geoterminę energiją iki 1958 m., kai Naujoji Zelandija tapo antrąja šalimi. Vėlesniais dešimtmečiais kitos šalys pradėjo tyrinėti geoterminę energiją. Iki 1975 m. Meksika, JAV, Rusija, Japonija, Islandija ir Kinija tyrinėjo savo gamtines sąlygas geoterminei energijai gaminti (Lund ir kt., 2022). Pagal E. Barbier'io atliktą tyrimą skelbiama, kad 2000 metų Geoterminė elektros instaliuota galia pasaulyje yra 7974 MW, o pagaminama elektros energija yra 49,3 milijardo kWh per metus ir tai sudaro 0,3 % visos pasaulio elektros energijos, kuri 2000 m. buvo 15 342 milijardai kWh [53]. Visą Geoterminės energijos naudojamo potencialo pasiskirstymą pasaulyje iliustruoja 1.6 paveikslas.



1.6 pav. Geoterminės energijos panaudojimas Pasaulyje [21]

Besivystančiose šalyse, kur bendra instaliuota elektros galia vis dar maža, geoterminė energija gali sudaryti reikšmingą dalį visos energijos. Geoterminių šaltinių pagalba elektra gaminama, tik 10–17% naudingumo koeficientu. Geoterminė energijos kWh paprastai yra ekonomiškai konkurencinga su įprastiniais energijos šaltiniais, bet tose vietose kur geoterminiai šaltiniai paviršiniai ir jai išgauti nereikia sudėtingų technologinių sprendimų [54]. Taigi, geoterminės jėgainės tikrai yra gana efektyvios energijos tiekėjos, bet priklausomos nuo regiono ir landšafto, ne visur yra arti paviršiaus karštųjų versmių. Lietuvoje irgi nuo 2004–2017 metų veikė geoterminė jėgainė Klaipėdos rajone, joje buvo naudojamas 38 °C devono sluoksnio vanduo iš 1300 m gylio.

1.3. Ledo ir sniego šalinimas nuo iešmų

Šiame skyriuje bus apžvelgti iešmų šildymo būdai ir kiti geležinkelio sistemoje naudojami sniego ir ledo šalinimo būdai nuo geležinkelio iešmų smailių.

Xiang Liu, M. Rapik Saat, ir Christopher P. L. Barkan'o publikuotame tyrime, *traukinių nuriedėjimo nuo bėgių poveikio ir nelaimingų atvejų analizė* [56]. Traukinių avarijų priežasčių analizė yra labai svarbi norint racionaliai paskirstyti išteklius ir sumažinti avarijų skaičių bei padaromos žalos dydį [57]. Buvo analizuojami 2001–2010 m. laikotarpio traukinių nuvažiavimo nuo bėgių duomenys iš JAV Federalinės geležinkelių administracijos FRA duomenų bazės kiekvienam bėgių tipui, įvertinant avarijų dažnumą ir nuvažiavusių nuo bėgių vagonų skaičių [59]. Buvo atlikta statistinė analizė, siekiant išnagrinėti avarijų priežastis, bėgių tipo ir nuvažiavimo greičio įtaką. Šioje analizėje nustatyta, kad dėl iešmų ir jų komponentų kaltės nuriedėjimo nuo geležinkelio bėgių atvejų dažnis buvo 9 % [56, 58]. Naudinga techninės priežiūros strategija yra sąlyga darniam transporto sistemos vystymuisi. Ekstremalių oro sąlygų poveikis geležinkelių infrastruktūrai gali būti didelis. Taigi, svarbu integruoti naujus kovos su apledėjimu sprendimus ir užtikrinti saugų geležinkelio eksploatavimą [60]. Pagrįsta infrastruktūros priežiūra įgyja sezoniškumą, kad iešmai veiktų tinkamai, ypač žiemą, būtinas priežiūros personalas eksploatuojantis geležinkelio infrastruktūrą [55]. Tai svarbu, nes geležinkelio iešmų pagrindinius elementus kaip pavaizduota 1.7 paveiksle, veikiant nepalankiomis oro sąlygomis gali apledėti.

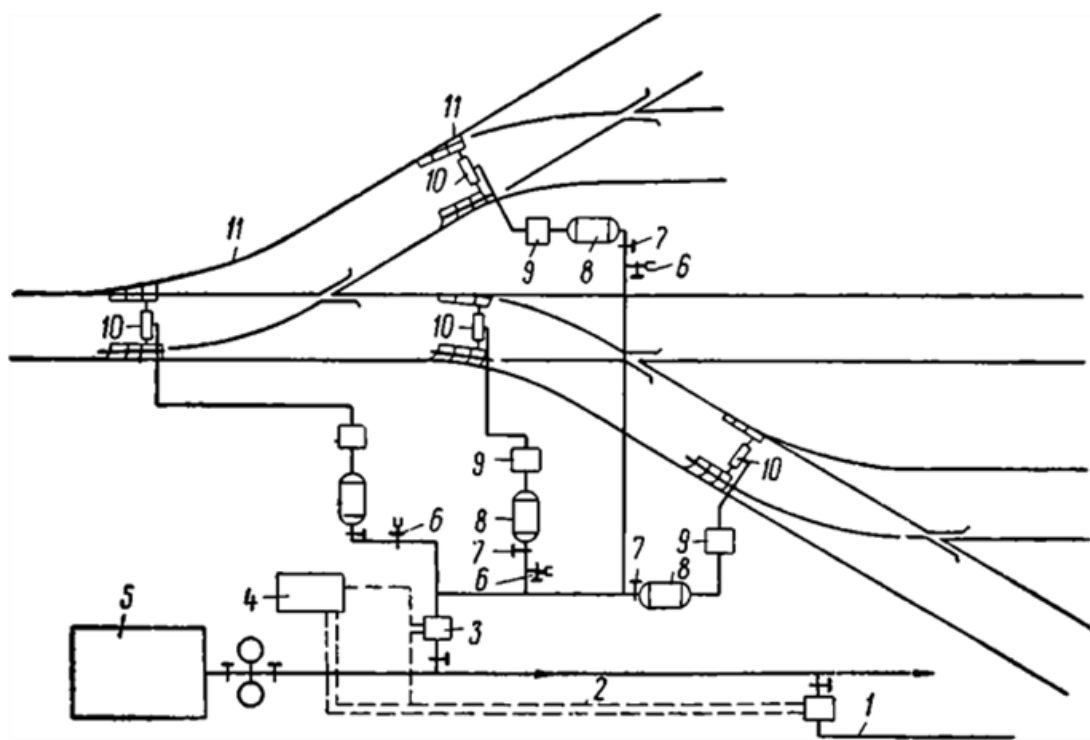


1.7 pav. Apledėjęs geležinkelio iešmas

Šios problemos sprendimo variantas – konstrukciją šildyti, kad tolygiai pasišalintų ledas ir susikaupęs sniegas. Paprastai tam naudojamos dujos, arba elektra, taip pat naudojamas ir suslėgtas oras.

1.3.1. Sniego šalinimas suspaustu oru

Geležinkelio iešmai yra vieni jautriausių geležinkelio ir tramvajaus bėgių elementų, tai sudėtingi techniniai įrenginiai su daugybe mechaninių, įskaitant judančius, komponentų. Šaltuoju metų laiku, sningant ir esant žemai temperatūrai, gali kilti tam tikrų problemų perkeliant smailes į norimą padėtį tiek mechaniniu tiek elektromechaniniu perjungimo mechanizmu. Tokiu atveju elektromechaniniame mechanizme bus fiksuojamas nesukibimas su bėgiu. Dėl to gali perdegti saugiklis, arba perdegti variklis. Siekdami išspręsti tokias problemas, geležinkelio stoties darbuotojai, atsižvelgdami į sniego kiekį ir oro temperatūrą, atlieka planinį bėgių valymą. Kitas šios problemos sprendimo variantas – nuvalyti iešmus, kad tolygiai pasišalintų ledas ir susikaupęs sniegas. Iki 2001 metų LTG sistemoje iešmus valydavo suslėgto oro pagalba. Pneumatinės iešmų valymo sistemos naudojamos dar Ukrainos ir Rusijos teritorijoje esančiuose geležinkeliuose. Tokią sistemą aprašoma ir V. Albrehto, L. Danovskio ir kt. knygoje *Geležinkelio darbai ir mašinos* [61] (54 psl.). Pneumatiniai pūstuvai naudojami periodiškai nupūsti sniegą iš tarpo tarp smailių ir rėminio bėgio. Pūtimo įrenginiai valdomi nuotoliniu būdu iš valdymo pulto, elektros centralizacijos stoties ar specialaus posto. Kaip vaizduojama 1.8 paveiksle, išilgai bėgių tiesiami ortakiai nuo kompresorinių agregatų su atšakomis iki iešmų.



1.8 pav. Principinė oro tiekimo schema geležinkelio kelyne. 1 – iešmyno oro magistralė; 2 – elektros kabelis; 3 – grupinė sklendė; 4 – elektros skydinė; 5 – kompresorinė; 6 – rankinio pajungimo prievadai; 7 – apsauginiai vožtuvai; 8 – rezervuarai; 9 – automatiniai vožtuvai; 10 – iešmų perjungimo mechanizmas; 11 – iešmai [61]

Įprastai naudojami dviejų tipų pneumatiniai pūtimo įtaisai: kai vožtuvai valdomi elektros srove (Giprotranssignalsvyaz instituto projektai) ir suslėgto oro (sistemos, kurias sukūrė F. S. Belichenko). Vienam iešmui nupūsti reikia nedaugiau kaip 3 sekundžių oro srovės impulso. Šioms *Geležinkelio*

darbai ir mašinos [61] knygoje aprašomoms sistemoms, specialiai ortakis klojamas ne mažesnio kaip 1 m gylio tranšėjoje, kurio nuolydis yra nuo 3 iki 5 mm/m oro tiekimo kryptimi. Vidinis skersmuo apskaičiuojamas taip, kad oro slėgis būtų ne mažesnis kaip 5 atmosferos. Žemose ortakio vietose vandens separatoriai ir kondensato prapūtimo vožtuvai įrengiami kas 400 m. Ortakio dalys būtinai padengtos bitumine izoliacija. V. Navicki'is 2007 metais atlikto tyrimo *Iešmų šildymo sistemos efektyvumo tyrimas* metu nustatyta, kad iki 1990 m esama iešmų apipūtimo sistema veikė neefektyviai [62], dėl padidėjusių reikalavimų techninei priežiūrai ir žmogiškiesiems ištekliams. 2001 metais nuspręsta atsisakyti neefektyviai dirbusios sistemos, pakečiant efektyvesne elektronine iešmų šildymo sistema, kurios valdymas distancinis ir pagal galimybes automatinis [62].

1.3.2. Sniego nuo iešmų šalinimas dujomis

Dujiniu šildymu iešmynuose, kur iešmų sistemos šildomos atvira liepsna, kaip pavaizduota 1.9 paveiksle, geležinkelio iešmų šildymas naudojantis dujinių degiklių šildytuvais atvira liepsna.



1.9 pav. Geležinkelio iešmų šildymas dujų degikliais atvira liepsna [63]

Toks iešmų valymo būdas nuo apledėjimo ir sniego, kaip pavaizduota 1.9 paveiksle, šalyse, kuriose žiemos klimato sąlygos yra ypač atšiaurios, o tradiciniai sniego šalinimo metodai, tokie kaip mechaninis valymas ar elektrinis šildymas, tampa ekonomiškai neefektyvūs arba technologiškai sudėtingi [64]. Šio metodo taikymo tikslingumui įvertinti būtina atsižvelgti į kritinių meteorologinių rodiklių (sniego dangos storio, temperatūros, kritulių kiekio) pasiskirstymą bei jų poveikį geležinkelių eksploatacijai [65]. 2012 metais Elzbieta Szychta, Miroslovas Luftas ir Kamilas Kiraga, atlikę regresinę analizę ir vertinant duomenis iš meteorologinių stočių bei geležinkelių eksploatacijos ataskaitų, nustatė, kad dujinis iešmų šildymas dažniausiai naudojamas šiose šalyse [70, 69]:

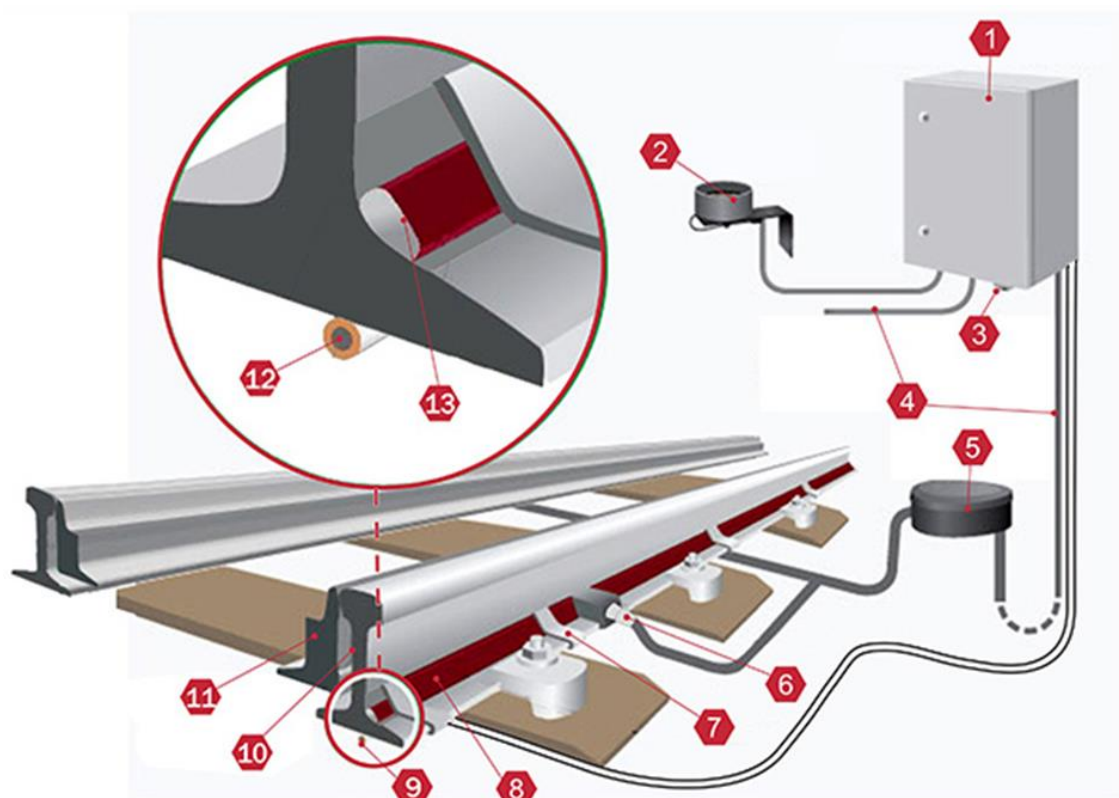
1. JAV – naudojamas atšiaurių žiemų regionuose Montanoje, Minesotoje, Aliaskoje, kur išmatuotas sniego dangos storis dažnai viršija 30 cm, o vidutinė sausio temperatūra siekia -15°C .

2. Kanada – prerijų ir šiauriniuose regionuose, kur vidutinė žiemos temperatūra dažnai siekia -20°C , o kritulių kiekis viršija 200 mm per mėnesį.
3. Rusija – taikomas atšiauriausiose regionuose, ypač Rytų Sibire, kur vidutinė žiemos temperatūra nukrenta iki -30°C .
4. Skandinavijos šalys: Švedija, Norvegija, Suomija – kai kuriose geležinkelių atkarpose, kur alternatyvūs šildymo būdai ekonomiškai neatsiperka dėl žemo traukinių eismo intensyvumo.
5. Vokietija, Šveicarija, Austrija – kalnuotose vietovėse, kur sniego sankaupos gali būti itin gausios, o elektrinis šildymas nėra įrengtas dėl infrastruktūros apribojimų.

Dujų sistemos šildymas pasižymi dideliu šiluminiu efektyvumu. Dujų degikliai pasiekia galingumą iki 1000 W bėgių metrui [66]. Dar vienas iš dujinių variantų kaip aiškinama M. Kozlovo geležinkelio stočių ir mazgų projektavimo metodiniame vadove [71]. Kitaip nei atviros liepsnos šildytuvuose, infraraudonųjų spindulių degikliuose dujos dega ant spinduliuojančio paviršiaus (keraminio antgalio) plonu sluoksniu be matomos liepsnos [71]. Ilgalaikėje dujinio šildymo taikymo tendencijos mažėja dėl aplinkosauginių reikalavimų griežtėjimo bei alternatyvių technologijų, tokių kaip elektrinis ar indukcinis šildymas, plėtros [67, 68].

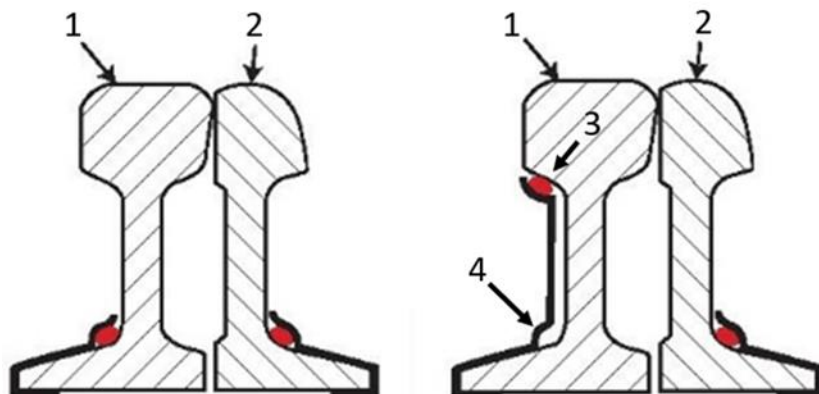
1.3.3. Iešmų valymas nuo apledėjimo šildant elektra

Elektrinis Geležinkelio iešmų šildymo elektra, tai vienas paprasčiausių ir efektyviausių šildymo būdų [62]. Panaudojant specialų varžinį elektros kabelį kaip pavaizduota geležinkelio iešmo šildymo principinėje schemoje, pavaizduotoje 1.10 paveiksle sukurama efektyvi šildymo sistema [72].



1.10 pav. Geležinkelio iešmo šildymo sistemos principinė schema: 1 – šildymo sistemos valdymo spinta; 2 – kritulių jutiklis; 3 – oro temperatūros jutiklis; 4 – maitinimo kabelis; 5 – kabelių paskirstymo dėžė; 6 – apsauginė rankovė; 7 – kaitinimo elemento laikikliai; 8 – kaitinimo elementas; 9 – daviklis; 10 – bėgis; 11 – iešmo smailė; 12 – bėgio temperatūros jutiklis; 13 – kaitinamasis elementas [72]

Tokia sistema kaip pavaizduota 1.11 paveiksle naudojama ir Lietuvos geležinkeliuose. Kabelių sistemų tiesimo ir technologijų bendrovių specialistai projektuoja ir diegia iešmų šildymo sistemas glaudžiai bendradarbiaujant su geležinkelio įrenginių ir sistemų gamintojais. Tai leidžia naudoti nestandartinius techninius sprendimus, atitinkančius kiekvieno konkretaus objekto poreikius. Kaitinamo elemento pozicionavimas ant iešmo ir bėgio vaizduojamas 2.5 paveiksle [72], kai kaitinamasis kabelis prispaudžiamas prie bėgio specialiu laikikliu.



1.11 pav. Kaitinimo elemento pozicija bėgio ir iešmo skerspjūvyje [72]. 1 – rėminis bėgis; 2 – iešmo smailė; 3 – kaitinamasis elementas; 4 – kabelio fiksatorius

Paprastai iešmų šildymo elementai įrengiami ir iešmų perjungimo redukcijos pavaros dėžėje, kad būtų užtikrintas netrukdomas švaistiklio ir darbinių svirčių veikimas. Geležinkelio pervažų šildymo sistema savo konstrukcija, komponentais ir valdymu yra panaši į iešmų šildymo sistemą [62, 73, 74].

Šiuo metu į geležinkelio sistemas pradedama palčiai diegti elektrines šildymo sistemas su savaime reguliuojamu šildymo elementu, kuris susideda iš dviejų lygiagrečių magistralės laidų, įterptų į šildymo matricą, legiruotą anglies dalelėmis [62, 75]. Kai eksploatacijos kaitinimo elemento temperatūra pakyla, molekulinė plėtra padidina atstumą tarp anglies dalelių. Varžai didėjant, elektronų srautas sumažėja. Kai temperatūra nukrenta, varža sumažėja, procesas yra atvirkštinis ir našumas didėja [75].

Indukcinis šildymas tai dar vienas iešmų šildymo būdas, kuris buvo aprašytas ir išbandytas dar 1978–1979 metais Lenkijoje. Tipinis iešmų indukcinės sistemos elementas, indukcinė ritė, kuri pavaizduota 1.12 paveiksle [76].



1.12 pav. Indukcinė ritė: 1 – pagrindinis bėgis; 2 – indukcinės ritės įrenginys; 3 – iešmo smailė [76]

Paveiksle matoma dalis yra viršutinė plokštė, kuri yra kaip radiatorius, aušinamasis indukcinės ritės paviršius, perduodantis šilumą į sąlyčio su šildomu paviršiumi vietą. Ritė dedama į specialų dėklą po plokštę [76]. Esant tradiciniam varžiniam šildymui srovės srautas atsiranda dėl įtampos tiekimo į šildymo elementus. Priešingai, indukcinio šildymo metu srovės indukuojamos dėl elektromagnetinės indukcijos [77]. Darbas prie šios sistemos ir jos paraiška buvo nutraukta, nes tuo metu nebuvo pakankamai technologinių išteklių. Čia aptarta indukcinio šildymo bandymo medžiaga, vis dar išlikusi tuometinio COBIRTK (angl. *Centre for Rail Engineering*) Instituto archyve, kuris šiuo metu pavadintas IK (Instytut Kolejowy) [70]. Šis iešmų šildymo tipas nėra įprastas. Tačiau šiuolaikinės technologijos gerokai sumažino indukciniam įrenginiui reikalingų elektroninių modulių kainą, todėl jis tapo patrauklesnis taikymui pramonėje. R. Żelazny ir kitų mokslinių bendradarbių atliktame tyrime apie geležinkelio iešmų indukcinio šildymo prietaiso prototipo veikimą [76], varžiniai ir indukciniai įtaisai buvo išbandyti atsižvelgiant į ledo kubelio lydymosi laiką, temperatūrą ir energijos suvartojimą. Iš tyrimo laboratorinėmis sąlygomis nustatė, kad indukcinis įrenginys sunaudoja mažiau energijos 30–60 %, palyginti su varžiniu. Duomenys iš publikuoto straipsnio pateikti 2 lentelėje [76].

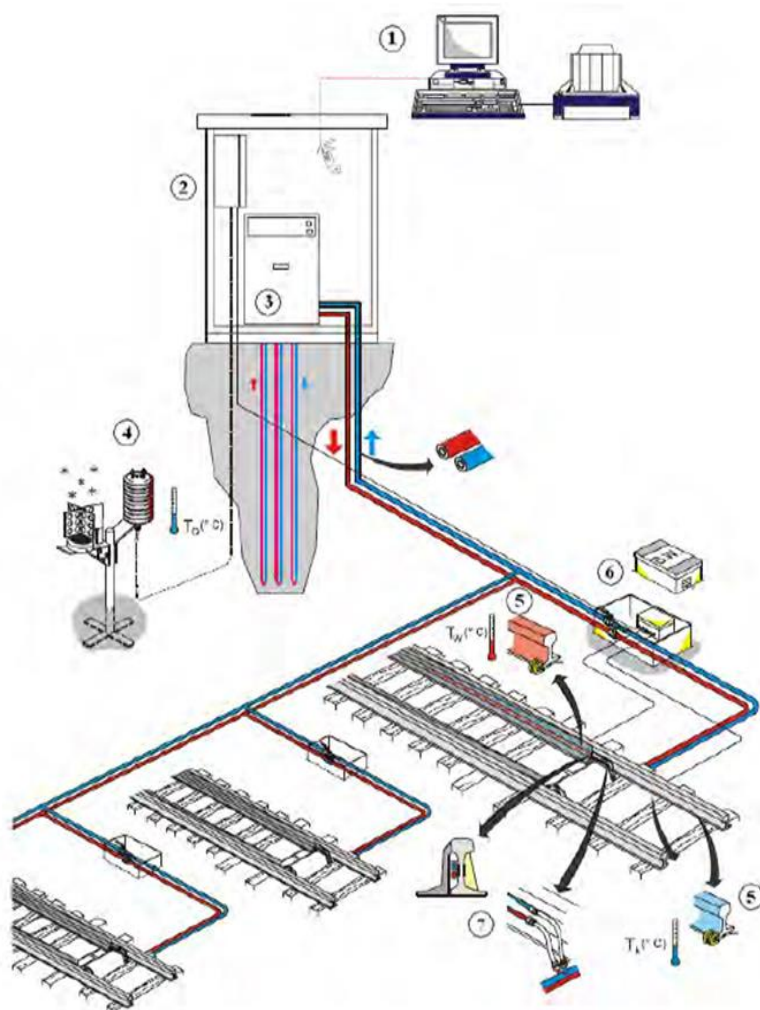
2 lentelė. RH ir IH įrenginių lygiavertės energijos sąnaudos tirpstant ledo gabalėliui

	RH įrenginys	IH, 40 kHz	IH, 50 kHz	IH, 60 kHz	IH, 65 kHz	IH, 70 kHz	IH, 80 kHz	IH, 90 kHz
Temperatūra 0 °C, 3 IH įrenginiai								
Energija, kWh	0,422	0,139	0,135	0,137	0,135	0,112	0,122	0,122
IH/RH energija, %		33	32	33	32	28	29	29
Temperatūra 0 °C, 6 IH įrenginiai								
Energija, kWh	0,422	0,278	0,27	0,275	0,271	0,236	0,243	0,243
IH/RH energija, %		66	64	65	64	56	58	58
Temperatūra –10 °C, 3 IH prietaisai								
Energija, kWh	0,715	0,174	0,168	0,16	0,162	0,155	0,164	0,174
IH/RH energija, %		24	23	22	23	22	23	24
Temperatūra –10 °C, 6 IH įrenginiai								
Energija, kWh	0,715	0,349	0,336	0,321	0,325	0,310	0,329	0,348
IH/RH energija, %		49	47	45	45	43	46	49

Pateikti tyrimo duomenys priklauso nuo naudojamo dažnio, pradinės temperatūros ir indukcinio įtaiso skaičiaus, kuris laikomas lygiavėriu varžiniam [78, 79]. Indukcinis iešmų šildymas taip pat suteikia trumpesnę reakcijos laiką, kuris gaunamas esant 40–70 kHz dažniams [76, 80]. Elzbieta Szychta ir Leszek Szychta atliktas eksperimentinis bandymas su identiška elektros galia, tiekama abiem iešmų šildymo sistemoms, leidžianti daryti išvadas, kad indukcinio šildymo metu aktyvioji energija, tiekama į induktorių, paverčiama šilumine energija slydimo plokštėje, iš kurios ji prasiskverbia tiesiai į tarpą tarp iešmo ir pagrindinio bėgio, taip prisidedant prie sniego tirpimo [70, 81]. Neefektyvus šilumos išsisklaidymas yra minimalus [81]. Esant indukciniam šildymui judančių iešmo dalių tepimo sąlygos yra geresnės. Indukcinio šildymo temperatūros padidėjimo dinamika yra didesnė, o tai pagerina ruošinio reakciją į valdymo sistemos nustatytas temperatūras ir prisideda prie efektyvesnio sniego tirpimo [81]. Maksimalus temperatūros padidėjimas indukcinio šildymo metu

užtikrina nuolatinį šildymo sistemos veikimą esant žemesnei aplinkos temperatūrai nei esant varžiniam šildymui.

Apibendrinant reikėtų pasakyti, kad šie rezultatai rodo didesnę efektyvumą indukcinio šildymo sistemos naudai nei varžinio. Verta paminėti ir apie geoterminės energijos iešmų šildymo sistemą, kurios principinė schema pavaizduota 1.13 paveiksle. Tai labai retai pasitaikantis, iešmų šildymo būdas rytų Europoje. Geoterminis šildymas, kuriame šilumos siurblys yra šios sistemos pagrindinis elementas. Priklausomai nuo sezono ir gruntinio gylio, dirvožemio temperatūra gali svyruoti nuo 4 iki 8 °C. Jeigu gruntinis gylis daugiau nei 15 m žemiau žemės lygio, sezoninė priklausomybė susijusi su šilumine skvarba nutrūksta, o temperatūra nuolat būna apie 8–10 °C [70].

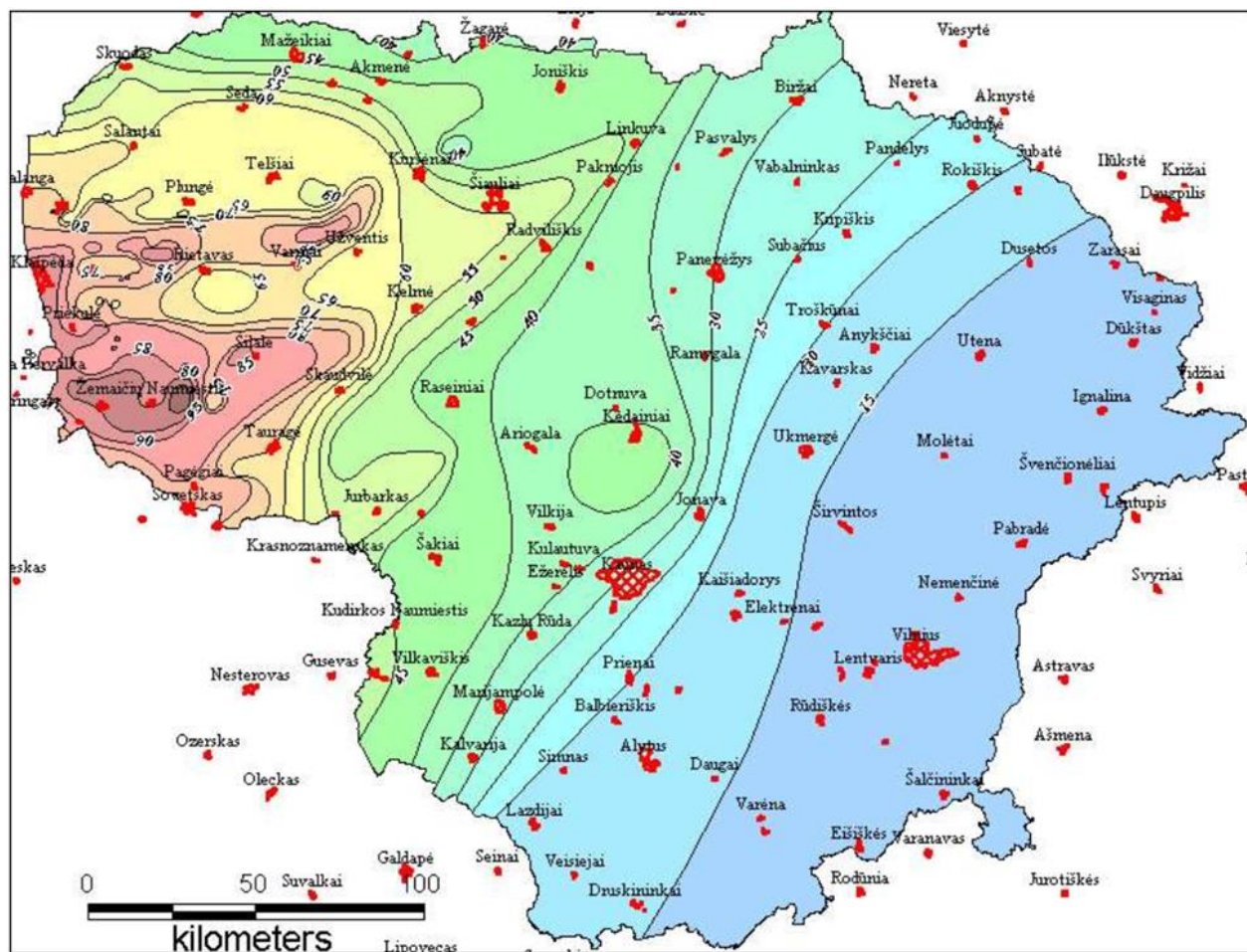


1.13 pav. Geoterminio iešmų šildymo sistema: 1 – stebėjimo ir valdymo sistema; 2 – siurblinė; 3– šilumos siurblys; 4 – aplinkos temperatūros jutiklis; 5 – bėgio temperatūros jutikliai, 6 – jungiamoji dėžutė, 7 – šilumokaičiai (šildytuvai) [70]

Šilumos siurblio veikimo principas pavaizduotoje sistemoje kaip šaldytuvų, kurie naudojami karštosios, o ne šaltosios fazės šilumos mainų ciklu. Tinkamas darbo agentas (nekenksmingos dujos R497C) [70], yra suspaudžiamas ir po to išplečiamas, todėl susidaro pageidaujamas šildymo arba vėsinimo efektas. Naudingos šilumos generavimui, pavyzdžiui, iš dirvožemyje arba gruntinių vandenų šiluma (esant maždaug 10 °C temperatūrai) panaudojama eksploataciniam agento garinimui, kuris verda žemoje temperatūroje. Taigi, iš pradžių suskystintas darbo agentas palieka garintuvą (šilumokaitį grunte esančio kolektoriaus pusėje) kaip dujas. Tada dujos suspaudžiamos ir

kondensuojamos kondensatoriuje (šilumokaityje) esant aukštai temperatūrai (50–60 °C), susidaro kondensatas ir suspaudimo šilumą į termofikatą, esantį šildymo įrenginyje. Vis dar spaudžiamas darbinis agentas vėliau išspaudžiamas vožtuve ir patenka į žemo slėgio sekcija, taip dar kartą inicijuodamas darbo ciklą [70]. 2011 m. Geležinkelio stotyje Rusijoje Dacha Dolgorukova (PCH-14) buvo įgyvendintas bandomasis Vokietijoje pagamintos geoterminio šildymo sistemos projektas iešmams. Ši novatoriška sistema iešmų šildymui, naudojant geoterminę technologiją leido sumažinti energijos sąnaudas 60 %, palyginti su klasikine šildymo sistema [82, 83], bet šios šildymo sistemos atsiperkamumo laikas labai ilgas ir sistema netinkama, kur žiemos sezono metu temperatūra nukrinta žemiau -15 °C, nuo -12 °C sistemos efektyvumas nukrenta 80 % [82].

Lietuvoje taikant šį metodą galima perspektyvia laikyti teritoriją, kurioje kambro sluoksnio temperatūra viršija 30 °C. Pagal S. Šliaupos ir kitų kolegų atliktus tyrimus [84], Kambro vandeningo sluoksnio temperatūrinis pokytis svyruoja nuo 14 °C Rytų Lietuvoje iki 96 °C Vakarų Lietuvoje, kaip pavaizduota 1.14 paveiksle, jame matomas Lietuvos vandeninio sluoksnio temperatūrinis pasiskirstymas.



1.14 pav. Kambro vandeninio sluoksnio temperatūrų pasiskirstymas [84]

1.14 paveiksle matyti pereinamoji izoterma, einanti Marijampolės–Kauno–Kupiškio linija. Ypatingai geros geoterminės zonos yra centrinėje ir pietinėje Vakarų Lietuvos dalyse, kur temperatūra vietomis viršija 80 °C. Pilviškių miestelio teritorijoje darytų gręžinių duomenys pateikti Kambro gręžinių duomenų 3 lentelėje, kurioje matyti darytų gręžinių 36–43,9 temperatūros [84].

3 lentelė. Kambro gręžinių duomenys

Gręžinys	Kraigas m	Temperatūra, °C	Gręžinys	Temperatūra, °C
Ablinga-2	2103	89,5	Navikai-1	11,5
Ablinga-4	2134	72	Nida-1	70
Akmenė-71	1594	40,2	Pajūris-1	80,7
Aukštupiai-1	1854	80,1	Paluknė-1	58,4
Aukštupiai-2	1861	73,8	Pašaltuonis-94	46,8
Bliūdžiai-150	1402	49,8	Pilviškiai-140	38
Darius-1	2050	66	Pilviškiai-141	43,9
Diegliai-1	1975	82	Pilviškiai-143	36

Šilumos kiekis iš gręžinio apskaičiuojamas iš gręžinio išgaunamo ir gražinamo atgal vandens skirtumo ir debito. Gręžinio šiluminės energijos ištekliais apskaičiuoti naudojama (1) formulė [84]:

$$Q = c \cdot V \cdot \rho \cdot (t_1 - t_2); \quad (1)$$

čia Q – šilumos kiekis, GJ;

c – savitoji vandens šiluma, J/kg·°C;

V – vandens tūris, m³;

ρ – vandens tankis, kg/m³;

t_1 – paimamo geoterminio vandens temperatūra, °C;

t_2 – gražinamo geoterminio vandens temperatūra, °C.

Kadangi geoterminio vandens temperatūra kylant aukštyn neišvengiamai vėsta. Todėl, įvertinant gręžinio geoterminės energijos potencialą svarbu žinoti ne tik kolektoriaus temperatūrą, bet ir įvertinti temperatūros nuostolių mastus. Šiam efektui nustatyti naudojama (2) formulė [84, 85]:

$$t_g = t_o + \Omega \cdot (t_{sl} - t_o) - 0,001 \cdot H; \text{ °C} \quad (2)$$

čia t_g – pakelto atvėsusio vandens temperatūra, °C;

t_o – oro temperatūra, °C;

Ω – temperatūrų skirtumo koeficientas 0,9;

t_{sl} – eksploatuojamo sluoksnio temperatūra, °C;

H – eksploatuojamo sluoksnio gylis, m.

1995 metais atlikus Kybartų–Virbalio bei Vilkaviškyje detalius geologinius, techninius ir ekonominius skaičiavimus, buvo parengtas planas vokiečių įmonei Geotherm Neubrandenburg atlikti geoterminių jėgainių projektavimą [86, 87]. Projektas nebuvo įgyvendintas.

1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

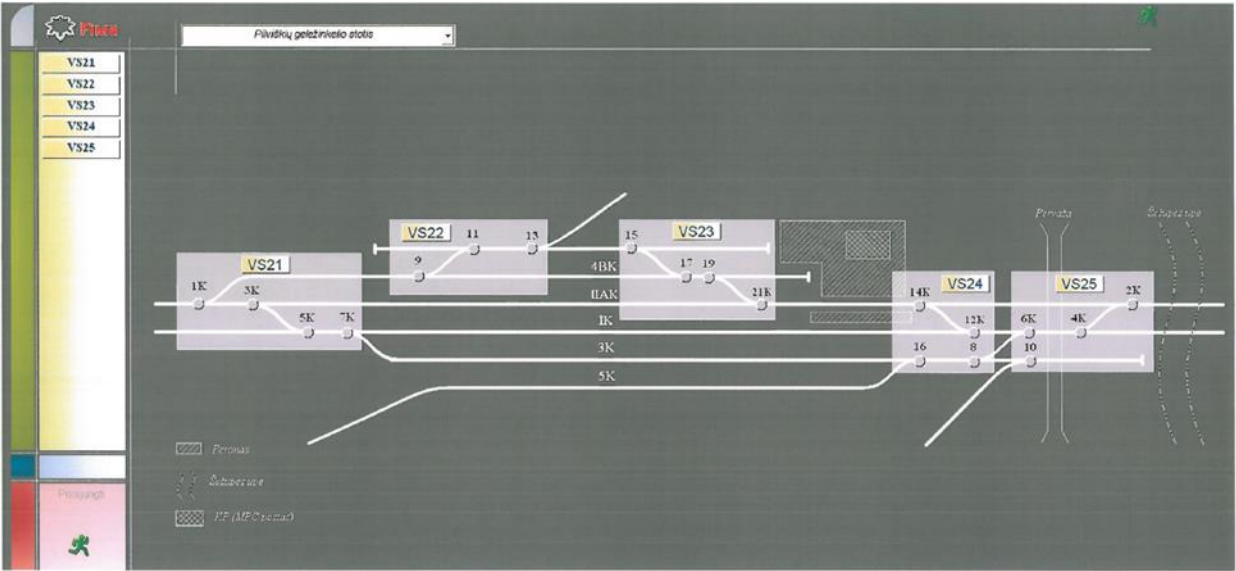
Atliekant literatūros apžvalgą nustatyta, kad geležinkelio iešmai – tai esminiai geležinkelio infrastruktūros komponentai, lemiantys traukinių eismo valdymo lankstumą, tačiau pasižymintys didesniu gedimų dažniu nei likusieji kelyno bėgiai. Šaltiniuose nurodoma geležinkelio iešmų struktūra, kurią sudaro perjungimo mechanizmai, smailės, kryžmės bei kiti elementai, kurių eksploatacija reikalauja nuolatinės priežiūros, ypač šaltojo sezono metu. Atšalus orams iki neigiamų

temperatūrų, iešmai tampa jautrūs sniego ir ledo kaupimuisi tarpuose tarp rėminio bėgio ir smailės, todėl kyla didelė rizika funkciniam sutrikimams. Apledėjimo prevencijai, šaltiniuose aprašomi įvairūs Pasaulyje naudojami valymo nuo apledėjimo sprendimai, tai suslėgto oro pūtimo, šildant bėgius atvira liepsna, iki novatoriškų indukcinio šildymo sistemų technologijų. Analizuojant pastarąją technologiją šaltiniuose nurodoma, kad indukcinis šildymas, veikiantis 60 kHz dažniu, pasiekia 70 % efektyvumo lygį lyginant su varžiniu šildymu esant -10 °C aplinkos temperatūrai. Tuo pat metu, siekiant mažinti energijos sąnaudas bei CO₂ emisijas, svarstoma AEI integracija į iešmų valymo nuo apledėjimo sistemas. Literatūroje apžvelgiamos pagrindinės AEI rūšys, naudojamos Pasaulyje bei Lietuvoje. Apžvelgta saulės, vėjo, hidroenergija, bioenergija ir geoterminė energija, vertinant jų konversijos efektyvumą, infrastruktūrinius reikalavimus bei tinkamumą skirtingoms geografinėms zonoms. Geoterminis šildymas, nors ir energetiškai efektyvus (ypač regionuose, kur kambro sluoksnio temperatūra viršija 60 °C), pasižymi ilgais atsiperkamumo laikotarpiais ir žymia efektyvumo degradacija esant ekstremaliai žemai temperatūrai. Ypatingas dėmesys skiriamas vėjo jėgainėms ir saulės modulių diegimui. Apibendrinant, AEI panaudojimo tyrimai geležinkelių kontekste atskleidžia potencialą ilgalaikiai energetinei nepriklausomybei ir ekologiniam efektyvumui. Technologiniai sprendimai reikalauja kruopštaus pritaikymo prie vietinių sąlygų ir patikimumo žiemos eksploatacijos metu.

2. Tyrimo metodika

Šiame skyriuje aprašoma natūrinio tyrimo, kuris buvo atliktas 2024 metais vasario 10 dieną, 9:00 val. ryto Pilviškių geležinkelio stoties kelyne, metodika [88].

Tyrimas atliktas Pilviškių geležinkelio stoties kelyne, kuris pavaizduotas Pilviškių stoties kelyno schemoje 2.1 paveiksle, siekiant nustatyti geležinkelių iešmų šildomų paviršių temperatūras, nustatant iešmų šildymo efektyvumą.



2.1 pav. Pilviškių geležinkelio stoties kelyno schema

Stoties kelyno iešmai suskirstyti į penkias grupes: VS21, VS22, VS23, VS24 ir VS25, 2.1 paveiksle pažymėtos šviesiai pilkomis zonomis, kurios žymi ir energijos paskirstymo pastotes, paskirtas būtent tai pažymėtai grupei iešmų. Visi iešmai, kurie jungiasi į pagrindinius kelius, prie savo identifikacijos numerio turi K simbolį. Iešmų valymo nuo sniego ir apledėjimo sistema valdoma rankiniu ir automatinio režimu. Abu valdymo režimai turi teigiamų ir neigiamų savybių, jos pateiktos iešmų valymo režimų 4 lentelėje.

4 lentelė. Iešmų valymo režimų savybės

Valdymas	Teigiamos savybės	Neigiamos savybės
Automatinis	Didelis efektyvumas esant įvairiems kritulių kiekiams Tinkamumas labai apkrautoms atšakoms	Aukštos energijos sąnaudos, jei sistema nėra tinkamai optimizuota Techninės priežiūros sudėtingumas
Rankinis	Energetinis efektyvumas mažo kritulių kiekio sąlygomis Tinkamumas mažai naudojamoms atšakoms	Reikia nuolatinės žmogaus intervencijos Neefektyvumas labai apkrautose atšakose Žmogiškųjų klaidų tikimybė

4 lentelėje aprašoma, kad rankinis valdymo režimas pasižymi didesniu energetiniu efektyvumu ir operatyviniu lankstumu, ypač taikant jį mažo eksploatacinio intensyvumo geležinkelio atšakose bei esant minimaliam kritulių kiekiui. Tačiau jo taikymas intensyviai eksploatuojamose linijose pasižymi uždelstu atsaku į dinaminčius meteorologinius pokyčius. Priešingai nei rankinis valdymas, automatinis valdymo režimas užtikrina aukštą sistemos adaptaciją labiau naudojamose geležinkelio atšakose, eliminuodamas žmogiškųjų klaidų rizikas ir užtikrindamas infrastruktūros patikimumą. Vis dėlto,

automatinio režimo veikimo energetinis intensyvumas lemia padidėjusias eksploatacines sąnaudas, o perteklinis aktyvumas, esant mažam kritulių kiekiui ar retai naudojamose atšakose, mažina ekonominį efektyvumą, tam naudojama automatizuota sistema su realiuoju laiku veikiančia meteorologinių sąlygų analize, kad būtų užtikrintas optimalus iešmų funkcionalumas. Oro sąlygoms, krituliams, vėjo greičiui ir oro temperatūrai stebėti, iešmyne šalia dviejų automatizuoto valdymo spintų VS25-M4 ir VS21-M4 sumontuotos AMS stotys, kurių nuotraukos įkeltos darbo gale 4 priede, Pilviškių geležinkelio stoties iešmyno AMS. Duomenys iš AMS perduodami į valdymo spintas, kur, remiantis esamomis oro sąlygomis, nustatomas iešmų šildymo sistemos veikimas.

Šildymo elementų ilgiai ir galios, taip pat ir vardinės srovės surašytos 5 lentelėje. Visi lentelėje pateikti duomenys surinkti iš principinių „LG 08-KAU-KYB-05-09-DP-EŠ.BR-02.2“ „LG 08-KAU-KYB-05-09-DP-EŠ.BR-03.2“ „LG 08-KAU-KYB-05-09-DP-EŠ.BR-04.2“, „LG 08-KAU-KYB-05-09-DP-EŠ.BR-05.2“, „LG 08-KAU-KYB-05-09-DP-EŠ.BR-06.2“ elektros schemų. Iešmo VS25 elektros schema pateikta darbo gale 1 priede „Elektros tiekimas, Automatinis iešmų šildymas VS25-M4“ LG 08-KAU-KYB-05-09-DP-EŠ.BR-06.2.

5 lentelė. Iešmų šildymo elementų ilgiai, vardinės srovės ir galios

Iešmo Nr.	Ilgis m	Galia kW	Vardinė srovė A	Markė
1K VS21	12	7,2	18	60 E1
3K VS21	12	7,2	18	60 E1
5K VS21	12	7,2	18	60 E1
7K VS21	12	7,2	18	60 E1
9 VS22	10	6,0	15	R65
11 VS22	10	6,0	15	R65
13 VS22	10	6,0	15	R65
15 VS23	12	7,2	18	60 E1
17 VS23	12	7,2	18	60 E1
19 VS23	12	7,2	18	60 E1
21K VS23	12	7,2	18	60 E1
14K VS24	12	7,2	18	60 E1
12K VS24	12	7,2	18	60 E1
16 VS24	10	6,0	15	60 E1
8 VS24	8	4,8	12	60 E1
6K VS25	12	7,2	18	60 E1
10 VS25	6	3,6	9	60 E1
4K VS25	12	7,2	18	60 E1
2K VS25	12	7,2	18	60 E1

5 lentelėje kiekviena iešmų grupė pažymėta atskira spalva. Kiekvienai grupei reikalingos elektros energijos galių pasiskirstymas:

- VS21 – bendras šildymo elementų ilgis 48 m, bendra galia 28,8 kW;
- VS22 – bendras šildymo elemento ilgis 30 m, bendra galia 18 kW;
- VS23 – bendras šildymo elemento ilgis 48 m, bendra galia 28,8 kW;

- VS24 – bendras šildymo elemento ilgis 42 m, bendra galia 25,2 kW;
- VS25 – bendras šildymo elemento ilgis 42 m, bendra galia 25,2 kW.

Susumavus duomenis matyti, kad visiems Pilviškių geležinkelio stoties vien tik iešmams šildyti reikalinga 126 kW elektros energijos galia.

2.1. Tyrimo objektas

Natūrinio tyrimo objektas – Pilviškių geležinkelio stoties kelynas, kuris pavaizduotas principinėje schemoje 2.1 paveiksle. Tyrimo metu temperatūros buvo matuojamos nuo rėminio bėgio galvutės, kakliuko ir pado paviršiaus, esančio priešingoje pusėje nei pritvirtintas šildymo tenas. Matavimo pozicijos ant rėminio bėgio ir iešmo pavaizduotos 2.2 paveiksle. Visas matuojamas ilgis padalintas į 6 dalis. Matavimai buvo atlikti šešiose vietose ant rėminio bėgio ir iešmo smailės, pradedant nuo smailės galo ir einant per visą kaitinimo elemento ilgį. Matavimai atlikti tik vienos bėgių pusės, prie kurios buvo prispaudusi iešmo smailė, kaip pavaizduota 2.2 paveiksle, ketvirtos matavimo pozicijos vietoje.



2.2 pav. Temperatūrų matavimo vietos ant rėminio bėgio ir iešmo. 1 – rėminio bėgio galvutė; 2 – rėminio bėgio kakliukas; 3 – rėminio bėgio padas. 4 – iešmo smailė.

Temperatūrų matavimams aktualus ir rėminio bėgio paviršius, nuo kurio buvo matuojama temperatūra su infraraudonųjų spindulių *Emsitest IR – 8839* termometru. Paviršiai turėjo būti matiniai ir švarūs, esant blizgiems paviršiams turėjo būti keičiami termometro nustatymai, priešingu atveju matavimų rodmenys būtų netikslūs.

2.2. Tyrimui naudotos matavimo priemonės

Atliekant eksperimentinį tyrimą lauko sąlygomis, būtina užtikrinti, kad matavimo priemonės būtų tinkamai sukalibruotos ir atitiktų metrologinius reikalavimus, siekiant išvengti sisteminių ir atsitiktinių paklaidų. Siekiant maksimalios tikslumo kontrolės, buvo taikomas sekos analizės metodas, leidžiantis nustatyti skirtingus temperatūros matavimo neatitikimus. Iešmų ir rėminio bėgio paviršiaus temperatūros matavimai buvo atliekami *Flir ThermanCam I7* [89] termovizoriumi, kuris pavaizduotas 2.3 paveiksle, kurio techninės specifikacijos leidžia užtikrinti didelį matavimo tikslumą. Šis termovizorius pasižymi aukšta termine raiška (160×120 taškų) ir plačiu dinaminio diapazono spektru, leidžiančiu aptikti temperatūrinius pokyčius su $<0,1$ °C jautrumu.



2.3 pav. Termovizorius *Flir ThermanCam I7*

Matavimo tikslumas siekia ± 1 °C (-25 °C iki 50 °C ir 100 °C iki 380 °C temperatūros diapazonuose), tai atitinka metrologinius reikalavimus visos termovizoriaus *Flir ThermanCam I7* specifikacijos pateiktos 2 priede. Be to, prietaisas yra aprūpintas 1 klasės lazeriu, kuris tiksliai nurodo matavimo plotą, taip padidinant duomenų patikimumą.

Tyrime taip pat buvo naudojamas Lietuvos metrologijos inspekcijos sertifikuotas infraraudonųjų spindulių temperatūros matavimo įrankis *EMSitest IR-8839*, kuris pavaizduotas 2.4 paveiksle. Šis

aukšto tikslumo įrankis, pasižymintis 12:1 optiniu santykiu ir 8–14 μm spektriniu jautrumu, užtikrina aukštą matavimo tikslumą esant įvairiai temperatūrai: $-50 \div 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, su $\pm 1,5\% \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ paklaida esant $-20 \div 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\% \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ paklaida $200 \div 538\text{ }^{\circ}\text{C}$ ribose bei $\pm 3,5\% \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ paklaida $538 \div 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ diapazone. Sertifikato, kuris pateiktas 3 priede, infraraudonųjų spindulių temperatūros matuoklis *EMSItest IR-8839* sertifikatas, išvada patvirtino matavimo priemonės tinkamumą naudojimui esant $-20 \div 400\text{ }^{\circ}\text{C}$.



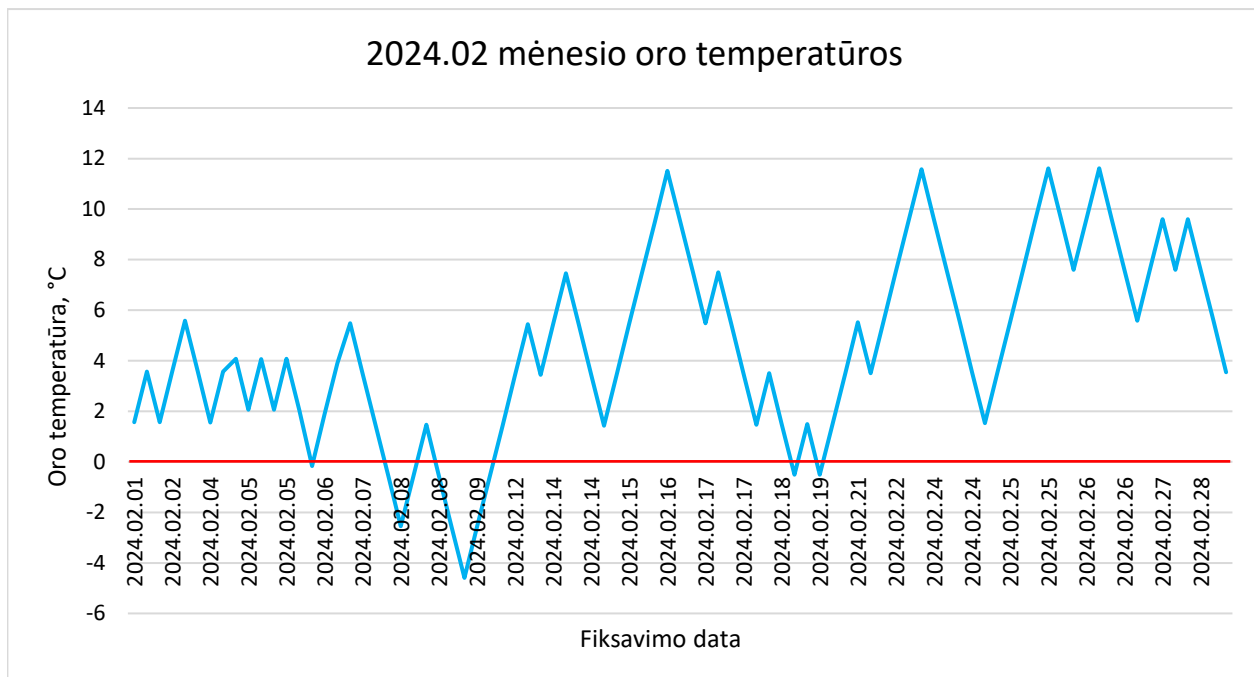
2.4 pav. Infraraudonųjų spindulių temperatūros matuoklis *EMSItest IR-8839*

Siekiant užtikrinti duomenų tikslumą ir pakartojamumą, matavimo procedūros buvo vykdomos kontroliuojamoje aplinkoje, atsižvelgiant į aplinkos sąlygas, tokias kaip oro temperatūra, drėgmė ir paviršiaus emisijos koeficientas, kurie gali turėti įtakos matavimo rezultatams. Matavimo vietose buvo taikomi vienodi emisijos koeficiento parametrai ($\varepsilon = 0,95$), siekiant sumažinti infraraudonųjų spindulių sklaidos paklaidas.

Atstumų tarp matavimo vietų tikslumui nustatyti buvo naudojama 5 m ilgio lanksčioji matavimo juosta *Bahco MTB-5-25*, pasižyminti $\pm 0,5\text{ mm}$ tikslumu pagal EEC II klasės standartą.

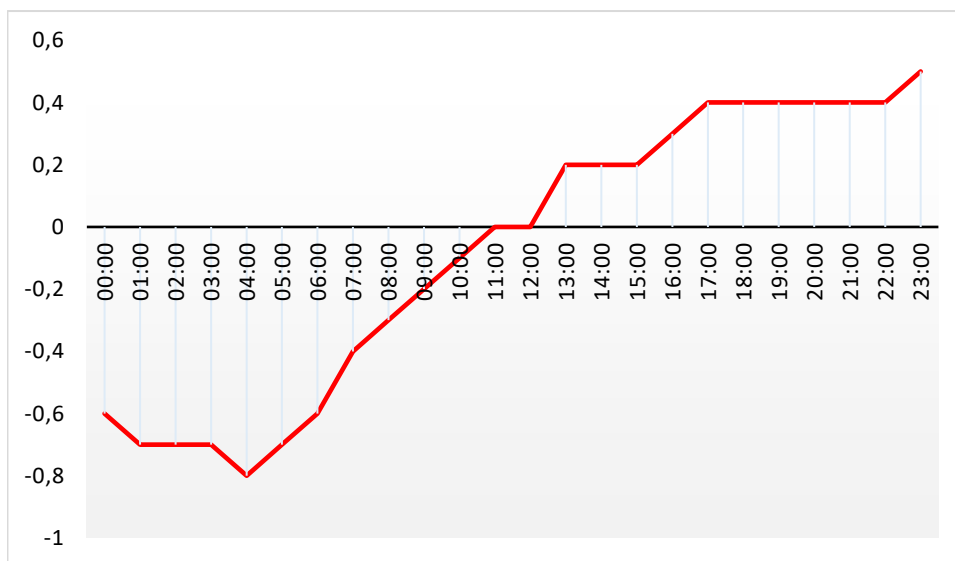
2.3. Tyrimo rezultatai

2024 02 10 dieną tyrimo metu oro temperatūros matuoklis rodė -1°C , tai patvirtina ir viso mėnesio Pilviškių geležinkelio stoties iešmyno AMS duomenys. Oro temperatūros pasiskirstymas pavaizduotas 2.5 paveiksle.



2.5 pav. Pilviškių geležinkelio stoties iešmyno AMS duomenys

Grafike matyti kaip 2024 02 09 kreivė iš $-4,7$ neigiamos dalies 2024 02 11 dienos žymoje pereina į teigiamą grafiko dalį. 2024 02 10 dienos temperatūrų pasiskirstymą galima matyti 2.6 paveikslo grafike, kuris sudarytas iš Kybartų AMS duomenų.

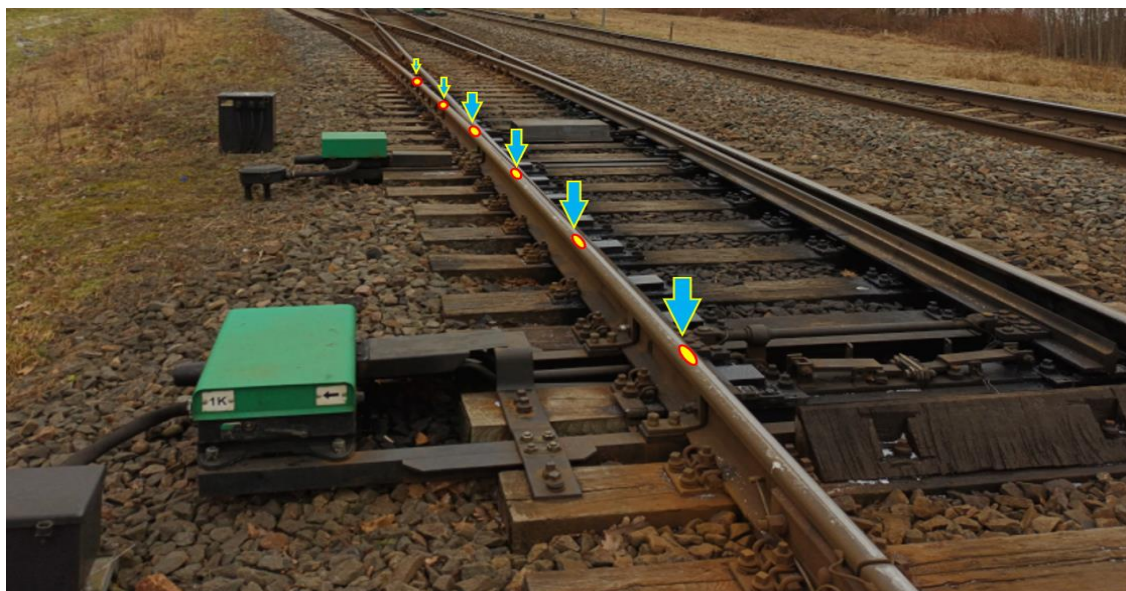


2.6 pav. 2024.02.10 paros laiko temperatūros pasiskirstymo kreivė

Diagramoje aiškiai matomas temperatūros perėjimas iš neigiamos grafiko dalies į teigiamą. Tokie svyravimai, jeigu jų pasikartoja daugiau nei 1 kartą per parą, yra pavojingi didelei apledėjimo rizika.

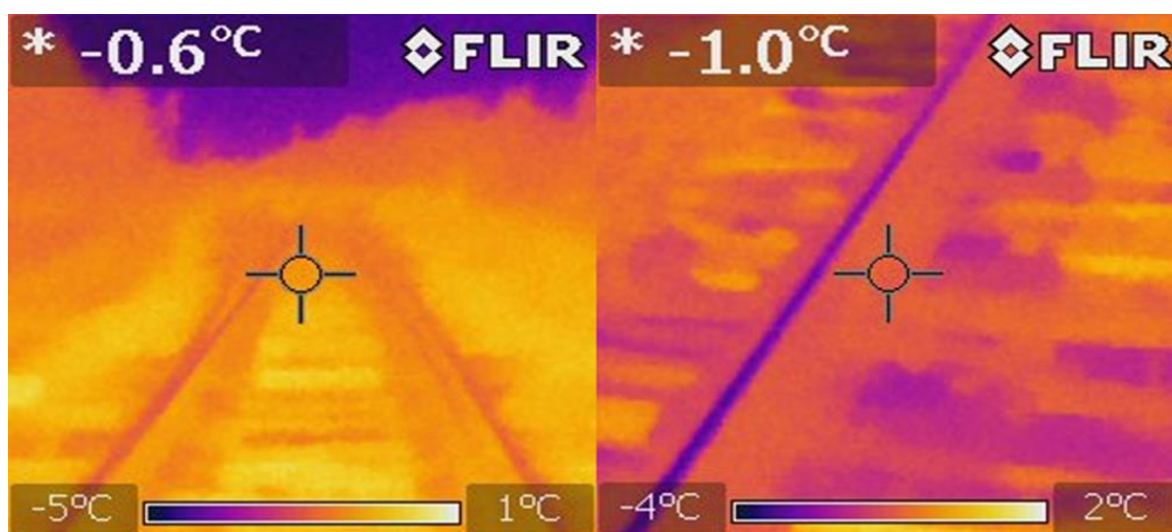
2.3.1. VS21 iešmų grupės tyrimas

VS22 iešmų grupę sudaro 4 poros iešmų, visi šios grupės iešmai jungiasi su dviem pagrindiniais keliais. Iešmui VS21-1K, kuris pavaizduotas 2.7 paveiksle, valymo nuo apledėjimo valdymas nustatytas, automatinis su sezoniniu ciklu, kurio sudarytas blokinių schemų algoritmas įkeltas darbo gale 14 priede, jėgainės ir iešmų automatikos veikimo loginė schema. Šildymo elemento ilgis – 12 m, galių suma – 7,2 kW. Paveiksle pažymėti atstumai, kuriuose atlikti matavimai. Tikslūs atstumai surašyti 6 lentelėje.



2.7 pav. VS21-1K iešmas

Termovizoriaus rodmenys pavaizduoti 2.8 paveiksle. Iešmo „VS21-1K“ kairėje vaizdo dalyje matomas bendras iešmų, dešinėje vaizdo dalyje – rėminio bėgio ir iešmo smailės temperatūrinis pasiskirstymas.



2.8 pav. Iešmo VS21-1K termovaizdas

Esant automatiniam sezoniniam valymo nuo apledėjimo režimui iešmų šildymas nejungiamas net esant neigiamai temperatūrai. Sistemos algoritme turi suveikti ir kritulių faktorius, tą patvirtina ir

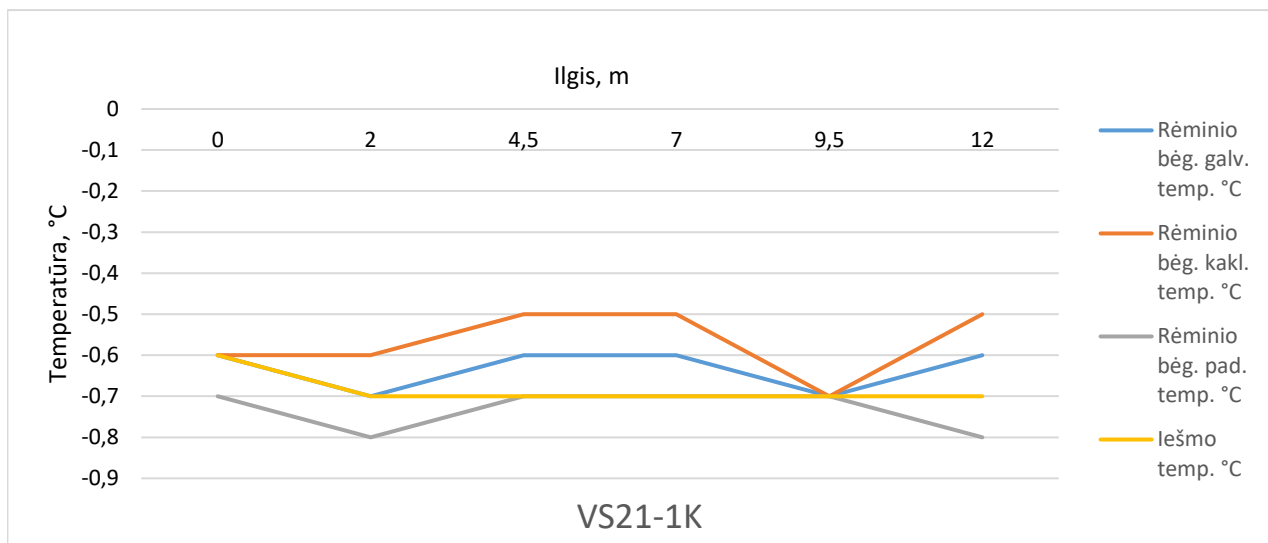
esantys vaizdai iš 2.8 paveikslo termovaizdo. Termovizoriaus dešinės dalies vaizde rėminis bėgis pavaizduotas tamsiai mėlyna spalva, tai gali būti klaidingai interpretuojama kaip reikšmingas temperatūrinis skirtumas. Tačiau šis efektas susijęs ne su realia temperatūra, su skirtingomis objekto paviršiaus optinėmis ir šiluminėmis savybėmis. Rėminio bėgio galvutės kontaktinė dalis, nuolat veikiamą riedmenų trinties ir apkrovos, pasižymi aukštu paviršiaus lygumu bei veidrodiniu blizgesiu. Dėl mažo emisijos koeficiento ($\varepsilon \approx 0,1-0,2$) ši sritis atspindi aplinkos infraraudonuosius spindulius, todėl termovizorius ją fiksuoja kaip šaltesnę nei gretimos, šiurkštesnio paviršiaus zonos [90]. Siekiant išvengti klaidingos temperatūrinių rodmenų interpretacijos, būtina atsižvelgti į objekto paviršius paruošimo metodus, kurie padėtų išlyginti skirtingų paviršiaus tipų atspindžio efektus. VS21 iešmų grupės matavimo rezultatai pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Iešmų grupės VS21 temperatūrų matavimo rezultatai

Ieško Nr.	Atstumas nuo smailės, m	Rėminio bėgio galvutės temperatūra, °C	Rėminio bėgio kakliuko temperatūra, °C	Rėminio bėgio pado temperatūra, °C	Ieško smailės temperatūra, °C
VS21-1K	0	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6
	2	-0,7	-0,6	-0,8	-0,7
	4,5	-0,6	-0,5	-0,7	-0,7
	7	-0,6	-0,5	-0,7	-0,7
	9,5	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7
	12	-0,6	-0,5	-0,8	-0,7
VS21-3K	0	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6
	2	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6
	4,5	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7
	7	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7
	9,5	-0,7	-0,6	-0,7	-0,8
	12	-0,7	-0,6	-0,8	-0,7
VS21-5K	0	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6
	2	-0,7	-0,7	-0,8	-0,7
	4,5	-0,7	-0,8	-0,8	-0,7
	7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8
	9,5	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	12	-0,7	-0,8	-0,7	-0,8
VS21-7K	0	-0,7	-0,7	-0,8	-0,6
	2	-0,7	-0,8	-0,8	-0,7
	4,5	-0,8	-0,9	-0,9	-0,7
	7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,6
	9,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6
	12	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7

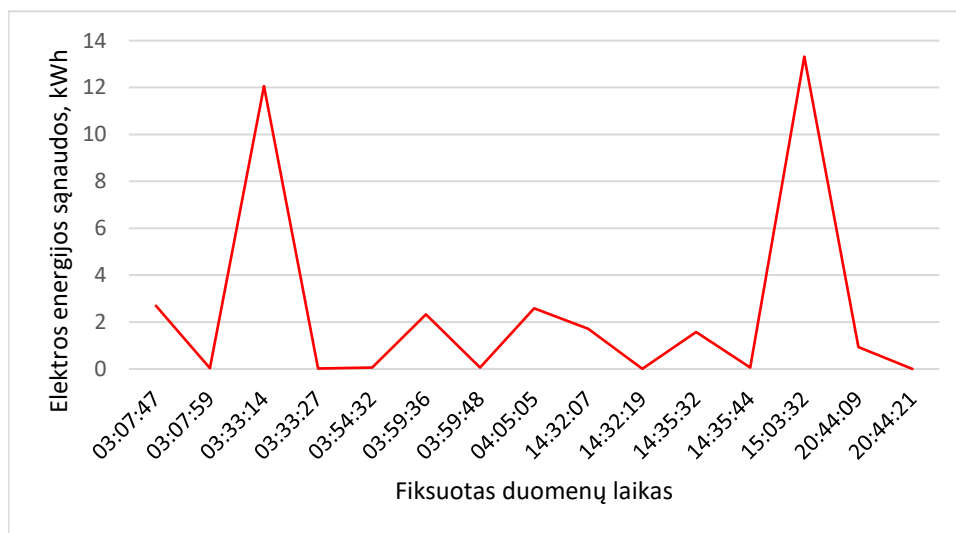
Iš 6 lentelės matyti, kad visos VS21 iešmų grupės rėminio bėgio ir ieško smailės dalys artimos oro temperatūrai, nors ir lauko temperatūra ≈ -1 °C, įjungtas automatinis režimas su sezoniniu valymo

nuo apledėjimo ciklu. Šio režimo algoritmas vadovaujasi 2 faktoriais – išmatuota lauko temperatūra ir krituliais. Iešmo VS21-1K temperatūrinio pasiskirstymo per visą šildymo elemento ilgį vaizduojamas 2.9 paveiksle.



2.9 pav. Iešmo VS21-1K temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį

Temperatūrų pasiskirstymo diagramoje matomą atskirų iešmo dalių temperatūrų nesutapimą 0,1 °C dalimi galima paaiškinti atmosferiniu poveikiu toms iešmo dalims ir galima matavimo prietaiso paklaida. VS21 iešmų grupės, paros laiko fiksuotų elektros sąnaudų linijinė diagrama pavaizduota 2.10 paveiksle, kurioje išryškėja 3:30 ir 15:00 valandos elektros sąnaudų šuoliai.



2.10 pav. VS21 iešmų grupės elektros energijos sąnaudos

Diagramos kreivės šuoliai paaiškinami lyginant Kybartų AMS 2024 02 10 paros laiko duomenų lentelę, kuri pateikta 5 priede. Pateiktoje lentelėje aiškiai matyti 03 ir 15 valandos duomenų ruože fiksuojami krituliai. Pagal sezoninio ciklo algoritmą, esant <1 °C ir krituliams, jungiamas iešmų šildymas. Šildymas vyksta iki kol rėminis bėgis pasiekia 14 laipsnių šilumą, temperatūra fiksuojama davikliais, esančiais ant rėminio bėgio išorinės dalies. Pasiekus nustatytą šildymo temperatūros ribą, šildymas atsijungia ir vėsta iki 6 laipsnių šilumos.

2.3.2. VS22 iešmų grupės tyrimas

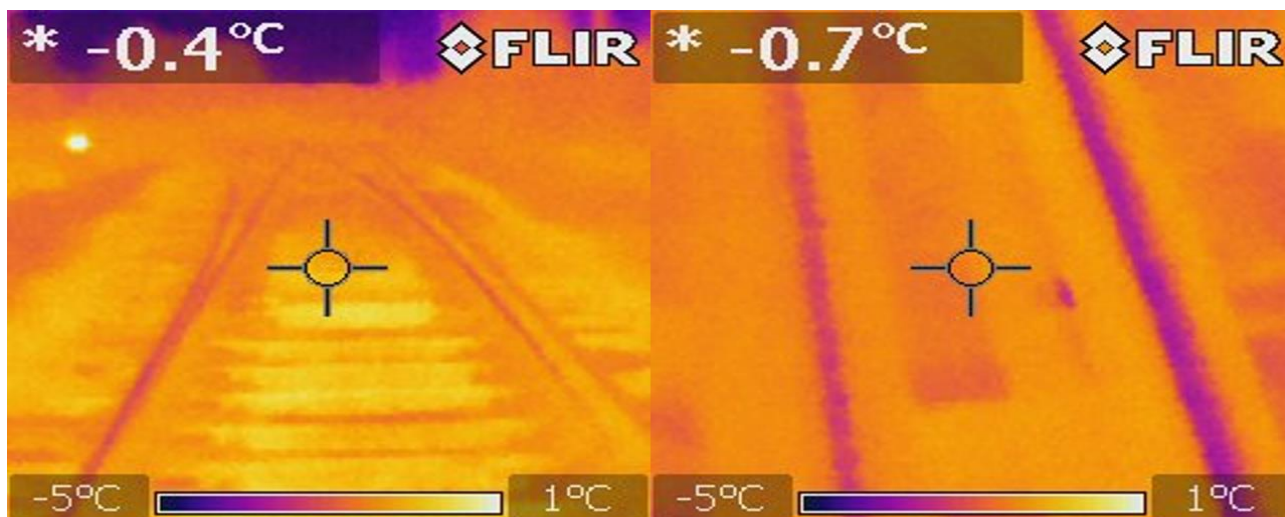
VS22 iešmų grupė – tai trijų porų iešmų sistema, išsidėsčiusi šiaurės rytų stoties teritorijos kelyno dalyje. Nei vienas iš jų nesijungia su pagrindiniais keliais. Iešmas VS22-9, priklausantis VS22 iešmų grupei, pavaizduotas 2.11 paveiksle.



2.11 pav. VS22-9 iešmas

VS22 iešmų grupės valdymas yra elektromechaninis, valymo nuo apledėjimo valdymas yra automatinis su sezoniniu ciklu, šildymo elemento ilgis – 10 m, galių suma – 6,0 kW.

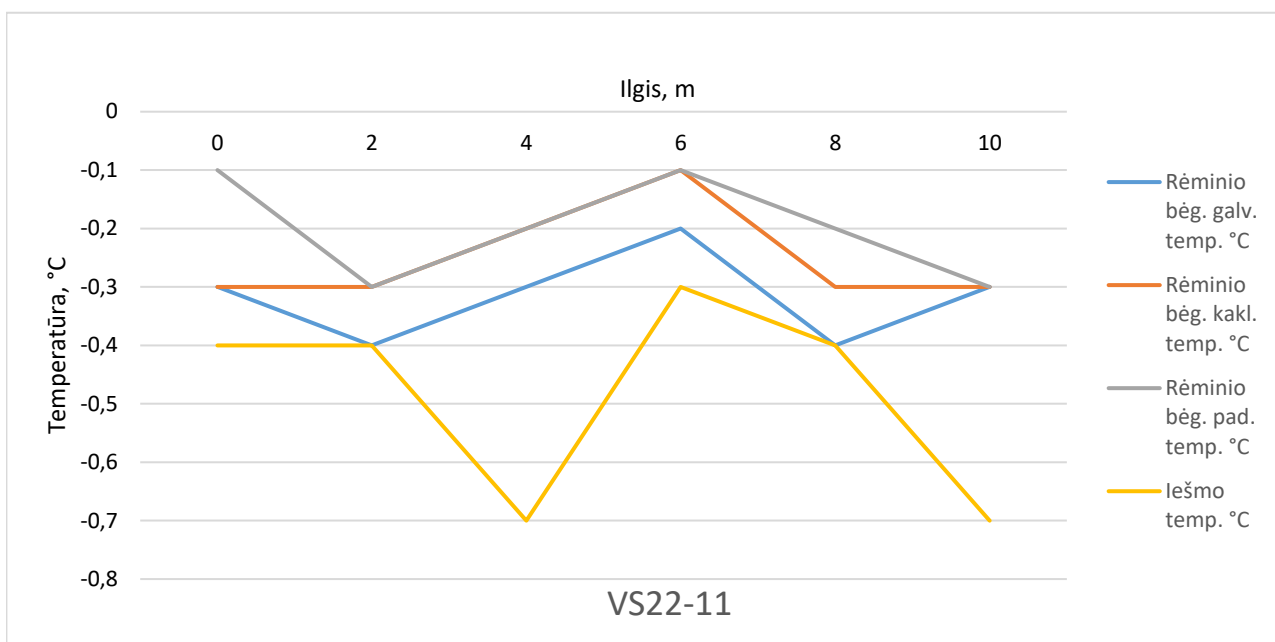
Termovizoriaus rodmenys pavaizduoti 2.12 paveiksle. Iešmo VS22-9 termovaizdo, kairėje vaizdo dalyje matomas bendras iešmų, dešinėje vaizdo dalyje – rėminio bėgio ir iešmo smailės temperatūrinis pasiskirstymas.



2.12 pav. Iešmo VS22-9 termovaizdas

Iš pateiktų vaizdų galima nustatyti, kad iešmų temperatūra, dėl sezoninio iešmų valymo nuo apledėjimo valdymo ciklo, yra lygi lauko temperatūrai. Temperatūrų matavimo metu kritulių nebuvo,

todėl šildymo sistema nebuvo įjungta. Iešmo VS22-11 temperatūrų priklausomybių nuo šildymo elemento ilgio pasiskirstymo kreivės pavaizduotos 2.13 paveiksle.



2.13 pav. Iešmo VS22-11 temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį

Temperatūrų pasiskirstymo diagramoje matomas atskirų rėminio bėgio dalių temperatūrų nesutapimas 0,1–0,2 °C dalimi, o iešmo svyravimas – iki 0,4 °C. Tai būtų galima paaiškinti kaip matuojamo objekto paviršiaus anomalija, arba atmosferiniu poveikiu toms iešmo dalims ir galima matavimo prietaiso paklaida. VS22 iešmų grupės paros laiko fiksuotų elektros sąnaudų linijinė diagrama pavaizduota 2.14 paveiksle, kuriame išryškėja 3:30, 4:05 ir 15:00 valandos elektros sąnaudų šuoliai.



2.14 pav. VS22 iešmų grupės elektros sąnaudos

Tokie šuoliai gali būti siejami su automatizuotu šildymo ciklu, sistema aktyvuojama esant kritinei temperatūrai ir meteorologiniams krituliams. Šie energijos šuoliai koreliuoja su pateiktais

duomenimis iš Kybartų AMS, kurie pateikti 5 priede. Visi VS21 iešmų grupės matavimo rezultatai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Iešmų grupės VS22 temperatūrų matavimo rezultatai

Iešmo Nr.	Atstumas nuo smailės, m	Rėminio bėgio galvutės temperatūra, °C	Rėminio bėgio kakliuko temperatūra, °C	Rėminio bėgio pado temperatūra, °C	Iešmo smailės temperatūra, °C
VS22-9	0	-0,8	-0,7	-0,8	-0,8
	2	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8
	4	-0,8	-0,7	-1	-0,8
	6	-0,6	-0,7	-0,9	-0,7
	8	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8
	10	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7
VS22-11	0	-0,3	-0,3	-0,1	-0,4
	2	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4
	4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,7
	6	-0,2	-0,1	-0,1	-0,3
	8	-0,4	-0,3	-0,2	-0,4
	10	-0,3	-0,3	-0,3	-0,7
VS22-13	0	-0,3	-0,2	-0,5	-0,2
	2	-0,2	-0,2	-0,4	-0,3
	4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2
	6	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2
	8	-0,3	-0,2	-0,4	-0,2
	10	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2

Iš 7 lentelės matyti, kad žemiausia temperatūra vyrauja VS22-9 iešmo sistemoje $\approx -0,8$ °C, VS22-11 ir VS22-13 iešmų sistemose – $\approx -0,3$ °C, tai artima aplinkai temperatūra. Susidariusį $\approx 0,5$ °C skirtumą galima paaiškinti skirtingu atvėsimo laiku po šildymo išjungimo ir matavimo paklaida, kai infraraudonųjų spindulių jutiklio tikslumas gali skirtis priklausomai nuo matavimo kampo, atstumo bei aplinkos sąlygų bei matuojamo objekto paviršiaus švarumo.

2.3.3. VS23 iešmų grupės tyrimas

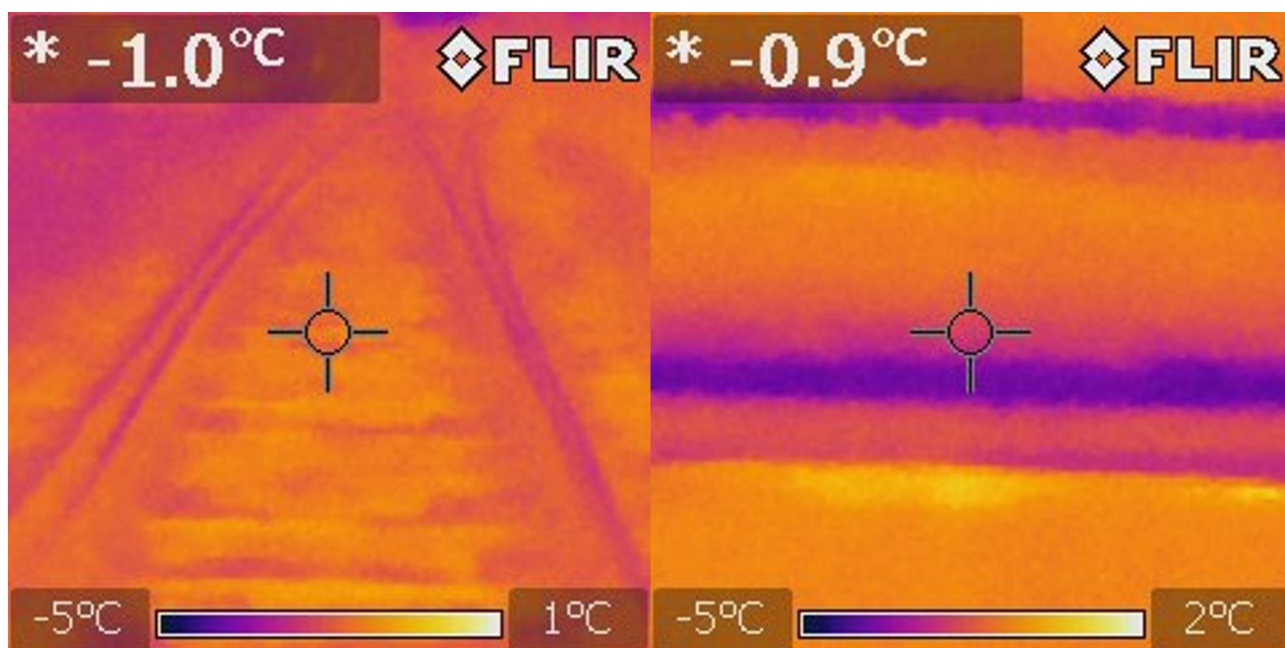
VS23 iešmų grupė – tai 4 porų iešmų sistema, kurios yra valdymas elektromechaninis. Iešmų sistema išsidėsčiusi šiaurės rytų kryptimi, arčiau pačios stoties, kelyno dalyje. Valymo nuo apledėjimo valdymas yra automatinis su sezoniniu ciklu, reguliuojantis šildymo intensyvumą pagal aplinkos temperatūrą ir meteorologines sąlygas. Vieno iešmo šildymo elementų bendras ilgis siekia 12 m, o suminė galia sudaro 7,2 kW. Tokie parametrai leidžia efektyviai išvengti iešmų užšalimo ir užtikrina jų patikimą eksploataciją net esant ekstremalioms oro sąlygoms. Vienas iešmas iš bendros grupės jungiasi, tai aiškiai matoma 2.1 paveiksle, kuriame pateikta Pilviškių geležinkelio stoties kelyno schema, iliustruojanti pagrindinių ir antrinių kelių išsidėstymą bei iešmų funkcines jungtis. Be to, konkretus iešmas VS23-21K, priklausantis VS23 iešmų grupei, vizualiai pavaizduotas 2.15 paveiksle,

kuriame galima įvertinti jo konstrukcines ypatybes bei sąveiką su kitais geležinkelio infrastruktūros elementais.



2.15 pav. VS23-21K iešmas

Termovizoriaus rodmenys iliustruoti 2.16 paveiksle. Iešmo VS23-21K termovaizde, kairėje vaizdo dalyje matomas bendras iešmo, dešinėje vaizdo dalyje matomas – rėminio bėgio ir iešmo smailės temperatūrinis pasiskirstymas.



2.16 pav. Iešmo VS23-21K termovaizdas

Iš pateiktų vaizdų galima nustatyti, kad iešmų temperatūra dėl sezoninio iešmų valymo nuo apledėjimo valdymo ciklo yra lygi lauko temperatūrai. Tamsiai mėlyna spalva rodo žemiausią

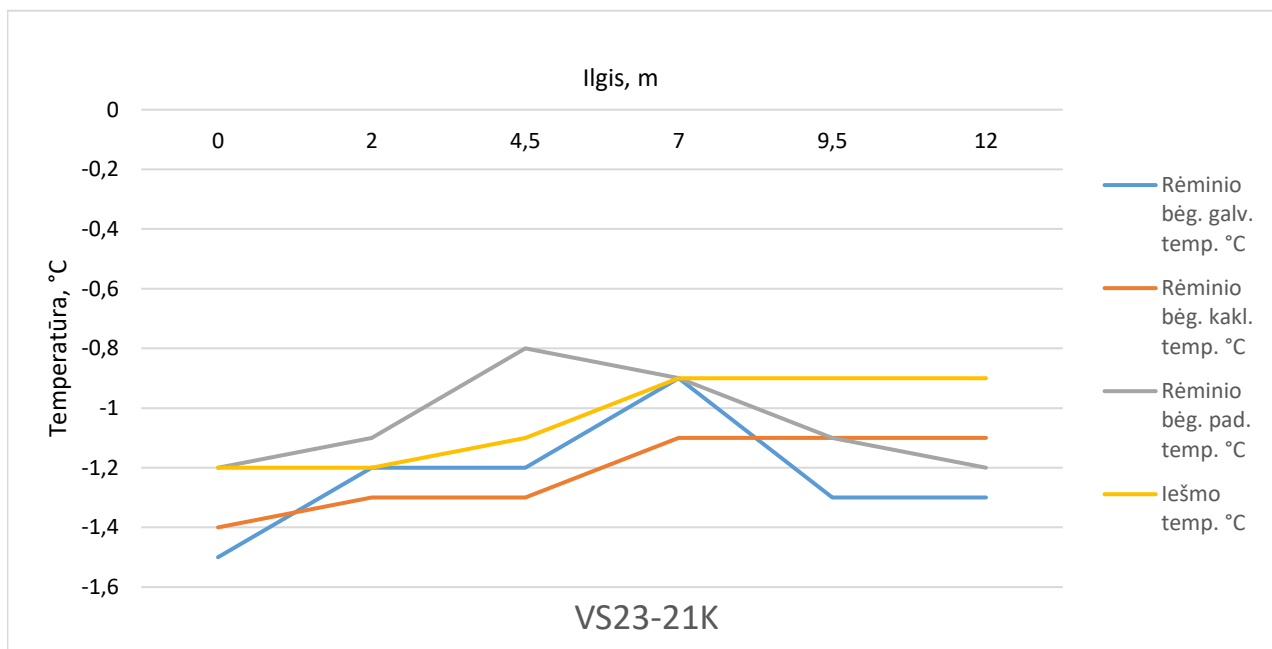
temperatūros spektrą, bet tai nėra tiksli vaizduojamo objekto temperatūra, dėl skirtingų paviršių atspindžių susidariusio efekto, kurį įrodo dešinėje paveikslo pusėje esantis iešmo ir rėminio bėgio termovaizdas. Šiame vaizde užfiksuota rėminio bėgio galvutės temperatūra – -0,9 °C, o šalia fiksuojamos vietos pagal spalvinį spektrą matome -5 °C, tai rėminio bėgio galvutės kontakto su riedmenimis vieta, kuri yra veidrodinio atspindžio. Visi VS23 iešmų grupės matavimo rezultatai pateikti 8 lentelėje.

8 lentelė. Iešmų grupės VS23 temperatūrų matavimo rezultatai

Iešmo Nr.	Atstumas nuo smailės, m	Rėminio bėgio galvutės temperatūra, °C	Rėminio bėgio kakliuko temperatūra, °C	Rėminio bėgio pado temperatūra, °C	Iešmo smailės temperatūra, °C
VS23-15	0	-0,7	-0,7	-0,8	-0,7
	2	-0,9	-0,8	-0,7	-0,9
	4,5	-0,8	-0,8	-0,7	-0,9
	7	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8
	9,5	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8
	12	-0,8	-0,8	-0,7	-0,8
VS23-17	0	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5
	2	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	4,5	-0,8	-0,8	-0,6	-0,7
	7	-0,9	-0,8	-0,5	-0,9
	9,5	-0,8	-0,8	-0,7	-0,8
	12	-0,9	-0,7	-0,7	-0,8
VS23-19	0	-1	-0,9	-0,8	-0,8
	2	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
	4,5	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7
	7	-1	-0,9	-0,7	-0,7
	9,5	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
	12	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8
VS23-21K	0	-1,5	-1,4	-1,2	-1,2
	2	-1,2	-1,3	-1,1	-1,2
	4,5	-1,2	-1,3	-0,8	-1,1
	7	-0,9	-1,1	-0,9	-0,9
	9,5	-1,3	-1,1	-1,1	-0,9
	12	-1,3	-1,1	-1,2	-0,9

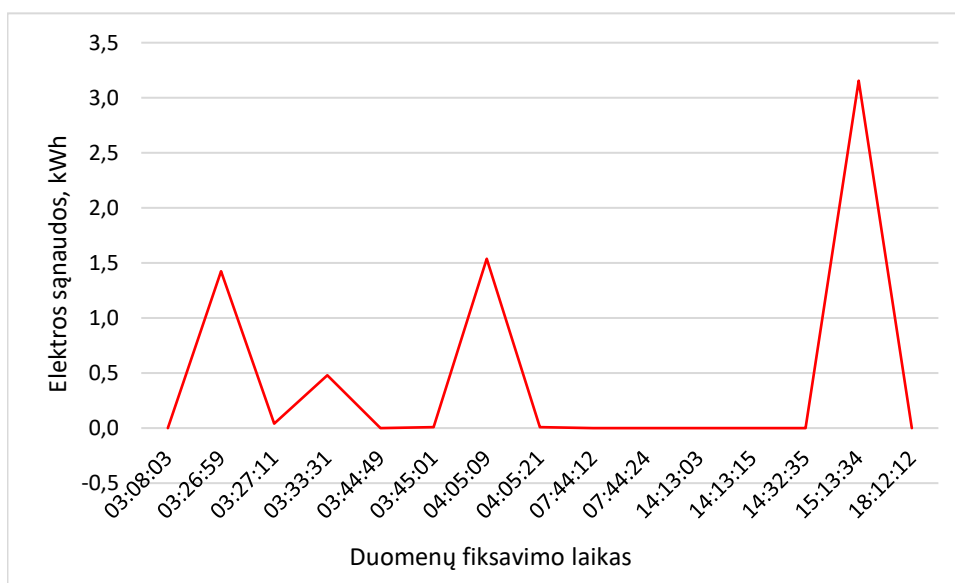
Iš 8 lentelės matyti, kad žemiausia temperatūra vyrauja VS23-21K iešmo sistemoje – $\approx -1,1$ °C, visose kitose iešmų sistemose – $\approx -0,8$ °C, tai artimos aplinkai temperatūra. Susidariusį $\approx 0,3$ °C skirtumą galima paaiškinti skirtingu atvėsimo laiku po šildymo išjungimo, iešmo lokalizacijos vietos įtaka, nes iešmas VS23-21K, besijungiantis su pagrindiniu keliu, yra centrinėje kelyno dalyje, o likusieji išsidėstę kelyno pakraščiuose šalia Pilviškių stoties pagalbinių pastatų.

Lentelėje matyti, kad visos VS23 iešmų grupės rėminio bėgio ir ieško smailės dalys yra artimos oro temperatūrai, tai patvirtina, kad įjungtas automatinis režimas su sezoniniu valymo nuo apledėjimo ciklu, kurio algoritmas vadovaujasi 2 meteorologiniais faktoriais – išmatuota lauko temperatūra ir krituliais. Temperatūrų kreives pavaizduotos 2.17 paveiksle, jame matomas ieško VS23-21K temperatūrinis pasiskirstymas šildymo elemento ilgio atžvilgiu.



2.17 pav. Ieško VS23-21K temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį

Temperatūrų pasiskirstymo diagramoje matomas atskirų rėminio bėgio dalių temperatūrų nesutapimas 0,1–0,2 °C dalimi, rėminio bėgio galvutės ir rėminio ieško pado svyravimas – iki 0,6 °C, tai būtų galima paaiškinti kaip matuojamo objekto paviršiaus anomalija, arba atmosferiniu poveikiu toms ieško dalims ir galima matavimo prietaiso paklaida. VS23 iešmų grupės paros laiko fiksuotų elektros sąnaudų linijinė diagrama pavaizduota 2.18 paveiksle



2.18 pav. VS23 iešmų grupės elektros sąnaudos

Pavaizduotoje diagramoje išryškėja 3:30, 4:05 ir 15:00 valandų elektros sąnaudų šuoliai, kurie koreliuoja su Kybartų AMS 2024 02 10 datos iš 5 priedo paros laiko metrologiniais duomenimis, 3:00 ir 15:00 fiksuoti nežymūs krituliai. Duomenų rinkimo metu (9:00–14:00) krituliai nefiksuoti, todėl visos iešmų sistemos su sezoniniu valdymo ciklu buvo atvėsę iki artimų laukui temperatūrų.

2.3.4. VS24 iešmų grupės tyrimas

VS24 iešmų grupė – tai 4 porų skirtingų ilgių iešmų sistema, išsidėsčiusi pietvakarinėje stoties teritorijos kelyno dalyje šalia pačios geležinkelio stoties. Iešmai VS24-14K ir VS24-12K, kurie pavaizduotas 2.19 paveiksle, jungiasi su pagrindiniais keliais, per juos vyksta pagrindinis traukinių srautas, todėl jų veikimo patikimumas yra kritinės svarbos visos stoties eismo saugumui ir sklandžiam darbui. Likusieji VS24-8 ir VS24-16 jungiasi su antriniais stoties kelyno keliais.

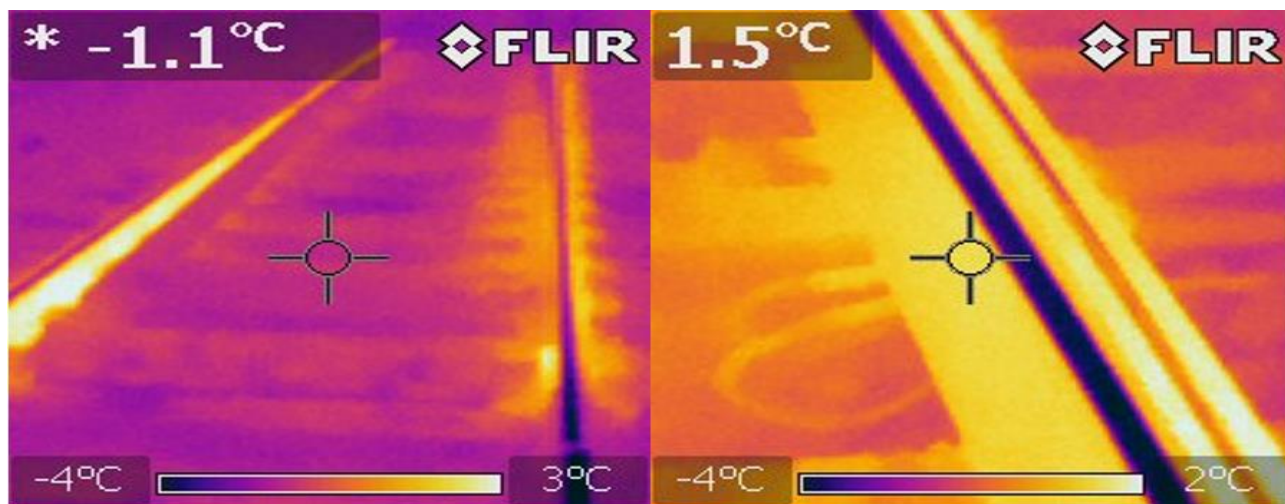


2.19 pav. VS24-12K iešmas

VS24 iešmų grupės valdymo sistema yra elektromechaninė, pasižyminti patikimais perjungimo mechanizmais ir suderinamumu su automatizuotomis eismo valdymo sistemomis. Apledėjimo prevencijai naudojama automatinė šildymo sistema, veikianti pagal sezoninį ciklą, kurio valdymas grindžiamas oro temperatūros jutiklių duomenimis bei meteorologinių sąlygų analize

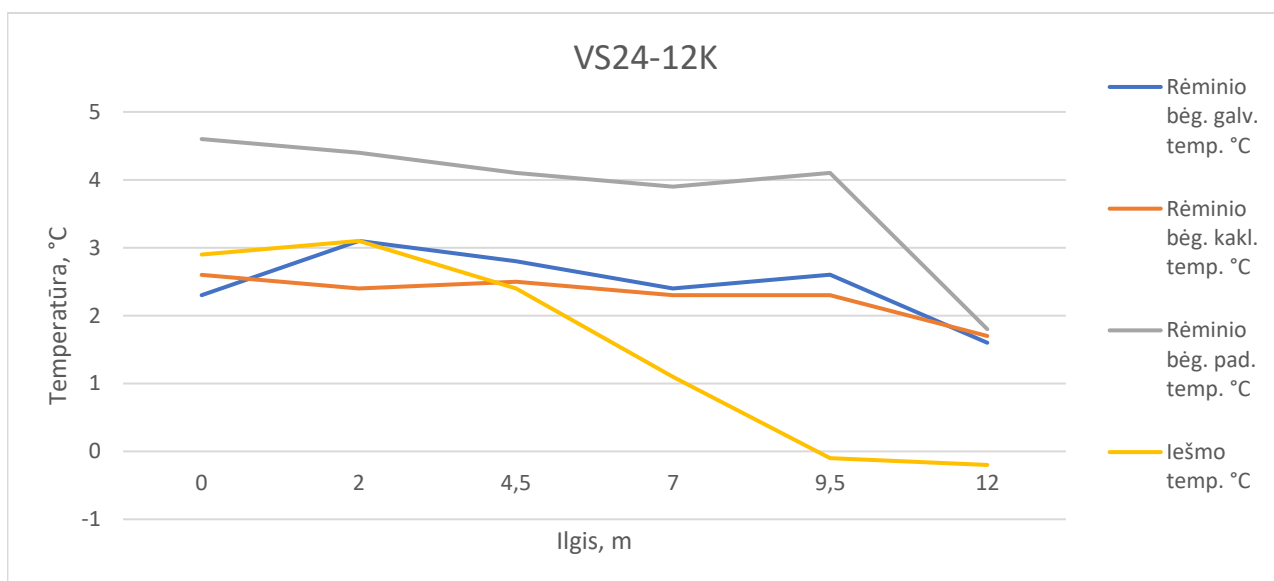
VS24 iešmų grupės valdymas yra elektromechaninis, o valymo nuo apledėjimo valdymas nustatytas automatinis su besikartojančiu ciklu. Visos VS24 iešmų grupės šildymo elementų parametrai skirtingi, iešmai VS24-14K ir VS24-12K turi 12 metrų ilgio šildymo elementus, kurių bendra galia

siekia 7,2 kW, tai susiję su šių iešmų integracija į pagrindinius kelius. Iešmas VS24-16 turi 10 metrų ilgio šildymo elementą, kurio galia – 6 kW, o iešmas VS24-8 turi 8 metrų ilgio 4,8 kW galios šildymo elementą. Termovizoriaus rodmenys pavaizduoti 2.20 paveiksle. Iešmo VS24-12K termovaizde, kairėje vaizdo dalyje matomas bendras viso iešmo, dešinėje vaizdo dalyje – rėminio bėgio ir iešmo smailės temperatūrinis pasiskirstymas.



2.20 pav. Iešmo VS24-12K termovaizdas

Iš pateiktų vaizdų galima nustatyti, kad iešmų temperatūra yra aukštesnė nei lauko temperatūra, tai matoma 2.21 paveiksle pateiktoje temperatūrų kreivėje. Tokias temperatūras lėmė iešmų valymo nuo apledėjimo valdymo ciklas, kuris vyksta ratu ir įkaitina rėminį bėgį iki +6 °C, išsijungia ir pasileidžia temperatūrai nukritus iki +2 °C. Tamsiai mėlyna spalva rodo žemiausią temperatūros spektrą. Pateiktame vaizde užfiksuota rėminio bėgio galvutės temperatūra 1,5 °C, o šalia fiksuojamos vietos pagal spalvinį spektrą matome -4 °C, tai rėminio bėgio galvutės kontakto su riedmenimis vieta, kuri yra veidrodinio paviršiaus ir yra netikslus dėl atspindžių efekto.



2.21 pav. Iešmo VS24-12K temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį

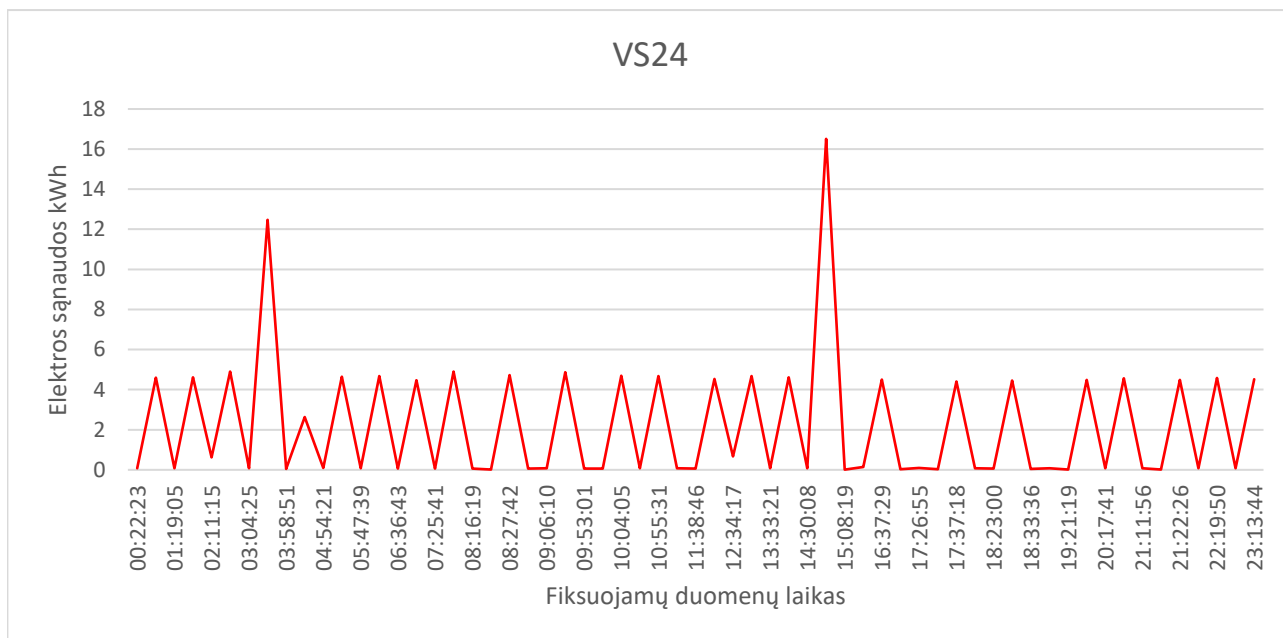
Iš linijinės diagramos galima nustatyti, kad iešmas neseniai buvo šildytas nes rėminio bėgio pado temperatūra pradžioje iešmo siekia 4,5 °C ir ties galu nukrenta iki 1,8 °C. Likusios rėminio bėgio dalys nuo 2,5 °C pačiame gale tolygiai atvėsta iki 1,8 °C tai galima paaiškinti tuo kad iešmo gale prie rėminio bėgio pritvirtintos plieninės iešmo atramos ir šiluminis išsisklaidymas daug didesnis nei iešmo pradžioje. Visi VS24 iešmų grupės matavimo rezultatai pateikti 9 lentelėje. Šie duomenys leidžia identifikuoti tiek šilumos paskirstymo tolygumą, tiek galimas šilumos nuostolių zonas.

9 lentelė. Iešmų grupės VS24 temperatūrų matavimo rezultatai

Iešmo Nr.	Atstumas nuo smailės, m	Rėminio bėgio galvutės temperatūra, °C	Rėminio bėgio kakliuko temperatūra, °C	Rėminio bėgio pado temperatūra, °C	Iešmo smailės temperatūra, °C
14K VS24	0	3,8	4,2	7,3	2,9
	2	4,1	4,1	6,9	2,1
	4,5	4,1	3,9	7,2	0,9
	7	3,9	4,1	7,3	0,6
	9,5	3,8	3,9	6,9	-0,1
	12	1,8	1,7	2,1	-0,1
12K VS24	0	2,3	2,6	4,6	2,9
	2	3,1	2,4	4,4	3,1
	4,5	2,8	2,5	4,1	2,4
	7	2,4	2,3	3,9	1,1
	9,5	2,6	2,3	4,1	-0,1
	12	1,6	1,7	1,8	-0,2
16 VS24	0	3,1	4,5	7,6	0,8
	2	3,2	4,9	7,8	0,8
	4	3,5	5,3	7,9	0,9
	6	3,8	4,9	8,1	0,6
	8	3,4	4,2	7,8	-0,1
	10	0,8	2,1	5,8	-0,3
8 VS24	0	2,8	3,1	4,6	2,7
	1,5	2,8	2,8	4,3	2,6
	3	2,4	2,5	4,5	2,3
	4,5	2,2	2,3	3,9	1,8
	6	2,9	2,9	4,1	-0,2
	8	1,4	1,1	2,2	-0,3

Iš 9 lentelės nustatyta, kad iešmo VS24-14K temperatūrų profilis rodo didžiausias reikšmes tarp visų matuotų iešmų. Rėminio bėgio pado temperatūra vietomis siekia net 7,3 °C. Tai rodo ne aktyvią šildymo fazę, o temperatūros daviklio lokalizacijos neefektyvumą, nes nustatyto automatinio ciklo, kurį galima pamatyti 2.22 paveiksle VS24 iešmų grupės, paros laiko fiksuotų elektros sąnaudų linijinė diagrama, šildymo elementas rėminį bėgį turi įkaitinti, tik iki 6 °C. Vidutinė temperatūra šioje atkarpoje leidžia daryti prielaidą apie efektyvų šilumos perdavimą visoje rėminio bėgio masėje, kuris tikėtina paremtas geru šiluminiu kontaktu tarp šildymo elemento ir iešmų sistemos konstrukcijų. Tuo

tarpu iešmas VS24-8, turintis mažiausią šildymo galią 4,8 kW ir trumpiausią šildymo elemento 8 m ilgį, pasižymi žemiausiomis temperatūromis, o temperatūros gradientas tarp iešmo pradžios ir galo yra ryškus. Ši situacija rodo didesnius šilumos nuostolius, galimai dėl mažesnės šiluminės inercijos. Temperatūrų mažėjimas link iešmo galo būdingas visiems analizuotiems atvejams, ypačingai pačių smailių tai galima paaiškinti tuo kad smailė link galo tolsta nuo rėminio bėgio taip absorbuodamas mažiau šiluminės energijos nuo rėminio bėgio.



2.22 pav. VS24 iešmų grupės elektros sąnaudos

Pavaizduotoje 2.22 pav. diagramoje užfiksuotas cikliškas elektros energijos suvartojimas, kuris patvirtina, kad iešmų sistemos valymo nuo apledėjimo automatikos algoritmas paremtas vieno faktoriaus, tai temperatūros duomenimis. Nustatytas šildymo ciklas veikė rato principu, iešmo temperatūra pakeliama iki 6 °C išjunginama, temperatūrai nukritus iki 2 °C šildymo sistema vėl paleidžiama. Užfiksuoti 3:30 ir 15:00 valandos elektros sąnaudų šuoliai paaiškinami tuo, kad esant krituliams šildomam objektui pasiekti nustatytą temperatūrą prireikia daugiau elektros energijos. Šie fiksuoti elektros sąnaudų šuoliai koreliuoja su Kybartų AMS 2024.02.10 datos iš 5 priedo paros laiko metrologiniais duomenimis, 3:00 ir 15:00 fiksuoti nežymūs krituliai.

2.3.5. VS25 iešmų grupės tyrimas

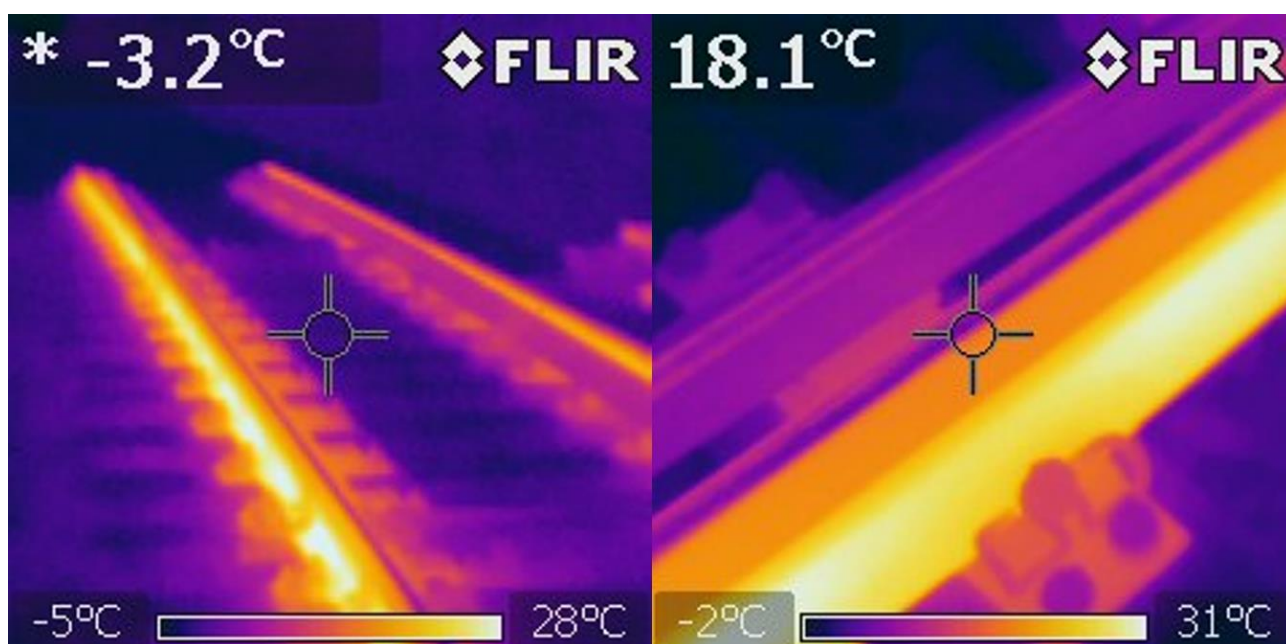
VS25 iešmų grupė tai 4 porų iešmų sistema, kurios valdymas elektromechaninis. Iešmų sistema išsidėsčiusi pietvakarių kryptimi, stoties kelyje. Skirtingai nuo kitų grupių, apledėjimo šalinimo sistema čia yra valdoma rankiniu būdu, šildymo intensyvumas pagal aplinkos temperatūrą ir meteorologines sąlygas nereguliuojamas, sistemos paleidimas inicijuojamas centralizuotai, būdinčio personalo. Vieno iešmo VS25-10, kuris jungiasi su antriniu stoties keliu, dėl mažesnės apkrovos ir eksploatacinės reikšmės šio iešmo šildymo sistema yra proporcingai mažesnė, šildymo elementų bendras ilgis siekia 6 m, o suminė galia sudaro 3,6 kW. Likusių besijungiančių su pagrindiniais keliais VS25-6K, VS25-4K, VS25-2K iešmų šildymo elementų ilgis 12 m, o suminė galia 7,2 kW. Visos iešmų grupės išsidėstymas iliustruotas 2.1 paveiksle, o 2.23 paveiksle vizualiai vaizduojamas VS25-4K iešmas. Kaip ir visų tirtų Pilviškių stoties kelyje iešmų vaizduojamas iešmas

paklotas ant kietmedžio pabėgių, kurie dėl savo mechaninio atsparumo ir ilgaamžiškumo plačiai naudojami geležinkelių infrastruktūroje.



2.23 pav. VS25-4K iešmas

Vaizduojamo iešmo termovizinės nuotraukos iliustruojamos 2.24 paveiksle, kuriame kairėje vaizdo dalyje matomas bendras viso iešmo, dešinėje vaizdo dalyje matomas rėminio bėgio ir iešmo smailės temperatūrinis pasiskirstymas.



2.24 pav. Iešmo VS25-4K termovaizdas

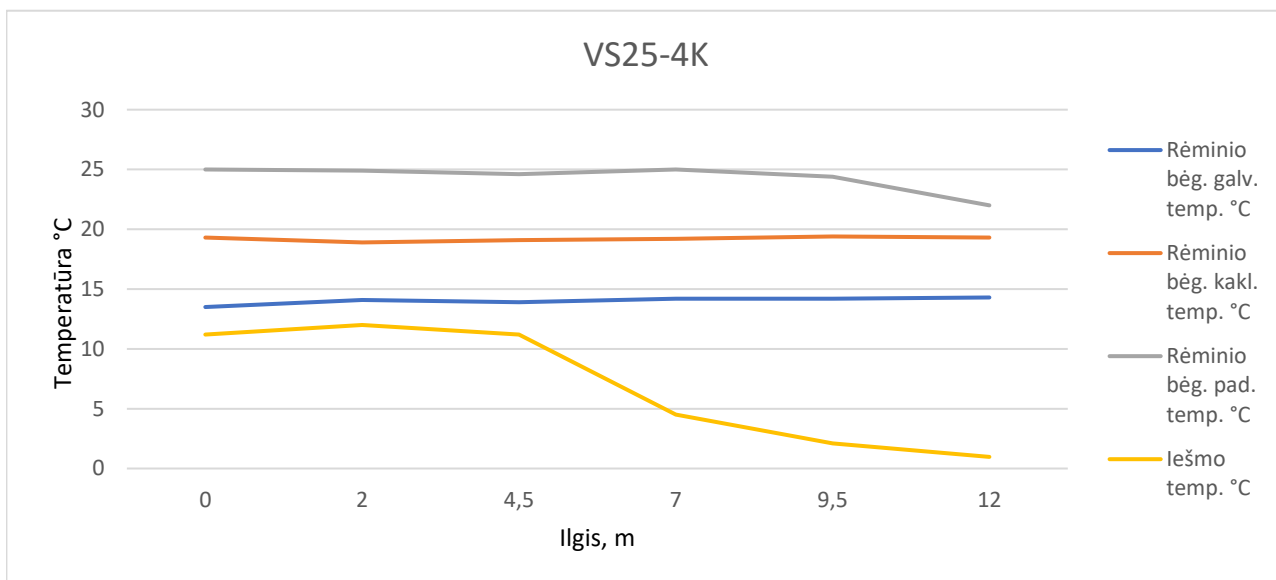
Iš pateikto vaizdo galima nustatyti, kad iešmų temperatūra yra ženkliai aukštesnė nei lauko temperatūra. Tokias temperatūras įtakojo rankinis iešmų valymo nuo apledėjimo valdymas, kuris vyksta ištisai kaitinant rėminį bėgį ir iešmą kol budintis personalas nenusprendžia kitaip. Tamsiai mėlyna spalva rodo žemiausią temperatūros spektrą. Pateiktame vaizde užfiksuota rėminio bėgio galvutės temperatūra 18,1 °C, o šalia fiksuojamos vietos pagal spalvinį spektrą matome ≈ 0 °C, tai rėminio bėgio galvutės kontakto su riedmenimis vieta, kuri yra veidrodinio paviršiaus ir yra netikslus dėl atspindžių efekto. Tikslios visos VS25 iešmų grupės temperatūros pateiktos 10 lentelėje.

10 lentelė. Iešmų grupės VS25 temperatūrų matavimo rezultatai

Iešmo Nr.	Atstumas nuo smailės, m	Rėminio bėgio galvutės temperatūra, °C	Rėminio bėgio kakliuko temperatūra, °C	Rėminio bėgio pado temperatūra, °C	Iešmo smailės temperatūra °C
VS25-6K	0	14,3	24,2	28,1	11,3
	2	15,1	24,2	26,8	11,6
	4,5	14,6	22,8	27,9	8
	7	15,1	23,9	28,1	4,6
	9,5	15,1	24,7	26,9	1,1
	12	6,2	9,1	12,2	0,4
VS25-10	0	14,4	19,7	22,3	10,2
	1	14,8	20,6	24,6	15,6
	2	15,1	19,1	22,8	12,3
	3	15,1	19,6	23,6	15,2
	4,5	15,2	19,2	22,8	14,3
	6	14,1	19,4	18,5	2,9
VS25-4K	0	13,5	19,3	25	11,2
	2	14,1	18,9	24,9	12
	4,5	13,9	19,1	24,6	11,2
	7	14,2	19,2	25	4,5
	9,5	14,2	19,4	24,4	2,1
	12	14,3	19,3	22	0,97
VS25-2K	0	13,7	18,8	19,8	10,8
	2	14,5	19,3	20,3	11,1
	4,5	14,3	19,1	20,1	10,7
	7	13,9	18,9	19,9	2,4
	9,5	13,2	18,4	18,6	0,9
	12	13,1	18,1	18,7	0,4

Iš 10 lentelės galima nustatyti, kad žemiausia vidutinė temperatūra vyrauja VS25-2K iešmo sistemoje $\approx 14,5$ °C, visose kitose iešmų sistemose vidutinės temperatūros $\approx 16,1$ – $17,1$ °C tai ženkliai didesnės nei aplinkos temperatūra. Susidariusį $\approx 1,6$ – $2,6$ °C skirtumą galima paaiškinti skirtinga iešmo lokalizacijos vietos įtaka, nes iešmas VS25-2K besijungiantis su pagrindiniu keliu randasi kraštinėje kelyno dalyje ant pylimo atviroje nuo medžių ir infrastruktūros vietoje. Pagal atskirų iešmo dalių, temperatūra pasiskirsčiusi visose iešmų grupėse vienodai. Temperatūros pasiskirstymą po atskirų

elementų dalis iliustruoja ir 2.25 paveikslas, ieško VS25-4K temperatūrinis pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį. Daugiausiai šilumos spinduliuoja rėminio bėgio padas, vidutiniškai 22,9 °C, tai visiškai suprantama nes šildymo elementas yra tvirtinamas prie rėminio bėgio pado. Rėminio bėgio kakliuko vidutiniška temperatūra $\approx 19,8$ °C, o rėminio bėgio galvutės vidutinė temperatūra tesiekia ≈ 14 °C tai galima paaiškinti šilumos sklaidimo inercija nuo šilumos šaltinio po visą kūną.



2.25 pav. Ieško VS25-4K temperatūros pasiskirstymas pagal šildymo elemento ilgį

Vėsiausias elementas pateiktoje 2.25 iliustracijoje yra ieško smailė, nes šis konstrukcinis elementas šilumos energiją gauna per atstumą ir kuo matavimo taškas toliau nuo smailės galo to atstumas tarp rėminio bėgio ir pačios smailės didėja, o šilumos įsisavinimas mažėja. Diagramoje matomas aiškus smailės temperatūros mažėjimo lūžis ties 4,5 m ir nuo šio taško tolygia kreivė mažėja iki 7 m žymos ir t.t. Tokia tendencija pastebima visuose tirtuose iešmuose, nes jų konstruktyvas yra visų vienodas. O rėminio bėgio elementų kreivės tolydžios visoje tiesėje, dėl nuolatinio šildymo, kuris vyko be pertraukų viso tyrimo metu, tą galėtų patvirtinti ir sąnaudų diagrama, bet rankinio valdymo metu sąnaudos realiu laiku nefiksuojamos. Sąnaudos užfiksuojamos tad kai perjungiamas režimas iš rankinio į automatinį. Kai šiuo atveju rankinis režimas VS25 iešmų grupei buvo perjungtas užfiksuotos 495,15 kWh energijos sąnaudos.

2.4. Tyrimo dalies apibendrinimas

Atliekant natūrinį tyrimą Pilviškių geležinkelio stotyje 2024 m. vasario 10 d., įvertintas penkių iešmų grupių VS21, VS22, VS23, VS24 ir VS25 šildymo efektyvumas tiriant skirtingus valdymo režimus – automatinį su sezoniniu ciklu, automatinį su žiediniu ciklu ir rankinį. Tyrimo rezultatai parodė, kad automatinio valdymo sistema, pagal kurią sudarytas blokinių schemų algoritmas įkeltas darbo gale 14 priede, įgėgainės ir iešmų automatikos veikimo loginė schema, paremta meteorologiniais jutikliais AMS ir cikliniu režimu taikant 2 faktorių loginį režimą leidžia užtikrinti efektyvų šildymo valdymą pagal realias oro sąlygas, sumažinant nereikalingas energijos sąnaudas ir optimizuojant šilumos paskirstymą ieško konstrukcijoje.

Automatins režimas su žiediniu ciklu veikiančiu nuo +2 °C iki +6 °C efektyvus tik vieno faktoriaus režime – temperatūriniame. Energetinių sąnaudų atžvilgiu šis režimas pasižymi didelėmis

sąnaudomis. Termovizoriaus duomenys atskleidė, kad automatinio valdymo sistemose temperatūros pokyčiai glaudžiai koreliuoja su kritulių bei temperatūros svyravimais. Palyginus su rankiniu valdymu, kur temperatūros vertės kai kuriose iešmų dalyse siekė $>25\text{ }^{\circ}\text{C}$ VS25 grupė, automatinės sistemos pasižymėjo tikslesniu šildymo įjungimo momentu ir mažesnėmis šiluminėmis perkrovomis, kurios dažnai yra energetiškai neefektyvios. Nustatyta, kad rankiniu būdu valdomų iešmų VS25 energijos sąnaudos per analizės laikotarpį pasiekė 495,15 kWh, be tikslios koreliacijos su aplinkos parametrais. Tai parodė perteklinį šildymą, didesnius nuostolius bei didesnę priklausomybę nuo žmogiškojo veiksnio. Todėl remiantis kiekybiniais matavimais ir šilumos pasiskirstymo analizėmis, galima pagrįstai teigti, kad efektyviausias ir eksploataciniu požiūriu racionaliausias iešmų šildymo būdas – automatizuota sistema su sezoniniu ciklu ir meteorologinių duomenų integracija, tą įrodo ir eksperimento metu gauti duomenys, kai automatinio valdymo sistema, paremta meteorologiniais duomenimis iš AMS ir cikliniu režimu taikant 2 faktorių loginį režimą leidžia užtikrinti efektyvų šildymo valdymą pagal realias oro sąlygas, eksperimento metu energijos sąnaudos siekė VS21 – 37,44 kWh, VS22 – 30,57 kWh, VS23 – 6,62 kWh. Automatins režimas su žiediniu ciklu veikiančiu nuo $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ efektyvus tik vieno faktoriaus režime, temperatūriniame jo metu iešmų grupės VS24 sąnaudos nustatytos 136,76 kWh.

3. Statistinė analizė

Šiame skyriuje trumpai apžvelgiama statistikos teorija ir taikomieji metodai. Antroje skyriaus dalyje iš surinktų duomenų atlikta statistinė analizė.

3.1. Statistikos teorija

Matematikos šaka, analizuojanti duomenų rinkimo, analizės, interpretavimo bei pateikimo principus ir metodus yra statistika [93]. Ji leidžia daryti pagrįstas išvadas esant atsitiktiniams ir neapibrėžtiems įvykiams. Šiuolaikinėje mokslo ir technologijų srityje statistikos taikymas yra išsiplėtęs nuo inžinerijos sistemų iki biomedicininų tyrimų bei socialinių mokslų. Statistikos pagrindu kuriami prognozavimo modeliai meteorologijoje ir inžinerijoje. *Puasono* pasiskirstymas 3 formulė, dažniausiai naudojamas transporto bei biologijos šakose. Šios teorijos prielaida – priklausomas kintamasis turi Puasono skirtinį [91].

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}; k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

čia λ – įvykių vidurkis per intervalą;

k – konkretus įvykių skaičius.

Kaip aprašo G. Casella, šį metodą patogu taikyti retai pasitaikančių įvykių modeliavimui per tam tikrą laiko ar erdvės intervalą, būtent, eismo įvykių ar biologinių mutacijų skaičiui nustatyti [92]. Tuo tarpu *Weibull* pasiskirstymas 4 formulė plačiai taikomas patikimumo analizėje, ypač vertinant mechaninių sistemų ar komponentų gyvavimo trukmę [92].

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}; t \geq 0 \quad (4)$$

čia β – formos parametras;

η – mastelio parametras.

t – konkretus parametras, laikas, vėjo greitis ir t.t.

Taip pat daugelio tyrimų autorių publikacijose aprašoma kad atliekant vėjo greičių statistinę analizę turint *Weibull* skirstinių modelį pritaikant *Eulerio* gama funkciją 5 formulė [94], tiksliausiai atitiko statistinį vidurkį.

$$u_{vid} = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right); \quad (5)$$

čia η ir β – *Weibull* parametrai;

Γ – *Eulerio* gama funkcija.

Gauso, taip vadinamas normalusis pasiskirstymas 6 formulė, yra vienas fundamentaliausių pasiskirstymų statistikoje [93].

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \quad (6)$$

čia μ – vidurkis;

σ – standartinis nuokrypis.

Gauso pasiskirstymas dėl centrinių ribinių teorijų, aprašo daugelio atsitiktinių procesų pasiskirstymą, kai jų įtakoje yra daug nepriklausomų veiksnių [91, 93]. Statistikoje labai svarbūs ir regresijos analizės metodai. Tiesinė regresija tai statistinis metodas 7 formulė, leidžiantis įvertinti ryšį tarp vieno priklausomo kintamojo ir vieno ar kelių nepriklausomų kintamųjų.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon; \quad (7)$$

čia y – priklausomas kintamasis;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – nepriklausomi kintamieji;

β_0 – konstanta, perėmimo reikšmė;

β_i – regresijos koeficientai, apibrėžiantys kiekvieno nepriklausomo kintamojo įtaką;

ε – atsitiktinis paklaidos dydis.

Šis metodas taikomas, siekiant prognozuoti įvairius reiškinius, interpretuoti kintamųjų sąveiką tarpusavyje, ar nustatyti reikšmingus veiksnius ir remiasi prielaida, kad ryšys tarp kintamųjų yra tiesinis, o paklaidos yra nepriklausomos, normaliai pasiskirsčiusios su nuliniu vidurkiu ir pastovia dispersija.. Kai ryšys tarp kintamųjų yra netiesinis, taikoma netiesinė regresija 8 formulė [93].

$$y = f(x, \theta) + \varepsilon; \quad (8)$$

čia $f(x, \theta)$ – netiesinė funkcija su parametru vektoriumi θ .

Netiesinė regresija leidžia modeliuoti sudėtingesnius, ne tiesinius ryšius, dažnai pasitelkiant nelineines funkcijas ar transformacijas [94]. Šie metodai ypač svarbūs analizuojant empirinius duomenis, atliekant prognozes ar vertinant veiksnių įtaką tiriamam reiškiniui. Netiesinė regresija reikalauja specialių skaitinių metodų, pavyzdžiui, ne lygčių sprendimo, arba optimizavimo algoritmų, parametru įverčiams gauti.

Pearsono koreliacijos koeficientas r 9 formulė, tai statistinis rodiklis, nusakantis, kaip glaudžiai susiję du kintamieji. Dažniausiai naudojamas inžinerijoje ir meteorologijoje, kuris įvertina tiesinį ryšį tarp dviejų kintamųjų [94].

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}; \quad (9)$$

čia r – koreliacijos koeficientas, kuris svyruoja nuo -1 iki 1;

x_i – vieno kintamojo reikšmė taške i ;

$\bar{x}$ – visų x_i reikšmių vidurkis 10 formulė;

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (10)$$

čia: y_i – kito kintamojo reikšmė tame pačiame duomenų taške i ;

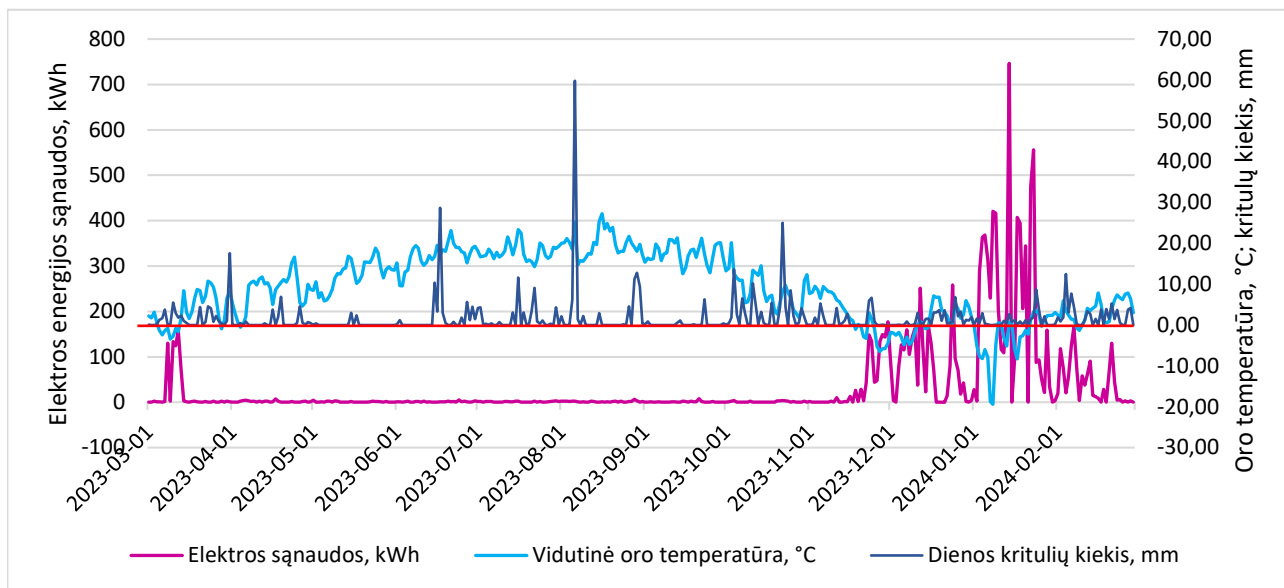
$\bar{y}$ – tai visų y_i reikšmių vidurkis 11 formulė;

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (11)$$

Svarbu pažymėti, kad koreliacija nusako tiesinį ryšį, bet ne priežastinį santykį. Taip pat galima taikyti *Spearmano* ar *Kendallo* koreliacijos koeficientus [94], jei ryšys tarp kintamųjų yra monotoniškas, bet ne tiesinis. Regresijos ir koreliacijos analizė kartu sudaro statistinio modelio pagrindą, leidžiantį įvertinti duomenų struktūrą, nustatyti priklausomybes bei atlikti prognozes.

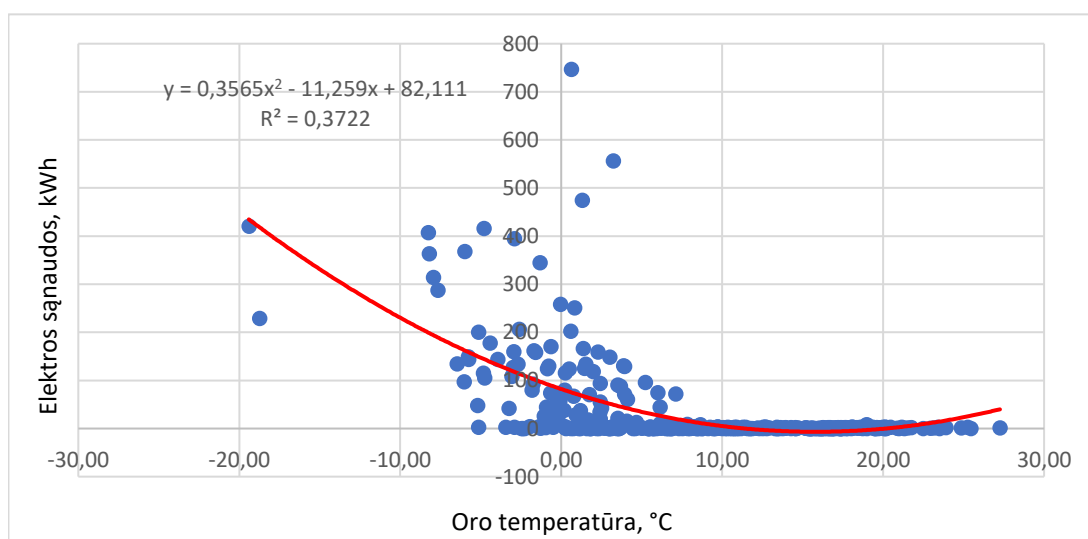
3.2. Tyrimo statistinė analizė

Atliekant regresines analizes su didelės imties duomenimis pirma sudaroma VS21 iešmų grupės kombinuotoji diagrama, kuri pavaizduota 3.1 paveiksle.



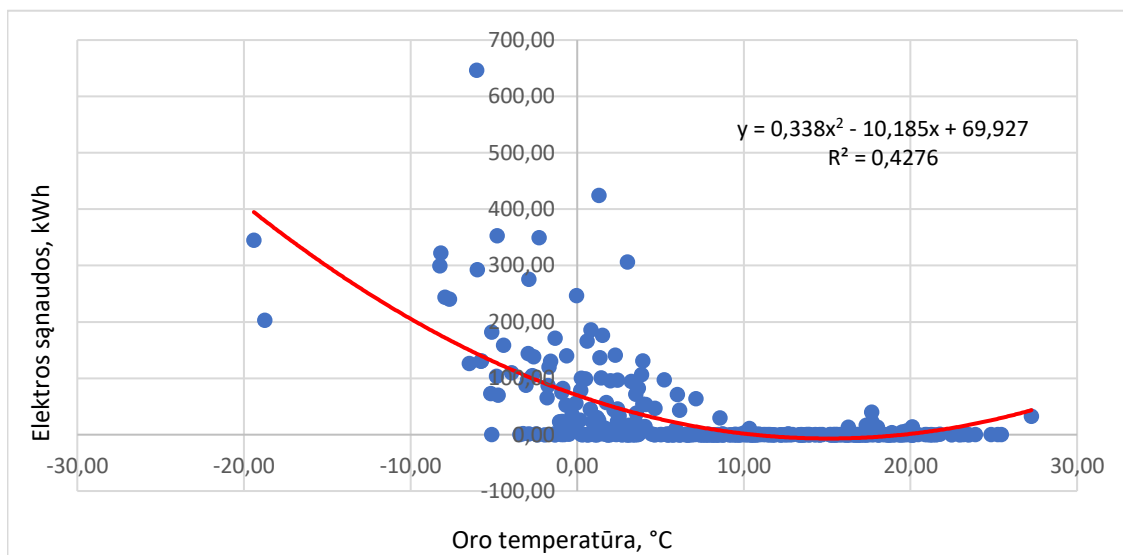
3.1 pav. VS21 iešmų grupės metinė statistinė diagrama

Pateiktoje kombinuotoje diagramoje pateikiamos metinės elektros sąnaudų, meteorologinių kritulių per dieną ir vidutinės dienos oro temperatūros duomenys. Duomenų kreivės diagramoje leidžia išvelgti iešmų šildymo elektros sąnaudų koreliaciją su oro temperatūros ir užfiksuotų kritulių duomenimis. Ryškiai pastebimos ir sąnaudų „atostogos“ tai laiko tarpas per kurį elektros suvartojimas artimas 0. Didžiausių sąnaudų intervalas užfiksuotas nuo 2023 12 01 iki 2024 02 29. Panaudojant Excel programą ir visų metų elektros sąnaudų bei meteorologinius duomenis nustatyti determinacijos ir *Pearson* koeficientai. 3.2 paveiksle pavaizduotas VS21 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybės nuo oro temperatūros aproksimacijos modelis.



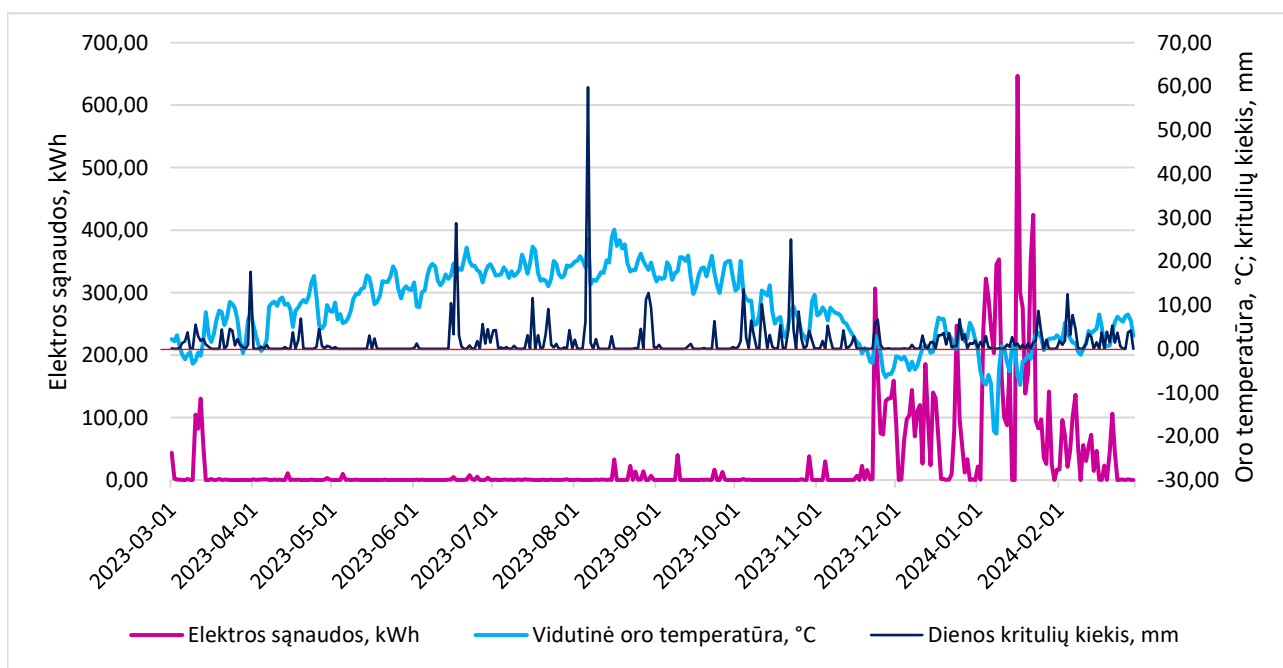
3.2 pav. VS21 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros

Iš 3.2 paveikslo matyti, kad elektros sąnaudų determinacijos koeficientas $R^2 = 0,3722$ tai įrodo kad modelio prognozė silpna. Nustatytas *Pearson* koreliacijos koeficientas $r = -0,51479$ parodo, kad elektros sąnaudų duomenys turi vidutinę priklausomybę nuo nepriklausomų oro temperatūros duomenų. VS22 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros aproksimacijos modelis pavaizduotas 3.3 paveiksle.



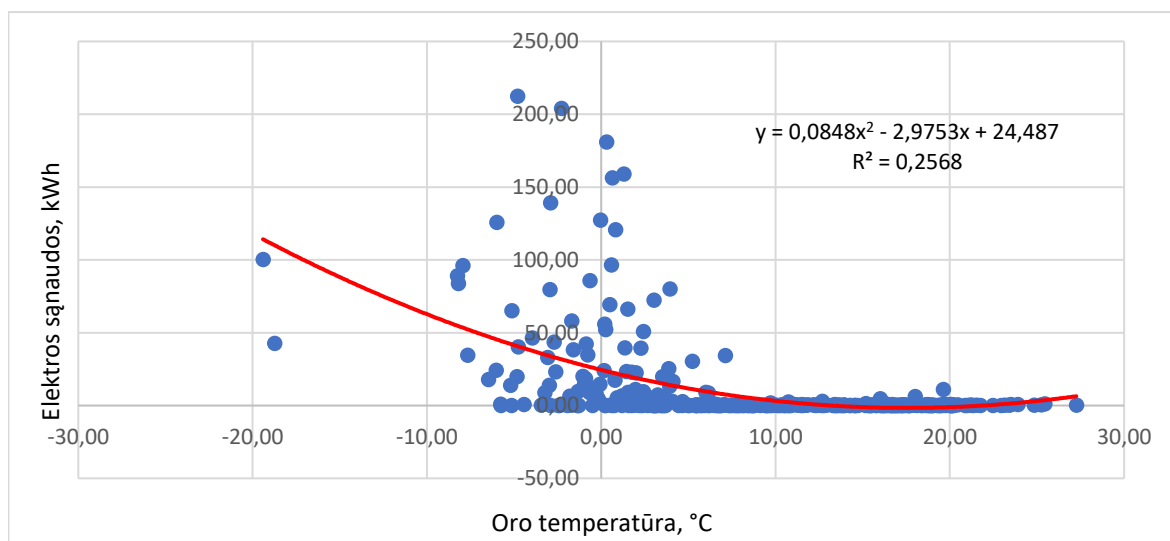
3.3 pav. VS22 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros

Iš 3.6 paveikslo matyti, kad elektros sąnaudų determinacijos koeficientas $R^2 = 0,4276$, jis šiek tiek didesnis nei VS21 iešmų grupės, bet prognozės modelis silpnas. Nustatytas *Pearson* koreliacijos koeficientas $r = -0,5352$ parodo, kad elektros sąnaudų duomenys turi, tik vidutinę priklausomybę nuo nepriklausomų oro temperatūros duomenų. Sudaryta VS22 iešmų grupės metinių duomenų kombinuotoji diagrama, kuri pavaizduota 3.4 paveiksle.



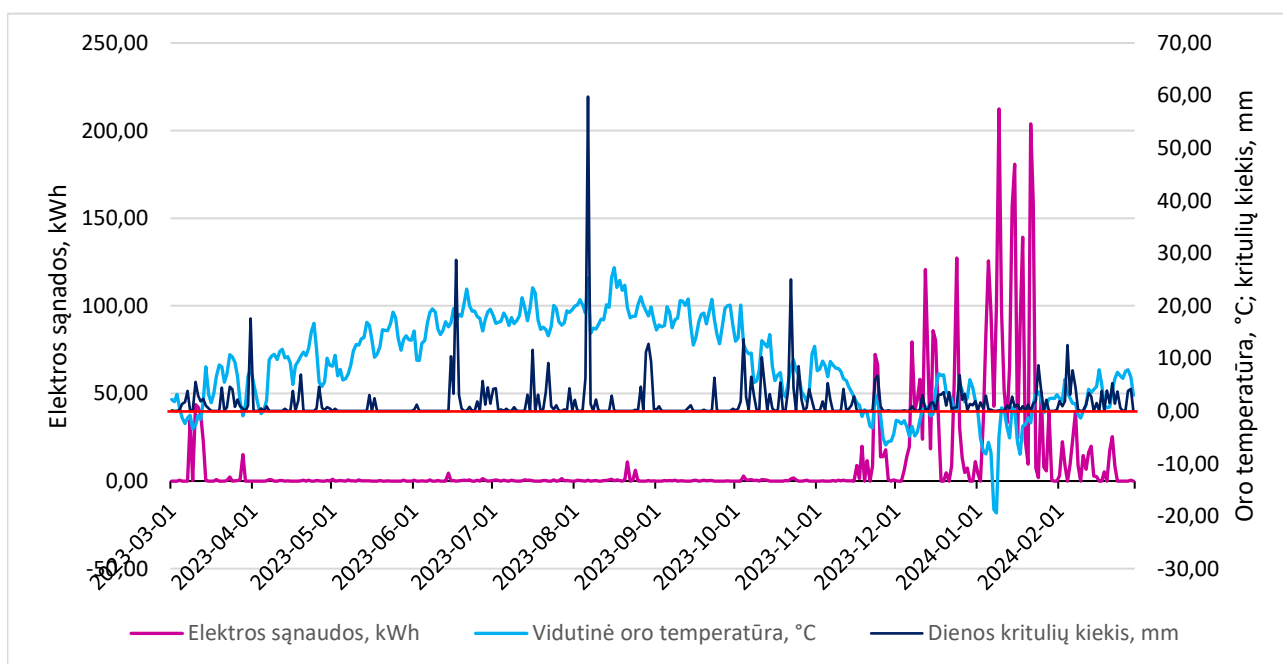
3.4 pav. VS22 iešmų grupės metinė statistinė diagrama

Pateiktoje duomenų kreivės diagramoje leidžia įžvelgti iešmų šildymo elektros sąnaudų koreliaciją su oro temperatūros ir užfiksuotų kritulių duomenimis. Sekančios VS23 iešmų grupės, elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros aproksimacijos modelis pavaizduotas 3.5 paveiksle.



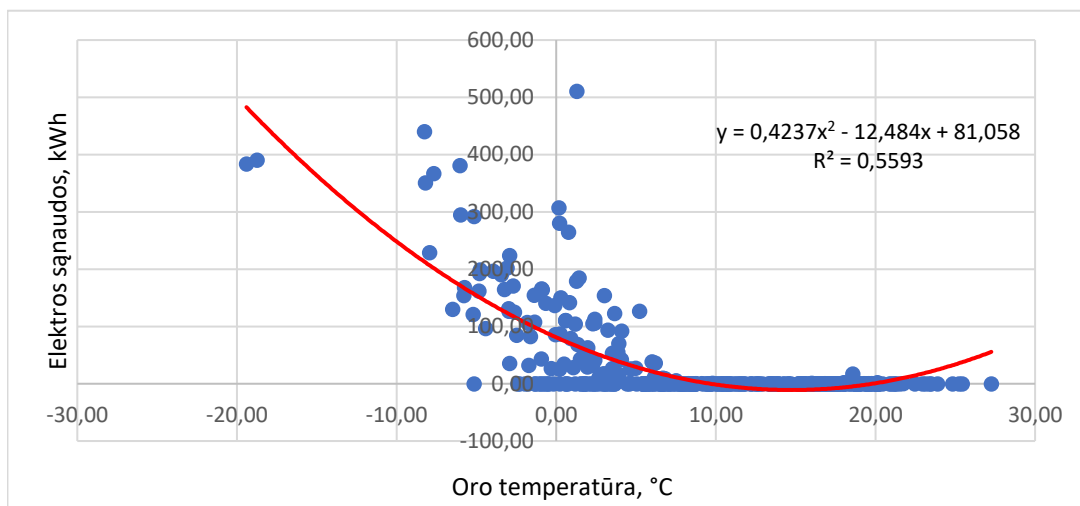
3.5 pav. VS23 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros

Iš 3.5 paveikslo matyti, kad elektros sąnaudų determinacijos koeficientas $R^2 = 0,2568$, tai mažiausias nustatytas determinacijos koeficientas iš visų iešmų grupių. VS23 iešmų grupėje užfiksuoti mažiausios metinės elektros sąnaudos. Gali būti, kad šita iešmų grupė buvo dažniausiai atjungta dėl ko galėjo išsikreipti kaupiami duomenys. Sudaryta VS23 iešmų grupės metinių duomenų kombinuotoji diagrama, kuri pavaizduota 3.6 paveiksle įrodo, kad elektros sąnaudos užfiksuotos mažesnės nei anksčiau minėtų iešmų sistemų. Šios iešmų grupės *Pearson* koreliacijos koeficientas $r = -0,4501$ parodo, kad elektros sąnaudų duomenys turi silpną priklausomybę nuo nepriklausomų oro temperatūros duomenų.



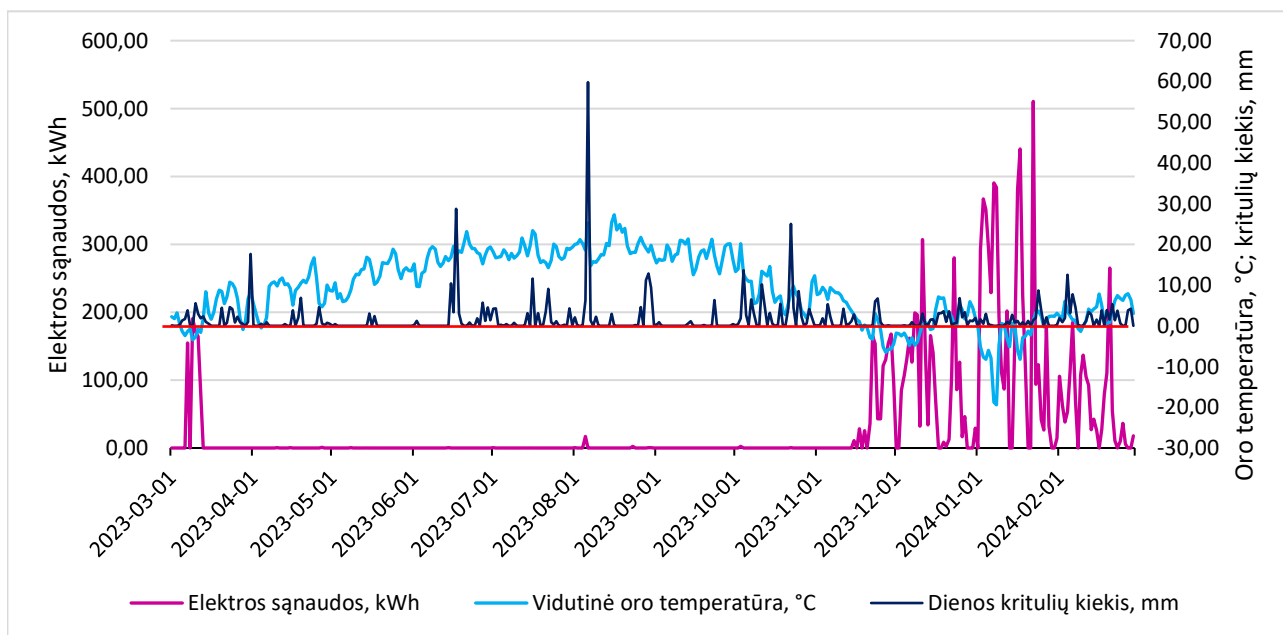
3.6 pav. VS23 iešmų grupės metinė statistinė diagrama

Pateiktoje duomenų kreivės diagramoje leidžia įžvelgti iešmų šildymo elektros sąnaudų koreliaciją su oro temperatūros ir bendrais užfiksuotų kritulių duomenimis. Fiksuota elektros sąnaudų kreivės smailė nepakyla aukščiau 213 kWh ribos tai mažiausias elektros sąnaudas turinti iešmų grupė. VS24 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros aproksimacijos modelis pavaizduotas 3.7 paveiksle.



3.7 pav. VS24 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros

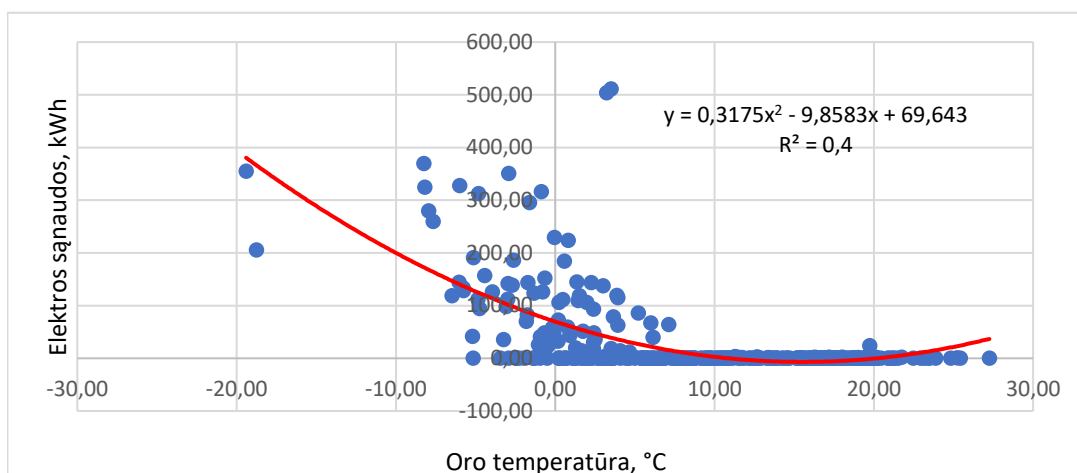
Iš 3.7 paveikslo matyti, kad elektros sąnaudų determinacijos koeficientas $R^2 = 0,5593$, tai didžiausias nustatytas determinacijos koeficientas iš visų iešmų grupių ir prognozės modelis būtų vidutinis. Šios iešmų grupės *Pearson* koreliacijos koeficientas $r = -0,6018$ parodo, kad elektros sąnaudų duomenys turi vidutinę priklausomybę nuo nepriklausomų oro temperatūros duomenų. Sudaryta VS24 iešmų grupės metinių duomenų kombinuotoji diagrama, kuri pavaizduota 3.4 paveiksle.



3.8 pav. VS24 iešmų grupės metinė statistinė diagrama

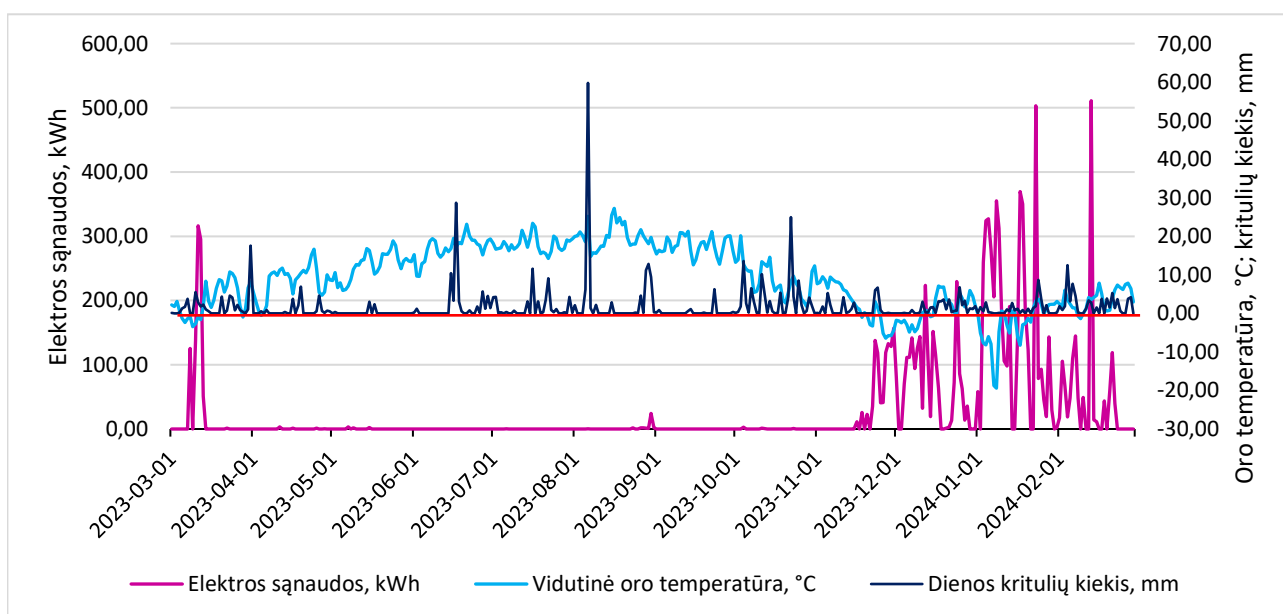
Duomenų kreivės diagramoje leidžia įžvelgti iešmų šildymo elektros sąnaudų koreliaciją su oro temperatūros ir užfiksuotų kritulių duomenimis. Ryškiai pastebimos ir sąnaudų „atostogos“ tai laiko

tarpas per kurį elektros suvartojimas artimas 0. VS25 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros aproksimacijos modelis pavaizduotas 3.9 paveiksle.



3.9 pav. VS25 iešmų grupės elektros sąnaudų priklausomybė nuo oro temperatūros

Iš 3.9 paveikslo matyti, kad elektros sąnaudų determinacijos koeficientas $R^2 = 0,4$ ir tai įrodymas kad sudarytas prognozės modelis yra silpnas. Nustatytas Pearson koreliacijos koeficientas $r = -0,5281$ parodo, kad elektros sąnaudų duomenys turi, tik vidutinę priklausomybę nuo nepriklausomų oro temperatūros duomenų. Sudaryta VS25 iešmų grupės metinių duomenų kombinuotoji diagrama, kuri pavaizduota 3.10 paveiksle.

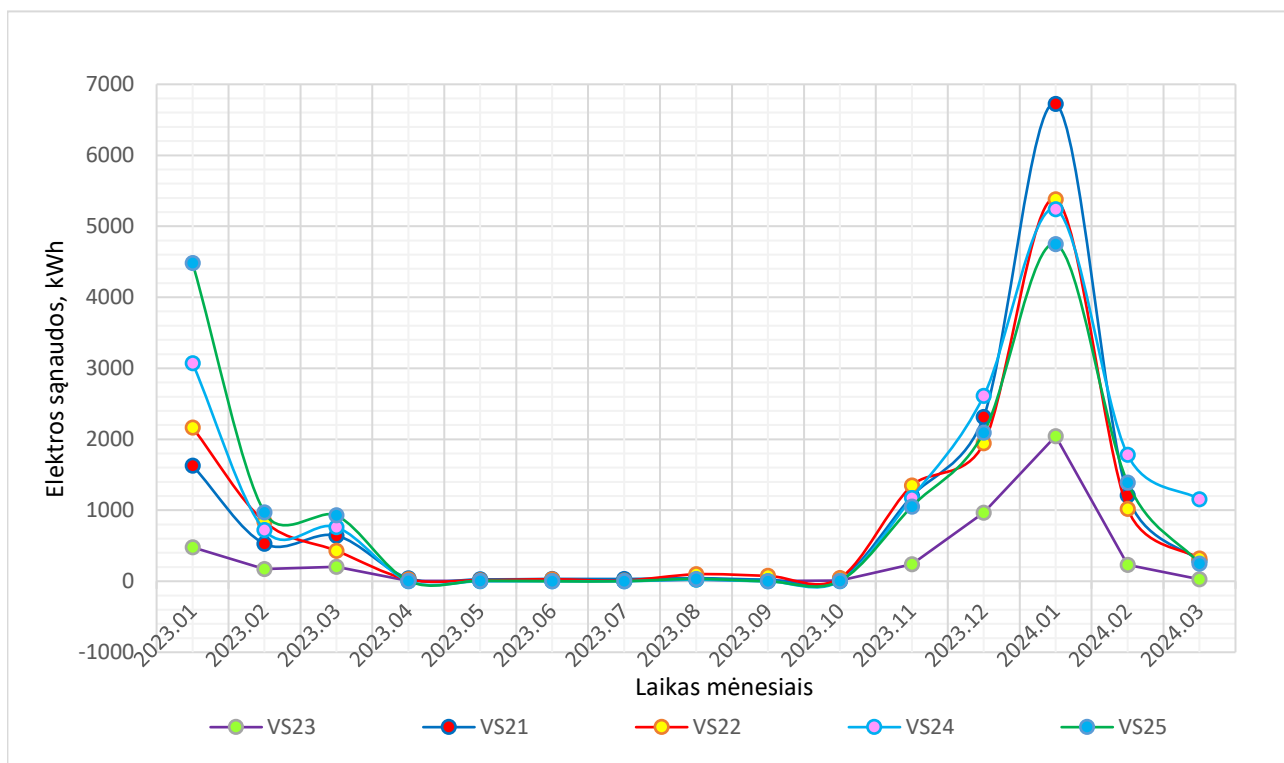


3.10 pav. VS25 iešmų grupės metinė statistinė diagrama

Duomenų kreivės diagramoje leidžia įžvelgti iešmų šildymo elektros sąnaudų koreliaciją su oro temperatūros ir užfiksuotų kritulių duomenimis. Ryškiai pastebimos ir sąnaudų „atostogos“ tai laiko tarpas per kurį elektros suvartojimas artimas 0. Didžiausių sąnaudų intervalas užfiksuotas nuo 2023 11 11 iki 24 02 29, o kreivės smailė peržengus 500 kWh ribą du kartus.

3.3. Statistinio tyrimo apibendrinimas

Remiantis atlikta visų iešmų grupių, tirtų elektros sąnaudų statistine analize, orientuotą į šildymo efektyvumo įvertinimą bei efektyviausio šildymo būdo identifikavimą. Tyrimas paremtas regresinės analizės principu, nustatant determinacijos R^2 koeficientus ir *Pearson* koreliacijos r koeficientus, kurie leido įvertinti sąnaudų priklausomybę nuo meteorologinių veiksnių, ypač oro temperatūros. Tyrimo metu nustatyta, kad visose iešmų grupėse elektros sąnaudos koreliuoja su oro temperatūros pokyčiais, tačiau ši priklausomybė nėra stipri. Determinacijos R^2 koeficientai svyruoja nuo 0,2568 VS23 iešmų grupėje iki 0,5593 VS24 iešmų grupėje, kas statistinėje teorijoje reiškia žemą ir nedaugiau nei vidutinį modelio prognozavimą. Nors atliktos regresinės analizės rezultatai rodo, kad ryšys tarp oro temperatūros ir suvartotos elektros nėra stiprus, bet pats kryptingumas aiškiai įrodo, kad šiltesnė aplinka siejasi su mažesniu šildymo poreikiu. Tą patvirtina ir *Weibull* paskirstymo metodo taikymas VS21 iešmų grupei, nustatyta, kad esant krituliams paskirstymo forma $\beta \approx 2,2$ ir mastelio parametras $\eta \approx 14,5$ rodo padidėjusias ir labiau išsisklaidžiusias elektros sąnaudas. Tuo tarpu be kritulių paskirstymas siauresnis $\beta \approx 0,9$; $\eta \approx 1,8$, kas patvirtina, kad krituliai yra esminis kintamasis, lemiantis šildymo intensyvumą. O *Pearson* koreliacijos koeficientai, rodantys priklausomybę tarp kintamųjų, buvo neigiami visose grupėse, r reikšmės tarp -0,45 ir -0,60, kas reiškia vidutinę priklausomybę, jog žemesnė temperatūra siejasi su didesnėmis elektros sąnaudomis. Svarbi tyrimo dalis tai vizualinė analizė, kurioje išryškėjusios vadinamų „sąnaudų atostogos“, kai elektros vartojimas artimas nuliui, o išryškėjęs elektros suvartojimas nuo 2023 11 15 iki 2024 02 29 aiškiai koreliuoja su žema temperatūra ir meteorologinių kritulių duomenimis. Apibendrinant, galima teigti, kad tiksliausiai galima nustatyti ryšį tarp kintamųjų šiame tyrime atliekant vizualinę statistinę diagramų analizę. Kad suvartotos energijos duomenys koreliuoja su meteorologinėmis sąlygomis įrodo 3.11 paveiksle pateikta energijos sąnaudų sezoniškumo diagrama.



3.11 pav. Pilviškių geležinkelio stoties kelyno iešmų elektros metinių sąnaudų diagrama

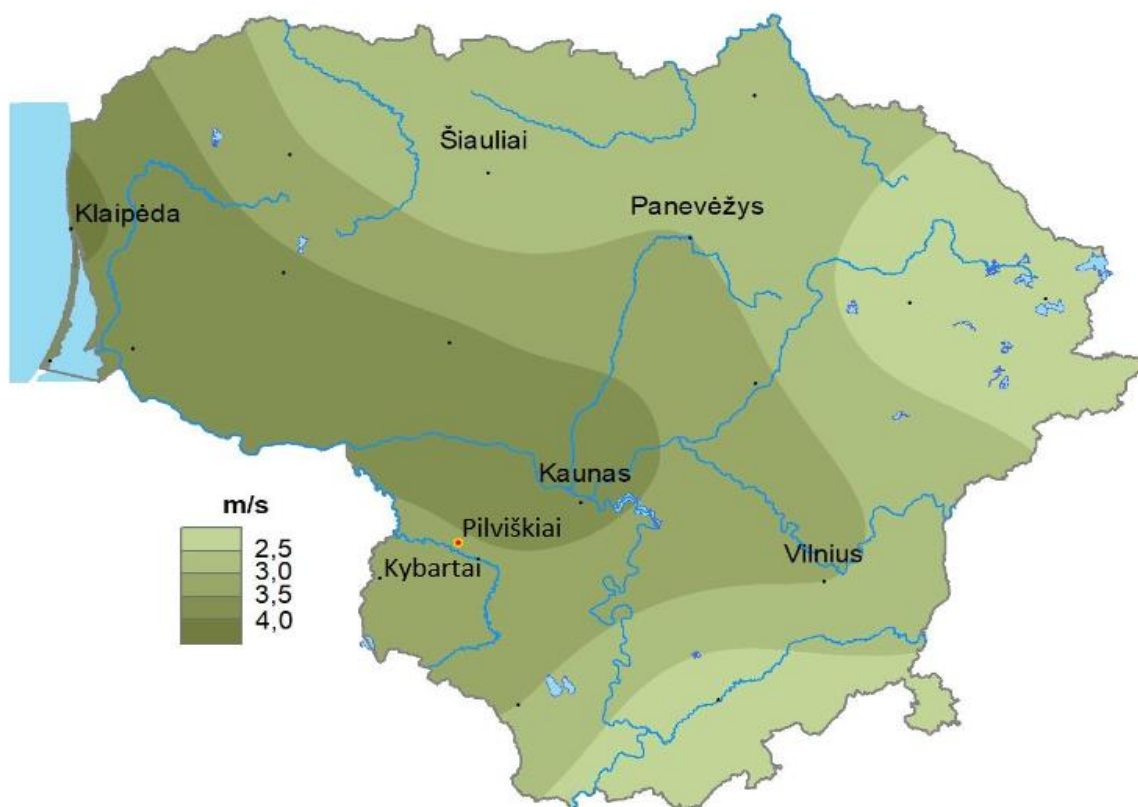
Pateiktoje diagramoje užfiksuota kaip šaltuoju metų laiku elektros sąnaudų kreivė eksponentiškai kyla į viršų, o atšylant leidžiasi žemyn, išskirdama sezoniškumą. Nors šildymo sąnaudų ir aplinkos temperatūros ryšys nėra stipriai išreikštas regresine prasme, pats energijos naudojimo modelis aiškiai parodo, kad automatinis režimas, reaguojantis į sezoniškumą, yra racionaliausias tiek energijos, tiek resursų požiūriu. Toks požiūris į šildymo valdymą leidžia pasiekti aukštesnį sistemų efektyvumą, užtikrinant, kad elektros energija būtų naudojama tik ten ir tada, kai tai yra būtina.

4. Oro sąlygų įvertinimas

Šiame skyriuje apžvelgiamas ir įvertinamas atsinaujinančios energijos potencialas geležinkelio iešmų šildymui. Regiono oro sąlygų įvertinimas atliekamas pasitelkiant daugiamečius Lietuvos meteorologinės tarnybos statistikos duomenis. Metrologijos stotyje vėjo parametrai nustatomi laikantis tarptautinių standartų. Pirmoje dalyje įvertinami vėjo energijos resursai, antroje dalyje saulės energijos panaudojimo potencialas iešmų šildymui.

4.1. Vėjo srauto ir energijos vertinimas

Vėjo greičio matavimas vyksta 10 m aukštyje virš žemės, atviroje specialioje aikštelėje, kuri pagal Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimų sąlygų įstatymo 114 str. turi 30 m apsaugos zoną, o bendroji meteorologinių stebėjimų aikštelės zona 200 m pločio [96]. Ilgamečių vėjo greičio duomenų 1991–2020 iš meteorologijos stočių matavimų sudarytas vidutinio metinio vėjo greičių pasiskirstymo Lietuvos teritorijoje žemėlapis, kaip pavaizduota 4.1 paveiksle.



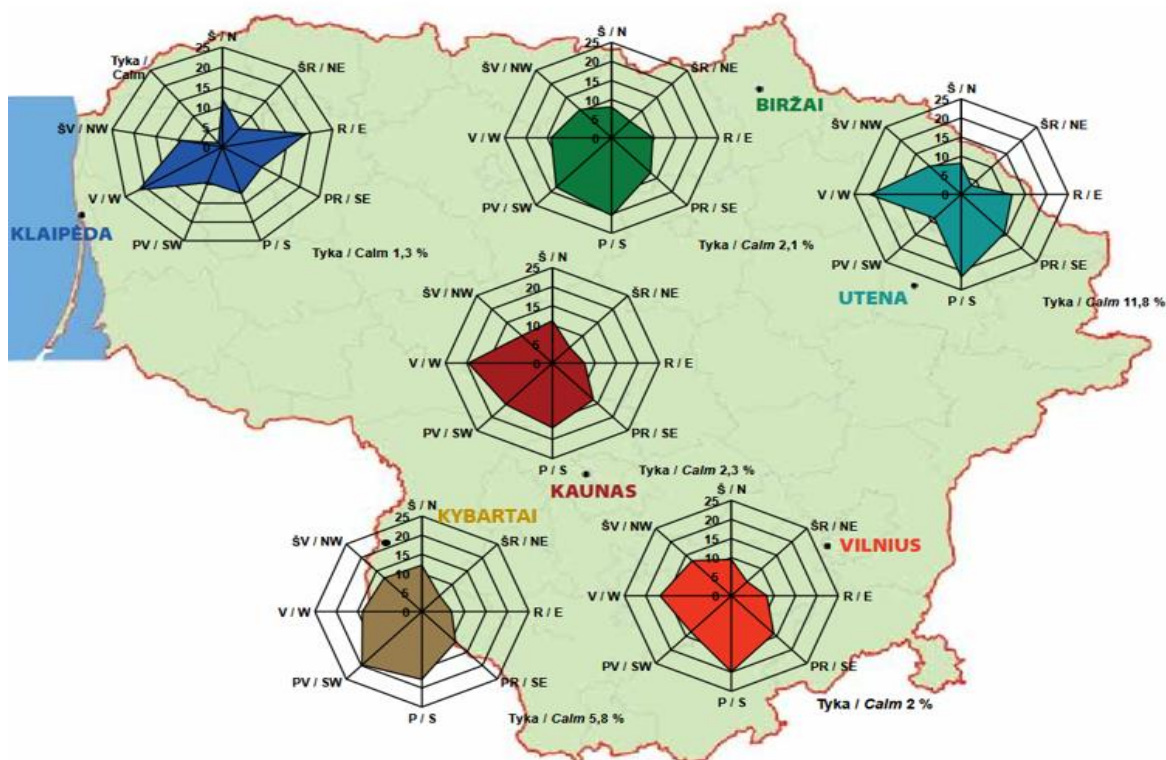
4.1 pav. Vidutinis metų vėjo greitis [97]

Kaip vaizduojama 4.1 paveiksle metiniame vėjo vidurkio žemėlapyje, Pilviškių miestelis [98] papuola į 3,0–3,5 m/s, vėjo greičio zoną. Sezoniniuose vėjo vidurkių žemėlapiuose kurie randasi rašto darbo gale, 6 priede, Pilviškių miestelis vasaros sezonu randasi 2,5–3,0 m/s, vėjo greičio vidurkio zonoje, rudens kaip ir pavasario sezonu 3,0–3,5 m/s o žiemos sezonu >4,0 m/s, vėjo greičio vidurkio zonoje. Iš šių duomenų galima daryti prielaidą, kad labiausiai vėjuotas yra žiemos sezonas. Šie duomenys pateikti atlikus metinius vidurkius iš visų Lietuvos meteorologinių stočių. Kadangi Pilviškių miestelyje nėra meteorologinės stoties, archyviniai duomenys patikslinimui naudojami iš artimiausios Pilviškių miesteliui AMS. Arčiausiai randasi Kazlų Rūdos, Šakių, Marijampolės ir

Kybartų AMS, bet visus meteorologinius duomenis archyvuoja, tik Marijampolės ir Kybartų AMS. Kazlų Rūdos ir Šakių AMS archyvuoja ir gali pateikti, tik oro temperatūros ir drėgnumo duomenis. Renkantis tarp Marijampolės ir Kybartų AMS svarbiausias faktorius ne tik atstumas nuo Pilviškių miestelio, bet ir teritorijos aukštis virš jūros lygio. Pilviškių miestelis pagal LAS07 sistemą, randasi ≈ 45 m, virš jūros, Marijampolės AMS randasi už ≈ 24 km, tiesia kreive ir $\approx 82,4$ m, aukštyje virš jūros o Kybartų AMS už ≈ 28 km, tiesia kreive ir aukštyje virš jūros $\approx 57,4$ m, Pagal LAS07 sistemos aukštingumą Kybartų AMS artimesnė Pilviškių miesteliui.

Vėjo energijos išteklių naudojimo planavimas reikalauja išsamaus duomenų įvertinimo apie vėjo greitį, jo svyravimus ir kryptį. Kadangi aplinkoje esančios kliūtys gali skirtingai paveikti vėjo judėjimą priklausomai nuo jo krypties, svarbu analizuoti vėjo pasiskirstymą pagal pasaulio šalis. Tai leidžia tiksliau apskaičiuoti energijos išteklius ir optimizuoti jų panaudojimą.

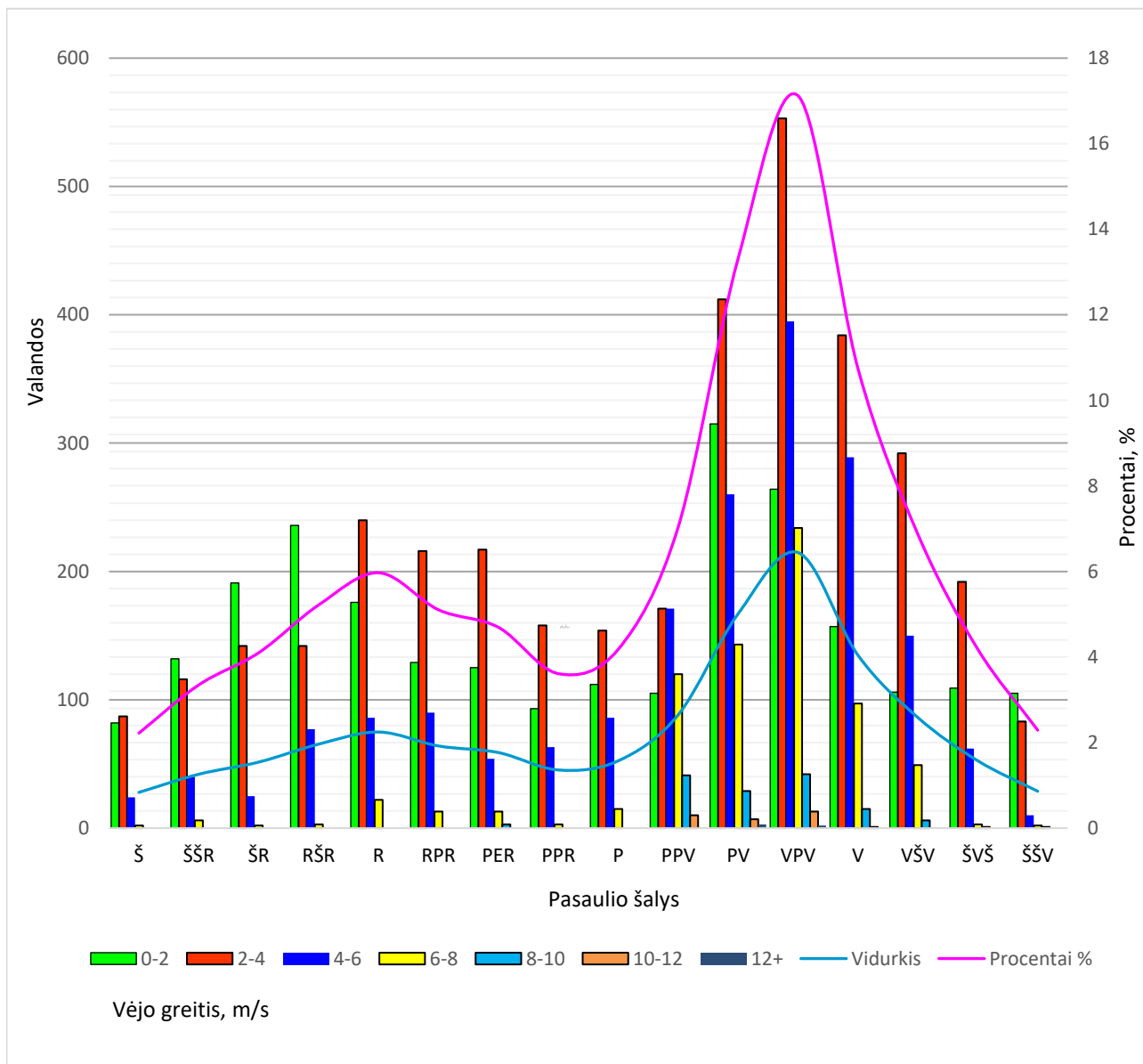
Automatiniai meteorologinių stočių prietaisai gali išmatuoti vėjo greitį diapazone nuo 0,0 m/s iki 40 m/s. Krypties nustatymui naudojama 16, arba 8 kryptų sistema: šiaurės (Š), šiaurės vakarų (ŠV), vakarų (V), pietvakarių (PV), pietų (P), pietryčių (PR), rytų (R) ir šiaurės rytų (ŠR). Kiekvienai iš šalių priskiriamas 45° kampo sektorius [99]. Priklausomai nuo taikomo metodo, kryptis gali būti žymima raidėmis, kampiniais laipsniais arba specialiais kodiniais skaičiais. Remiantis surinktais meteorologiniais duomenimis, sudaromi vėjo greičio pasiskirstymo dažnumo grafikai kitaip vadinamos vėjų rožėmis, kaip pavaizduota 4.2 paveiksle [97], kurie padeda įvertinti konkretaus regiono vėjo energetinį potencialą.



4.2 pav. Vėjų dažnumo grafikai [97]

Pagal 4.2 paveiksle vaizduojamų metų vėjų dažnumų grafikų galima stebėti Kybartų teritorijoje dažniausiai vyraujantis pietvakarių vėjas, pagal vėjų rožės pasiskirstymo smailę pasikartojimas siekia 20 % ribą, o tyka / Calm 5,8 % pagal Beaufort'o skalę 0–1 reiškia pasikartojančio štilio dalį [95].

Pagal šį rodiklį, tokią dalį viso fiksuojamo laiko, įrenginys nefiksavo jokio vėjo, per metus laiko gaunasi 31 diena. Siekiant nustatyti, kokius vėjo energetinius resursus būtų galima panaudoti geležinkelio iešmų šildymo energijos poreikiams padengti, tokiam tyrimui aktualu turėti patikimus duomenis iš pačios meteorologinės tarnybos archyvų iš kurių padarytos vidutinių vėjų greičių prielaidos tiriamos lokalizacijos vietoje. Pagal Kybartų AMS užfiksuotus meteorologinius duomenis sudaryti 3 metiniai grafikai, 2023 03 01–2024 02 29 vėjų rožė kuri įkelta darbo gale 10 priede ir stulpelinė vėjų dažnių diagrama, kuri iliustruota 4.3 paveiksle, joje pagal 16 pasaulio šalių kryptis pasiskirstęs vėjo dažnis išskaidytas stulpeliais vėjo greičio 2 m/s intervalais.

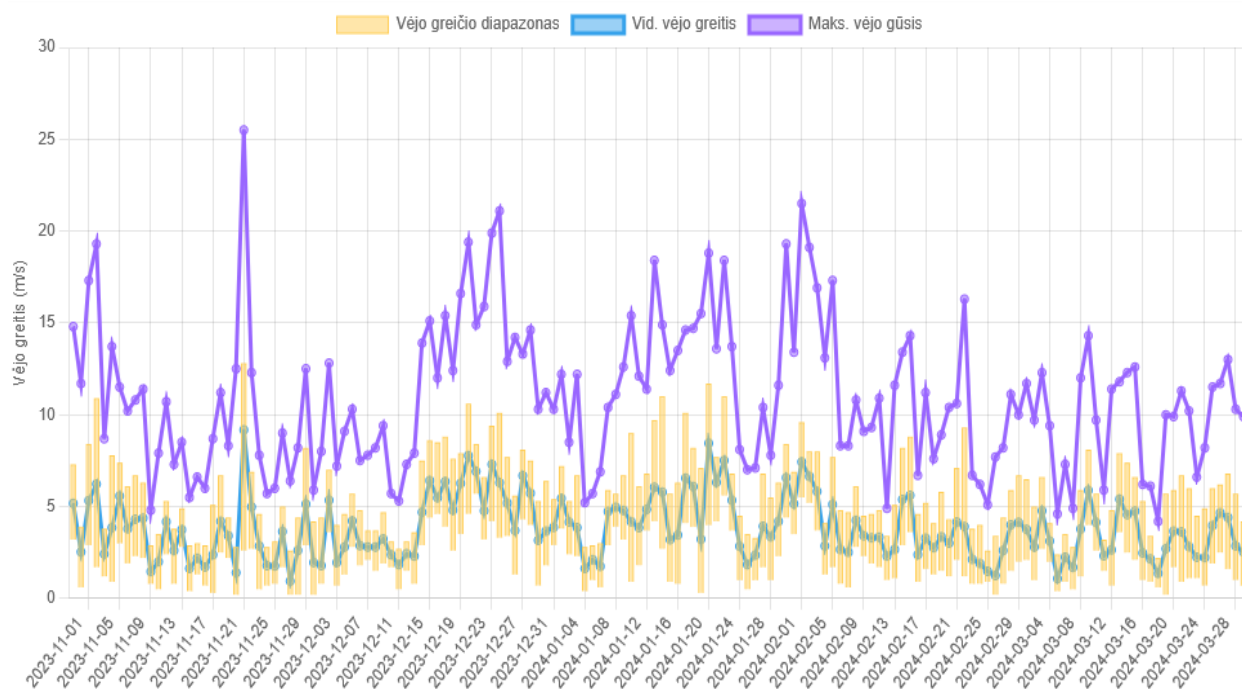


4.3 pav. Metinis vėjų dažnių pasiskirstymas

Analizuojant 4.3 paveiksle pavaizduotą sudėtinę diagramą, nustatyta, kad vyraujančios kryptys – vakarų, pietvakarių ir vakarų-pietvakarių (VPV) – sudaro didžiausią metinę vėjo pasikartojimo dalį (iki 17,12 %) ir pasižymi aukščiausiu vidutiniu greičiu. Šie parametrai itin svarbūs vėjo jėgainių eksploatacijai, nes nulemia energijos gamybos našumą ir sistemos patikimumą. Vertinant vėjo energetikos plėtrą, būtent šios kryptys turėtų būti laikomos prioritetinėmis projektuojant vėjo jėgainių parkus, nes tiek pasikartojimo dažnis, tiek vėjo greitis tiesiogiai lemia energijos gamybos efektyvumą.

Tuo tarpu rytų ir šiaurės rytų kryptys, nors ir egzistuoja, sudaro mažą dalį metinio vėjo srauto, pasižymi mažesniu greičiu ir trumpesniu veikimo laiku, todėl jų energetinis potencialas ribotas.

Metinė diagrama, kuriame trijų kreivių pagalba atvaizduojami maksimalaus vėjų gūσιο, pastovaus vėjo ir vidutinio vėjo greičio duomenys, dėl didelio tankio, kreivės labai glaustos, todėl grafikas nukeltas darbo gale 7 priede. 4.4 paveiksle vaizduojama 2023 11 01–2024 03 31 laikotarpio diagrama.



4.4 pav. Kybartų AMS duomenis sudaryta 2023 11 01–2024 02 29 vėjo greičio diagrama [100]

Šis laiko intervalas ir yra geležinkelio iešmų šildymo sezonas, kuris nustatytas tiriant 3.11 paveiksle užfiksuotus metinius energijos sąnaudų kiekvienai iešmų grupei grafikus. Siauresnio laiko intervalo grafike galima pastebėti, kuriomis dienomis vėjo greičio pokytis didesnis, jo diapazoną dienos atžvilgiu. Šio grafiko skaitinės reikšmės pateiktos 11 lentelėje.

11 lentelė. Kybartų AMS vėjo duomenų grafiko skaitinės reikšmės

Pavadinimas	Lapkritis	Gruodis	Sausis	Vasaris	Kovas
Min. vėjo greitis, m/s	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Maks. vėjo greitis, m/s	12,8	10,6	11,7	9,6	8,1
Vidutinis vėjo greitis, m/s	3,4	4,4	4,4	3,7	3,3
Maks. Vėjo gūsis, m/s	25,5	21,1	18,8	21,5	14,3

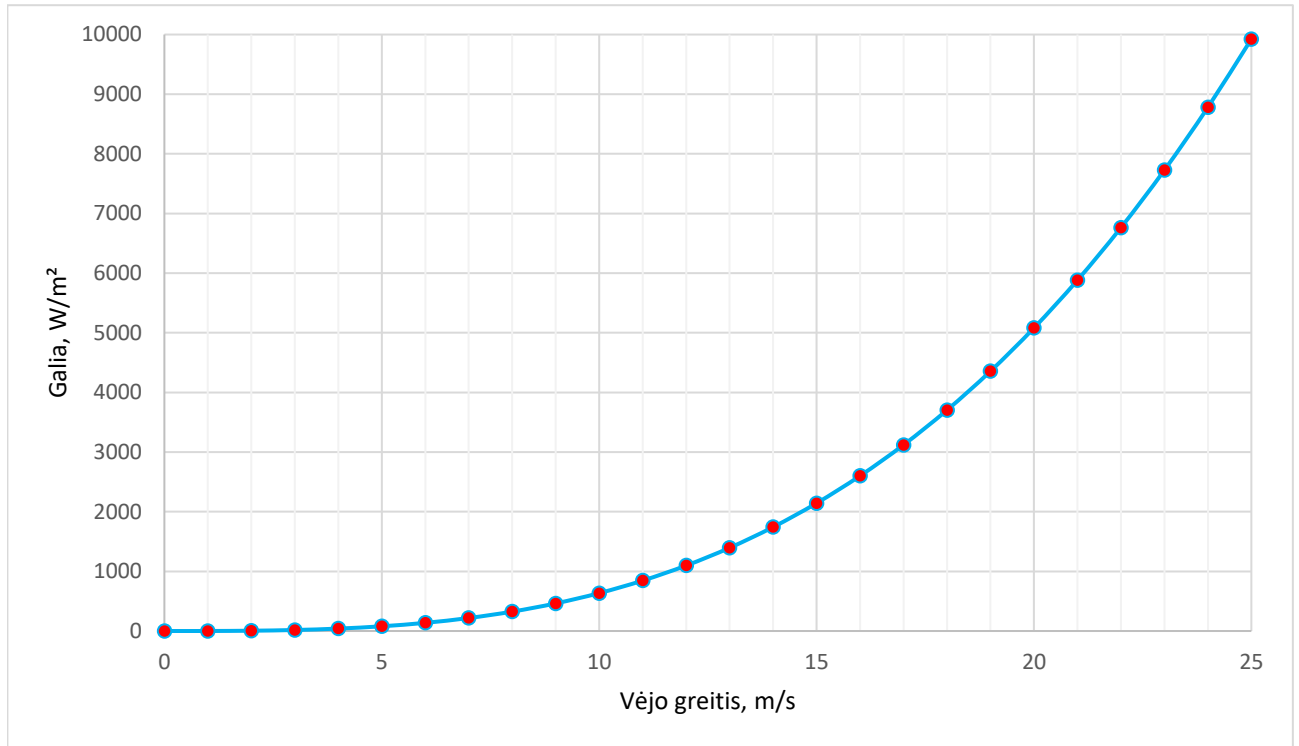
Iš lentelės matyti, kad vėjuočiausi tiriamo periodo mėnesiai yra gruodis ir sausis, kurių vidutinės vėjų greičių reikšmės siekia 4,4 m/s. Iš apibendrintų vėjo greičio duomenų įvertintas ir vėjaračiui suteikiamas energijos srautas. Tai leidžia projektuojamai vėjo elektrinei numatyti pagaminamos energijos kiekį, apskaičiuoti darbo trukmę ir ekonominį efektą. Vėjo srauto energija apskaičiuojama pasitelkiant (12) formulę [101, 102], rezultatai pateikti 4.5 paveiksle tiesinėje diagramoje:

$$E = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3; \text{W/m}^2 \quad (12)$$

čia E – vėjo srauto energija, W;

ρ – oro tankis, kg/m^3 ;

v – vėjo greitis, m/s.



4.5 pav. Vėjo srauto energija

Pateiktoje 4.4 paveikslo diagramoje vėjo srauto energija skaičiuota iki 25 m/s didesniais greičio skaičiais nėra prasmės manipuliuoti nes pagal *Beaufort* 'o skalę kuri pateikta darbo gale 8 priede, 25 m/s vėjas pereina iš stiprios audros į štormo kategoriją, kurios metu vyksta žymūs statinių pažeidimai [95]. Kadangi vėjo greitis turi tiesioginę priklausomybę nuo aukščio virš žemės ir jo paviršiaus šiurkštumo. Šiame tyrime iš Kybartų AMS duomenys gauti vėją matuojant 10 m aukštyje nuo žemės paviršiaus, o vėjo elektrinės aukštis ties rotorius centru nustatomas pagal gamintojo rekomenduojamą vėjo energijos generacijos pradinį greitį ir metinį vėjo vidurkį iš AMS. Vėjo greitį numatytam aukštyje h_2 galima apskaičiuoti pagal (13) formulę pasitelkiant logaritminę išraišką [101, 102]:

$$v = v_1 \frac{\ln(\frac{h_2}{h_0})}{\ln(\frac{h_1}{h_0})}; \text{m/s} \quad (13)$$

čia v_1 – vėjo greitis išmatuotame aukštyje h_1 , m/s;

v_2 – apskaičiuojamas vėjo greitis reikiamame aukštyje, m/s;

h_0 – teritorijos šiurkštumo parametras:

$h_0 = 0,1 \cdot h_n$;

h_n – šiurkštumo elemento aukštis, m;

h_1 – matuojamo vėjo aukštis AMS stotyje;

h_2 – skaičiuojamo vėjo aukštis, m.

Kadangi apskaičiuojamas vėjo srauto energija tiesiogiai priklauso nuo vėjo greičio kūbo ir oro tankio, kuris atvirkščiai proporcingas temperatūros ir specifinių dujų konstantos sandaugai, reikalinga perskaičiuoti tankį prie skirtingų temperatūrų pagal formulę (14) [103]:

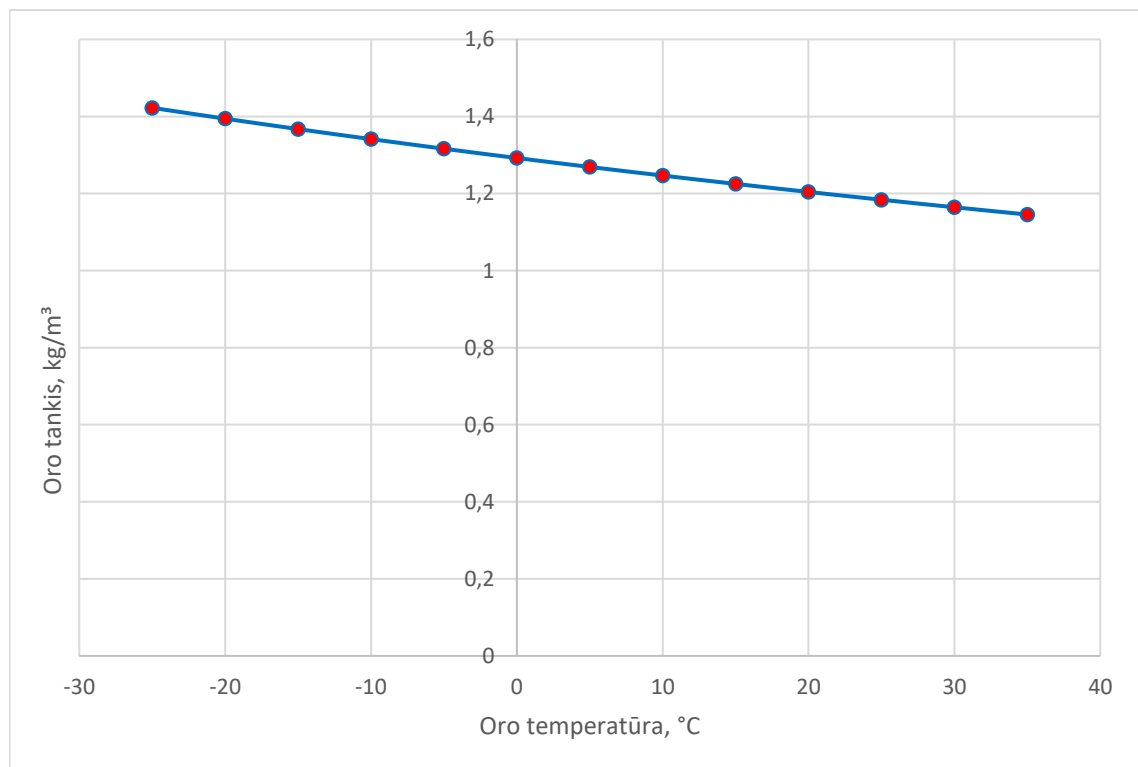
$$\rho = \frac{p}{R_{specifinė} \cdot T}; \text{ kg/m}^3 \quad (14)$$

čia p – oro slėgis jūros lygyje, Pa;

T – oro temperatūra, K;

$R_{specifinė}$ – specifinė dujų konstanta ($287,05 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

Gautų rezultatų duomenys atvaizduojami 4.6 paveiksle, kuriame matomas oro tankio pokytis skirtingų temperatūrų diapazone.



4.6 pav. Oro tankio priklausomybės nuo temperatūros kreivė

Iš pateiktos tiesinės diagramos 4.5 paveiksle aiškia matyti kaip kinta oro tankis temperatūrų intervale. Galima nustatyti kad oro tankio pokytis temperatūros intervale nuo -20 iki +20 lygus 0,2. Elektrinės aukščio nustatymo formulė išvesta iš (13) formulės. Pagal skirtingų gamintojų pateiktus duomenis elektrinės elektros generacijos greitis svyruoja nuo 3–4 m/s, tai tiesiogiai susiję su VE galios kreivėmis, kurios nustatomos gamintojo, eksperimento būdu. Šiam tyrimui pasirinktas pradinis generacijos greitis 4 m/s atsižvelgiant į pasirenkamų VE pateiktus duomenis. Pagal esamą lokalizaciją h_n – 10 m tai artimiausios aukščiausios kliūtis aukštis.

$$h_2 = h_o \cdot \exp\left(\frac{\ln \frac{h_1}{h_o} v_2}{v_1}\right); \text{ m} \quad (15)$$

čia v_1 – vėjo greitis AMS išmatuotame aukštyje h_1 , m/s;

v_2 – vėjo greitis reikiamam aukštyje, m/s;

h_0 – teritorijos šiurkštumo parametras:

$$h_0 = 0,1 \cdot h_n;$$

h_n – šiurkštumo elemento aukštis, m;

h_1 – matuojamo vėjo aukštis AMS stotyje;

h_2 – skaičiuojamo vėjaračio centro aukštis, m.

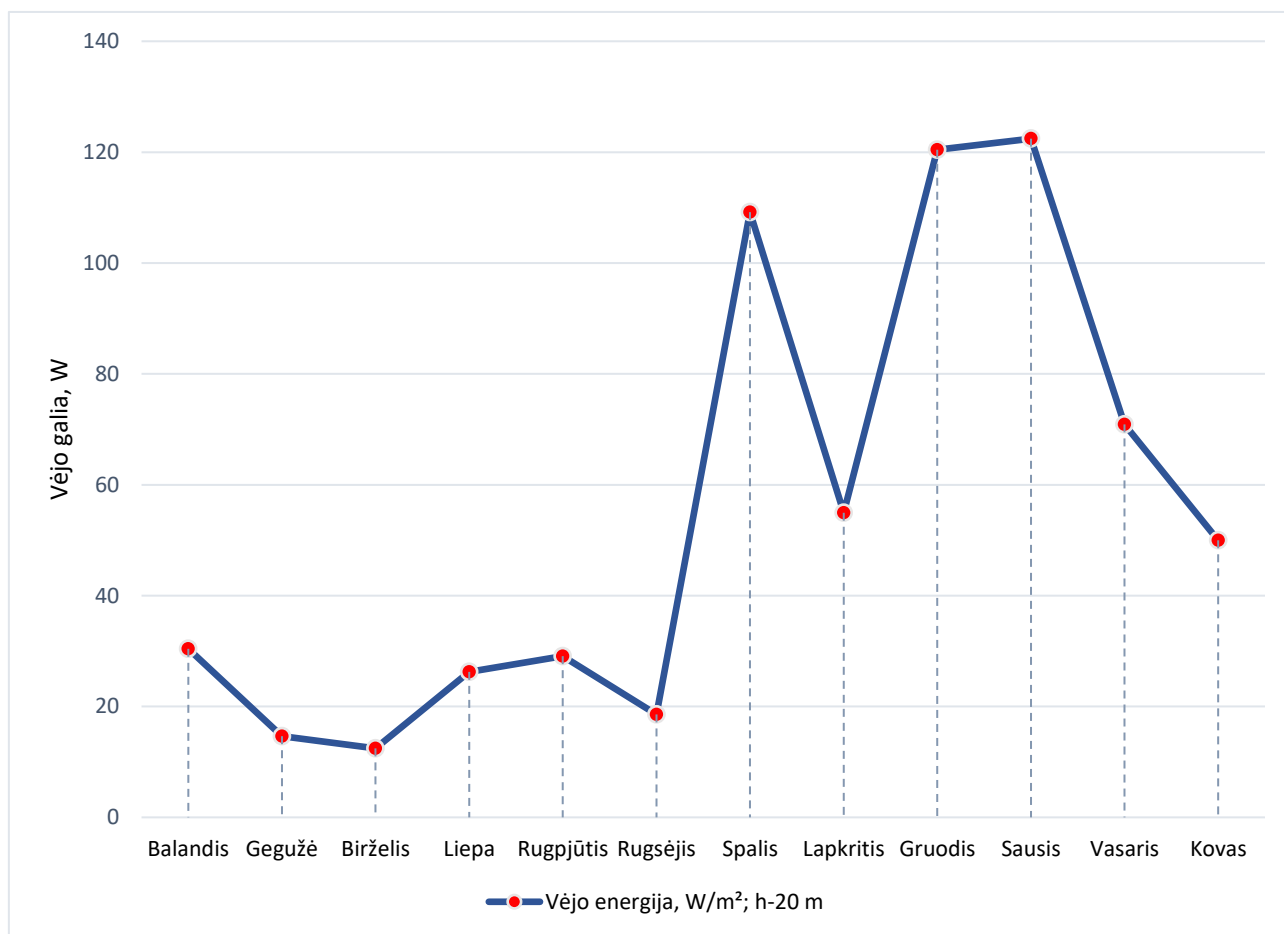
Vėjo greitis išmatuotame aukštyje $h_1 = 3,15$ m/s, tai iš Kybartų AMS duomenų apskaičiuotas vėjo greičio vidurkis, kurių metinė duomenų kreivė pateikta darbo gale 7 priede. Iš 15 formulės apskaičiuotas vėjaračio centro 18,63 m aukštis, jis suapvalinamas iki 20 m pagal statomų VE bokštų standartizaciją, toliau skaičiavimai atlikti operuojant nustatytu 20 m aukščiu. Nustačius VE rotorius centro aukštį, nustatomi to aukščio vėjo srauto energijos kiekis skirtingiems vėjo greičiams. Perskaičiavus tyrimų duomenis sudaryta oro parametrų bei vėjo energijos srauto 12 lentelė.

12 lentelė. Vėjo srauto energija pagal kintamus parametrus

Pavadinimas	Lapkritis	Gruodis	Sausis	Vasaris	Kovas
Min. vėjo greitis, m/s	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Maks. vėjo greitis, m/s	12,8	10,6	11,7	9,6	8,1
Vidutinis vėjo greitis, m/s	3,4	4,4	4,4	3,7	3,3
Maks. vėjo gūsis, m/s	25,5	21,1	18,8	21,5	14,3
Slėgio vidurkis, Pa	1005,00	1010,27	1012,93	1009,54	1007,69
Temperatūros vidurkis, °C	2,5	1,0	-2,8	3,6	4,8
Oro tankis, kg/m ³	1,2701	1,2838	1,3053	1,2708	1,2630
Vėjo greitis, m/s	Vėjo srauto energija, W/m ²				
1	1,40	1,41	1,44	1,40	1,39
2	11,19	11,31	11,50	11,19	11,13
3	37,76	38,17	38,81	37,78	37,55
4	89,51	90,47	91,98	89,56	89,00
5	174,82	176,70	179,65	174,91	173,84
6	302,09	305,34	310,44	302,25	300,39
7	479,71	484,86	492,97	479,96	477,01
8	716,06	723,76	735,86	716,44	712,04
9	1019,55	1030,51	1047,74	1020,09	1013,82
10	1398,56	1413,60	1437,23	1399,30	1390,70
11	1861,48	1881,50	1912,95	1862,47	1851,02
12	2416,71	2442,70	2483,53	2418,00	2403,13

Kombinuotoje lentelėje 12 pateikti vėjo srauto energijos duomenys apskaičiuoti pagal metų laikų vyraujančių temperatūrų vidurkius ir fiksuojamus oro slėgio rodiklius, pateikti pastovaus vėjo greičio duomenys iki 12 m/s konvertuoti pagal (13) formulę ir srauto energija į 1 m² apskaičiuota 20 m aukštyje, kuriame bus VE rotorius centras. Lentelėje pateikti, tik šalčiausių metų laikų mėnesių duomenys, nes pagal nustatytą elektros sąnaudų iešmyno šildymui sezoniskumą, būtent šiais mėnesiais fiksuojamas didžiausias energijos poreikis. Visa lentelė su visais metų laikų mėnesiais ir

vėjo greičiais iki ekstremalaus 25 m/s, pateikta darbo gale 9 priede, vėjo srauto energijos lentelė pagal kintamus duomenis. Kiekvieno metų laiko mėnesio, vidutinio vėjo greičio srauto energijos į 1 m^2 , pavaizduota 4.7 paveiksle, užfiksuoto vidutinio vėjo greičio energijos grafike.

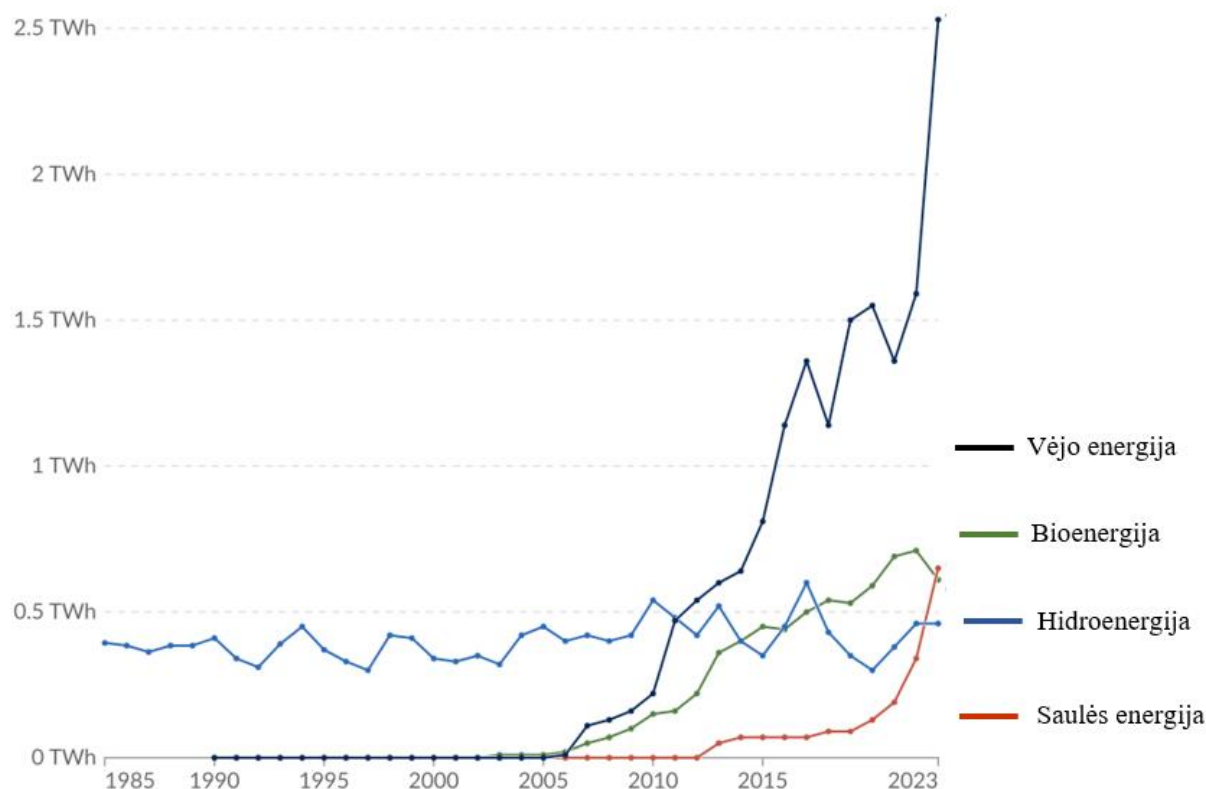


4.7 pav. Vidutinio vėjo greičio srauto energijos kiekio pasiskirstymas pagal mėnesius

Linijinės diagramos energijos galios reikšmės apskaičiuotos pagal (13) ir (12) formules 20 m aukštyje, pagal juos galima spręsti, kad didžiausias vėjo energijos potencialas yra spalio, gruodžio ir sausio mėnesiais, tai sudaro atitinkamai 119,17, 120,42 ir 122,43 W/m^2 . Vėjo energijos metinis pasiskirstymas palankus geležinkelio iešmų šildymo sezoniškumui, didžiausios reikšmės sutampa abiejų diagramų, t. y. kreivių šuoliai fiksuojami tais pačiais gruodžio ir sausio mėnesiais.

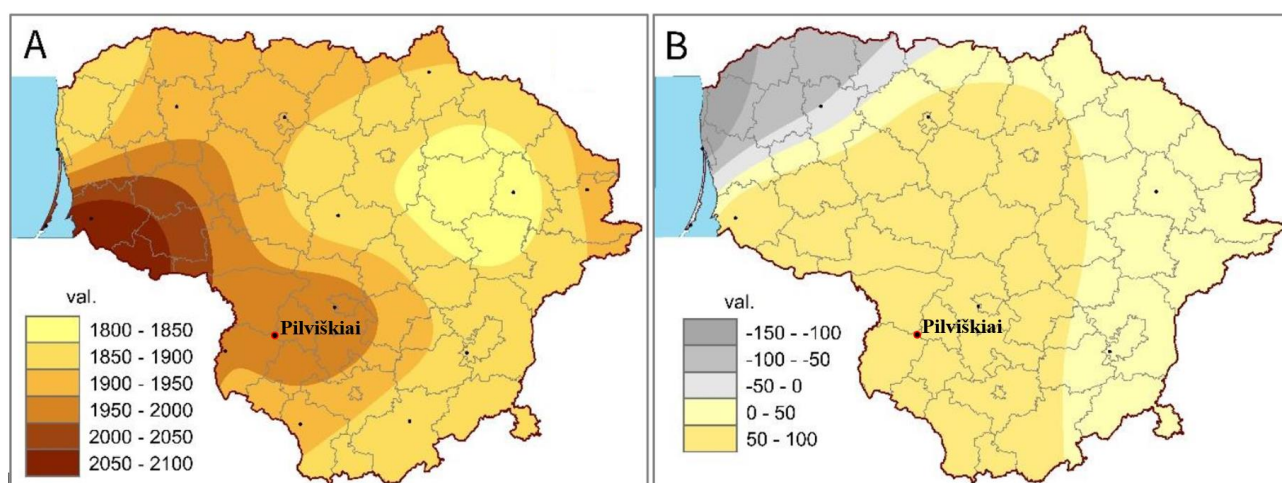
4.2. Saulės energijos panaudojimo vertinimas

Pagal įvairius šaltinius tiek vietinius tiek užsienio, saulės energijos panaudojimas elektros generacijai auga [21, 97]. Lyginant įvairių AE šaltinių panaudojimą Lietuvoje, vėjo ir saulės energijos potencialo panaudojimas auga sparčiau nei kitos AE šaltinių rūšys, tą geriausiai pastebėti AE šaltinių tendencijų diagramoje per ilgą laiko tarpą 4.8 paveiksle. Įvairių vietovių metiniai saulės energijos išteklių duomenys įvertinami vidutinėmis daugiametėmis saulės ekspozicijomis konvencinėse saulės energijos konvencinėse erdvių plokštumose.



4.8 pav. AE šaltinių naudojimas Lietuvoje [97]

Iš 4.8 paveiksle pavaizduotos diagramos matoma kaip saulės energijos panaudojimo kreivė nuo 2012 metų pradeda augti ir 2023 metais siekia 0,65 TWh pagaminamos elektros energijos rodiklius. Įvertinus saulės energetinius išteklių duomenis visose šalies regionuose, sudaromos šalies metinės saulės energijos išteklių duomenų lentelės ir žemėlapiai. Saulė 2024 m. Lietuvoje vidutiniškai spindėjo 1944 val., tai artimi duomenys SKN rodikliui 1917 val. tai iliustruoja ir 4.9 paveikslas iš Lietuvos hidrometeorologinės tarnybos metinės ataskaitos, metinė saulės spindėjimo trukmė 2024 m. [97].



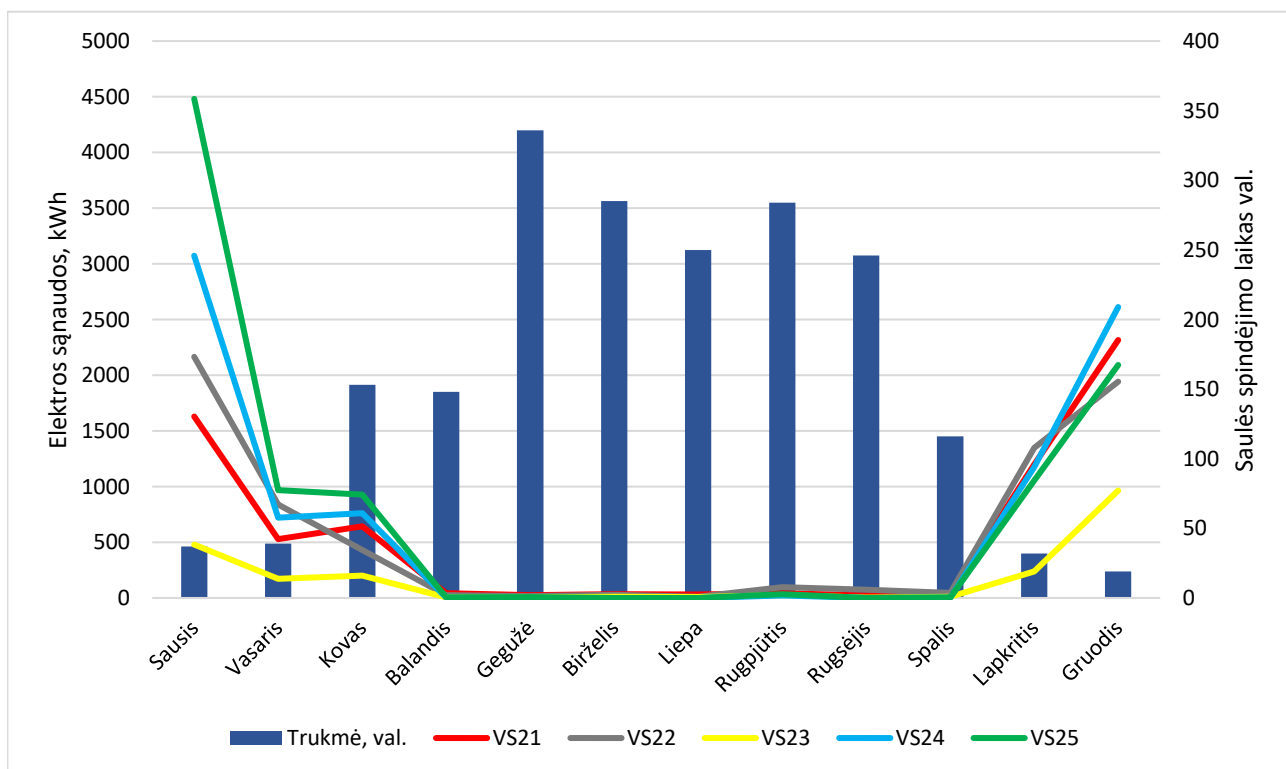
4.9 pav. Metinė saulės spindėjimo trukmė 2024 m., (val., A) ir nuokrypis nuo SKN (val., B) [97]

Pateiktoje iliustracijoje aiškiai matomas apšvietos laiko ir SKN nuokrypio pasiskirstymas. Ilgesnis saulės spindėjimo laikas fiksuotas Lietuvos pietvakarinėje ir pajūrio pietinėje dalyse „Mažojoje Lietuvoje“, o šalies šiaurės rytinėje dalyje fiksuotas trumpesnis laikas. Didžiausias SKN teigiamas nuokrypis fiksuotas pietvakarių ir centrinėje Lietuvoje, o neigiamas šiaurės vakariniame pakraštyje. Skirstant saulės apšvietos laiką į sezonus tai 2024 m. žiemą pagal fiksuotą laiką saulės spindėjimo trukmė buvo 37 % trumpesnė nei SKN, o pavasario ir vasaros laikas artimas daugiametei normai, rudenio duomenys 22 % ilgesni nei SKN. Spindėjimo laiko pasiskirstymas metų bėgyje išdėstytas 13 lentelėje kurioje pateikti atskirų mėnesių saulės spindėjimo trukmė ir nuokrypis % nuo SKN.

13 lentelė. Vidutinė atskirų mėnesių saulės spindėjimo trukmė (val.) ir nuokrypis nuo SKN (%)

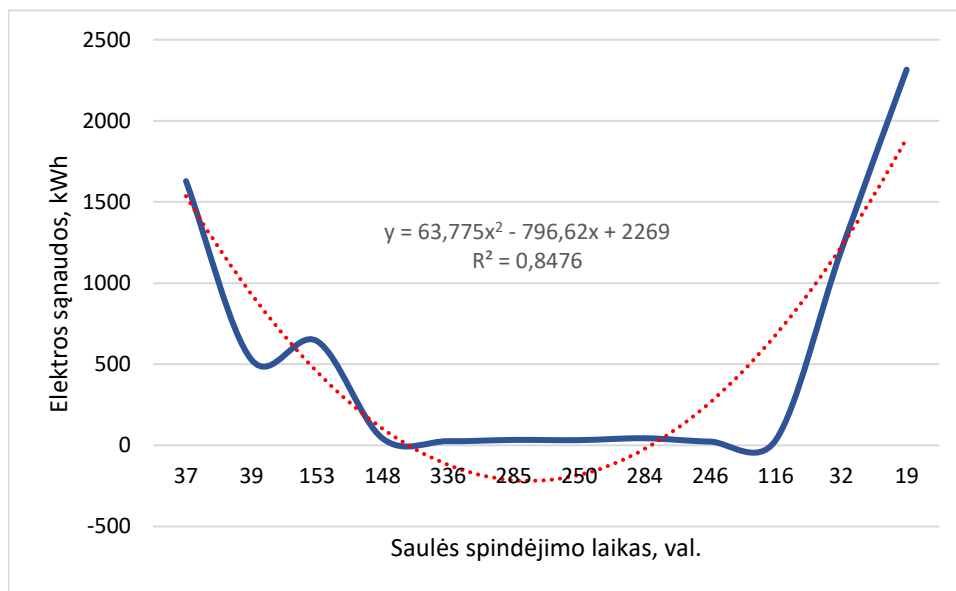
Mėnuo	Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis
Trukmė, val.	37	39	153	148	336	285	250	284	246	116	32	19
Nuokrypis, %	90,2	60	105,5	69,8	118,7	102,9	88,3	110,1	137,4	109,4	82,1	65,5

Iš pateiktos 13 lentelės duomenų nustatyta didžiausio saulės spindėjimo mėnuo yra gegužis su 336 val., mažiausias apšvietos laikas 19 val. užfiksuotas gruodžio mėnesį. Didžiausias nuokrypis nuo SKN fiksuojamas rugsėjo mėnesį, mažiausias 60 % vasario mėnesį, tai reiškia, kad per visą ilgalaikį duomenų fiksavimo terminą apšvietos laikas pasistūmėjo į teigiamą pusę t. y. valandų skaičius padidėjo. Surinkti duomenys rodo saulės spindėjimo laiko sezoniškumą, kurį galima palyginti su geležinkelio iešmų energijos sąnaudų sezoniškumu. 4.10 paveiksle vaizduojama, kombinuota stulpinė su pasiskirstymo linijine diagrama, kuriame matomas saulės apšvietos laiko ir elektros sąnaudų pasiskirstymas.



4.10 pav. Saulės apšvietos laiko ir elektros sąnaudų metinis pasiskirstymas

Paveiksle 4.10 vaizduojamoje diagramoje užfiksuotų duomenų dėka galima daryti išvadą, kad saulės energijos šaltinių panaudojimas geležinkelio iešmų šildymui, labai ribotas. Tais mėnesiais kai iešmyno energetinių sąnaudų rodikliai artimi 0, saulės energijos potencialas rodo didžiausius rodiklius, kai iešmyno elektros energijos sąnaudų kaštai eksponentiškai kyla į viršų, saulės energijos potencialas krenta. Galima teigti, kad šie duomenys vienas kitam atvirkščiai proporcingi. Tą įrodo ir 4.11 paveiksle pavaizduotas saulės spindėjimo laiko ir iešmų šildymo sąnaudas aproksimuojantis modelis, sudarytas pasitelkiant tiesinės regresijos lygtį (7) formulę.



4.11 pav. Iešmų elektros sąnaudų priklausomybė nuo saulės apšvietos laiko

Iš 4.11 paveiksle pavaizduotos diagramos matoma, kaip iešmų elektros sąnaudos ir saulės apšvietos laikas koreliuoja. Determinacijos koeficientas $R^2 = 0,8476$ rodo stiprų ryšį tarp duomenų ir prognozės modelis yra stiprus. *Pearson* koreliacijos koeficientas priklausomai nuo iešmų grupės suvartotos elektros energijos svyruoja nuo 0,63–0,8. Remiantis šiuo faktu galima teigti kad mažinti geležinkelio iešmų elektros energijos kaštus šildymui panaudojant saulės energiją neperspektyvu.

4.3. Oro sąlygų tyrimo apibendrinimas

Tyrimas pagrįstas naudojant Lietuvos meteorologinių stočių AMS archyvinis duomenis, kurie apima vidutinį, maksimalų ir momentinį vėjo greitį, oro slėgį bei temperatūrą. Šie parametrai buvo naudojami skaičiuojant vėjo energijos srautą taikant klasikinę vėjo kinetinės energijos formulę su korekcijomis pagal oro tankį ir aukščio transformaciją pasitelkiant logaritminį modelį. Nustatyta, kad vėjuočiausi mėnesiai gruodis ir sausis, tai sutampa su didžiausiu energetiniu poreikiu geležinkelio iešmų šildymui, o vidutinis vėjo greitis 20 m aukštyje siekia 4,4 m/s, kas atitinka pradinės elektrinių generacijos sąlygas. Vertinant vėjo energijos potencialą buvo nustatyta, kad vidutinės galios reikšmės siekė iki 122,43 W/m² sausio mėnesį, o tai atitinka poreikį šildymo sezonui, kuriam būdingas didžiausias iešmų energijos suvartojimas. Svarbu pažymėti, kad atlikta vėjo greičio korekcija pagal nustatytą elektrinės 20 m aukštį, kuris laikomas optimaliu tipinių VE bokštų konstrukcijai, bei esamai lokalizacijai.

Tiriant saulės energijos potencialą, kuris nors ir augantis šalies mastu, nustatytas kaip visiškai neefektyvus iešmų šildymo kontekste. Empirinis modeliavimas su regresine analize tarp saulės

spindėjimo trukmės ir geležinkelio iešmų šildymo energijos sąnaudų parodė itin stiprią koreliaciją $R^2 = 0,8476$, kas rodo sisteminių neatitikimų tarp energijos generacijos ir šildymo poreikio. Nustatytas saulės energijos pikas vasaros mėnesiais, kuris nesutampa su elektros suvartojimo šuoliais žiemos metu, todėl saulės energijos šaltinis šiam tikslui yra energetiškai nepagrįstas. Apibendrinant, vėjo energija vertintina kaip strategiškai perspektyviausias atsinaujinančios energijos šaltinis geležinkelio iešmų šildymui. Integruojant lokalius meteorologinius duomenis, analitinius skaičiavimus bei inžinerinę energetinę analizę, tyrimas grindžia vėjo jėgainių technologijų diegimo būtinumą šioje infrastruktūroje kaip žingsnį link energetinio efektyvumo ir klimatui neutralios transporto infrastruktūros vystymo.

5. Vėjo jėginių analizė

Šiame skyriuje analizuojamos ir parenkamos vėjo jėgainės, atsižvelgiant į lokalizacijos vietą, reljefo ypatumus (šiurkštumą) ir teisinį reglamentavimą. Nuo 2022 vasario 24 dienos aktualus ir politinis veiksnys, labai svarbi šalis gamintoja. Europos sąjungos politinė kryptis linksta link *China Free* pozicijos, kad jautrūs infrastruktūros gaminiai būtų gaminami Europos sąjungoje, arba šalyse sąjungininkėse. Pirmoje skyriaus dalyje apžvelgtas teisinis reglamentavimas susijęs su atsinaujinančių išteklių energetika, antroje dalyje parinkti 5 gamintojai, iš kurių bus pasirinkta tinkamiausia vėjo jėgainė. Skyriaus išvadose pateiktas pasirinkimas su argumentais.

5.1. Vėjo jėginių statymo teisinis reglamentavimas

Lietuvos Respublikoje, vėjo elektrinių statyba reglamentuojama teisės aktais, nustatančiais reikalavimus dėl elektrinių galios, aukščio, triukšmingumo ir atstumų iki kaimyninių sklypų ribų. Atsinaujinančių išteklių ir energetikos įstatyme [104], paskelbtame *Žin. 2011, Nr. 62-2936, i. k. 1111010ISTA0XI-1375* 49 straipsnyje numatyta, kad mažesnis kaip 30 kW galios vėjo jėgainės, kurių aukštis ne didesnis kaip 25 m, statybai taikomi supaprastinti reikalavimai. Žemės sklype, kuriame statoma vėjo elektrinė taip, kad trumpiausias atstumas iki kaimyninio sklypo ribos būtų didesnis už pačios statomos jėgainės ilgį, arba plotį pasirenkant didžiausią matmenį, įskaitant rotoriaus, arba sparnuotės ilgį. Esant trumpesniai atstumui, reikalingas besiribojančio kaimyninio sklypo savininko raštiškas sutikimas. Pagal šį teisės aktą, šioms elektrinėms netaikomas sklypo paskirties atitikimo reikalavimas, nereikalingas poveikio aplinkai bei poveikio visuomenės sveikatai vertinimas taip pat nereikalingas statybos leidimas [104]. Pagal Lietuvos Respublikos *Statybos techninio reglamento* str. 1.01.03:2017 *statinių klasifikavimas* įstatymą, paskelbta TAR 2016-11-21, i. k. 2016-27168 STR 1.01.03:2017 [105]. Vėjo jėgainės, kurių galingumas nuo 0,5 kW iki 10 kW priskiriamos pirmai nesudėtingų inžinerinių statinių grupei, o kurių galingumas nuo 10 kW iki 30 kW priskiriamos antrai nesudėtingų inžinerinių statinių grupei. Šie du išvardinti teisės aktai leidžia Pilviškių geležinkelio stotyje statyti nesudėtingą vėjo jėgainę, jei ji atitinka šiuos kriterijus:

- Aukštis: iki 25 metrų (įskaitant rotoriaus sparnų ilgį).
- Galia: iki 10 kW, įrengtoji galia iki 30 kW.
- Atstumas iki sklypo ribos: ne mažesnis kaip jėgainės aukštis (mažesniai atstumai reikalingas kaimyninio sklypo savininko raštiškas sutikimas).

Lietuvos Respublikos higienos reglamente Nr. V-166, 2018-02-12, paskelbta TAR 2018-02-13, i. k. 2018-02188 [106] reikalaujama, kad gyvenamasis namas ar gyvenamoji teritorija nepatektų į triukšmo zoną, kuris yra didesnis nei 45 dB [106]. Numatomų statyti elektrinių garso slėgis nurodomas gamintojų neviršija 50 bB kai kurių gamintojų nurodomas ir 46 dB garso slėgis. Garsui sklindant laisvuju lauku, garso slėgio lygis sumažėja 6 dB kaskart padvigubėjus atstumui nuo garso šaltinio, tai iki pirmojo gyvenamojo namo garso slėgis bus nereikšmingas gyventojų buičiai.

5.2. Vėjo jėginių gamintojai

Šioje skyriaus dalyje apžvelgiami vertikalios ašies VAWT vėjo elektrinių gamintojai. Prioritetinis pasirinkimas yra iš Europos sąjungos ir JAV šalių vengiant Kinijos ir Rusijos gamintojų. Renkantis tinkamą vėjo jėgainę esamai lokalizacijai, svarbu atlikti skaičiavimus, atsižvelgiant į Pilviškių geležinkelio stotyje esantį vidutinį metinį vėjo greitį 3,1 m/s. Įsivertinus gamintojų pateiktus techninius parametrus ir tikslingiausia naudoti formulę vėjo teoriniai energijai apskaičiuoti ploto atžvilgiu [116–118]:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta_g; W \quad (16)$$

čia P – galia, W;

ρ – oro tankis 1,225, kg/m³ prie 15°C;

A – rotorius plotas, m²;

v – vėjo greitis, m/s;

C_p – eksploatacinių savybių galios koeficientas 0,35;

η_g – generatoriaus naudingumo koeficientas 0,95.

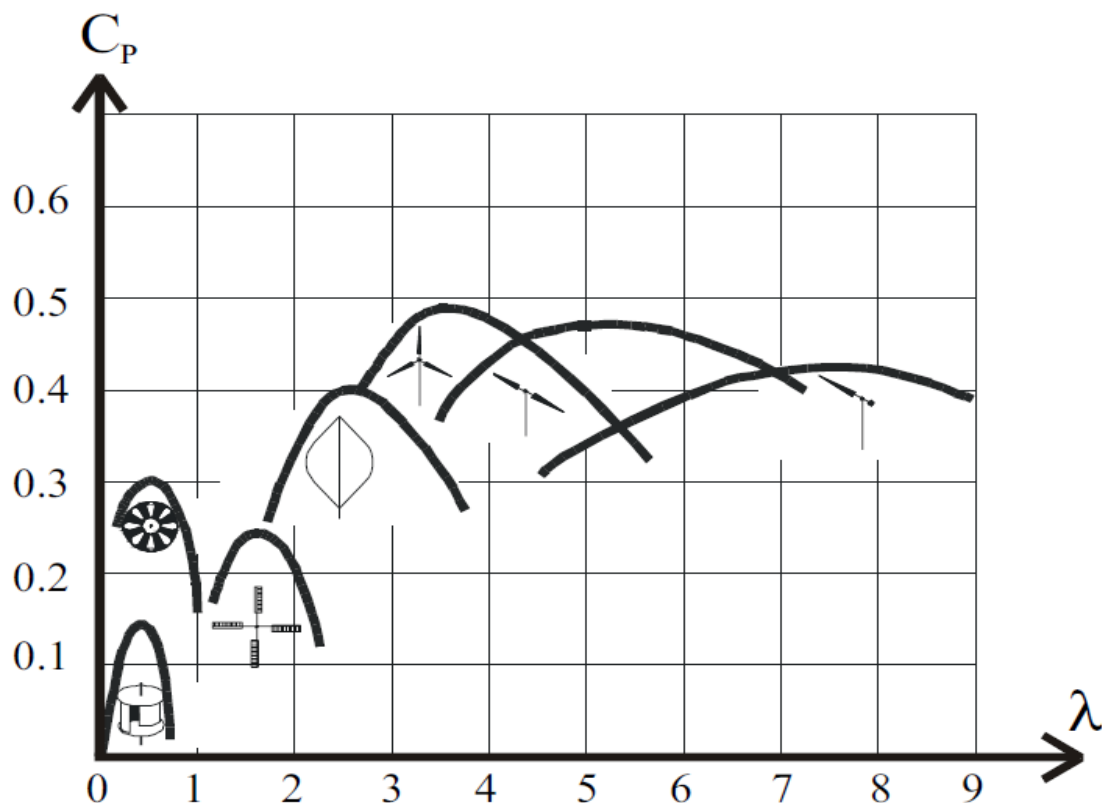
Rotorius plotas A apskaičiuojamas, dauginant rotorius skersmenį iš aukščio, kitaip sakant tai vėjo atakos stačiu kampu į rotorius skerspjuvio plotas [118, 121]. Hi VAWT vėjo jėgainių rotorius yra elipsės formos, tai ir jo plotas apskaičiuojamas pagal elipsės ploto (17) formulę;

$$A = \pi \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{b}{2}; m^2 \quad (17)$$

čia a – rotorius aukštis, m;

b – rotorius plotis, m.

C_p – koeficientas skirtinguose šaltiniuose įvardijamas skirtingai, vienur tai jėgainės efektyvumo koeficientas kitur galios panaudojimo koeficientas [119], kaip vaizduojama 5.1 paveiksle, prasmė jo viena, parodyti vėjo ir elektrinės sugeneruojamos energijos iš vėjo santykį kuris negali viršyti 0,59



5.1 pav. Vėjo jėgainių naudingumo koeficiento priklausomybė nuo vėjo [120]

dar kitaip vadinamą Betz riba (*Albert Betz*). Skirtingoms VE jisai skiriasi, vėjo jėgainių galios koeficiento priklausomybė nuo vėjo ir rotorius tipo bei vėjo greičio [120].

5.2.1. Ecorote vėjo jėgainės

Ecorote gamintojo vertikalios H tipo *Darrieus* vėjo jėgainės kuri vaizduojama 5.2 paveiksle [107] pažangūs įrenginiai, skirti atsinaujinančios energijos gamybai nuo 0,3 kW iki 9,8 kW galios, visos specifikacijos 14 lentelėje. Stabilios konstrukcijos rotorius garantuoja efektyvų vėjo energijos surinkimą. Turbinos aukštis nuo 1,2 m iki 5,5 m kas leidžia optimaliai išnaudoti turimą erdvę vertikalia kryptimi.

14 lentelė. Ecorote jėgainių techniniai duomenys

Pavadinimas	Ecorote 300	Ecorote 1000	Ecorote 1500	Ecorote 2800	Ecorote 9800
Turbinos galia, W	300	1000	1500	2800	9800
Vējaračio skersmuo, m	1	1	2,2	2,2	4,3
Vējaračio aukštis, m	1,2	1,5	2,15	3	5,6
Startinis vėjo greitis, m/s	2	2	1,25	1,25	1,2
Darbinis vėjo greitis, m/s	10	12			
Jėgainės masė, kg	48	52	155	175	550
Stabdžiai	elektromagnetiniai		elektromagnetiniai ir elektromechaniniai		
Darbinė temperatūra, C°	nuo -40 iki +70				

Iš 14 lentelės matyti, kad visų modelių veikimui būdingas žemas startinis vėjo greitis (nuo 1,2 iki 2 m/s), kas leidžia pradėti energijos generavimą net esant silpnam vėjui tai itin aktualu šaltuoju metų laikotarpiu, kai geležinkelio iešmų šildymo poreikis yra didžiausias, o oro sąlygos nepalankios.



5.2 pav. Ecorote vėjo jėgainė [107]

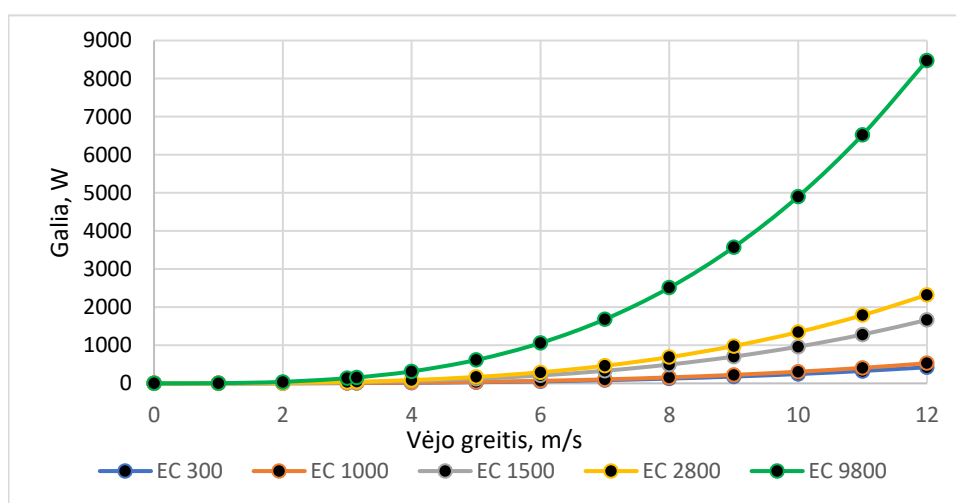
Inžineriniai saugos sprendimai, tokie kaip elektro-mechaninių stabdžių integracija, garantuoja įrenginio veikimo stabilumą net esant gūsingiems ar ekstremaliems vėjams, apsaugant jėgainę nuo

pažeidimų. *Ecorote* vėjo jėgainė, pasižymi patvaria aliuminio konstrukcija, kuri išbandyta ekstremaliomis sąlygomis. Įdiegta universali *On Grid/Off Grid/Hybrid* operacinė sistema leidžia naudoti įvairias valdymo programas. Mažesnis nei 46 dB triukšmo lygis leidžia vėjo jėgaines naudoti miesto ribose. Darbinės temperatūros diapazonas nuo -40 °C iki 70 °C ir apsauga nuo korozijos užtikrina patikimumą įvairiomis oro sąlygomis. Sertifikavimo atitiktis CE, IEC 61400-2 ir 61400-11 standartams patvirtina aukštą kokybę ir standartus, o jų technologinės ypatybės leidžia pagrįstai svarstyti jų taikymą geležinkelių iešmų šildymo infrastruktūroje. *Ecorote* elektrinių skaičiavimai pateikti 15 lentelėje. Duomenys pateikiami iki deklaruojamo jėgainės darbinio vėjo greičio 12 m/s.

15 lentelė. *Ecorote* gamintojo VATW jėgainių galia, W pagal vėjo greitį

v , m/s	EC 300	EC 1000	EC 1500	EC 2800	EC 9800
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,2	0,3	1,0	1,3	4,9
2	2,0	2,4	7,7	10,8	39,2
3	6,6	8,2	26,0	36,3	132,4
4	15,6	19,6	61,7	86,0	313,9
5	30,5	38,2	120,4	168,0	613,0
6	52,8	66,0	208,1	290,3	1059,3
7	83,8	104,8	330,4	461,0	1682,1
8	125,1	156,4	493,2	688,2	2510,9
9	178,2	222,7	702,2	979,9	3575,0
10	244,4	305,5	963,3	1344,1	4904,0
11	325,3	406,6	1282,1	1789,0	6527,3
12	422,3	527,9	1664,6	2322,7	8474,2

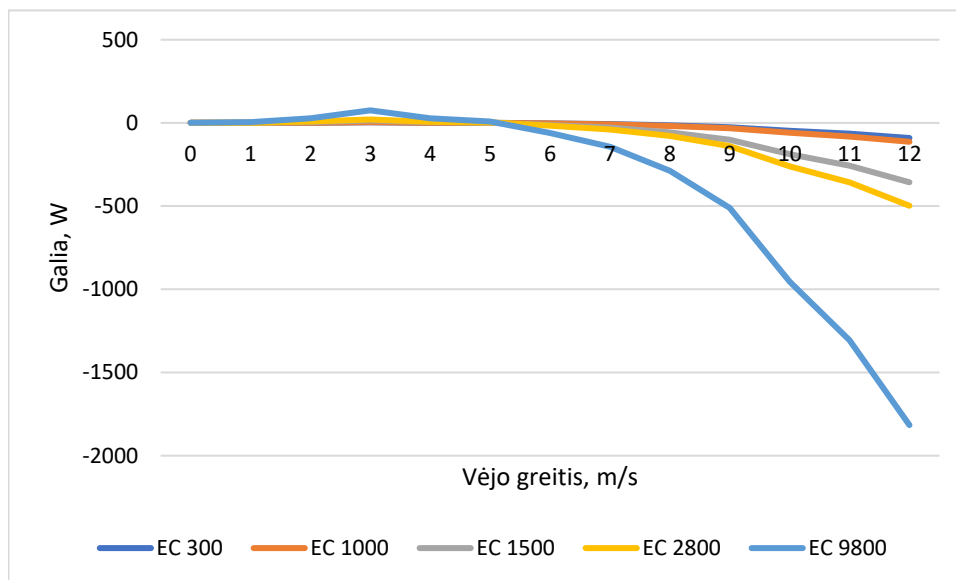
Lentelėje 15 apskaičiuotos galios prie pastovaus vėjo greičio, jos yra teorinės, kaip ir *Ecorote* VATW jėgainių galių kreivės, kurios vaizduojamos 5.3 paveiksle.



5.3 pav. *Ecorote* VATW elektrinių galių kreivės

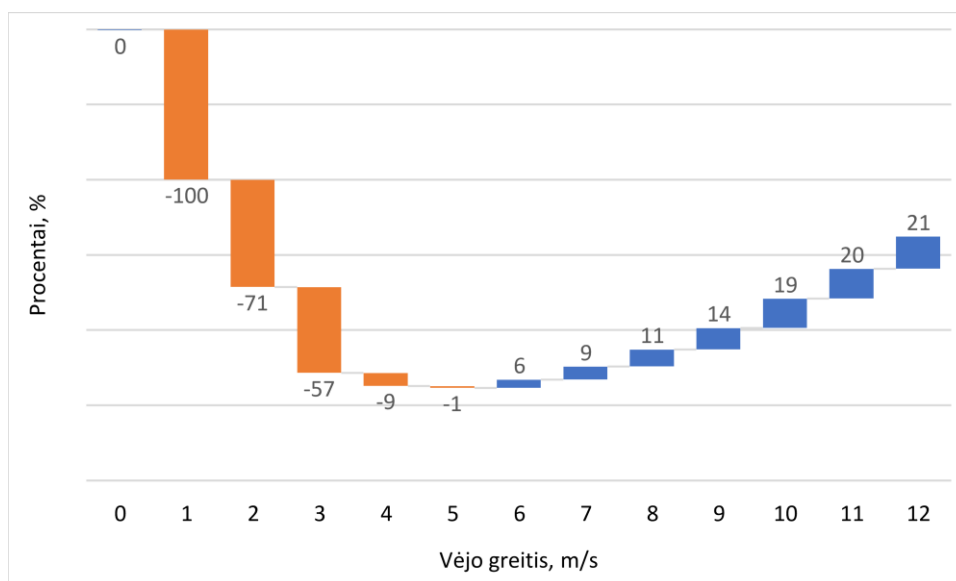
Iš vaizduojamos 5.3 paveiksle diagramos energijos generacija prasideda nuo 3 m/s vėjo greičio. Geriausias galios žingsnis fiksuojamas *Ecorote* 9800 jėgainės, visos reikšmės skaičiuotos su pastoviu

C_p koeficientu, remiantis K. Gedrimaitės ir kolegų publikuotu straipsniu, matematiniu modeliavimu ir natūriniais eksperimentais nustatyta, kad *Savonijaus* tipo vėjo jėgainės turbina turi žemesnį galios koeficientą C_p 0,15 nei horizontalios ašies VE C_p 0,45 [122]. Vertikalios ašies *Darrieus* tipo VE C_p 0,35. Pagal realybėje egzistuojančius parametrus, vertikalios ašies C_p reikšmė vyrauja 0,35 – 0,4 šiam jėgainės pasirinkimo atvejui C_p koeficientui priskirta 0,35 reikšmė [122]. *Ecorote* jėgainių gamintoja yra pateikusi galios panaudojimo koeficiento kreives jos sukeltos darbo gale 11 priede, *Ecorote* galių kreivės. Gauti skirtumai vaizduojami 5.4 paveiksle, galių skirtumas išreikštas W.



5.4 pav. *Ecorote* galių kreivių skirtumas, W

Iš pavaizduotos 5.4 paveiksle diagramos galima fiksuoti, kad didžiausią neatitikimą turi jėgainės EC 9800 modelio kreivė, bet vidutiniuose vėjo ruožuose tarp 4–5 m/s skirtumas nedidelis. Skirtumas procentais pavaizduotas 5.5 paveiksle, kuriame pateiktų ir apskaičiuotų galių skirtumas išreikštas procentais.



5.5 pav. *Ecorote* pateiktų ir apskaičiuotų galių skirtumas procentais

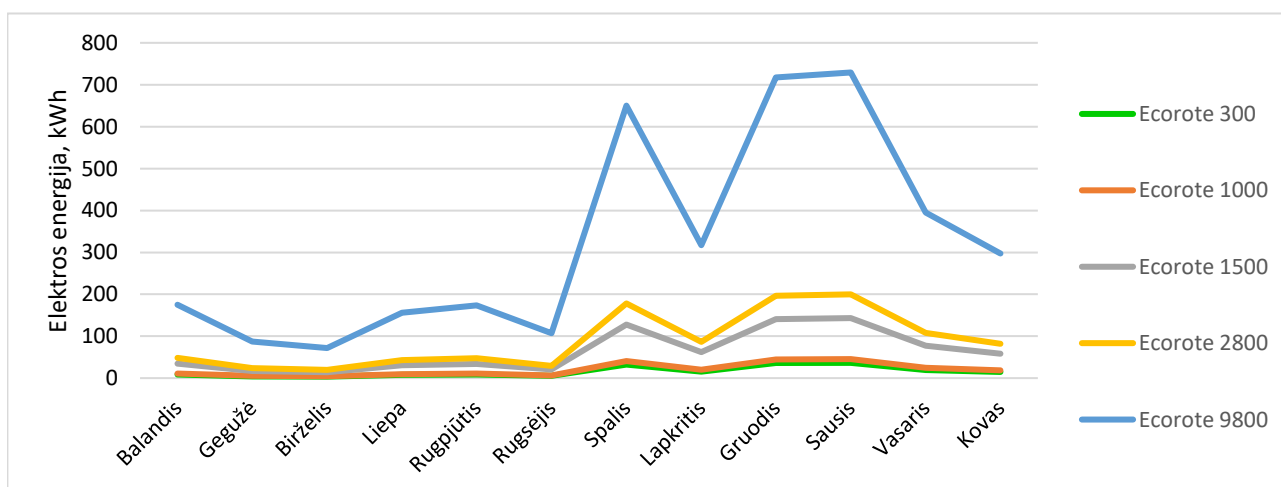
Iš kaskadinės diagramos 5.5 paveiksle galima patvirtinti, kad mažiausias neatitikimas tarp pateiktų gamyklinių duomenų ir apskaičiuotų tarp 4–6 m/s vėjo greičio ruože.

Renkantis vėjo jėgainę vienas svarbiausių parametru pagamintos elektros energijos kiekis per metus, šie duomenys pateikti 16 lentelėje. Tokie skaičiavimai atlikti iš praėjusių 2023–2024 metų surinktų statistinių duomenų.

16 lentelė. Ecorote pagaminamos elektros energijos kiekis, kWh per mėnesį

Pavadinimas	Ecorote 300	Ecorote 1000	Ecorote 1500	Ecorote 2800	Ecorote 9800
Balandis	5,75	7,18	34,47	48,09	175,47
Gegužė	2,85	3,57	17,12	23,89	87,16
Birželis	2,35	2,94	14,10	19,67	71,78
Liepa	5,12	6,40	30,70	42,83	156,28
Rugpjūtis	5,67	7,09	34,04	47,50	173,29
Rugsėjis	3,51	4,39	21,05	29,38	107,18
Spalis	21,30	26,62	127,73	178,23	650,29
Lapkritis	10,38	12,97	62,24	86,85	316,88
Gruodis	23,49	29,36	140,90	196,60	717,31
Sausis	23,88	29,85	143,25	199,89	729,30
Vasaris	12,93	16,17	77,59	108,26	394,98
Kovas	9,75	12,19	58,48	81,60	297,71
Suma	126,98	158,73	761,67	1062,80	3877,61
Santykis	0,42	0,16	0,51	0,38	0,40

Per mėnesį pagamintos elektros energijos duomenys skaičiuoti iš gautų to mėnesio vėjo greičio vidurkių ir konvertuoti pagal (13) formulę, nustatant vėjo greitį 20 m aukštyje. Pagamintos energijos pasiskirstymas ženklus ir pavaizduotoje 5.6 paveikslo diagramoje kurioje matomas VE metų bėgyje pagamintos energijos pasiskirstymas.

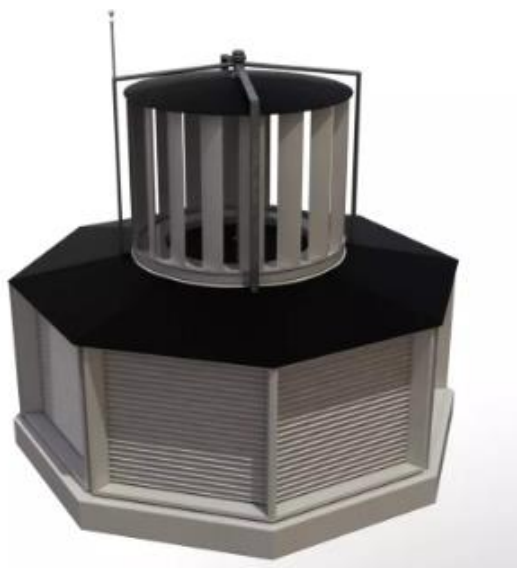


5.6 pav. Ecorote sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio

Kiekvienos jėgainės modelio reikšmės suskirstytos pagal mėnesius. Iš duomenų galima nustatyti, kad daugiausiai elektros energijos pagamina galingiausia jėgainės modelio versija, Bet svarbiausias rodiklis yra modelio vardinės galios ir pagamintos elektros energijos santykinis dydis, kuris užfiksuotas 16 lentelės paskutinėje eilutėje, santykis. Šis santykinis dydis rodo kiek kWh per metus pagamina jėgainės vardinės galios 1 W. Iš visų modelių geriausias santykis užfiksuotas Ecorote 1500 modelio, sekantis pagal pajėgumą Ecorote 300 modelis ir trečias rezultatas galingiausios jėgainės modelio Ecorote 9800.

5.2.2. Astralux vėjo jėgainės

Astralux LTD [108], 2009 metais Ukrainos Respublikoje įkurta įmonė, kuri specializuojasi vėjo energijos technologijų ir generatorių gamybos srityje, kaip pavaizduota 5.7 paveiksle tai patentuotos technologijos vėjo turbina, dažniausiai montuojama ant namo stogo arba vėjuotose šalikelėse.



5.7 pav. *Astralux LTD* patentuota vėjo turbina jėgainė [109]

Astralux sukūrusi aštuonis skirtingus VAWT tipus. Jos suskirstytos pagal galią ir paskirtį, tai nuo 10 kW iki 20 MW elektros energiją iš vėjo generuojantys agregatai. 17 lentelėje, surašytos keturios vertikalios ašies H tipo *Darrieus* jėgainės generuojančios iki 100 kW energijos skirtos gyvenamosios paskirties sklypams bei namams.

17 lentelė. *Astralux LTD* patentuota vėjo turbina jėgainė [109]

Pavadinimas	VAWT 10kW	VAWT 20kW	VAWT 50kW	VAWT 100kW
Bendras aukštis, m	7	11	18	22
Rotoriaus aukštis, m	4	6	10	12
Rotoriaus skersmuo, m	8	12	20	24
Startinis vėjo greitis, m/s	1,5	1,5	1,5	1,5
Darbinis vėjo greitis, m/s	10,5	10,5	10	9,5

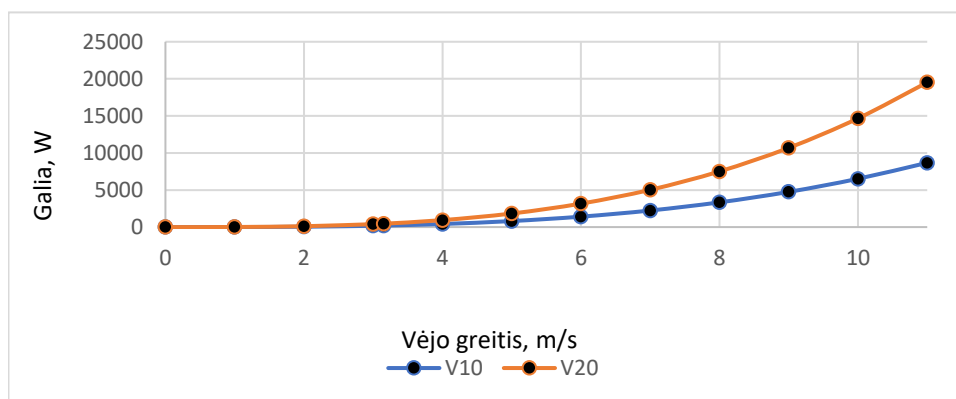
Į lentelę surašytos jėgainės turi elektromechaninius stabdžius ir elektrinius valdymo kontrolierius, kuriuos galima suprogramuoti pagal reikiamus vartotojo poreikius. Iš lentelės tinkamos jėgainės esamam projektui, tik 2, kurios neviršija 20 metrų bendrą aukštį ir 30 kW įrengtosios galios.

Sekančioje 18 lentelėje, pateikti *Astralux* gamintojo VATW elektrinių teoriniai skaičiavimai, vėjo greičio ribose iki 11 m/s.

18 lentelė. *Astralux* VATW elektrinių galių skaičiavimai, W

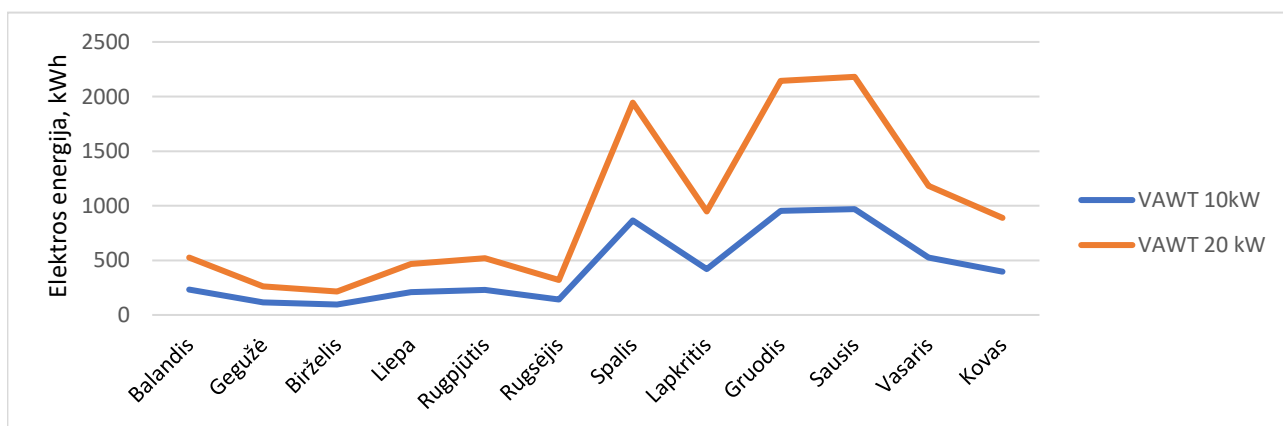
$v, \text{ m/s}$	1	2	3,15	4	5	6	7	8	9	10	11
V10	6,5	52,1	203,7	417,1	814,6	1407,7	2235,3	3336,7	4750,9	6517,0	8674,1
V20	14,7	117,3	458,3	938,4	1832,9	3167,3	5029,5	7507,6	10689,5	14663,3	19516,8

Šioje lentelėje pateikti, tik V10 ir V20 jėgainių skaičiavimai nes sekančių elektrinių galios viršija nustatytą 30 kW ribą. Vėjo greičio riba iki 11 m/s, kaip užfiksuota 18 lentelėje tokia riba nustatyta gamintojo. Kaip pavaizduota 5.8 paveikslą diagramoje, kurioje nurodytos galių kreivės, tik silpnesnių jėgainių.



5.8 pav. *Astralux* VATW generuojamos galios kreivės

Pateiktoje diagramoje matoma, kokių skirtumų prognozuojamos galios. Kadangi gamintojas nepateikia galios panaudojimo kreivių, darbe naudojamos tik apskaičiuotos su pastoviu C_p koeficientu galių kreivės. Diagramoje užfiksuota kaip V20 VATW jėgainės galios kreivė turi geresnes prognozes visam vėjo greičio spektrui. Jų galių skirtumas yra dvigubas, bet sudubliavus dvi V10 jėgainės prognozuojama galia su V20 jėgaine nesusilygintų, tai reiškia, kad V20 jėgainės geresnis vardinės galios santykis su generuojama galia. Tas pastebima ir elektros energijos pasiskirstymo pagal mėnesius diagramoje pavaizduotoje 5.9 paveiksle.



5.9 pav. *Astralux* sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio

Iš iliustruotos diagramos galima konstatuoti, kad šalčiausiais mėnesiais pagaminamos elektros energijos skirtumas didesnis nei šiltuoju metų laiku. Tai galima paaiškinti tuo kad šaltesniais mėnesiais vėjo greitis didesnis todėl jėgainių pajėgumų skirtumas didesnis, galingesnės jėgainės naudai. Tikslūs skaičiavimai pateikti 19 lentelėje, kurioje pateikti duomenys pagal kiekvieną fiksuojamą mėnesį.

19 lentelė. *Astralux* jėgainių pagaminamos elektros energijos kiekis, kWh per mėnesį

Pavadinimas	V 10	V 20
Balandis	233,18	524,65
Gegužė	115,83	260,62
Birželis	95,39	214,62
Liepa	207,67	467,27
Rugpjūtis	230,28	518,13
Rugsėjis	142,43	320,46
Spalis	864,17	1944,38
Lapkritis	421,11	947,49
Gruodis	953,23	2144,77
Sausis	969,17	2180,63
Vasaris	524,89	1181,00
Kovas	395,63	890,17
Suma	5152,97	11594,19
Santykis	0,52	0,58

Iš pateiktų duomenų išvesto santykio galima konstatuoti, kad abiejų elektrinių pajėgumas labai panašus skirtumas 1 W vardinės galios, tik 0,06 *Astralux* V20 jėgainės naudai. Kad užpildyti įrengtąją galią 30 kW galima statyti 10 kW ir 20 kW jėgaines dubliuojant, o ne statyti 3 po 10 kW jėgaines. Atkreiptinas dėmesys į tai, kad šios jėgainės nesimontuoja ant bokšto, joms tinkama lokalizacija, tik ant aukštų pastatų stogų.

5.2.3. *Hi VAWT* vėjo jėgainių gamintojas

Hi-VAWT [110] yra mažos galios vertikalios ašies vėjo jėgainių (VAWT) gamintojas ir montuotojas. Įmonė įsikūrusi Taivane, jų produkcija yra pripažįstama visame pasaulyje. *Hi-Vawt* siūlo kombinuotas *Savonius* ir trijų ašmenų *Darrieus* elektrines. Gamintojas viešai publikavęs kiekvienos jėgainės, galios panaudojimo kreives, kurios pateiktos darbo gale 12 priede. Kartu su vertikalios ašies vėjo turbinomis jie taip pat gamina hibridines gatvių apšvietimo sistemas, kaip pavaizduota 5.10 paveiksle [111] ji sujungia vertikalios ašies vėjo turbiną ir saulės fotovoltinę panelę, kad pagamintų energiją, reikalingą gatvių apšvietimui maitinti nesant vėjui saulėtą dieną. Šiame tyrime hibridinės jėgainių sistemos su fotovoltinėmis panelėmis neapžvelgiamos, dėl saulės energijos potencialo panaudojimo sezoniškumo, kuris visiškai nesutampa su geležinkelio iešmų šildymo sezonu. Darbe apžvelgiamos keturios jėgainės, kurių galia svyruoja 300–3000 W.



5.10 pav. Hibridinė vėjo, saulės fotovoltinių panelių elektrinė [111]

Šios hibridinės sistemos sėkmingai įdiegtos Kinijoje ir Pietų Korėjoje. Pagrindinės gaminamų jėgainių specifikacijos surašytos 20 lentelėje.

20 lentelė. *Hi VAWT* vėjo jėgainių techniniai parametrai

Pavadinimas	DS 300	DS 700	DS 1500	DS 3000
Turbinos galia, W	300	700	1500	3000
Bendras aukštis, m	5,06	4,6	6,16	8,16
Rotoriaus aukštis, m	1,06	1,6	2,6	4,16
Rotoriaus skersmuo, m	1,24	1,93	2,9	4
Startinis vėjo greitis, m/s	3	3	3	3
Darbinis vėjo greitis, m/s	13,5	12	12	12

Iš pateiktų duomenų matyti, kad visų jėgainių modelių pradinis vėjo greitis yra 3 m/s, o darbinis skirtingas nuo 12–13,5 m/s, į visus parametrus atsižvelgta vykdant galios skaičiavimus. Tokios mono sisteminės *Hi-VAWT* vertikalios ašies vėjo jėgainės sumontuotos JAV, Pietų Korėjoje, Kinijoje, Taivane ir Tibete. JAV vienas iš geresnių įmonės projektų yra DS-3000W Clarendon Hills vidurinėje mokykloje, Clarendon Hills, IL. Kad galėtų gamintojas prekiauti ir montuoti savo vėjo jėgaines JAV ir Japonijos rinkose, reikalingas sertifikavimas kuris vyksta JAV Kalifornijos valstijoje Brea mieste. JAV išduodamas sertifikatas pavaizduotas 5.11 paveiksle [112].



Small Wind Certification Council (ICC-SWCC™)
Small Wind Certification Program

Manufacturer: **Hi VAWT Technology Corporation**
 Wind Turbine Model: **DS3000 (240 VAC, 1-phase, 60 Hz.)**
 Certification Number: **SWCC 18-02**

Rated Annual Energy
 Estimated annual energy production assuming an annual average wind speed of 5 m/s (11.2 mph), a Rayleigh wind speed distribution, sea-level air density and 100% availability. Actual production will vary depending on site conditions.

Rated Sound Level
 The sound level that will not be exceeded 95% of the time, assuming an annual average wind speed of 5 m/s (11.2 mph), a Rayleigh wind speed distribution, sea-level air density, 100% availability and an observer location 60 m (~ 200 ft) from the rotor center.

Rated Power
 The wind turbine power output at 11 m/s (24.6 mph) at standard sea-level conditions.

Certified to be in Conformance with:
AWEA 9.1-2009


2,460
kWh/year
42.3
db(A)
1.4
kW

For ICC-SWCC Summary Report, Certificate and current certification status visit:
www.smallwindcertification.org

5.11 pav. Mažų vėjo jėgainių sertifikavimo tarybos (ICC-SWCC™) išduotas atitikties sertifikatas [112]

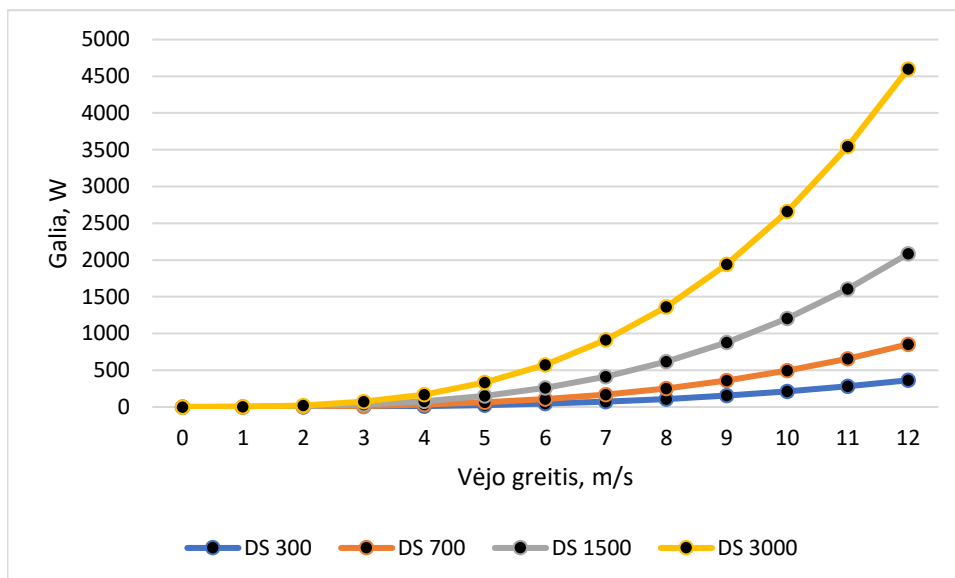
Nauji sertifikatai išduodami vieneriems metams, po to jie gali būti atnaujinami kasmet. Gamyklos patikrinimai privalomi pirmaisiais sertifikavimo metais, o vėliau – kas dvejus metus. Sekančioje 21 lentelėje pateikti Hi VATW jėgainių teoriniai skaičiavimų duomenys.

21 lentelė. Hi VATW jėgainių teoriniai skaičiavimų duomenys.

v , m/s	DS 300	DS 700	DS 1500	DS 3000
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,21	0,49	1,21	2,66
2	1,68	3,95	9,65	21,29
3	5,68	13,34	32,56	71,86
4	13,46	31,61	77,19	170,34
5	26,28	61,74	150,75	332,70
6	45,41	106,69	260,50	574,90
7	72,11	169,42	413,67	912,92
8	107,64	252,89	617,49	1362,73
9	153,26	360,07	879,20	1940,30
10	210,24	493,93	1206,03	2661,59
11	279,83	657,42	1605,23	3542,57
12	363,29	853,51	2084,02	4599,23

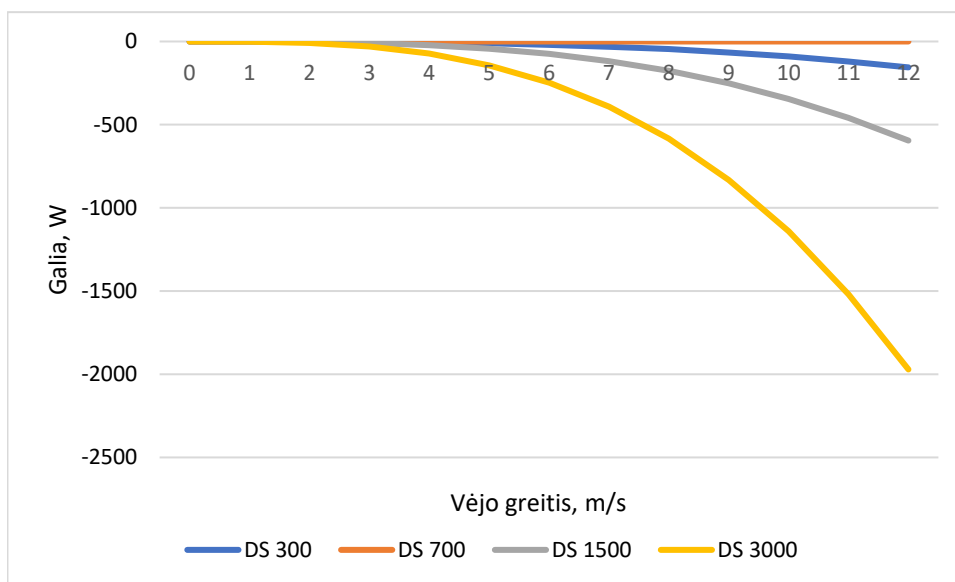
Duomenys 21 lentelėje apskaičiuoti iki Hi VATW deklaruojamo minimalaus darbinio vėjo greičio 12 m/s ir pastovaus galios panaudojimo koeficiento C_p . Pagal lentelės duomenis šis gamintojas pasižymi aukštais generacijos parametrais.

Hi VATW elektrinių galių kreivės pateiktos 5.12 paveiksle. Diagramoje kreivės sudarytos iš 21 lentelės duomenų.



5.12 pav. HI VAWT galių kreivės

Pateiktoje galių kreivių diagramoje Jėgainių pradinis 3 m/s vėjo greitis pastebimos generacijos nesukelia. Pastebimai kreivės kilti pradeda nuo 4 m/s greičio. Apskaičiuotų galios kreivių ir gamintojo pateiktų galios panaudojimo kreivių skirtumas vaizduojamas 5.13 paveiksle.



5.13 pav. HI VAWT jėgainės galių skirtumas tarp apskaičiuotų ir deklaruotų kreivių

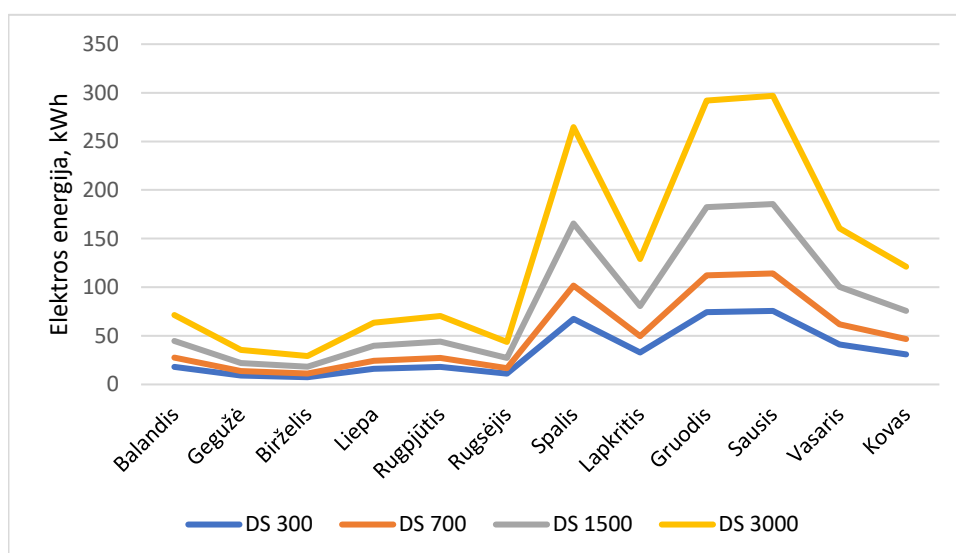
Iš 5.13 pateiktos diagramos galima nustatyti, kad didžiausias skirtumas tarp apskaičiuotų ir gamintojo deklaruojamų panaudotos galios kreivių yra galingiausios jėgainės modelio DS 3000. Mažiausias skirtumas yra DS 700, šio modelio deklaruojama ir apskaičiuota galios kreivės yra tapačios. Renkantis vėjo jėgainę svarbu nustatyti pagamintos elektros energijos kiekį per metus, šie duomenys

pateikti 22 lentelėje. Tokie skaičiavimai atlikti iš praėjusių 2023–2024 metų surinktų statistinių duomenų.

22 lentelė. HI VAWT jėgainių pagaminamos elektros energijos kiekis, kWh per mėnesį

Pavadinimas	DS 300	DS 700	DS 1500	DS 3000
Balandis	18,20	27,47	44,64	71,42
Gegužė	9,04	13,65	22,17	35,48
Birželis	7,44	11,24	18,26	29,22
Liepa	16,21	24,47	39,76	63,61
Rugpjūtis	17,97	27,13	44,09	70,54
Rugsėjis	11,12	16,78	27,27	43,63
Spalis	67,45	101,81	165,44	264,70
Lapkritis	32,87	49,61	80,62	128,99
Gruodis	74,40	112,30	182,49	291,98
Sausis	75,64	114,18	185,54	296,86
Vasaris	40,97	61,84	100,49	160,78
Kovas	30,88	46,61	75,74	121,18
Suma	402,18	607,07	986,49	1578,38
Santykis	1,34	0,87	0,66	0,53

Kiekvieno mėnesio pagamintos elektros energijos duomenys apskaičiuoti iš gautų to mėnesio vėjo greičio vidurkių ir konvertuoti pagal (13) formulę, nustatant vėjo greitį 20 m aukštyje. Pagamintos energijos pasiskirstymas ženklus ir vaizduojamoje 5.14 diagramoje, kurioje pateiktas VE metų bėgyje pagamintos energijos pasiskirstymas.



5.14 pav. HI VAWT sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio

Kiekvienos jėgainės modelio, reikšmės suskirstytos pagal mėnesius. Iš duomenų galima nustatyti, kad daugiausiai elektros energijos pagamina galingiausia jėgainės modelio versija, tai tapatu su visais

tirtais jėgainių gamintojais. Bet svarbiausias rodiklis yra modelio vardinės galios ir pagamintos elektros energijos santykinis dydis, kuris užfiksuotas 22 lentelės paskutinėje eilutėje, santykis. Šis santykinis dydis rodo kiek kWh per metus pagamina jėgainės vardinės galios 1 W. Iš visų modelių geriausias santykis užfiksuotas DS 300 modelio, sekantis pagal pajėgumą DS 700 modelis ir trečias rezultatas galingiausios jėgainės modelio DS 1500. Mažiausias santykis nustatytas galingiausio jėgainės modelio DS 3000.

5.2.4. *Windspire* vėjo jėgainės

Windspire Energy [113] yra Jungtinių Amerikos Valstijų atsinaujinančios energijos produktų, tokių kaip H tipo *Darrieus* vertikalios ašies vėjo jėgainės VAWT gamintojas ir montuotojas. *Windspire* aktyviai dalyvavo daugelyje konkursų diegti skirtingų VAWT įrengimų Jungtinėse Amerikos Valstijose. Pagrindinės specifikacijos gaminamų vertikalių vėjo jėgainių 23 lentelėje. Jėgainių kolonos ant kurio sumontuotos turbinos, yra 5, 10, 15 ir 20 pėdų ilgio, jos užsakomos atskirai.

23 lentelė. *Windspire* vėjo jėgainių techniniai parametrai

Turbinos galia, kW	1 kW	2 kW	3 kW	5 kW
Rotoriaus aukštis, m	9,14	9,14	9,14	9,75
Masė, kg	351,53	442,25	566,99	657,7
Rotoriaus skersmuo, m	1,37	1,58	1,67	2,13
Startinis vėjo greitis, m/s	3,5	3,5	3,5	3,5
Darbinis vėjo greitis, m/s	15,6	18,77	18,77	15,6

Gaminami generatoriai kaip rašoma aprašyme [113] itin tylūs, sukuriantis švarią elektros energiją iš vėjo. Kiekviena vėjo jėgainė kaip pavaizduota 5.15 paveiksle [113] yra pagaminta Reedsburge, Viskonsine, JAV.



5.15 pav. *Windspire Energy* sumontuota jėgainė [113]

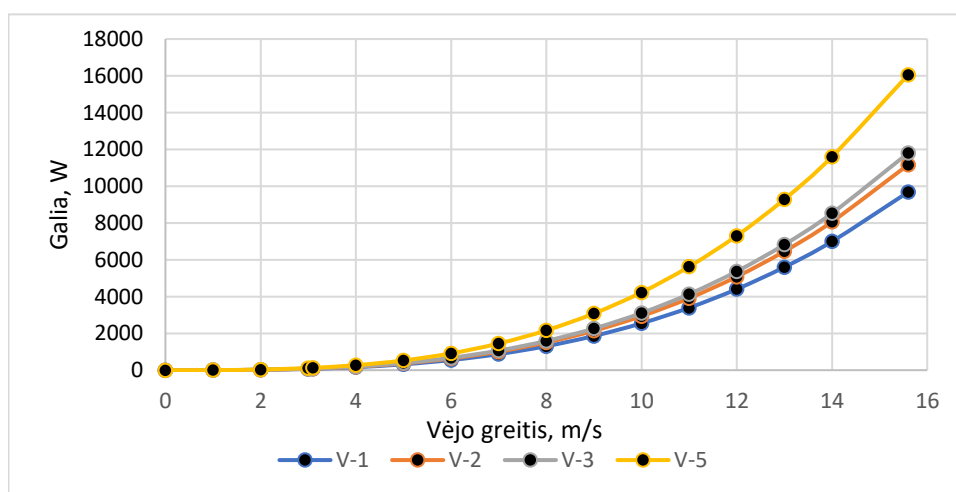
Visoms vėjo jėgainėms galimi spalvų pasirinkimai. Turbinos yra *Darrieus* konstrukcijos, kai vėjo srautas juda per mentes, priverčia turbiną pasisukti. Dėl šio veiksmo sukurta galia perduodama

generatoriui, prie, kurios prijungta turbina. Kainos šių jėgainių pateikiamos individualiai, kreipiantis tiesiogiai į gamintoją. Tokio marketingo trūkumas tai, kad inžinieriai negali vykdyti išankstinės gamintojų atrankos pagal skelbiamas kainas. 24 lentelėje pateikti *Windspire* VAWT teorinių skaičiavimų duomenys, kurie atlikti iki minimalaus gamintojo deklaruojamo darbinio vėjo greičio 15,6 m/s ir pastoviu galios panaudojimo koeficientu C_p .

24 lentelė. *Windspire* VAWT galių teoriniai duomenys

v , m/s	V-1	V-2	V-3	V-5
0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	2,6	2,9	3,1	4,2
2	20,4	23,5	24,9	33,8
3	68,9	79,4	83,9	114,2
4	163,2	188,2	198,9	270,7
5	318,8	367,6	388,6	528,7
6	550,8	635,3	671,5	913,6
7	874,7	1008,8	1066,2	1450,7
8	1305,7	1505,8	1591,6	2165,5
9	1859,1	2144,0	2266,1	3083,3
10	2550,1	2941,0	3108,6	4229,4
11	3394,2	3914,5	4137,5	5629,4
12	4406,6	5082,1	5371,6	7308,5
13	5602,7	6461,5	6829,5	9292,1
14	6997,6	8070,2	8529,9	11605,6
15,6	9681,4	11165,4	11801,4	16056,7

Galių kreivės pateiktos 5.16 paveiksle vaizduojamoje diagramoje iš apskaičiuotų duomenų 24 lentelėje.



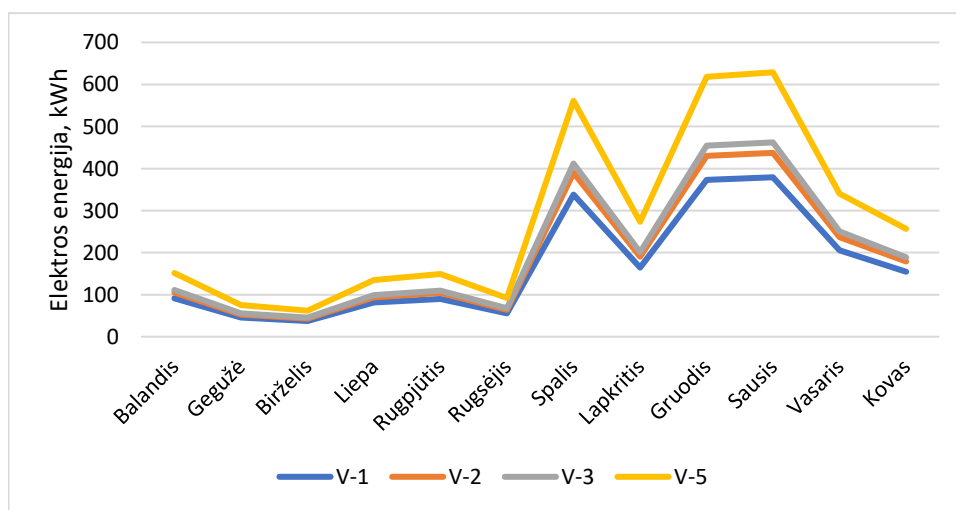
5.16 pav. *Windspire* VAWT galių kreivės

Iš pateiktos diagramos, kurioje matyti V-2 ir V-3 elektrinių charakteristikos beveik tapačios, o geriausiomis pasižymi V-5 jėgainė. Windspire jėgainių gamintojas niekur nepateikia galios panaudojimo kreivių todėl lyginamieji skaičiavimai jėgainės pasirinkimui bus naudojami vėjo greičio intervale 3–6 m/s, tai atitiks ir metinių generuojamos elektros energijos duomenų skaičiavimams. 25 lentelėje pateikti *Windspire* jėgainių pagaminamos elektros energijos kWh per mėnesį.

25 lentelė. *Windspire* jėgainių pagaminamos elektros energijos, kWh per mėnesį

Pavadinimas	V-1	V-2	V-3	V-5
Kovas	277,26	319,76	337,98	459,84
Balandis	91,24	105,23	111,22	151,33
Gegužė	45,33	52,27	55,25	75,17
Birželis	37,33	43,05	45,50	61,90
Liepa	81,26	93,72	99,06	134,78
Rugpjūtis	90,11	103,92	109,84	149,45
Rugsėjis	55,73	64,28	67,94	92,43
Spalis	338,15	389,99	412,20	560,83
Lapkritis	164,78	190,04	200,87	273,29
Gruodis	373,01	430,18	454,69	618,63
Sausis	379,24	437,37	462,29	628,97
Vasaris	205,39	236,88	250,37	340,65
Kovas	154,81	178,54	188,71	256,76
Suma	2293,65	2645,24	2795,91	3804,04
Santykis	1,64	1,10	0,82	0,70

Duomenys iš 25 lentelės skaičiuoti vėjo greičio vidurkius ir konvertuojant pagal (13) formulę, nustatant vėjo greitį 20 m aukštyje. *Windspire* jėgainių metų bėgyje pagamintos energijos pasiskirstymas matomas pavaizduotoje diagramoje iš 5.17 paveikslo.



5.17 pav. *Windspire* sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio

5.17 paveiksle iliustruotoje diagramoje jėgainių reikšmės suskirstytos pagal mėnesius. Iš duomenų galima nustatyti, kad daugiausiai elektros energijos pagamina galingiausia jėgainės V-5 modelio versija. Bet svarbiausias rodiklis yra modelio vardinės galios ir pagamintos elektros energijos santykinis dydis, kuris užfiksuotas 25 lentelės paskutinėje eilutėje, santykis. Šis santykinis dydis rodo kiek kWh per metus pagamina jėgainės vardinės galios 1 W. Iš visų modelių geriausias santykis užfiksuotas V-1 modelio, sekantis pagal pajėgumą V-2 modelis ir trečias rezultatas modelio V-3. Mažiausias nustatytas santykinis vardinės galios ir sugeneruojamos elektros energijos santykinis dydis galingiausios *Windspire* gamintojo modelio versijos V-5.

5.2.5. *Aeolos* vėjo jėgainės

Aeolos vėjo jėgainių gamintoja [114] yra pirmaujanti įmonė mažų vėjo turbinų pasaulyje. *Aeolos* vėjo turbinų gamykla buvo įkurta 1986 metais Danijoje. Po 38 metų plėtros *Aeolos* inžinierių komanda gali pasiūlyti įvairius vėjo energijos generacijos sprendimus. *Aeolos* priklausė septyni, vėjo generatorių, valdymo sistemų, ašmenų konstrukcijos ir keitiklių patentai. *Aeolos* vėjo turbino sukūrė gerą tarptautinę reputaciją mažų vėjo turbinų pramonėje. H tipo *Darrieus* vėjo jėgainių pagrindinės specifikacijos nurodytos 26 lentelėje, kurioje nurodytos tik vertikalios ašies vėjo jėgainės nuo 0,3 kW iki 10 kW galios.

26 lentelė. *Aeolos* vėjo jėgainių techniniai parametrai

Pavadinimas	<i>Aeolos</i> 300	<i>Aeolos</i> 600	<i>Aeolos</i> 1	<i>Aeolos</i> 3	<i>Aeolos</i> 5	<i>Aeolos</i> 10
Nominali galia, kW	0,3	0,6	1	3	5	10
Maksimali galia, kW	0,4	0,8	1,5	3,6	6	12
Rotoriaus aukštis, m	1,6	2	2,8	3,6	4,8	6
Rotoriaus skersmuo, m	1,2	1,6	2	2,8	4,5	5,5
Startinis vėjo greitis, m/s	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5
Darbinis vėjo greitis, m/s	10	10	10	11	11	11
Maksimalus vėjo greitis, m/s	50	50	50	52,5	52,5	52,5
Turbino masė, kg	10	18	28	106	500	680
Ribinės temperatūros, C°	nuo -20 iki +50					

Šiuo metu *Aeolos* gaminamos horizontalios ašies vėjo turbino nuo 500 W iki 60 kW ir vertikalios ašies vėjo turbino nuo 300 W iki 10 kW šių jėgainių galios panaudojimo kreivės pateiktos darbo gale 13 priede *Aeolos* galių kreivės. 2021 m. Dubajuje, Jungtiniuose Arabų Emyratuose, *Aeolos* sumontavo 10 vertikalios ašies 5kW vėjo jėgainių, tokių kaip pavaizduota 5.18 paveiksle. Šios jėgainės su 12 m monopoliniais bokštais. *Aeolos* gamyboje naudojamas specialus paviršių apdorojimas, kad apsaugotų vėjo turbiną nuo didelės drėgmės ir druskos poveikio pakrančių lokalizacijose. Tai pirmasis, viešasis, bandomasis, vyriausybės konkurso vėjo turbinų projektas Dubajuje.



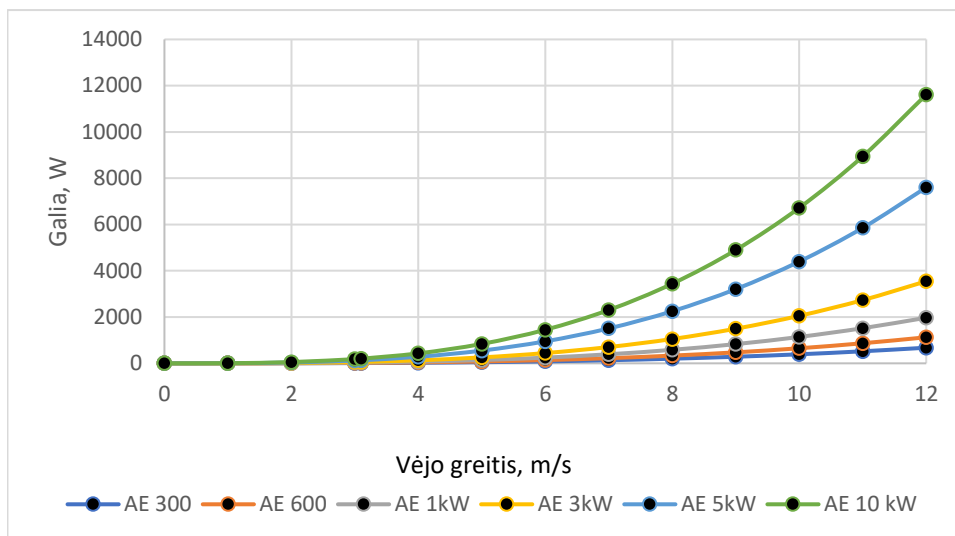
5.18 pav. *Aeolos* 5 kW jėgainė Dubajuje [115]

Tokios jėgainės statomos namų ūkiuose, užmiesčiuose, mokyklose ir mažuose vėjo jėgainių parkuose. *Aeolos* vėjo generatoriai veikia JAV, Kanadoje, JK, Italijoje, Ispanijoje, Danijoje, Vokietijoje, Prancūzijoje, Nyderlanduose, Australijoje, Argentinoje, Rusijoje, Brazilijoje, Pietų Afrikoje, Mozambike ir daugiau nei 60 šalių bei regionų. Savaime suprantama galimas *Aelos* jėgainių pritaikymas ir geležinkelio infrastruktūroje. *Aeolos* VAWT elektrinių teorinių skaičiavimų 27 lentelėje duomenys skaičiuoti iki gamintojo deklaruoto darbinio vėjo greičio 12 m/s.

27 lentelė. *Aeolos* VAWT teoriniai galios skaičiavimai

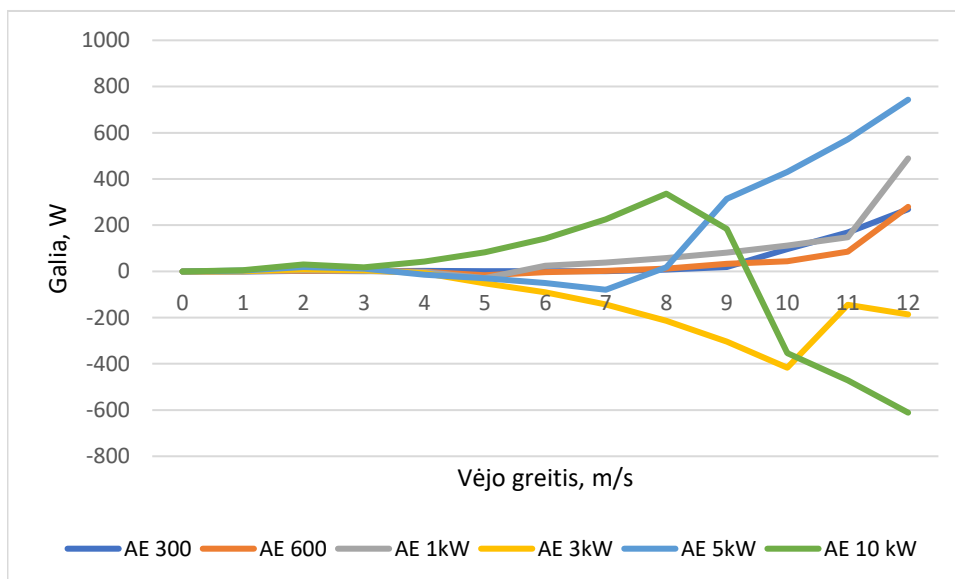
v m/s	AE 300	AE 600	AE 1kW	AE 3kW	AE 5kW	AE 10kW
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,4	0,7	1,1	2,1	4,4	6,7
2	3,1	5,2	9,1	16,4	35,2	53,8
3	10,6	17,6	30,8	55,4	118,8	181,5
4	25,0	41,7	73,0	131,4	281,5	430,1
5	48,9	81,5	142,6	256,6	549,9	840,1
6	84,5	140,8	246,3	443,4	950,2	1451,7
7	134,1	223,5	391,2	704,1	1508,8	2305,2
8	200,2	333,7	583,9	1051,1	2252,3	3441,0
9	285,1	475,1	831,4	1496,5	3206,9	4899,4
10	391,0	651,7	1140,5	2052,9	4399,0	6720,7
11	520,4	867,4	1518,0	2732,4	5855,0	8945,2
12	675,7	1126,1	1970,7	3547,3	7601,4	11613,3

Šių skaičiavimų galios kreivių diagrama pateikta 5.19 paveiksle. Kaip ir visose diagramose galių kreivės apskaičiuotos iki gamintojo deklaruojamo vėjo darbinio greičio 12 m/s su pastoviu C_p koeficientu.



5.19 pav. Aeolos VAWT teorinės galių kreivės

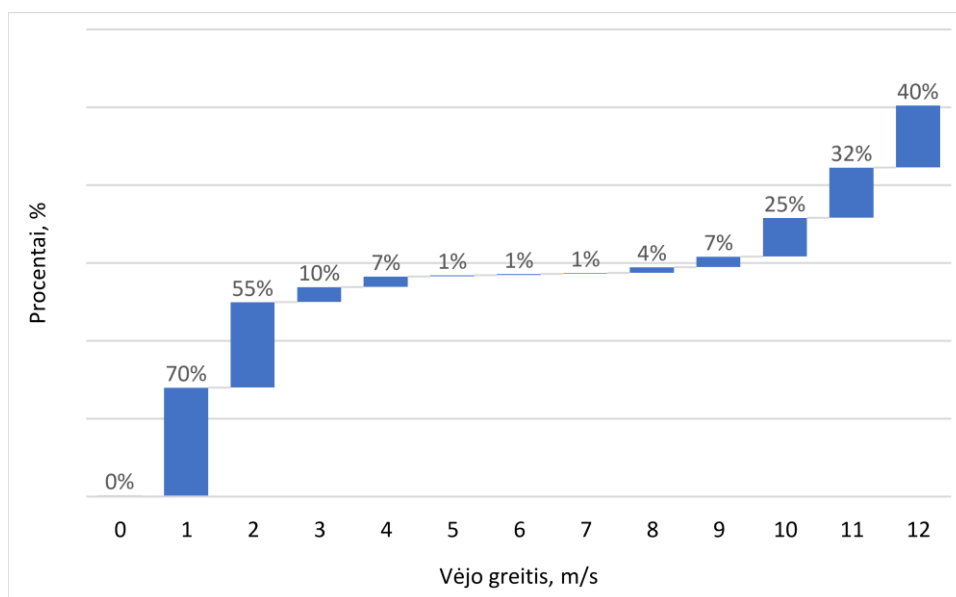
Geriausias charakteristikas rodo galingiausios jėgainės AE 10 kW ir AE 5 kW, bet pasirinkimui turi įtakos ir elektrinės dydis, galutiniam sprendimui atlikti dar papildomi galių kreivių palyginimo skaičiavimai ir pagaminamos elektros energijos metinis kiekis. Pateiktoje galių kreivių diagramoje jėgainės išsiskirto tolygiai pagal vardinę galią. Jėgainių pradinis 3 m/s vėjo greitis pastebimos generacijos nesukelia. Pastebimai kreivės kilti pradeda nuo 4 m/s greičio. Apskaičiuotų galios kreivių skirtumas nuo gamintojo galios deklaruojamų kreivių pavaizduotas 5.20 paveiksle.



5.20 pav. Aeolos jėgainės galių skirtumo kreivės tarp apskaičiuotų ir deklaruotų duomenų

Iš 5.20 pavaizduotos diagramos sunku tiksliai fiksuoti, kuri jėgainės kreivė turi didžiausią neatitikimą, bet labiausiai atsišakoja AE 5kW ir AE 10kW jėgainių kreivės, tai jų skirtumas ir yra didžiausias. Bet

vidutiniuose vėjo ruožuose tarp 0–4 m/s skirtumas nedidelis. Skirtumas procentais pavaizduotas 5.21 paveiksle, kuriame pateiktų ir apskaičiuotų galių skirtumas išreikštas procentais.



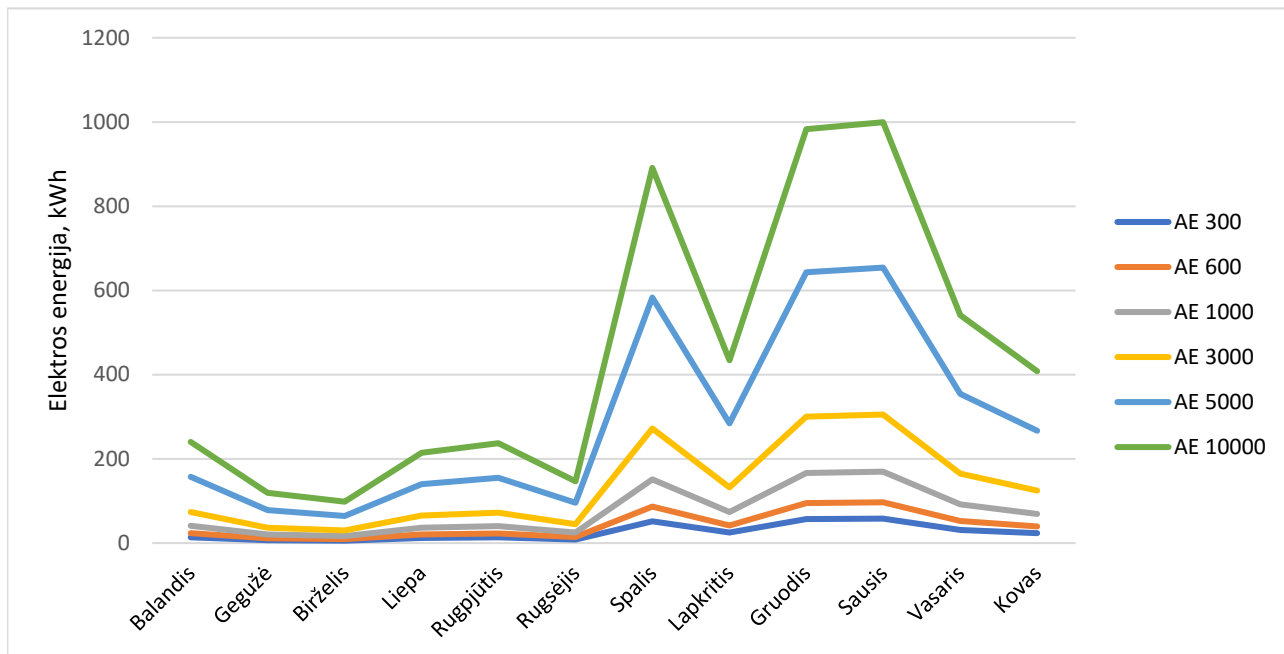
5.21 pav. *Aeolos* pateiktų ir apskaičiuotų galių skirtumas procentais

Apžvelgiant kaskadinę diagramą 5.21 paveiksle galima patvirtinti, kad mažiausias neatitikimas tarp pateiktų gamyklinių duomenų ir apskaičiuotų tarp 3–9 m/s vėjo greičio ruože, skirtumas tarp duomenų neviršija 10 %. Renkantis vėjo jėgainę labai svarbu nustatyti koks pagamintos elektros energijos kiekis per metus, šie duomenys pateikti 28 lentelėje. Tokie skaičiavimai atlikti iš praėjusių 2023–2024 metų surinktų statistinių duomenų.

28 lentelė. *Aeolos* pagaminamos elektros energijos kiekis kWh per mėnesį

Pavadinimas	AE 300	AE 600	AE 1000	AE 3000	AE 5000	AE 10000
Balandis	13,99	23,32	40,81	73,45	157,40	240,47
Gegužė	6,95	11,58	20,27	36,49	78,19	119,45
Birželis	5,72	9,54	16,69	30,05	64,39	98,37
Liepa	12,46	20,77	36,34	65,42	140,18	214,16
Rugpjūtis	13,82	23,03	40,30	72,54	155,44	237,48
Rugsėjis	8,55	14,24	24,92	44,86	96,14	146,88
Spalis	51,85	86,42	151,23	272,21	583,31	891,17
Lapkritis	25,27	42,11	73,69	132,65	284,25	434,27
Gruodis	57,19	95,32	166,82	300,27	643,43	983,02
Sausis	58,15	96,92	169,60	305,29	654,19	999,45
Vasaris	31,49	52,49	91,86	165,34	354,30	541,29
Kovas	23,74	39,56	69,24	124,62	267,05	407,99
Suma	309,18	515,30	901,77	1623,19	3478,26	5314,00
Santykis	1,03	0,86	0,90	0,54	0,70	0,53

Per mėnesį pagamintos elektros energijos duomenys skaičiuoti iš gautų to mėnesio vėjo greičio vidurkių ir konvertuoti pagal (13) formulę, nustatant vėjo greitį 20 m aukštyje. Pagamintos energijos pasiskirstymas ženklus ir pavaizduotoje 5.22 diagramoje, metų bėgyje pagamintos energijos pasiskirstymas.



5.22 pav. Aeolos sugeneruotos elektros energijos priklausomybė nuo mėnesio

Kiekvienos jėgainės modelio reikšmės suskirstytos pagal mėnesius. Iš duomenų galima nustatyti, kad daugiausiai elektros energijos pagamina galingiausia jėgainės modelio versija, Bet svarbiausias rodiklis yra modelio vardinės galios ir pagamintos elektros energijos santykinis dydis, kuris užfiksuotas 28 lentelės paskutinėje eilutėje, santykis. Iš visų modelių geriausias santykis užfiksuotas Aeolos 300 modelio, sekantis pagal pajėgumą Aeolos 1000 modelis ir trečias rezultatas nustatytas jėgainės modelio Aeolos 600. Mažiausias santykinis dydis nustatytas galingiausiai Aeolos 10000 modelio versijai.

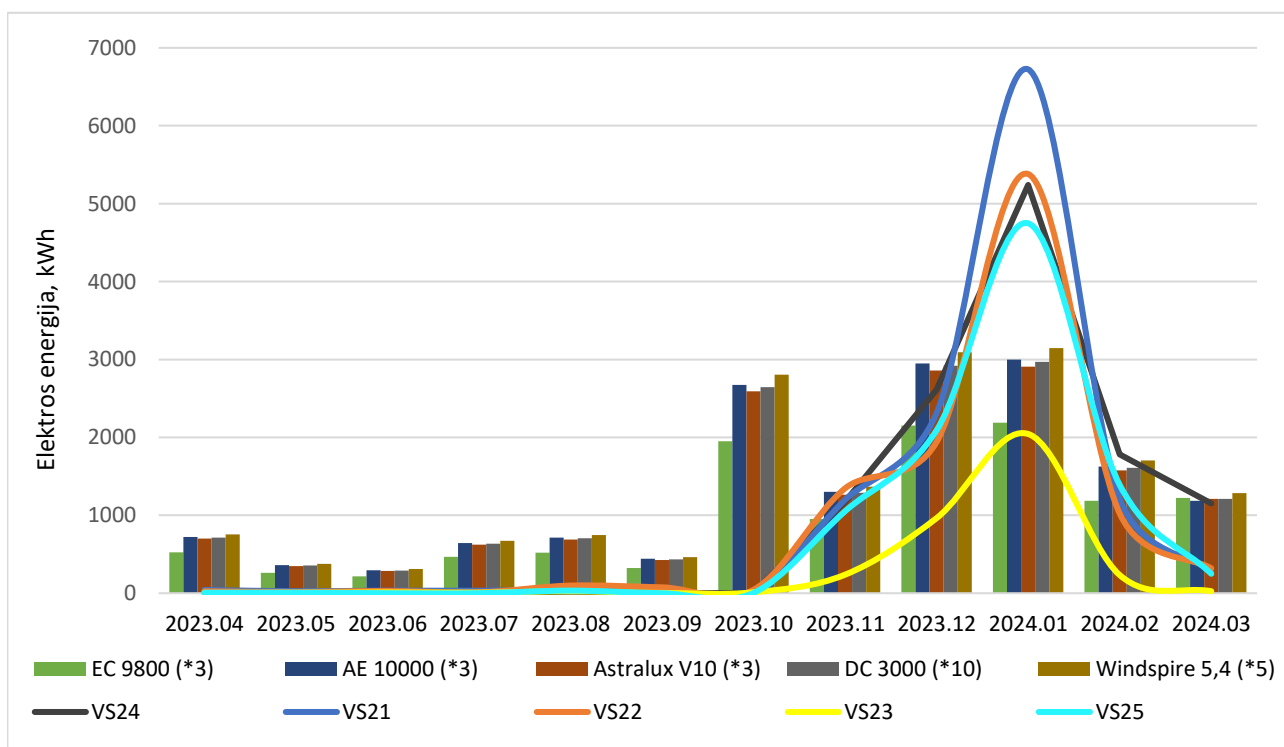
5.3. Jėgainių generuojamos energijos poreikio analizė

Siekiant parinkti optimalų vėjo jėgainių sprendimą geležinkelio iešmų šildymo sistemai, buvo atlikta kiekybinė analizė, grindžiama energijos balanso vertinimu. Šioje analizėje jėgainių sugeneruotos elektros energijos kiekiai lyginami su faktinėmis Pilviškių geležinkelio stoties iešmyno elektros energijos sąnaudomis. Norint pasiekti reikalingą 30 kW įrengtąją galią, optimalu būtų montuoti tris *Ecorote EC 9800*, *Astralux V 10*, arba *Aeolos AE 10000* vienetus. *Windspire 5,4* modelio reikalingi 5 vienetai ir 10 vienetų reikėtų *HI WAVE* gamintojo DS 3000 modelio jėgainių, kad pasiekti bendrą apie 27–30 kW galią. Toks sprendimas leidžia išvengti perteklinio infrastruktūros sudėtingumo rengiant ir derinant projektą su vietos savivalda. Visų iešmų grupių metinius energijos poreikius atvaizduoja 29 lentelėje pateikti duomenys. Pagal šią lentelę sudaryta diagrama, kuri pavaizduota 3.11 paveiksle. Vertinant duomenis pagal iešmų grupes daugiausiai elektros energijos suvartoja VS24 iešmų grupė, o mažiausiai VS23 iešmų grupė. Šiuos skirtumus lemia iešmų specifiška, kiek iešmų kertasi į pagrindinius kelius ir kiek dažnai jie naudojami.

29 lentelė. Pilviškių geležinkelio stoties iešmyno elektros sąnaudos, kWh

Pavadinimas	VS21	VS22	VS23	VS24	VS25
Balandis	42,6	25,5	4,2	2,1	5,7
Gegužė	25,7	15,3	4,4	0,7	7,4
Birželis	33,3	28,1	10,5	0,7	N.D.
Liepa	32,0	11,0	7,2	0,8	0,4
Rugpjūtis	43,6	98,0	24,0	21,2	33,4
Rugsėjis	23,1	75,4	3,5	N.D.	N.D.
Spalis	31,0	44,8	11,6	2,6	4,7
Lapkritis	1199,4	1346,9	238,2	1174,7	1053,1
Gruodis	2315,6	1942,7	964,5	2611,8	2092,5
Sausis	6723,9	5380,6	2044,0	5240,3	4748,2
Vasaris	1211,2	1021,7	232,7	1780,9	1389,1
Kovas	288,0	319,1	25,9	1155,1	249,4
Visų metų suma	11969,6	10309,1	3570,7	11990,9	9583,8
Šaltasis sezonas	11738,2	10011,1	3505,3	11962,8	9532,2

Pateiktoje lentelėje didžiausios sąnaudos fiksuojamos lapkričio–kovo mėnesiais, o vertinant kiekvieną mėnesį atskirai didžiausios sąnaudos matomos sausio mėnesį, kurios svyruoja 2044–6723,9 kWh. VS24 ir VS25 iešmų grupių N.D. pažymėtuose langeliuose nėra duomenų, nes iešmų remonto metu dėl atjungtos elektros energijos LTG sistemos jų nefiksavo. Atliekant energijos pasiūlos ir paklausos grafikų persidengimo analizę, gautas grafikas, kuris pavaizduotas 5.23 paveiksle.



5.23 pav. Jėgainių generuojamos elektros energijos ir iešmų sąnaudų persidengimas

Pavaizduotame grafike aiškiai matomas sezoninis disbalansas tarp jėgainių energijos generacijos ir iešmų šildymo poreikio. Elektros energijos deficitas užfiksuotas gruodžio–vasario mėnesiais, o balandžio–spalio mėnesiais fiksuojamas akivaizdus sugeneruotos elektros energijos perteklius. Toks energijos balanso scenarijus patvirtina būtinybę taikyti hibridinę energijos naudojimo schemą, kurioje perteklinė energija būtų automatiškai nukreipiama į visuomeninį paskirstymo tinklą, o trūkstama – kompensuojama iš tinklo pagal poreikį. Toks sprendimas užtikrintų sisteminių patikimumą, automatizuotą šildymo sistemų veikimą ir nepertraukiamą energijos tiekimą net esant maksimalioms žiemos apkrovoms. Grafike jėgainių galios skaičiuojamos pagal galingiausių modelių deklaruotas galias jas padauginus iš tiek, kad bendra įrengtoji galia neviršytų 30 kW. Pavaizduoto kombinuoto grafiko skaitinės reikšmės išreikštos procentais pateiktos 30 lentelėje, joje pateiktos reikšmės rodo jėgainių sugeneruojamos energijos disbalansą tarp jėgainių generuojamos energijos ir visų iešmų grupių energijos sąnaudų.

30 lentelė. Jėgainių sugeneruotos energijos perteklius

Pavadinimas	EC 9800 (*3)	AE 10000 (*3)	V10 (*3)	DC 3000 (*10)	V-5 (*5)
Balandis	85%	89%	89%	89%	89%
Gegužė	80%	85%	85%	85%	86%
Birželis	72%	75%	75%	75%	77%
Liepa	80%	92%	92%	92%	92%
Rugpjūtis	16%	69%	68%	69%	71%
Rugsėjis	61%	77%	76%	77%	78%
Spalis	64%	96%	96%	96%	97%
Lapkritis	-427%	-285%	-297%	-289%	-267%
Gruodis	-361%	-237%	-247%	-240%	-221%
Sausis	-1003%	-705%	-730%	-713%	-668%
Vasaris	-376%	-247%	-258%	-251%	-231%
Kovas	-66%	-72%	-68%	-68%	-59%

Pavaizduotoje lentelėje fiksuojamos energijos deficito ribos, kurios tęsiasi nuo lapkričio iki kovo mėnesio, tuo tarpu nuo balandžio iki spalio aiškiai išreikštas energijos perteklius, kuris turi būti nukreipiamas į visuomeninius paskirstymo tinklus, o deficito atveju trūkstama dalis iš tinklo kompensuojama. Kiekvieno jėgainės gamintojo modelio pagaminamos energijos ir iešmų sąnaudų lyginamojo kiekio, reikšmių išreikštomis procentais bei grafiškai, pateikti darbo gale 17 priede. Pateiktose lentelėse pertekliniai ir deficitiniai sugeneruotos energijos kiekiai pasiskirstyti pagal atskiras iešmų grupes.

5.4. Jėgainės pasirinkimo apibendrinimas

Atliekant vėjo jėgainių parinkimo analizę, skirtą Pilviškių geležinkelio stoties iešmų šildymo sistemos energijos sąnaudų mažinimui, buvo iškelti keli esminiai kriterijai: įrengtosios galios riba iki 30 kW, kuo mažesnis montuojamų įrenginių skaičius, aukštas galios panaudojimo efektyvumas esant nedideliems vėjo greičiams bei gamintojų pateiktos gamyklinės galios charakteristikos. Sudarytas veikimo ir pajungimo į iešmų šildymo sistemą algoritmas kuris įkeltas darbo gale 14 priede, jame pavaizduota visa jėgainės ir iešmų automatikos veikimo loginė schema su integracija į iešmų

energetinę sistemą. Vertinant turimus duomenis, daugiausia dėmesio skirta vertikalios ašies vėjo jėgainėms, kurios geriau išnaudoja nepastovius vėjo srautus ir užtikrina stabilų darbą net ir esant mažam vėjo greičiui. Inžinerinei analizei buvo taikoma kinetinės vėjo energijos formulė bei aerodinaminiai parametrai, kaip galios koeficientas C_p , kuris analizuotoms jėgainėms priskirtas pastovus 0,35. Tarp visų vertintų gamintojų išsiskyrė *Ecorote* ir *Aeolos* gamintojų siūlomi sprendimai, visų gamintojų apibendrintų duomenų lentelė įkelta darbo gale 16 priede, jėgainių duomenys. Jų modeliai *Ecorote* 9800 ir *AE* 10000 turėjo aiškiai pateiktas galios kreives, palankų žemą startinį vėjo greitį 1,2 ir 2,5 m/s ir aukštą energijos konversijos efektyvumą. Be to, konstrukcijos patikimumą liudija atitikimas CE ir IEC standartams bei žemas triukšmo lygis <46 dB, leidžiantis diegti jėgaines net šalia gyvenamųjų namų. Norint pasiekti reikalingą 30 kW įrengtąją galią, optimalu būtų montuoti tris *Ecorote* 9800, arba *AE* 10000 vienetus, bendrai sukuriant apie 29,4–30 kW galią. Jėgainių generuojamos energijos poreikio analizė, leido tiksliai įvertinti, kaip pasirinkti modeliai tenkins realius iešmų šildymo energijos poreikius. Remiantis 29 ir 30 lentelėse pateiktais duomenimis, aiškiai matomas elektros energijos deficitas šaltuoju sezonu (lapkritis–vasaris), ypač sausį, kai suvartojimas siekia iki 6724 kWh, jėgainės pagaminama elektros energija gali padengti, tik 9–12 % visų sąnaudų. Tuo tarpu balandžio–spalio laikotarpiu, kai iešmai nešildomi, generuojamas perteklinis 72–97 % kiekis, kuris gali būti nukreipiamas į visuomeninį paskirstymo tinklą. Apibendrinant, trijų *Ecorote* EC 9800, arba *Aeolos* AE 10000 jėgainių pasirinkimas Pilviškių geležinkelio stoties infrastruktūrai šiuo atveju yra pagrįstas sprendimas, atitinkantis techninius reikalavimus. Toks sprendimas padėtų optimizuoti šildymo sistemos energijos sąnaudas, padidintų infrastruktūros atsparumą energijos kainų svyravimams ir prisidėtų prie tvarios energetikos plėtros geležinkelių sektoriuje.

6. Vietos jėginei statyti tyrimas

Šiame skyriuje apžvelgta Pilviškių geležinkelio stoties lokalizacija, sklypo ribos, įvertintas tinkamumas statyti mažas vėjo jėgaines.

6.1. Pilviškių stoties teritorijos tyrimas

Pilviškių geležinkelio stotis randasi Vilkaviškio rajono savivaldybėje, šiaurės vakariniame Pilviškių miestelio pakraštyje. Šioje stotyje stoja keleiviniai traukiniai Kaunas–Kybartai. Stotis įtraukta į kultūros paveldo objektų registrą, kuriam priklauso geležinkelio stoties kompleksas su visais priklausiniais kaip pavaizduota 6.1 žemėlapyje paveiksle [123–126]. Paveiksle atvaizduojama žemėlapyje dalis su stoties ir kaimyninių sklypų ribomis.

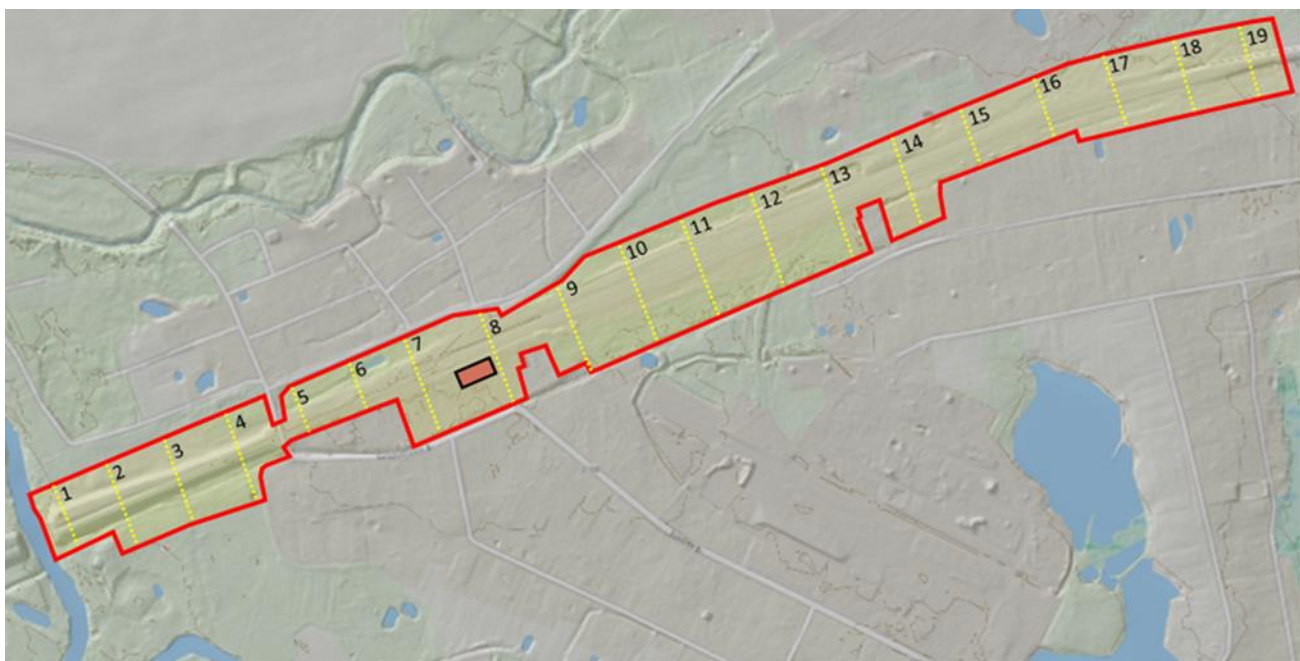


6.1 pav. Pilviškių geležinkelio stoties ribos (apibraukta geltonai) [126]

Pilviškių stoties žemės sklypo ribos kartografinėje medžiagoje pažymėtos geltonos spalvos linija ir driekiasi maždaug ≈ 1700 m. Pačios stoties lokalizacija išskirta raudonos spalvos fonu su juodu kontūru. Visos teritorija išsidėsčiusi $\approx 18,7$ ha plote. Stoties reljefinės charakteristikos vizualizuojamos 6.2 paveiksle [127], kuris demonstruoja, kad nagrinėjama teritorija išsidėsčiusi homogeniško reljefo zonoje. Geodeziniais matavimais nustatyta, kad Pilviškių stoties teritorijos absoliutus aukštis pagal LAS07 sistemą [128] siekia maždaug ≈ 45 m virš jūros lygio, o altitudės variacija teritorijoje svyruoja apie ± 2 m. Šie aukščio nuokrypiai gali būti siejami su inžinerinės infrastruktūros elementais, tokiais kaip kelio melioracijos sistemos bei geležinkelio pylimų drenažo sprendiniai.

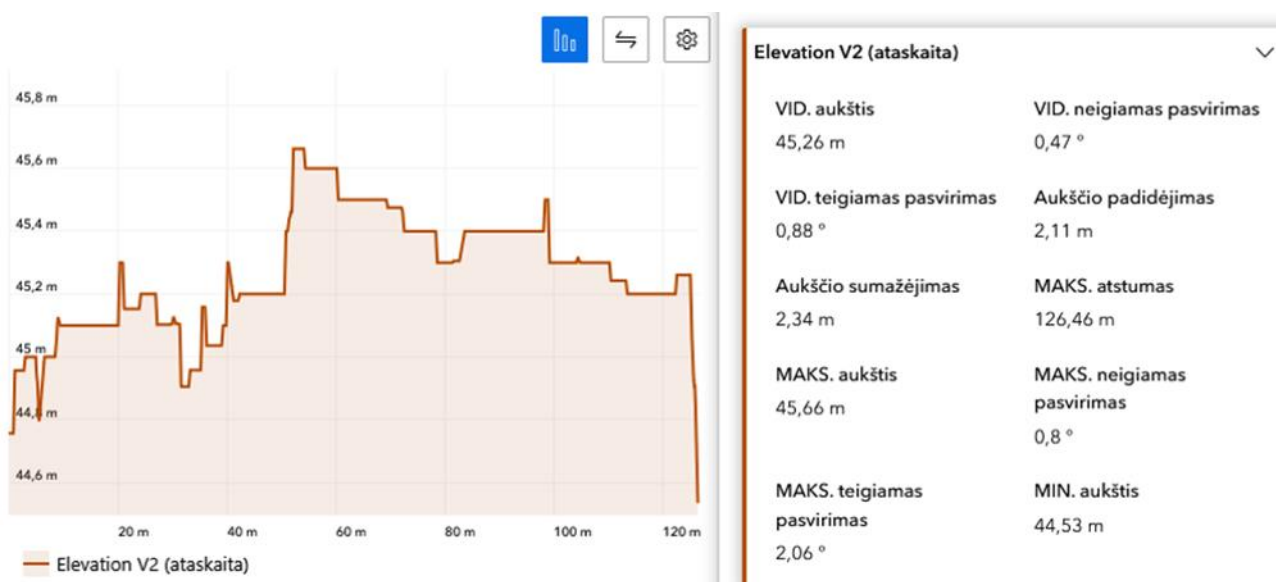
Teritorijos morfologinė analizė atskleidžia, kad siauriausia nagrinėjamos teritorijos vieta aptinkama pietvakarinėje dalyje, ties pervaža, kur jos plotis siekia $\approx 31,55$ m. Eliminavus pervažos įtaką, siauriausia teritorijos dalis rastusi rytinėje pačios stoties pusėje ir sudaro apie ≈ 58 m plotį. Maksimalus teritorijos plotis pastebimas rytinėje teritorijos pusėje, už stoties sandėlio, ties žemės sklypo išplatėjimo riba, kur jis siekia apie ≈ 140 m plotį.

Inžinerinių tinklų išdėstymas raudonomis linijomis su baltais taškais schematiškai žemėlapyje indikuoja ESO elektros tinklų trasas, kurios apima tiek antžemines, tiek požemines elektros tiekimo sistemas. Šių infrastruktūros elementų analizė yra reikšminga vertinant teritorijos plėtros galimybes bei inžinerinius apribojimus.



6.2 pav. Pilviškių geležinkelio stoties teritorija reljefo žemėlapyje [127]

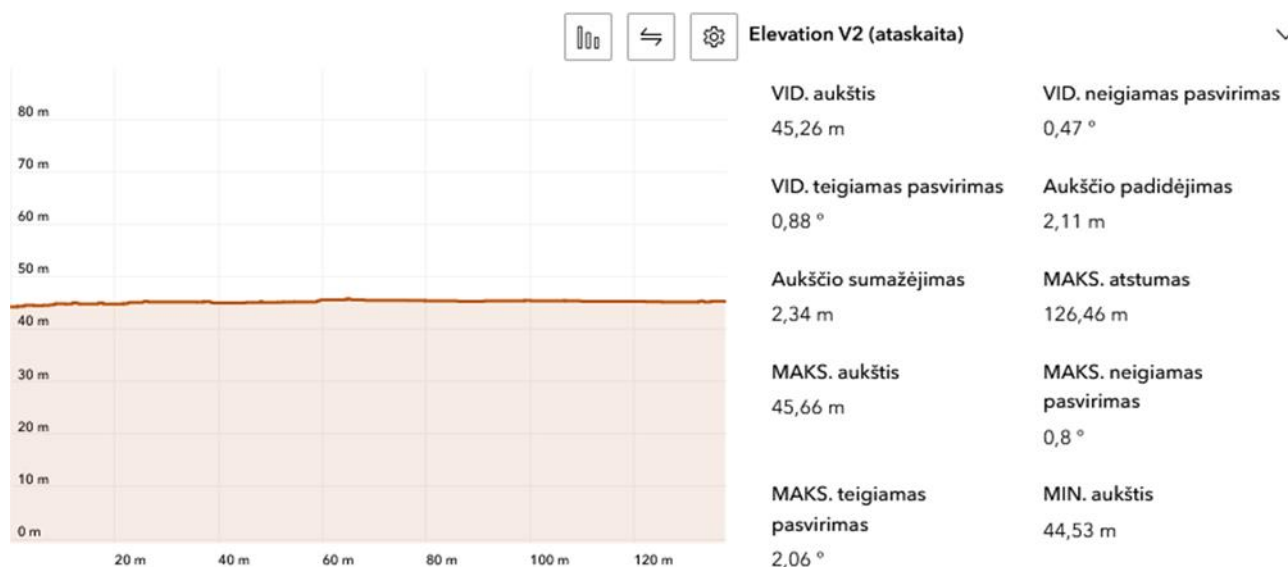
Reljefo žemėlapyje be išskirtos Pilviškių stoties teritorijos raudona linija, sužymėti geltonu punktyru ir sunumeruoti skersiniai ruožo pjūviai išilgai teritorijos. Šių pjūvių diagramos kaip pavaizduota 6.3 paveiksle sukeltos rašto darbo gale 15 priede: Pilviškių stoties teritorijos reljefo pjūviai.



6.3 pav. Stoties ruožo reljefo 8-tas pjūvis [127]

Atvaizduotoje pjūvio diagramoje galima išvelti staus kampo reljefo aukštėjimus ir žemėjimus per visą pjūvio ilgį. Šie diagramos šuoliai, nerodo pačio reljefo pjūvio formos, o nelygumo aukštį tam

tikram pjūvio ruožo ilgyje. Diagramos ataskaitoje pateikiami vidutinis, maksimalus ir minimalus ruožo aukštis virš jūros lygio pagal LAS07 sistemą. Aukščio sumažėjimai ir padidėjimai tai suma visų kreivės diagramos pakilimų ir nusileidimų skaičiuojant pjūvio kryptimi. Pateiktoje diagramoje iš aštunto pjūvio, kuris eina pro pačią geležinkelio stotį galima pastebėti, kad stoties peronas, kuris diagramoje randasi x ašyje 50 m riboje ir kreivė pakyla y ašyje iki 45,6 m žymės, o pirmasis kelias nusileidžia iki 45,2 m žymės y ašyje ir prasideda ties 49 m žymėje x ašyje. Antrasis kelias randasi 42 metrų riboje, jo aukštingumas siekia 45,11 m. Atitinkamai trečias kelias randasi 37 m riboje x ašyje, o jo aukštingumas siekia 45,03 m y ašyje. Diagramoje matyti, kad didžiausias svyravimas siekia 0,4 m tai stoties perono ir pirmojo geležinkelio kelio aukščių skirtumas, kitų svyravimai nesiekia 0,1 m. Jeigu diagramoje svyravimai vaizduojami pagal mastelį, kaip pavaizduota 6.4 paveikslo diagramoje, tame pačiame stoties ruožo aštuntam pjūvyje, analizuojant, siaurą teritorijos ruožą pamatyti reljefo nelygumus praktiškai neįmanoma.



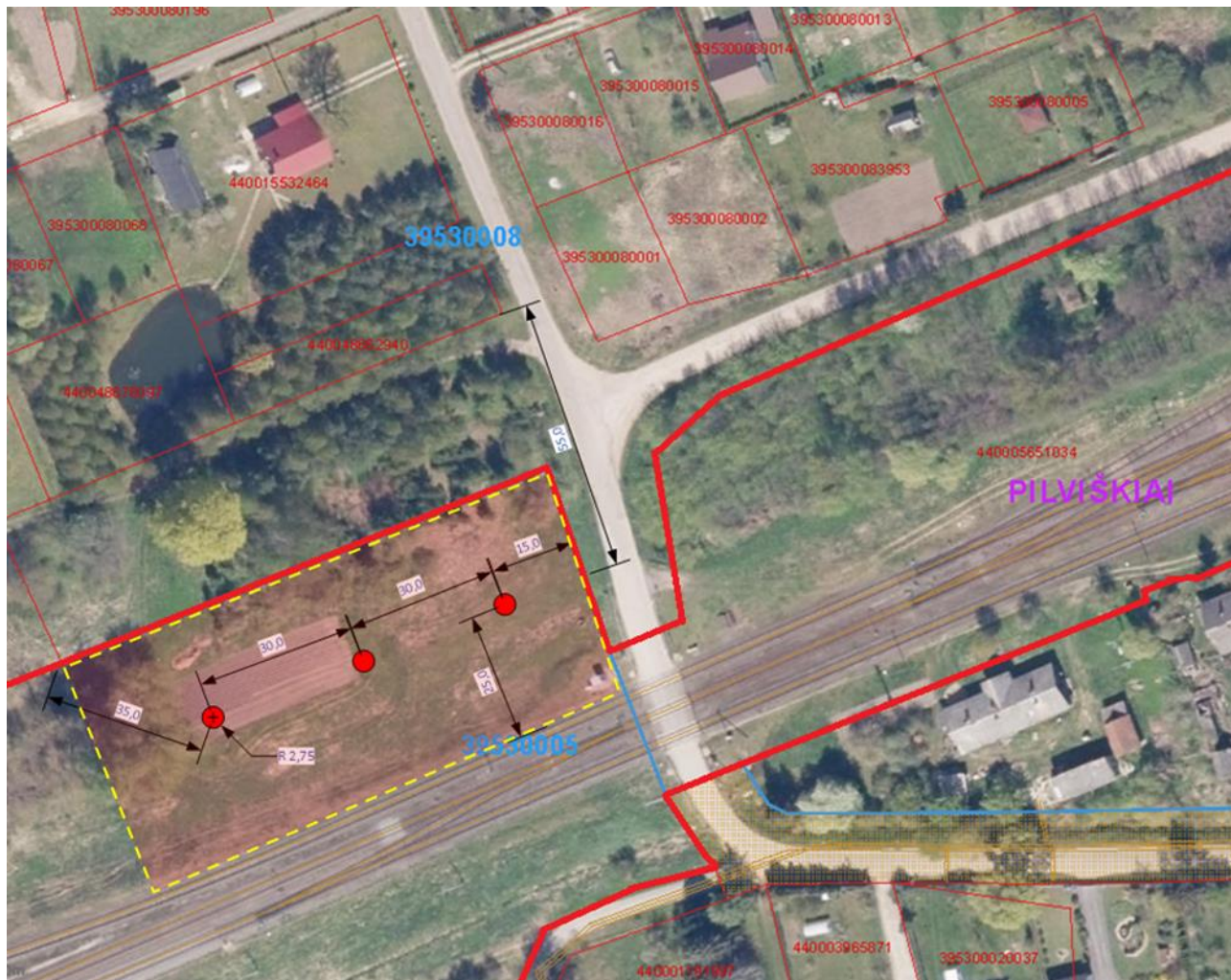
6.4 pav. Stoties ruožo reljefo 8-tas pjūvis pagal mastelį [127]

Šioje diagramoje atvaizduojami reljefo nelygumų svyravimai praktiškai nepastebimi, nes egzistuojantys nelygumai mažesni nei 1 m. Diagramų tapatumą galima stebėti pagal jų identišką ataskaitą, nors kreivės skiriasi, bet pjūvio ataskaitos duomenys identiški. Pagal šių reljefinių pjūvių diagramas galima nustatyti geriausią lokalizaciją vėjo jėgainei statyti.

6.2. Vietos jėgainei statyti nustatymas

Remiantis Danijos VE rangovų patyrimu ir publikuotu Carlos M. Ituarte-Villarreal ir Jose F. Espiritu moksliniu straipsniu [129] vėjo jėgainių išdėstymas projektuojamas taip, kad būtų išvengta rotorinių sukeltų oro srautų tarpusavio sąveikos. Dėl šios priežasties jėgainės horizontalioje projekcijoje statomos viena nuo kitos 5–9 rotoriaus skersmens atstumu, o vertikalios projekcijos ašimi 3–5 skersmens atstumu, kuomet rotoriaus skersmuo mažesnis <10 m reikšmės atstumui nustatyti galima rintis minimalias [130]. Oro srautų sąveikos reiškinys vadinamas „užterštu vėju“, kuris susidaro už rotoriaus ir gali sumažinti kitų elektrinių veikimo efektyvumą. Tokiu atveju jėgainės generuoja mažesnę galią ir patiria didesnes apkrovas, lemiančias spartesnę komponentų nusidėvėjimą. Be to, jėgainių pamatai turi būti įrengiami tvirtoje grunto dangoje, kuri išlaikytų ne tik pačius pamatus, bet ir ant jų montuojamą įrangą [131]. Statomos VE rotoriaus skersmuo 4,5 m rotoriaus centro aukštis

nuo žemės paviršiaus 20 m todėl iki artimiausio kaimyninio sklypo išlaikytas ≤ 35 m atstumas. Pavaizduotam žemėlapyje 6.5 paveiksle, trijų VE parko lokalizacija numatyta pietvakarinėje visos stoties teritorijos dalyje. Tiriant numatytos teritorijos reljefą interaktyviame žemėlapyje [127], ketvirtu pjūviu kaip pavaizduota 6.2 paveiksle, kurio grafinė kreivė ir analizės skaitinė išvada įkelta darbo gale 1 priede, „Pilviškių stoties teritorijos reljefo pjūviai“. Gautoje kreivės 50 m žymoje gerai matyti iškeltas geležinkelio kelyno pylimas, nuo jo į kairę 30 m žymoje matomas įgilėjimas tai pylimo drenavimo sistemos dalis, šalia autotransporto kelio yra drenažo pasiskirstymo šulinys. VE statymo vieta ≈ 20 m žyma nuo pylimo aukštingumo skirtumas ≈ 2 m, į šiaurinę pusę sklypo teritorija dar aukštėja 0,5 m iki sklypo ribos per 20 m iki 0 m žymos vaizduojamojoje kreivėje. Vidutinis sklypo pasvirimas 5,39°.



6.5 pav. Vėjo jėgainių statymo vietos (pažymėta raudonu tašku) [132]

Žemėlapiio fragmente stoties teritorijos ribos paženklintos paryškintu raudona ištisine linija kaimyninių sklypų teritorijos paženklinti plona ištisine raudona linija. Pačios elektrinės pažymėtos raudonais apskritimais, kurie randasi geltonu punktyru pažymėtame 4950 m² plote. Apskritimų skersmenys pagal mastelį atitinka VE rotorų atvaizduojamus žemėlapyje skersmenis. Tarp VE išlaikytas 30 m atstumas, kuris apskaičiuojamas pagal (18) formulę [129].

$$l = n \cdot D; m \quad (18)$$

čia l – atstumas tarp VE vertikalių ašių, m;

n – (5–9) atstumo koeficientas;

D – VE rotoriaus skersmuo, m.

Renkantis VE statymui vietą, buvo konsultuojamasi su LG Kauno regiono energetikos priežiūros skyriaus inžinieriais, kurie ir rekomendavo parką numatyti kuo arčiau iešmyno grupės transformatorinės valdymo spintos kai pavaizduota 6.6 paveiksle.



6.6 pav. Vėjo jėgainių statymo teritorija, geltona – 4 pjūvio ašis, raudona – jėgainių statymo ašis

Šiuo atveju pasirinktoje lokalizacijoje randasi VS25 transformatorinė ir šalia pervažos automatikos valdymo spinta, kurioje galima įrengti elektrinės inverterį ir valdymo bloką. Tai pat sujungti elektrines su ESO visuomeniniu elektros paskirstymo tinklu. Nuotraukoje geltona punktyrine linija žymima ketvirto pjūvio reljefiniame žemėlapyje vieta, raudona ašine linija paženklinta numatoma VE statymo ašis.

6.3. Vietos jėgainei statyti skyriaus apibendrinimas

Atlikus Pilviškių geležinkelio stoties teritorijos analizę, nustatyta, kad optimali vieta trijų mažos galios vėjo jėgainių įrengimui yra pietvakarinėje stoties dalyje, ties pervaža, ketvirtojo reljefo pjūvio zonoje, VS25 iešmyno sistemos ribose. Teritorijos pasirinkimą lėmė ne tik tinkamas reljefo lygumas, bet ir artumas prie pagrindinių elektros tinklo elementų – iešmyno transformatorinės bei automatikos valdymo spintos, kuriose galima patogiai įrengti jėgainių inverterius ir valdymo blokus. Pasirinkta vieta pasižymi pakankamu atstumu iki kaimyninių sklypų, atitinkančiu galiojančius teisės aktų reikalavimus. Teritorijoje nustatytas vidutinis pasvirimas apie $5,39^\circ$, o aukščių skirtumas neviršija 2,5 m, kas leidžia tikėtis paprastesnių pamatų įrengimo darbų. Žemėlapiuose pažymėtas 4950 m² plotas leidžia išlaikyti reikiamus atstumus tarp elektrinių, vengiant oro srautų sąveikos reiškinių (angl. "wake effect"), kuris galėtų mažinti jų efektyvumą ir ilginti atsipirkimo laiką. Svarbu paminėti, kad prieš montuojant jėgaines reikės atlikti teritorijos paruošimo darbus: būtinas dalinis medžių ir krūmų genėjimas bei iškirtimas, siekiant pagerinti vėjo srautų kokybę, kuri galėtų neigiamai paveikti rotorijų darbą. Tokios priemonės atitinka gerąją praktiką, kaip rekomenduojama tarptautiniuose vėjo energetikos šaltiniuose. Numatytos vėjo jėgainės pagal asmenines LTG elektros ir automatikos

inžinierių rekomendacijas bus tiesiogiai sujungtos į esamą geležinkelio infrastruktūros elektros sistemą, naudojant iešmyno transformatorinę kaip įvado tašką. Tai leis užtikrinti energijos tiekimo stabilumą ir sumažins papildomų elektros linijų įrengimo sąnaudas. Techninė integracija į ESO tinklus taip pat yra paprastesnė, nes transformatorinės vieta jau yra pritaikyta papildomiems energijos šaltiniams prijungti. Apskritai, pasirinktos trys vėjo jėgainės ir jų vieta leidžia pasiekti maksimalų infrastruktūros efektyvumą, optimizuoti eksploatacinius kaštus ir užtikrinti suderinamumą su vietos sąlygomis bei statybos reglamentų reikalavimais. Parengti sprendiniai leidžia užtikrinti, kad planuojamas energetinis projektas būtų ne tik techniškai pagrįstas, bet ir ekonomiškai naudingas, prisidedant prie geležinkelių sektoriaus modernizacijos ir energetinio savarankiškumo stiprinimo.

Išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad geležinkelio iešmų šildymo sistemų efektyvumas glaudžiai susijęs su naudojamos energijos šaltiniu. Lietuvos geležinkelių sistemoje naudojama tik varžinė iešmų šildymo technologija. Laboratorinėmis sąlygomis eksperimentu įrodyta, kad indukcinė šildymo technologija pasižymi 30–60 % mažesnėmis energijos sąnaudomis nei varžinis šildymas.
2. Atlikus 2023–2024 m. duomenų statistinę analizę, nustatyti elektros energijos sąnaudų priklausomybės nuo aplinkos temperatūros *Pearson* koreliacijos koeficientai (nuo -0,45 iki -0,60). Tai reiškia vidutinę priklausomybę. Determinacijos R^2 koeficientai svyruoja nuo 0,2568 iki 0,5593, kas statistinėje teorijoje reiškia žemą modelio prognozavimą. Atlikus vizualinę analizę, nustatytas elektros sąnaudų iešmų sistemoje sezoniskumas ir koreliacija tarp energijos sąnaudų ir žemos temperatūros bei meteorologinių kritulių duomenimis.
3. Eksperimentiniais tyrimais nustatyta, kad iešmų šildymo automatinio valdymo sistema, paremta meteorologiniais duomenimis iš AMS ir cikliniu režimu taikant 2 faktorių loginį režimą užtikrina efektyvų šildymo valdymą pagal realias oro sąlygas. Eksperimento metu nustatytos atitinkamų iešmų grupių energijos sąnaudos VS21 – 37,44 kWh, VS22 – 30,57 kWh, VS23 – 6,62 kWh. Automatins režimas su žiediniu ciklu, veikiančiu esant temperatūros intervalui nuo +2 °C iki +6 °C efektyvus tik vieno faktoriaus (temperatūros) režime. Šiuo režimu šildomų iešmų grupės VS24 nustatytos energijos sąnaudos siekia 136,76 kWh. Rankiniu būdu valdomų iešmų grupės VS25 energijos sąnaudos tiriamuoju laikotarpiu siekė 495,15 kWh.
4. Oro sąlygų analizė, atlikta remiantis Kybartų AMS duomenis, nustatyta, kad vėjuočiausi mėnesiai gruodis ir sausis, tai sutampa su didžiausiu energetiniu poreikiu geležinkelio iešmų šildymui, o vidutinis metų vėjo greitis 3,15 m/s, kas atitinka pradinės elektrinių generacijos sąlygas. Vėjo srauto pasiskirstymas pagal greitį 2–4 m/s 535 val. 4–6 m/s 393 val. 6–8 m/s 234 val. Tiriant saulės energijos potencialą, nustatytas kaip visiškai neefektyvus iešmų šildymo kontekste. Nustatytas saulės energijos pikas vasaros mėnesiais, kuris nesutampa su elektros suvartojimo šuoliais žiemos metu tai patvirtina ir empirinis modeliavimas su regresine analize tarp saulės spindėjimo trukmės ir geležinkelio iešmų šildymo energijos sąnaudų nustatyta stipri koreliacija $R^2=0,8476$, kas rodo sisteminį neatitikimą tarp energijos generacijos ir šildymo poreikio.
5. Įvertinus skirtingų gamintojų vėjo jėgainių techninius parametrus nustatyta, kad tinkamiausios VAWT jėgainės yra *Ecorote EC 9800* ir *Aeolos AE 10000*. Visų elektros energijos poreikio iešmų šildymui, 30 kW įrengtosios galios, gali padengti 9,6–21,68 % *Ecorote 9800* modelis, o *Aeolos AE 1000* modelis 12,42–29,71 %. Vienai VS25 iešmų grupei sąnaudas *Ecorote EC 9800* modelis padengtų 46,08–90,27 %, o AE 10000 modelis padengtų 63,15–140,93 %. Sudaryta bendra jėgainės ir iešmų automatikos veikimo loginė schema. Tiriant Pilviškių teritorijos reljefo ypatybes, nustatyta, kad optimali vieta trijų mažos galios vėjo jėgainių įrengimui yra pietvakarinėje stoties dalyje, ties pervažą, ketvirtojo reljefo pjūvio zonoje, kuriame tinkamas reljefo lygumas, tinkamas atstumas iki iešmyno transformatorinės bei automatikos valdymo spintos, kuriose galima įrengti jėgainių inverterius ir valdymo blokus.
6. Tolimesniems tiriamiesiems darbams rekomenduojama plėtoti hibridinių atsinaujinančių energijos šaltinių integracijos į geležinkelio infrastruktūrą modelius. Ypač aktualu nagrinėti jų tarpusavio derinimo galimybes bei efektyvumo priklausomybę nuo oro sąlygų. Tikslinga taikyti pažangius valdymo algoritmus, leidžiančius optimizuoti energijos vartojimą pagal aplinkos sąlygas, taip sudarant prielaidas kurti energetiškai autonomiškus ir aplinkai draugiškus geležinkelio infrastruktūros mazgus.

Literatūros sąrašas

1. Терминология по соединениям и пересечениям рельсовых путей [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: <https://osjd.org/api/media/resources/9208?action=download>
2. KĖDAITIENĖ, A.; DROŽDZ, J.; PADVILIKIS, G. Visų transporto sektorių (kelių, oro, vandens ir geležinkelių) svarbiausių ir didžiausių poveikį ŠESD mažinimui, energijos vartojimo efektyvumui ir AEI dalies didinimui darančių priemonių efektyvumo ekonominis įvertinimas. 2021. 56 p. [žiūrėta 2023-11-14]. Prieiga per: <https://strata.gov.lt/wp-content/uploads/2024/01/20220210-transporto-sektoriu-ivertinimas.pdf>
3. Passenger rail performance: Quality and methodology report [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-12-22]. Prieiga per: <https://dataportal.orr.gov.uk/statistics/performance/passenger-rail-performance/>
4. LINGAITIS, L. P.; LIUDVINAVIČIUS, L.; BUTKEVIČIUS, J. ir kt. Geležinkeliai: bendrasis kursas: vadovėlis. Vilnius: Technika, 2009. 278 p. ISBN 978-9955-28-399-7
5. SALA, A. J.; FELEZ, J.; CANO-MORENO, J. D. Efficient railway turnout design: leveraging TRIZ-based approaches. Applied Sciences [interaktyvus]. 2023, vol. 13, no. 17, 9531 [žiūrėta 2023-12-22]. ISSN 2076-3417. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/app13179531>
6. Стрелочные переводы — устройство, характеристики и возможные неисправности [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-12-22]. Prieiga per: <https://magistralug.ru/strelochnye-perevody--ustroystvo-harakteristiki-i-vozmozhnye-neispravnosti/>
7. HAMADACHE, M.; DUTTA, S.; OLABY, O. ir kt. On the fault detection and diagnosis of railway switch and crossing systems: an overview. Applied Sciences [interaktyvus]. 2019, vol. 9, no. 23, 5129 [žiūrėta 2024-04-23]. ISSN 2076-3417. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/app9235129>
8. McHUTCHON, M. A.; STASZEWSKI, W. J.; SCHMID, F. Signal processing for remote condition monitoring of railway points. Strain [interaktyvus]. 2005, vol. 41, no. 2, p. 71–85 [žiūrėta 2024-04-22]. ISSN 0039-2103. Prieiga per: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1305.2005.00202.x>
9. SHIH, J. Y.; HEMIDA, H.; STEWART, E.; ROBERTS, C. Understanding the impact of train run-throughs on railway switches using finite element analysis. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit [interaktyvus]. 2019, vol. 233, no. 4, p. 359–369 [žiūrėta 2024-04-21]. ISSN 0954-4097. Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/0954409718795759>
10. ASADA, T.; ROBERTS, C. Improving the dependability of DC point machines with a novel condition monitoring system. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit [interaktyvus]. 2013, vol. 227, no. 4, p. 322–332 [žiūrėta 2025-04-20]. ISSN 0954-4097. Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/095440971348174>
11. COPE, David L.; ELLIS, John B. (eds). British railway track. Permanent Way Institution, 2009.
12. WRIGHT, N.; BEMMENT, S.; WARD, C.; DIXON, R. A model of a REPOINT track switch for control. In: Proceedings of the 2014 UKACC International Conference on Control, CONTROL, Loughborough, UK, 9–11 July 2014 [interaktyvus]. IEEE, 2014, p. 549–554 [žiūrėta 2024-04-19]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6915199>
13. Elastic switch roller system vaROLL [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-12-23]. Prieiga per: <https://www.voestalpine.com/railway-systems/en/products/elastic-switch-roller-system-varoll/>
14. SIMONAVIČIUS, Mindaugas; BOGDEVIČIUS, Marijonas. Ieško smailės ir pavaros matematinis modelis. Transport Means 2018 [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2023-12-23]. Prieiga per: <http://jmk.transportas.vgtu.lt/index.php/tran2017/tran2018/paper/viewFile/193/172>

15. Iešmų projektavimo ypatumai ir joms keliami reikalavimai [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-12-24]. Prieiga per: http://scbist.com/scb/uploaded/1_1386424355.pdf
16. DEKSNYS, R. P.; BAČAUSKAS, A.; AŽUBALIS, V. ir kt. Vėjo elektrinių plėtros galimybių analizė: antro etapo ataskaita. Kaunas, 2009. 149 p.
17. ANG, Tze-Zhang; SALEM, Mohamed; KAMAROL, Mohamad ir kt. A comprehensive study of renewable energy sources: classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews* [interaktyvus]. 2022, vol. 43, 100939 [žiūrėta 2024-04-18]. ISSN 2211-467X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>
18. RIZZI, F.; VAN ECK, N. J.; FREY, M. The production of scientific knowledge on renewable energies: worldwide trends, dynamics and challenges and implications for management. *Renewable Energy* [interaktyvus]. 2014, vol. 62, p. 657–671 [žiūrėta 2024-04-17]. ISSN 0960-1481. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148113004321>
19. VINE, E. Breaking down the silos: the integration of energy efficiency, renewable energy, demand response and climate change. *Energy Efficiency* [interaktyvus]. 2008, vol. 1, p. 49–63 [žiūrėta 2024-04-16]. ISSN 1570-646X. Prieiga per: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-008-9004-z>
20. United Nations. Klimato veiksniai [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-04-15]. Prieiga per: <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
21. RITCHIE, Hannah; ROSER, Max; ROSADO, Pablo. Renewable energy sources are growing quickly and will play a vital role in tackling climate change. *Our World in Data* [interaktyvus]. 2024 [žiūrėta 2024-04-14]. Prieiga per: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>
22. RAHMAN, Abidur; FARROK, Omar; HAQUE, Md Mejbaul. Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2022, vol. 161, 112279 [žiūrėta 2024-05-13]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279>
23. ALHAMROUNI, I.; DANIAL, M.; SALEM, M. ir kt. Design of 2LC-Y DC - DC converter for high voltage/low current renewable energy application. *Test Engineering and Management* [interaktyvus]. 2020, vol. 83, p. 2111–2117 [žiūrėta 2024-05-12]. ISSN 0193-4120. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/336120363>
24. ALHUYI NAZARI, M.; SALEM, M.; MAHARIQ, I. ir kt. Utilization of data-driven methods in solar desalination systems: a comprehensive review. *Frontiers in Energy Research* [interaktyvus]. 2021, vol. 9, 541 [žiūrėta 2024-06-11]. ISSN 2296-598X. Prieiga per: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2021.742615/full>
25. DIAKAKI, C.; GRIGOROUDIS, E.; KABELIS, N. ir kt. A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. *Energy* [interaktyvus]. 2010, vol. 35, no. 12, p. 5483–5496 [žiūrėta 2024-06-15]. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544210002756>
26. BREEZE, P. Wind power. In: *Power Generation Technologies*. 2nd ed. London: Newnes, 2014, p. 223–242. ISBN 978-0-08-098330-1. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080983301000119>
27. HERBERT, G. M. J.; INIYAN, S.; SREEVALSAN, E.; RAJAPANDIAN, S. A review of wind energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2007, vol. 11, no. 6, p. 1117–1145 [žiūrėta 2024-06-19]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403210500095X>

28. RASHAD, A.; KAMEL, S.; JURADO, F. The basic principles of wind farms. In: Distributed Generation Systems. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2017, p. 21–67. ISBN 978-0-12-804208-3. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128042083000029>
29. BREEZE, P. Wind power. In: Power Generation Technologies. 3rd ed. London: Newnes, 2019, p. 251–273. ISBN 978-0-08-102631-1. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081026311000110>
30. LIU, J.; LIN, H.; ZHANG, J. Review on the technical perspectives and commercial viability of vertical axis wind turbines. Ocean Engineering [interaktyvus]. 2019, vol. 182, p. 608–626 [žiūrėta 2024-06-28]. ISSN 0029-8018. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801819302124>
31. TWIDELL, J.; WEIR, T. Renewable energy resources. Oxfordshire: Routledge, 2015. ISBN 978-0-429-45216-1. Prieiga per: <https://doi.org/10.4324/9780429452161>
32. MALCOLM, D. Market, cost, and technical analysis of vertical and horizontal axis wind turbines task #2: VAWT vs. HAWT technology. Lawrence Berkeley National Laboratory, California, United States, 2003.
33. SHIRES, A. Design optimisation of an offshore vertical axis wind turbine. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy [interaktyvus]. 2013, vol. 166, no. 1, p. 7–18 [žiūrėta 2024-07-07]. ISSN 1751-4223. Prieiga per: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/ener.12.00007>
34. HYAMS, M. Wind energy in the built environment. In: Metropolitan Sustainability. Sawston, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2012, p. 457–499. ISBN 978-0-85709-646-3. Prieiga per: <https://doi.org/10.1533/9780857096463.3.457>
35. TJIU, W.; MARNOTO, T.; MAT, S.; RUSLAN, M. H.; SOPIAN, K. Darrieus vertical axis wind turbine for power generation I: assessment of Darrieus VAWT configurations. Renewable Energy [interaktyvus]. 2015, vol. 75, p. 50–67 [žiūrėta 2024-07-09]. ISSN 0960-1481. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.038>
36. BISHOP, J. D. K.; AMARATUNGA, G. A. J. Evaluation of small wind turbines in distributed arrangement as sustainable wind energy option for Barbados. Energy Conversion and Management [interaktyvus]. 2008, vol. 49, no. 6, p. 1652–1661 [žiūrėta 2024-07-15]. ISSN 0196-8904. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.11.008>
37. BHUTTA, M. M. A.; HAYAT, N.; FAROOQ, A. U.; ALI, Z. Vertical axis wind turbine – a review of various configurations and design techniques. Renewable and Sustainable Energy Reviews [interaktyvus]. 2012, vol. 16, no. 4, p. 1926–1939 [žiūrėta 2024-07-14]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.004>
38. SERRANO-GONZÁLEZ, J.; LACAL-ARÁNTEGUI, R. Technological evolution of onshore wind turbines—a market-based analysis. Wind Energy [interaktyvus]. 2016, vol. 19, no. 12, p. 2171–2187 [žiūrėta 2024-07-23]. ISSN 1095-4244. Prieiga per: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84959262889&origin=inward&txGid=024372dcd9c123e629e8da11cb02386f>
39. TRIPATHI, S. M.; TIWARI, A. N.; SINGH, D. Grid-integrated permanent magnet synchronous generator based wind energy conversion systems: a technology review. Renewable and Sustainable Energy Reviews [interaktyvus]. 2015, vol. 51, p. 1288–1305 [žiūrėta 2024-07-22]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.060>
40. KILLINGTVEIT, Å. Future energy: improved, sustainable and clean options for our planet. Oxford: Elsevier Ltd, 2020. ISBN 978-0-08-102886-5

41. Hydroelectric power [interaktyvus]. Alternative Energy [žiūrėta 2024-07-22]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>
42. IRENA. Renewable energy cost analysis: hydropower. United Arab Emirates: IRENA, 2012 [žiūrėta 2024-07-22]. Prieiga per: <https://www.irena.org/Publications/2012/Jun/Renewable-Energy-Cost-Analysis---Hydropower>
43. U.S. Department of Energy. Hydropower basics [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-07-22]. Prieiga per: <https://www.energy.gov/eere/water/hydropower-basics>
44. MISHRA, Somya; UPADHYAY, Rajesh Kumar. Review on biomass gasification: gasifiers, gasifying mediums, and operational parameters. Materials Science for Energy Technologies [interaktyvus]. 2021, p. 329–340 [žiūrėta 2024-07-22]. ISSN 2589-2991. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2021.08.009>
45. PISHVAEE, M. S.; MOHSENI, S.; BAIRAMZADEH, Samira. An overview of biomass feedstocks for biofuel production. In: Biomass to Biofuel Supply Chain Design and Planning under Uncertainty. Cambridge, United States: Academic Press, 2021, p. 1–20. ISBN 978-0-12-820640-9. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820640-9.00001-5>
46. SHARMINA, M.; McGLADE, C.; GILBERT, P.; LARKIN, A. Global energy scenarios and their implications for future shipped trade. Marine Policy [interaktyvus]. 2017, vol. 84, p. 12–21 [žiūrėta 2024-07-22]. ISSN 0308-597X. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X17302713>
47. SUN, Y.; GAO, B.; YAO, Y. ir kt. Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. Chemical Engineering Journal [interaktyvus]. 2014, vol. 240, p. 574–578 [žiūrėta 2024-07-22]. ISSN 1385-8947. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.081>
48. TRIPATHI, M.; SAHU, J.; GANESAN, P. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews [interaktyvus]. 2016, vol. 55, p. 467–481 [žiūrėta 2024-07-25]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>
49. KUMAR, A.; BHATTACHARYA, T.; HASNAIN, S. M. M.; NAYAK, A. K. Applications of biomass-derived materials for energy production, conversion and storage. Materials Science for Energy Technologies [interaktyvus]. 2020, vol. 3, p. 905–920 [žiūrėta 2024-07-25]. ISSN 2589-2991. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.10.012>
50. LAGO, C.; CALDÉS, N.; LECHÓN, Y. Key challenges and opportunities. In: The Role of Bioenergy in the Emerging Bioeconomy. Cambridge, United States: Academic Press, 2019, p. 297–378. ISBN 978-0-429-07065-5
51. KHALILPOUR, Kaveh Rajab. Polygeneration with polystorage for chemical and energy hubs. Academic Press, 2017. ISBN 978-0-12-813306-4. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04711-3>
52. LETCHER, Trevor M. Future energy: improved, sustainable and clean options for our planet. Oxford: Elsevier, 2020. ISBN 978-0-08-102886-5. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-01500-5>
53. BARBIER, Enrico. Geothermal energy technology and current status: an overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews [interaktyvus]. 2002, vol. 6, no. 1-2, p. 3–65 [žiūrėta 2024-07-25]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00002-3)
54. DICKSON, H.; FANELLI, Mario. Renewable energy. Routledge, 2011. 232 p. ISBN 978-1-315-79324-5. Prieiga per: <https://doi.org/10.4324/9781315793245>

55. HEGEDŰS, C. ir kt. Proactive maintenance of railway switches. In: 2018 5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), Thessaloniki, Greece, 2018 [interaktyvus]. IEEE, 2018, p. 725–730 [žiūrėta 2024-07-25]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/325130162_Proactive_Maintenance_of_Railway_Switches
56. LIU, Xiang; SAAT, M. Rapik; BARKAN, Christopher P. L. Analysis of causes of major train derailment and their effect on accident rates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* [interaktyvus]. 2012, no. 2289, p. 154–163 [žiūrėta 2024-07-25]. ISSN 0361-1981. Prieiga per: <https://doi.org/10.3141/2289-20>
57. BARKAN, C. P. L.; DICK, C. T.; ANDERSON, R. Railroad derailment factors affecting hazardous materials transportation risk. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* [interaktyvus]. 2003, no. 1825, p. 64–74 [žiūrėta 2024-07-27]. ISSN 0361-1981. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/229026217_Railroad_Derailment_Factors_Affecting_Hazardous_Materials_Transportation_Risk
58. ANDERSON, R. T. Quantitative analysis of factors affecting railroad accident probability and severity. MS thesis. University of Illinois at Urbana–Champaign, 2005 [žiūrėta 2024-07-27]. Prieiga per: [https://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/pdf-archive/Anderson-MS-thesis-\(final\).pdf](https://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/pdf-archive/Anderson-MS-thesis-(final).pdf)
59. FRA Guide for Preparing Accident/Incident Reports. FRA, U.S. Department of Transportation, 2011 [žiūrėta 2024-07-27]. Prieiga per: <https://railroads.dot.gov/elibrary/fra-guide-preparing-accidentincident-reports-0>
60. LOTFI, A.; VIRK, M. S. Railway operations in icing conditions: a review of issues and mitigation methods. *Public Transport* [interaktyvus]. 2023, vol. 15, p. 747–765 [žiūrėta 2024-07-27]. ISSN 1866-749X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s12469-023-00327-6>
61. АЛЬБРЕХТ, В. Г.; ДАНОВСКИЙ, Л. М.; КОЛЕСНИКОВ, П. И. ir kt. Путевые работы и машины. Под редакцией канд. техн. наук доц. Г. В. Лидерса [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-01-04]. Prieiga per: <https://lokomotiv.ru/zheleznodorozhnyy-put/putevye-raboty-i-mashiny.html>
62. NOVICKIJ, V. Iešmų šildymo sistemos efektyvumo tyrimas. Šiauliai: ŠU Technologijos fakultetas, 2007 [žiūrėta 2025-03-18]. Prieiga per: <https://epublications.vu.lt/object/elaba:2042795/index.html>
63. Gas heating of the railway switch [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-01-04]. Prieiga per: <https://www.railway.supply/en/gas-heating-of-the-railway-switch-bright-but-expensive/>
64. SUMATHI, Siddharth Suresh. Modelling of heat transfer of railway switch heating. *TRITA-ITM-EX* 2023:565 [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2024-02-27]. Prieiga per: <https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1811084/FULLTEXT01.pdf>
65. LITHERLAND, J.; ANDREWS, J. A reliability study of railway switch and crossing components. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* [interaktyvus]. 2022, vol. 237, no. 2, p. 205–217 [žiūrėta 2024-07-27]. ISSN 0954-4097. Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/09544097221100672>
66. RAMA, D.; ANDREWS, J. D. A reliability analysis of railway switches. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* [interaktyvus]. 2013, vol. 227, no. 4, p. 344–363 [žiūrėta 2024-07-27]. ISSN 0954-4097. Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/0954409713481725>
67. DOLL, Claus; TRINKS, Christian; SEDLACEK, Norbert ir kt. Adapting rail and road networks to weather extremes: case studies for southern Germany and Austria. *Natural Hazards*

- [interaktyvus]. 2014, vol. 72, p. 63–83 [žiūrėta 2024-07-27]. ISSN 0921-030X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0969-3>
68. КОЛИСНИЧЕНКО, Е. А. Совершенствование технологии очистки стрелочных переводов от твердых атмосферных осадков инфракрасным излучением. PhD thesis. Иркутск, 2019 [žiūrėta 2024-09-07]. Prieiga per: <https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-tekhnologii-ochistki-strelochnykh-perevodov-ot-tverdykh-atmosfernykh-osad>
 69. Energy saving in rail: consumption assessment, efficiency improvement and saving strategies, overview report [interaktyvus]. 2024 [žiūrėta 2024-09-07]. Prieiga per: https://rail-research.europa.eu/wp-content/uploads/2024/07/ERSIPB-EDSIPB-B-S2R-219-01_-_20240314_Energy_saving_measures_in_rail_report_changes__2_.pdf
 70. SZYCHTA, Elzbieta; SZYCHTA, Leszek; LUFT, Mirosław; KIRAGA, Kamil. Application of 3D simulation methods to the process of induction heating of rail turnouts. In: Advances in Intelligent Systems and Computing [interaktyvus]. 2012, p. 347–357 [žiūrėta 2024-01-04]. ISSN 2194-5357. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/224829688>
 71. КОЗЛОВА, А. М.; ГҮСЕВА, К. Г. Проектирование железнодорожных станций и узлов: справочное и методическое руководство. 2-е изд. Москва: Транспорт, 1981 [žiūrėta 2024-09-07]. Prieiga per: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847206.htm>
 72. Обогрев железнодорожных стрелок, переездов [interaktyvus]. Кабельные Системы и Технологии [žiūrėta 2024-11-04]. Prieiga per: <https://cstprom.ru/elektroobogrev/obogrev-zheleznodorozhnykh-strelok-pereezdov/>
 73. BASILE, Davide; CHIARADONNA, Silvano; DI GIANDOMENICO, Felicita; GNESI, Stefania. Stochastic model-based analysis of energy consumption in a rail road switch heating system [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-12-24]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/282976074>
 74. CHOI, Jung-Youl; KIM, Sun-Hee; HAN, Kyung-Sung; CHUNG, Jee-Seung. Application of failure mode effects analysis for maintenance of turnout system on serviced urban rapid transit. Applied Sciences [interaktyvus]. 2023, vol. 13, no. 5, 2978 [žiūrėta 2024-01-04]. ISSN 2076-3417. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/2978>
 75. Industrial heating systems Eltherm [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-01-04]. Prieiga per: <https://energywarm.com/products/eltherm/>
 76. ŻELAZNY, R.; JABŁOŃSKI, P.; SZCZEGIELNIAK, T. Operation of the prototype device for induction heating of railway turnouts at various operating frequencies. Energies [interaktyvus]. 2021, vol. 14, no. 2, 476 [žiūrėta 2025-03-10]. ISSN 1996-1073. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/en14020476>
 77. HEGER, Julian. Inductive railway turnout heating systems – a review of scientific publications. In: Cetra 2024, Cavtat, Croatia, 15-17 May 2024 [interaktyvus]. 2024 [žiūrėta 2024-11-07]. Prieiga per: <https://cetra.grad.hr/ocs/public/conferences/8/pub-proceedings/1592.pdf>
 78. OH, Hyeong-Seok; PARK, Chan-Bae; LEE, Seung-Hwan ir kt. A study on de-icing for railway turnouts using 250kHz-200W-class induction heating system. AIP Advances [interaktyvus]. 2019, vol. 9, no. 12, 125229 [žiūrėta 2024-11-07]. ISSN 2158-3226. Prieiga per: <https://doi.org/10.1063/1.5129857>
 79. KIRAGA, Kamil; SZYCHTA, Elzbieta. Research of selected electric and magnetic properties of railway rail. Archives of Electrical Engineering [interaktyvus]. 2012, vol. 61, no. 3, p. 347–357 [žiūrėta 2024-11-07]. ISSN 0004-0746. Prieiga per: <https://doi.org/10.2478/v10171-012-0028-9>

80. OH, Hyeong-Seok ir kt. A study on de-icing for railway turnouts using 250kHz-200W-class induction heating system. AIP Advances [interaktyvus]. 2019, vol. 9, no. 12 [žiūrėta 2025-03-06]. ISSN 2158-3226. Prieiga per: <https://doi.org/10.1063/1.5129857>
81. SZYCHTA, E.; SZYCHTA, L. Comparative analysis of effectiveness of resistance and induction turnout heating. Energies [interaktyvus]. 2020, vol. 13, no. 20, 5262 [žiūrėta 2025-03-05]. ISSN 1996-1073. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/en13205262>
82. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Москва: Издательство «Перо», 2016. 204 p.
83. Новости События Проекты на железнодорожном и городском рельсовом транспорте. Железные дороги мира [interaktyvus]. 2011, no. 02, 04 [žiūrėta 2023-11-22]. Prieiga per: <https://zdmira.com/archive/2011/02>
84. ŠLIAUPA, Saulius; ZUZEVIČIUS, Algirdas; RASTENIENĖ, Vita ir kt. Vakarų Lietuvos regione esančių geoterminės energijos resursų potencialo išaiškinimas ir pagrindimas, bei galimybės jų panaudojimui energijos gamybai. 2008. 221 p. Prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai/tyrimai-ir-analizes-3/>
85. BIČKUS, A.; RASTENIENĖ, V.; SUVEIZDIS, P. Geoterminės energijos išteklių naudojimas Lietuvoje. Vilnius: Lietuvos Respublikos Ūkio Ministerija, VĮ „Energetikos agentūra“, 2004. 59 p.
86. KATINAS, Vladislovas. Energijos gamybos apimčių iš atsinaujinančių energijos išteklių 2008–2025 m. studijos parengimas. 2007. 128 p. Prieiga per: https://lsta.lt/files/studijos/2007/21_AEI_studija.pdf
87. Vilkaviškis Balneologisch-Geothermisches projekt II. Geothermie Neubrandenburg, 1995. 25 p.
88. Tyrimo lokalizacijos vieta – P5GX+HQX Pilviškiai, Vilkaviškio r. sav. [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-01-04]. Prieiga per: <https://www.google.com/maps>
89. Termovizoriaus „Flir ThermanCam I7“ vartotojo vadovas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-01-03]. Prieiga per: <https://www.buildingtalk.com/wp-content/uploads/Thermal-Imaging-cameras-for-predictive-maintenance.pdf>
90. HOU, Fujin; ZHANG, Yan; ZHOU, Yong ir kt. Review on infrared imaging technology. Sustainability [interaktyvus]. 2022, vol. 14, no. 18, 11161 [žiūrėta 2025-01-12]. ISSN 2071-1050. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/su141811161>
91. ČEKANAVIČIUS, Vydas; MURAUSKAS, Gediminas. Taikomoji regresinė analizė socialiniuose tyrimuose. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2014. 561 p. ISBN 978-609-459-300-0
92. CASELLA, G.; BERGER, R. L. Statistical inference. Duxbury Press, 2002. 565 p. ISBN 978-1-032-95303-6. Prieiga per: <https://doi.org/10.1201/9781003456285>
93. BAGDONAVIČIUS, Viliandas; KRUIOPIS, Julius Jonas. Matematinė statistika: vadovėlis. Pirma dalis. Parametrinė statistika. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2015. 293 p. ISBN 978-609-459-515-8
94. ALMEKHLAFI, Murad A. A.; AL-WESABI, Fahd N.; ELTAHIR, Majdy M. ir kt. Analysis and assessment of wind energy potential of Almukalla in Yemen. Computers, Materials and Continua [interaktyvus]. 2022, vol. 72, no. 2, p. 3113–3129 [žiūrėta 2025-01-12]. ISSN 1546-2218. Prieiga per: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.024355>
95. ALLAN, Philip K. The origins of the Beaufort scale. Naval History Magazine [interaktyvus]. 2024 [žiūrėta 2025-02-28]. Prieiga per: <https://www.usni.org/magazines/naval-history-magazine/2024/march/origins-beaufort-scale>
96. Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas. 114 straipsnis [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2025-02-23]. Prieiga per: <https://www.infolex.lt/ta/540499:str114>

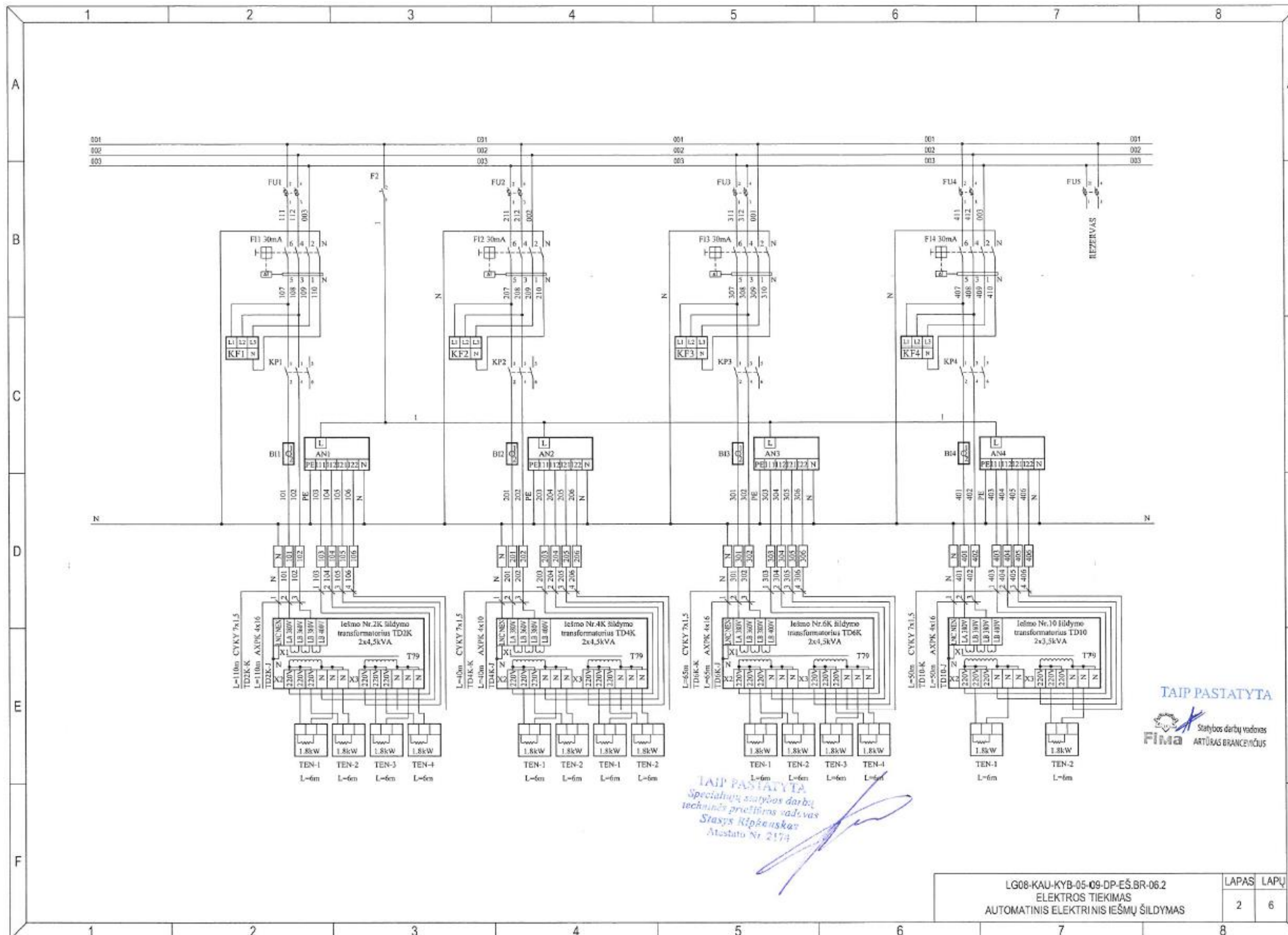
97. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. Lietuvos klimato atlasas 1991–2020 [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2025-02-23]. Prieiga per: <https://www.meteo.lt/app/uploads/>
98. Lietuvos vietovardžių žodynas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-23]. Prieiga per: <http://vietovardziai.lki.lt/?zodis=Pilvi%C5%A1kiai&id=2211470>
99. ŽEMAITIS, K. Vėjo energijos panaudojimas pastato inžinerinėse sistemose: baigiamasis magistro projektas. Kaunas: Kauno technologijos universitetas, 2023. 9 p.
100. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. LHMT meteorologinių ir hidrologinių stebėjimų archyvas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-23]. Prieiga per: https://archyvas.meteo.lt/?station=kybartuams&start_date=2023-03-01&end_date=2024-02-29&meteo-form=Rodyti
101. BIRGIOLAS, E.; KATINAS, V. Vėjo srauto parametrų kitimo dėsningumų tyrimas Lietuvos pajūryje. Energetika [interaktyvus]. 2006, no. 2, p. 29–33 [žiūrėta 2025-02-23]. ISSN 0235-7208. Prieiga per: http://mokslozurnalai.lmaleidykla.lt/publ/0235-7208/2006/2/Ener029_033.pdf
102. TLK Energy. Interaktyvi oro tankio skaičiuoklė [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-23]. Prieiga per: <https://tlk-energy.de/en/tools/air-density>
103. The Air Tightness Testing & Measurement Association. Understanding air density [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-23]. Prieiga per: <https://www.bcta.group/attma/2023/understanding-air-density/>
104. Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių ir energetikos įstatymas. Žin., 2011, Nr. 62-2936 [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-23]. Prieiga per: <https://eseimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.398874/FOBKpKduwj?jfwid=4u3ehomhd>
105. Lietuvos Respublikos statybos techninis reglamentas STR 1.01.07:2010 „Nesudėtingi statiniai“ [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2025-02-23]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/a0c145002a4711efbdaea558de59136c>
106. Lietuvos higienos norma HN 33:2011 „Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje“ [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2025-02-23]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.402074>
107. ECOROTE. Vėjo jėgainės gamintojas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-03]. Prieiga per: <https://besteon.pl/en/shop/wind-turbines/>
108. Astralux LTD. Ukrainos Respublikoje įkurta įmonė [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-03]. Prieiga per: <https://verticalwindturbineinfo.com/vawt-manufacturers/astralux-ltdnew-wind-turbine/>
109. Astralux LTD. Patentuoja vėjo turbino jėgainę [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-03]. Prieiga per: <https://www.slideshare.net/slideshow/vertical-wind-turbine-sales/14450674>
110. Hi-VAWT. Mažos galios vertikalios ašies vėjo jėgainių gamintojas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-03]. Prieiga per: <https://verticalwindturbineinfo.com/vawt-manufacturers/hi-vawt-vertical-wind-turbines/>
111. Hi-VAWT. Hibridinė vėjo, saulės fotovoltinių panelių elektrinė [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-03]. Prieiga per: http://www.hi-vawt.com.tw/en/hybrid_systems.html
112. ICC-SWCC™. Mažų vėjo jėgainių sertifikavimo tarybos išduotas atitikties sertifikatas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-03]. Prieiga per: <https://smallwindcertification.org/certified-turbines/ds3000>
113. Windspire Energy. Vėjo jėgainių gamintojas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-03]. Prieiga per: <https://www.windspireenergy.com/>
114. Aeolos. Vėjo jėgainių gamintoja [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-13]. Prieiga per: <https://www.windturbinestar.com/>
115. Aeolos. Sumontuota vėjo jėgainė Dubajuje [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-13]. Prieiga per: <https://www.windturbinestar.com/UAE-5kW-Vertical-Windmill-Generator.html>

116. KATINAS, V.; MARKEVIČIUS, A. Vėjo energijos ištekliai ir stebėjimo postų kūrimas Lietuvoje. Energetika [interaktyvus]. 2001, no. 2, p. 45–50 [žiūrėta 2025-03-13]. ISSN 0235-7208. Prieiga per: <https://mokslozurnalai.lmaleidykla.lt/publ/0235-7208/2001/2/En-45.pdf>
117. MARČIUKAITIS, M.; DZENAJAVIČIENĖ, E. F.; KVESELIS, V. ir kt. Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo Lietuvoje patirtis, reikšmė ir siekiai. Energetika. 2016, t. 62, nr. 4, p. 247–267 [žiūrėta 2025-03-13]. Prieiga per: [file:///C:/Users/Vitalijus/Downloads/3394-Article%20Text-2356-1-10-20161129%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Vitalijus/Downloads/3394-Article%20Text-2356-1-10-20161129%20(1).pdf)
118. NIRANJANA, S. J. Power generation by vertical axis wind turbine [interaktyvus]. Christ University, Karnataka, India [žiūrėta 2025-03-13]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/341113784_Power_Generation_by_Vertical_Axis_Wind_Turbine
119. BASSI, W.; SAUER, I. L.; RODRIGUES, A. L. Implantation, operation data and performance assessment of an urban area grid-connected small wind turbine. Wind [interaktyvus]. 2022, vol. 2, no. 4, p. 711–729 [žiūrėta 2025-03-13]. ISSN 2674-032X. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2674-032X/2/4/37>
120. PETRAUSKAS, G. Kauno technologijos universitetas, Elektros ir šviesos inžinerijos katedra [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-11-09]. Prieiga per: <http://mokslozurnalai.lmaleidykla.lt/publ/0235-7208/2001/1/En-74.pdf>
121. SINIAUSKAS, L.; KAVOLYNAS, A. Trigubo sparno 10 kW vertikalios ašies vėjo jėgainės efektyvumo tyrimas [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-01-19]. Prieiga per: <https://portalcris.vdu.lt/server/api/core/bitstreams/93d3e5b7-9125-4018-a74f-2728efd28b31/content>
122. GEDRIMAITĖ, K.; GRIGONIENĖ, J.; RAZMAS, S. Vertikalios ašies mažos galios vėjo jėgainės mechaninės galios tyrimas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-27]. Prieiga per: <https://core.ac.uk/download/pdf/233180858.pdf>
123. Visuotinė lietuvių enciklopedija [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-03]. Prieiga per: <https://www.vle.lt/>
124. Kultūros vertybių registras [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-03]. Prieiga per: <https://kvr.kpd.lt/#/static-heritage-detail/d53823d4-60d2-48f1-9746-53bb2d2f3074>
125. LTG Link [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-03]. Prieiga per: <https://ltglink.lt/en/railway-stations#P>
126. REGIA – regionų geoinformacinės aplinkos paslauga [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-03]. Prieiga per: <https://regia.lt/map/regia2>
127. Lietuvos reljefas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-19]. Prieiga per: <https://experience.arcgis.com/experience/047532d101974e9caa4283037f90af5a>
128. Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas dėl Lietuvos valstybinės aukščių sistemos ir Lietuvos valstybinės sunkio sistemos [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-03-19]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/eaeb86d02a0311e4a6deb7cdea22d38c>
129. ITUARTE-VILLARREAL, C. M.; ESPIRITU, J. F. Optimization of wind turbine placement using a viral-based optimization algorithm. Procedia Computer Science [interaktyvus]. 2011, vol. 6, p. 469–474 [žiūrėta 2025-03-19]. ISSN 1877-0509. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050911005527>
130. TELEVIČIŪTĖ, M. Mažų vėjo jėgainių naudojimo namų ūkiuose galimybių tyrimas: magistro baigiamasis darbas. Energijos ir aplinkos magistro studijų programa, valstybinis kodas 62602P102, 2023. 16 p.

131. PIKČIŪNAS, A. Vėjo elektrinių pagaminamos elektros energijos prognozavimo tyrimas: magistro baigiamasis darbas. Šiauliai: Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas, Elektros inžinerijos katedra, 2023. 18 p.
132. Lietuvos erdvinės informacijos portalas [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-02-03]. Prieiga per: <https://www.geoportal.lt/map/>

Priedai

1 priedas. Elektros tiekimas, automatinis iešmų šildymas VS25-M4



2 priedas. Termovizoriaus *Flir ThermanCam I7* specifikacijos

Camera specific

	FLIR i5	FLIR i7
Field of view/min focus distance	17° x 17°/0.6 m	25° x 25°/0.6 m
IR Resolution	80 x 80 pixels	120 x 120 pixels
Measurement modes	Center spot	Center Spot, box with max./min. temp., isotherms above/below selected temperature interval

General

Imaging performance	
Thermal sensitivity (N.E.T.D)	<0.1°C at 25°C
Spectral range	7.5 - 13 µm
Spatial resolution (IFOV)	3.71 mrad
Image Frequency	9 Hz
Focus	Fixed
Focal Plane Array (FPA)	Uncooled microbolometer
Image Presentation	
Display	2.8" color LCD
Measurement	
Object temperature range	-20°C to +250°C
Accuracy	±2 °C or ±2% of reading
Measurement analysis	
Emissivity correction	Variable from 0.1 to 1.0 or selected from list of materials
Reflected apparent temperature correction	Automatic, based on input of reflected temperature
Setup	
Color palettes	Iron, Rainbow and Black/White
Set-up controls	Local adaptation of units, language, date and time formats; automatic shutdown , display intensity
Image Storage	
Type	MiniSD card
File format	Standard JPEG - 14 bit measurement data included
Power	
Battery Type	Li-Ion rechargeable
Battery operating time	5 hours , display shows battery status
Charging system	In camera, AC adaptor; 3 hours to 90% capacity
AC operation	AC adaptor 90-260 VAC input
Power management	Automatic shutdown (user selectable)
Adaptor voltage	5 VDC out
Environmental specifications	
Operating temperature range	0°C to +50°C
Storage temperature range	-40°C to +70°C
Humidity	Operating and storage IEC 60068-2-30/24 h 95% relative humidity
Shock	25G, IEC 60068-2-29
Vibration	2G, IEC 60068-2-6
Encapsulation	Camera housing and lens: IP43
Physical characteristics	
Dimensions	223 x 79 x 83 mm
Weight	<340g, including battery
Shipping size	120 x 400 x 320 mm
Shipping weight	2.8 kg
Standard package	
FLIR i5 or FLIR i7 thermal imaging camera, FLIR QuickReport CD, Printed Getting Started Guide, User documentation CD-ROM, Calibration certificate, Hand strap, Battery (inside camera), Power supply/charger with EU, UK, US and Australian plugs, USB cable, miniSD card (512 MB), with SD card adaptor	



3 priedas. Infraraudonųjų spindulių temperatūros matuoklio *EMStest IR-8839* sertifikatas

UAB "Rianos metrologijos paslaugos"
Savanorių pr. 22, Vilnius LT - 03116
tel. 2132507, fax. 2106006

LMI
LIETUVOS METROLOGIJOS
INSPEKCIJA

Paskirtosios įstaigos spaudas,
nurodantis pavadinimą, adresą, telefoną
(spaudas dedamas išrašius sertifikatą)

PATIKROS SERTIFIKATAS

Nr. 1732310

Data 2022 09 27

Puslapių skaičius 1

MP pavadinimas, tipas, Nr.,
matavimo ribos, tikslumas Infraraudonųjų spindulių termometras EMSITEST IR-8839 Nr. 05173455,
matavimo ribos $(-50 \div 1000)^{\circ}\text{C}$, leist. paklaida: $\pm 5^{\circ}\text{C}$ $(-50 \div -20)^{\circ}\text{C}$,
 $\pm 1,5\% \pm 2^{\circ}\text{C}$ $(-20 \div 200)^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\% \pm 2^{\circ}\text{C}$ $(200 \div 538)^{\circ}\text{C}$, $\pm 3,5\% \pm 5^{\circ}\text{C}$ lik. ribose

MP savininko pavadinimas,
įmonės kodas arba adresas UAB „LITESKO“ filialas „Marijampolės šiluma“, į.k. 110844810

Patikros metodo žymuo BPM 8871101-128: 2008

Naudotos etaloninės MP
pavadinimas, tipas, Nr. Temperatūros matuokliai: „ASL“ mod. F100-A-2 Nr.010228/78, su jutikliu
mod. Pt100 Nr.241225/1; TTI-10 Nr. 401189/2 su jutikliu Pt100 Nr. 401189-1

Patikros protokolo
registracijos Nr., data Nr. 2035-1, 2022 09 27

Matavimo priemonė patikrinta UAB "Rianos metrologijos paslaugos"
(laboratorijos pavadinimas) Metrologijos laboratorija

Išvada tinkama naudoti temperatūros matavimui $(-20 \div 400)^{\circ}\text{C}$ ribose

Patikros sertifikatas galioja iki 2024 09 26
(data)



Metrologas
(pareigų pavadinimas) (parašas) Mantas Liaudanskas
(vardas ir pavardė)

Laboratorijos vadovas
(pareigų pavadinimas) (parašas) Rimvaldas Maciulevičius
(vardas ir pavardė)

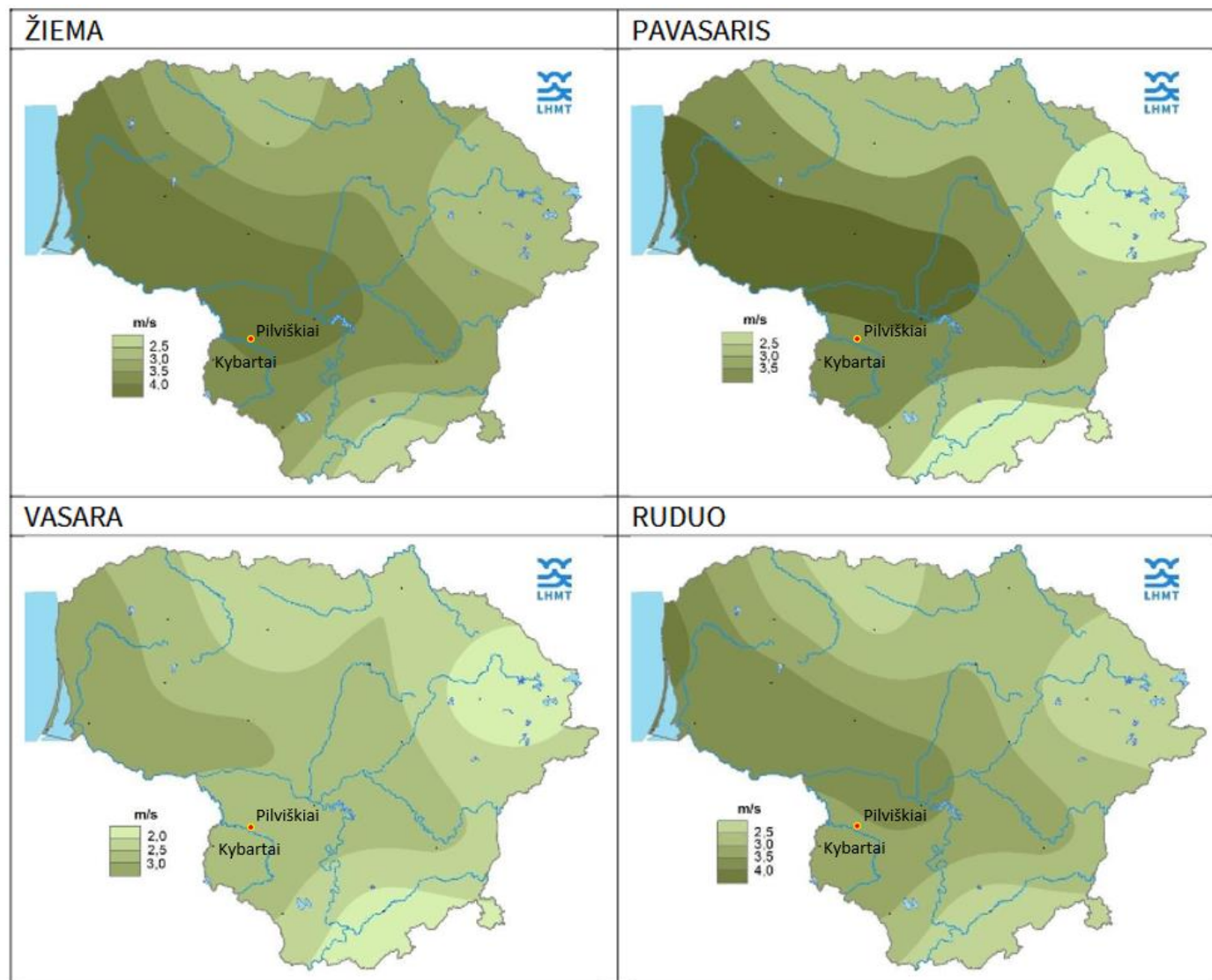
4 priedas. Pilviškių geležinkelio stoties iešmyno AMS



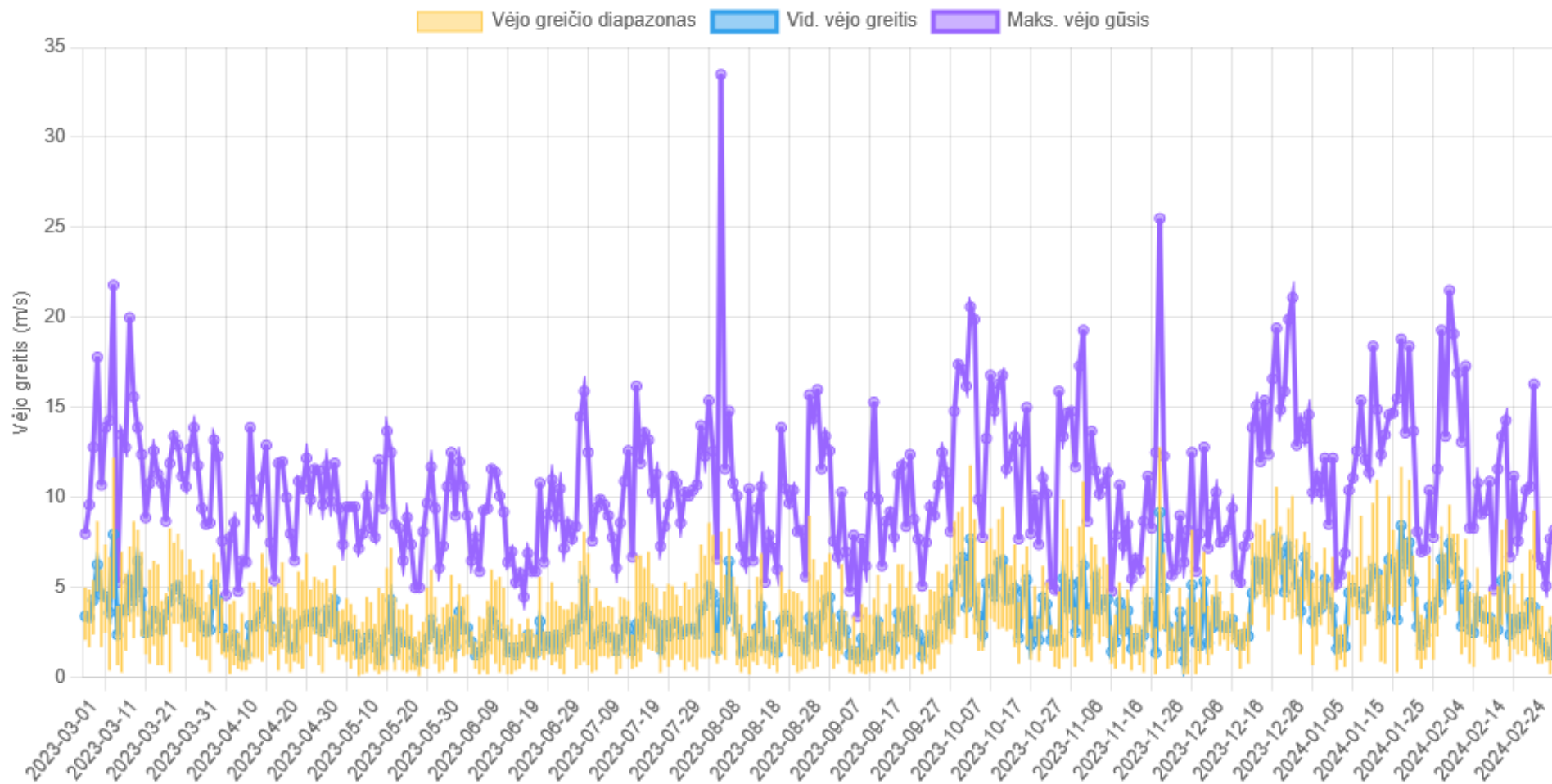
5 priedas. Kybartų AMS 2024.02.10 paros laiko fiksuoti meteorologiniai duomenys

Stebėjimų laikas, hh:mm (UTC)	Oro temp. °C	Junt, temp. °C	Vėjo greitis, m/s	Vėjo gūsis, m/s	Vėjo kryptis, °	Debesuo- tumas, %	Slėgis jūros lygyje, Pa	Santykinis oro drėgnis, %	Kritulių kiekis, mm	Orų sąlygos
00:00	-0,6	-5,2	4,3	8,6	99	88	1001,9	89	0	nedidelis sniegas
01:00	-0,7	-5,7	4,9	9	98	88	1001,8	92	0	nedidelis sniegas
02:00	-0,7	-5,5	4,5	10	97	88	1001,6	92	0	nedidelis sniegas
03:00	-0,7	-5,4	4,3	9,2	99	88	1001	93	0,1	nedidelis sniegas
04:00	-0,8	-5,7	4,7	8,7	106	88	1000,8	92	0	nedidelis sniegas
05:00	-0,7	-5,1	3,9	9,9	105	100	1001	90	0	nedidelis sniegas
06:00	-0,6	-5,3	4,4	8,9	114	100	1000,9	88	0	debesuota
07:00	-0,4	-5,4	4,9	8	116	100	1000,9	87	0	debesuota
08:00	-0,3	-5,7	5,8	10,8	115	100	1000,9	88	0	debesuota
09:00	-0,2	-5,2	5,1	9,2	117	100	1000,8	89	0	debesuota
10:00	-0,1	-5,1	5,1	10,7	117	100	1000,8	90	0	debesuota
11:00	0	-5,5	6,1	10,4	123	100	1000,9	89	0	debesuota
12:00	0	-4,5	4,3	9,3	123	100	1001	93	0	nedidelis lietus
13:00	0,2	-4,2	4,3	8,1	123	100	1000,9	93	0	debesuota
14:00	0,2	-3,9	3,8	9,4	115	100	1001,3	93	0	nedidelis lietus
15:00	0,2	-3,4	3,2	8,4	109	100	1001,2	94	0,1	nedidelis lietus
16:00	0,3	-3,6	3,6	6,9	108	100	1001,3	92	0	nedidelis lietus
17:00	0,4	-3,4	3,5	6,6	116	100	1001,7	91	0	debesuota
18:00	0,4	-3,5	3,6	7,7	119	100	1001,9	92	0	debesuota
19:00	0,4	-3,6	3,7	6,8	114	100	1001,9	94	0	debesuota
20:00	0,4	-3,9	4,2	8	122	100	1002,1	96	0	rūkana
21:00	0,4	-3	3	7,5	114	100	1002,3	97	0	rūkana
22:00	0,4	-3,1	3,1	5,6	115	100	1002,6	98	0	rūkana
23:00	0,5	-2,6	2,7	5,3	111	100	1002,7	98	0	rūkana

6 priedas. Lietuvos vėjo greičio vidurkis pagal sezoną



7 priedas. Pagal Kybartų AMS surinktus duomenis sudarytas metinis 2023.03.01-2024.02.29 vėjo greičių grafikas



8 priedas. Beauforto skalė

Beauforto balai	Vėjo greitis				Vėjo greitis (kt / km/h / mph)	Aprašymas	Bangų aukštis		Jūrinės sąlygos	Sąlygos sausumoje
	kt	km/h	mph	m/s			m	ft		
0	0	0	0	0–0,2	0 / 0 / 0	Tyka (štilis)	0	0	Plokščia	Ramu. Dūmai kyla vertikaliai
1	1–3	1–6	1–3	0,3–1,5	2 / 4 / 2	Lengvas oras	0,1	0,33	Raibuliavimas be keterų	Vėjo judėjimas pastebimas dūmuose
2	4–6	7–11	4–7	1,6–3,3	5 / 9 / 6	Lengvas	0,2	0,66	Raibuliai su keteromis. Keteros lygios, nėra lūžimo	Vėjas juntamas neapdengtu odos paviršiumi.
3	7–10	12–19	8–12	3,4–5,4	9 / 17 / 11	Švelnus	0,6	2	Dideli raibuliai. Keteros pradeda lūžti, padrikos pabalusios viršūnės.	Lapai ir mažos šakelės nuolatos juda
4	11–15	20–29	13–18	5,5–7,9	13 / 24 / 15	Vidutinis	1	3,3	Mažos bangos	Dulkės ir popierius pakeliami. Pradeda judėti mažos šakos
5	16–21	30–39	19–24	8,0–10,7	19 / 35 / 22	Gaivus	2	6,6	Vidutinės (1,2 m) bangos. Susidaro putos ir pūslės	Maži medžiai siūbuoja.
6	22–27	40–50	25–31	10,8–13,8	24 / 44 / 27	Stiprus	3	9,9	Didelės bangos su putotomis keteromis ir pūslėmis	Juda didelės šakos. Girdimas laidų švilpimas. Naudoti skėtį darosi sunku.
7	28–33	51–62	32–38	13,9–17,1	30 / 56 / 35	Beveik audra	4	13,1	Jūros putos pradeda sliuogti nuo bangų keterų	Visi medžiai juda. Reikia pastangų eiti prieš vėją.
8	34–40	63–75	39–46	17,2–20,7	37 / 68 / 42	Audra	5,5	18	Vidutiniškai didelės bangos su lūžtančiomis keteromis. Putų ruožai.	Lūžta šakelės. Automobilius kelyje sunku vairuoti.
9	41–47	76–87	47–54	20,8–24,4	44 / 81 / 50	Stipri audra	7	23	Aukštos, gausiai putotos bangos (2,75 m). Bangų keteros pradeda ritinėti. Žymūs pūslės.	Lengvi statinių pažeidimai.
10	48–55	88–102	55–63	24,5–28,4	52 / 96 / 60	Štormas	9	29,5	Labai aukštos bangos. Jūros paviršius baltas. Sumažėjęs matomumas	Medžiai išraunami su šaknimis. Žymūs statinių pažeidimai.
11	56–63	103–119	64–73	28,5–32,6	60 / 112 / 70	Stiprus štormas	11,5	37,7	Ypač aukštos bangos.	Išplitę statinių pažeidimai.
12	64–80	120	74–95	32,7–40,8	73 / 148 / 90	Uragano stiprumo vėjas	14+	46+	Milžiniškos bangos. Oras pilnas pūslų ir putų. Jūra visiškai balta. Matomumas visiškai mažas.	Žymūs ir paplitę pastatų pažeidimai.

9 priedas. Vējo srauto energijas, W/m² lentelē pagal kintamus duomenis

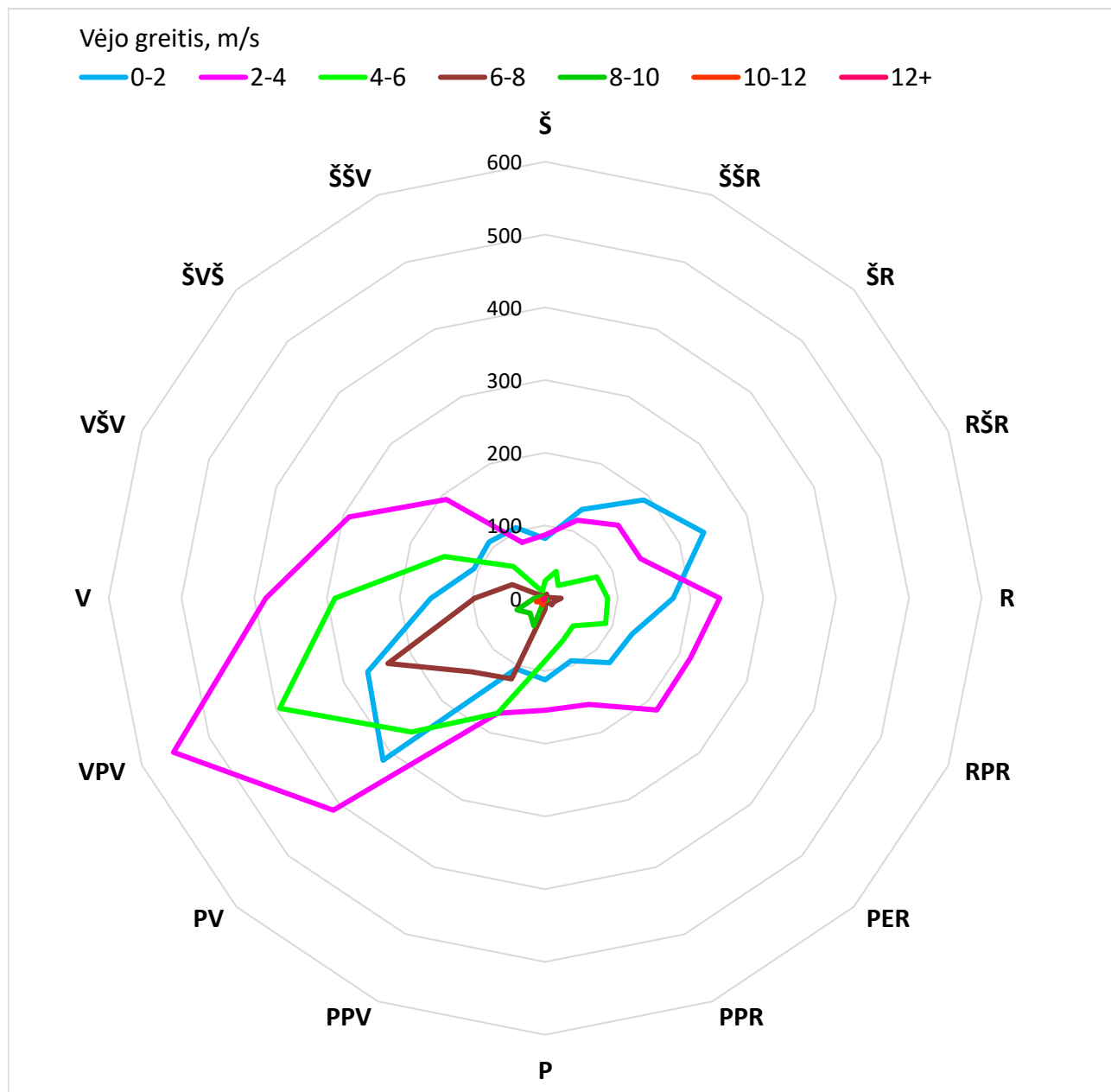
Pavadinimas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	Sausis	Vasaris	Kovas
Min. vėjo greitis, m/s	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Max. vėjo greitis, m/s	6,9	7,2	6	8,1	9	6,9	11,8	12,8	10,6	11,7	9,6	8,1
Vidutinis vėjo greitis, m/s	2,8	2,2	2,1	2,7	2,8	2,4	4,3	3,4	4,4	4,4	3,7	3,3
Max. Vėjo gūsis, m/s	13,9	13,7	12	16,2	33,5	15,3	20,6	25,5	21,1	18,8	21,5	14,3
Slėgio vidurkis, Pa	1017,34	1022,93	1016,95	1011,28	1012,72	1019,37	1009,20	1005,00	1010,27	1012,93	1009,54	1007,69
Temperatūros vidurkis, °C	8,3	12,4	17,0	17,9	20,0	17,6	8,8	2,5	1,0	-2,8	3,6	4,8
Oro tankis, kg/m ³	1,2592	1,2480	1,2210	1,2104	1,2035	1,2214	1,2469	1,2701	1,2838	1,3053	1,2708	1,2630
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
2	11,1	11,0	10,8	10,7	10,6	10,8	11,0	11,2	11,3	11,5	11,2	11,1
3	37,4	37,1	36,3	36,0	35,8	36,3	37,1	37,8	38,2	38,8	37,8	37,5
4	88,7	87,9	86,0	85,3	84,8	86,1	87,9	89,5	90,5	92,0	89,6	89,0
5	173,3	171,8	168,1	166,6	165,6	168,1	171,6	174,8	176,7	179,7	174,9	173,8
6	299,5	296,8	290,4	287,9	286,2	290,5	296,6	302,1	305,3	310,4	302,2	300,4
7	475,6	471,3	461,2	457,2	454,5	461,3	470,9	479,7	484,9	493,0	480,0	477,0
8	709,9	703,6	688,4	682,4	678,5	688,6	703,0	716,1	723,8	735,9	716,4	712,0
9	1010,8	1001,8	980,1	971,6	966,0	980,4	1000,9	1019,6	1030,5	1047,7	1020,1	1013,8
10	1386,6	1374,2	1344,5	1332,8	1325,2	1344,9	1373,0	1398,6	1413,6	1437,2	1399,3	1390,7
11	1845,5	1829,0	1789,5	1774,0	1763,8	1790,0	1827,5	1861,5	1881,5	1913,0	1862,5	1851,0
12	2396,0	2374,6	2323,2	2303,1	2289,9	2324,0	2372,6	2416,7	2442,7	2483,5	2418,0	2403,1

9 priedo tęsinys

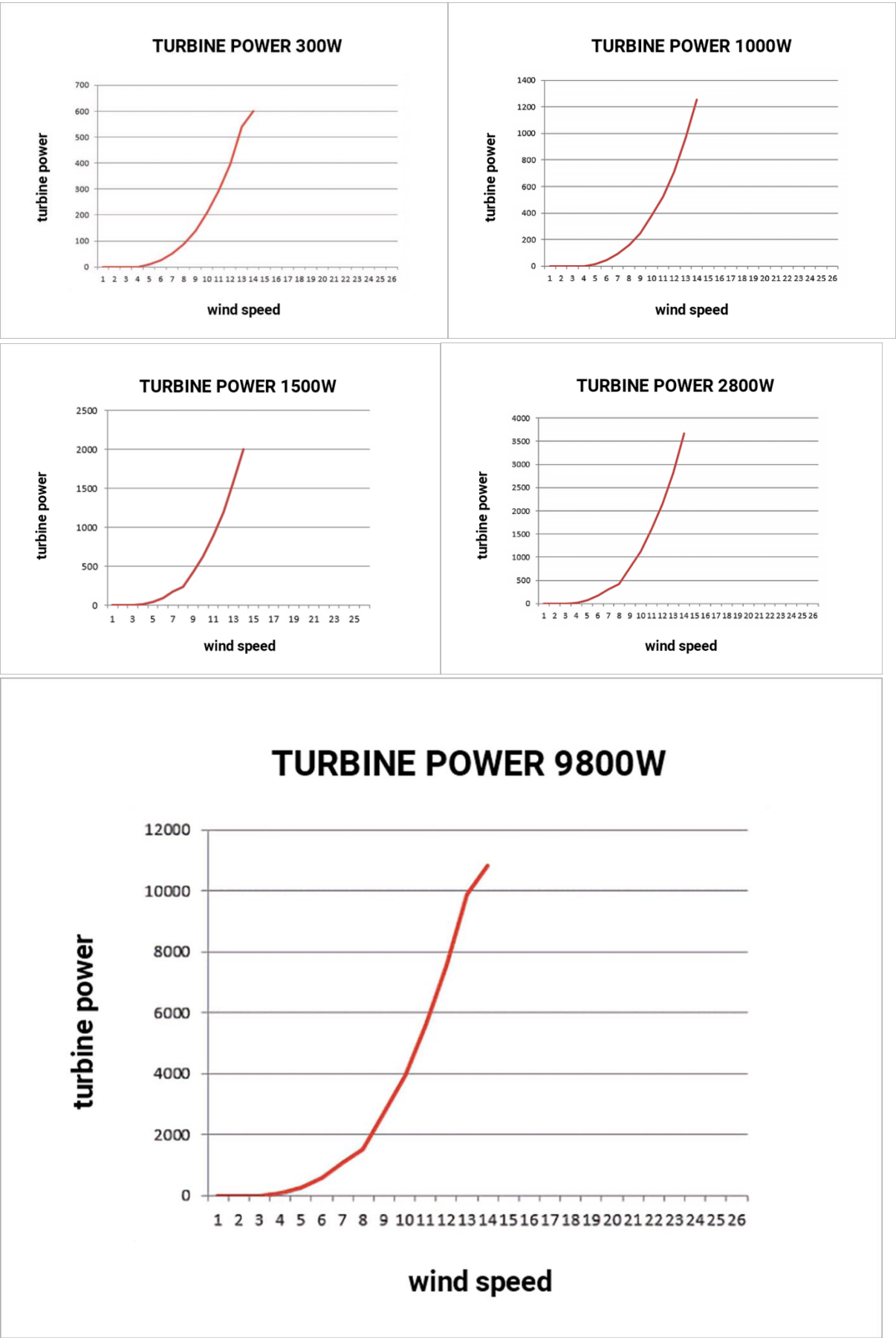
Pavadinimas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	Sausis	Vasaris	Kovas
Min. vėjo greitis m/s	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Maks. vėjo greitis m/s	6,9	7,2	6	8,1	9	6,9	11,8	12,8	10,6	11,7	9,6	8,1
Vidutinis vėjo greitis m/s	2,8	2,2	2,1	2,7	2,8	2,4	4,3	3,4	4,4	4,4	3,7	3,3
Maks. Vėjo gūsis m/s	13,9	13,7	12	16,2	33,5	15,3	20,6	25,5	21,1	18,8	21,5	14,3
Slėgio vidurkis, Pa	1017,34	1022,93	1016,95	1011,28	1012,72	1019,37	1009,20	1005,00	1010,27	1012,93	1009,54	1007,69
Temperatūros vidurkis, °C	8,3	12,4	17,0	17,9	20,0	17,6	8,8	2,5	1,0	-2,8	3,6	4,8
Oro tankis, kg/m³	1,2592	1,2480	1,2210	1,2104	1,2035	1,2214	1,2469	1,2701	1,2838	1,3053	1,2708	1,2630
13	3046,3	3019,0	2953,8	2928,3	2911,4	2954,7	3016,5	3072,6	3105,7	3157,6	3074,3	3055,4
14	3804,7	3770,7	3689,2	3657,3	3636,3	3690,4	3767,6	3837,7	3878,9	3943,8	3839,7	3816,1
15	4679,7	4637,8	4537,6	4498,3	4472,4	4539,0	4634,0	4720,1	4770,9	4850,6	4722,7	4693,6
16	5679,4	5628,6	5507,0	5459,3	5427,9	5508,7	5623,9	5728,5	5790,1	5886,9	5731,6	5696,3
17	6812,2	6751,3	6605,4	6548,2	6510,6	6607,4	6745,7	6871,1	6945,0	7061,1	6874,8	6832,5
18	8086,5	8014,2	7841,0	7773,1	7728,4	7843,4	8007,5	8156,4	8244,1	8381,9	8160,7	8110,6
19	9510,5	9425,4	9221,7	9142,0	9089,3	9224,6	9417,6	9592,7	9695,9	9858,0	9597,8	9538,8
20	11092,5	10993,4	10755,8	10662,7	10601,4	10759,1	10984,2	11188,5	11308,8	11497,8	11194,4	11125,6
21	12841,0	12726,2	12451,2	12343,4	12272,4	12455,0	12715,6	12952,1	13091,3	13310,2	12959,0	12879,3
22	14764,2	14632,2	14315,9	14192,1	14110,4	14320,4	14620,0	14891,9	15052,0	15303,6	14899,8	14808,2
23	16870,4	16719,5	16358,2	16216,7	16123,3	16363,3	16705,6	17016,3	17199,2	17486,8	17025,3	16920,6
24	19167,9	18996,5	18586,0	18425,2	18319,2	18591,7	18980,7	19333,7	19541,6	19868,3	19344,0	19225,0
25	21665,1	21471,4	21007,4	20825,6	20705,8	21013,9	21453,5	21852,5	22087,5	22456,7	21864,1	21729,7

10 priedas. 2023 03 – 2024 02 metinė vėjo krypties diagrama

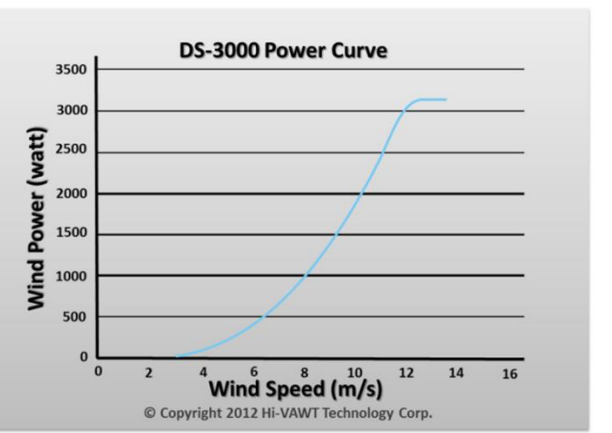
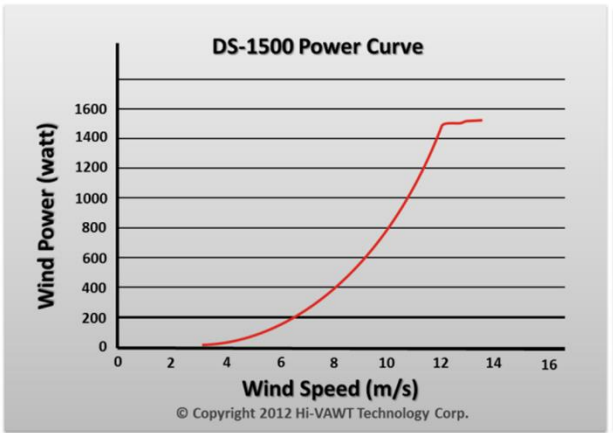
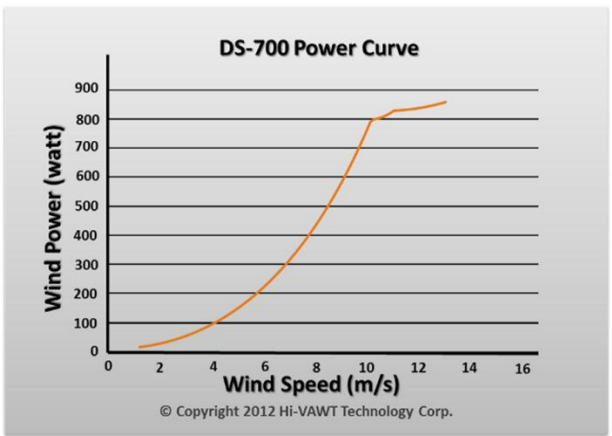
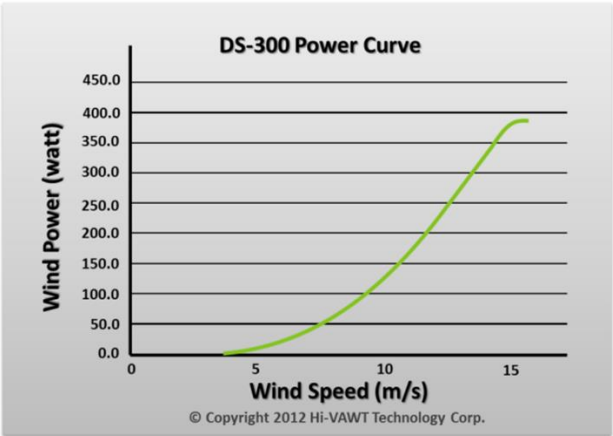
Centrinė ašis žymi valandas



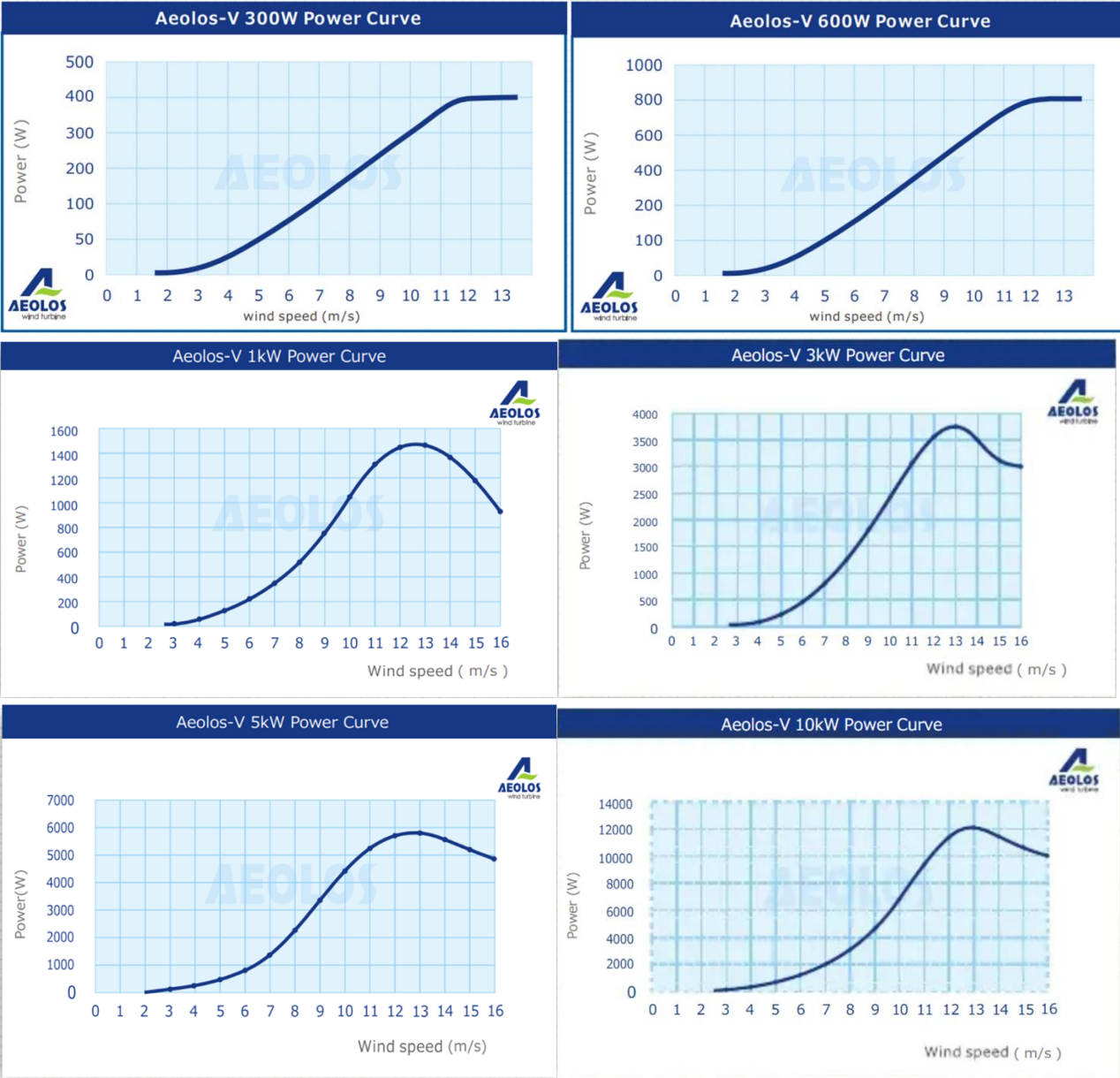
11 priedas. *Ecorotė* galios kreivės



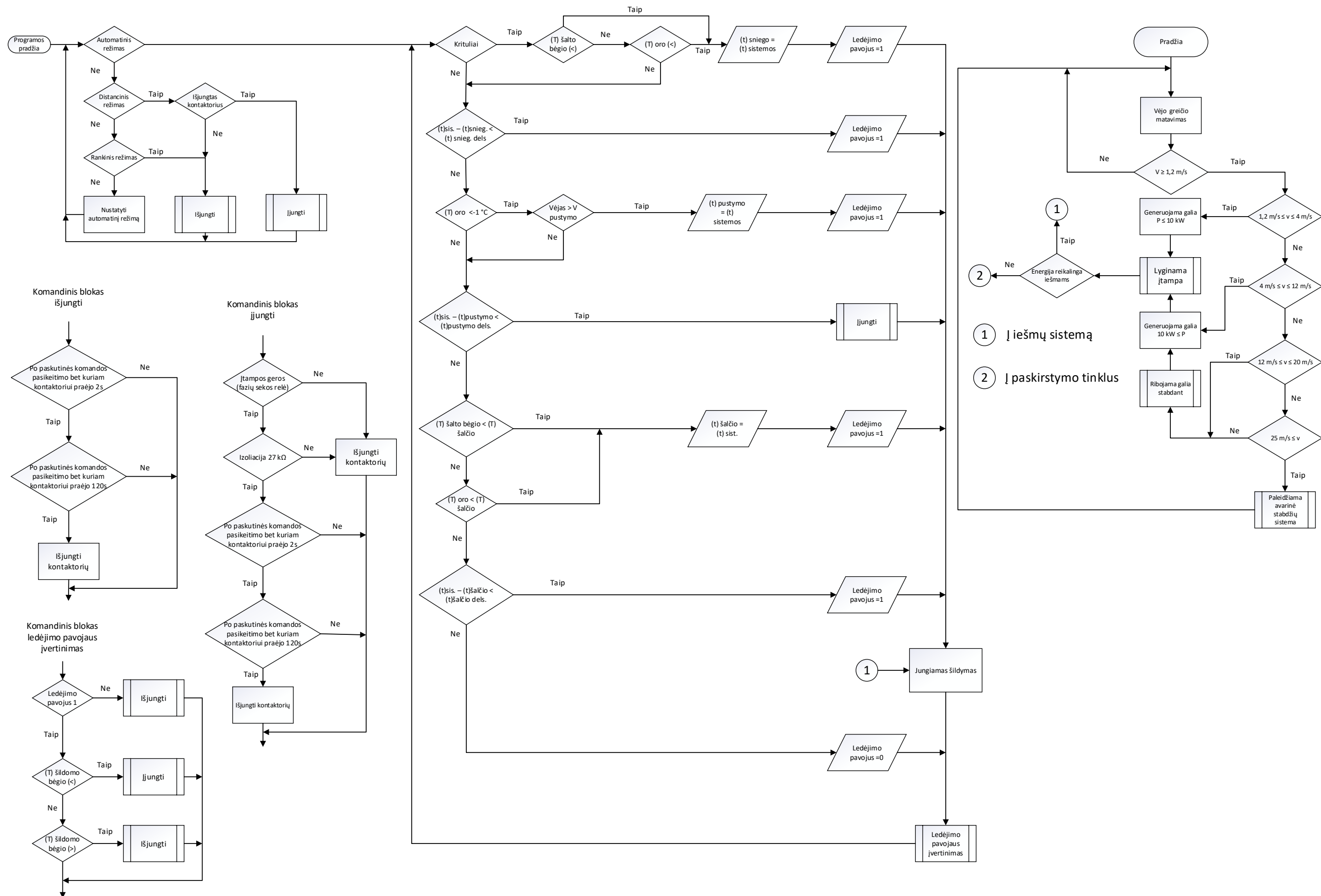
12 priedas. *HI VAWT* galios kreivės



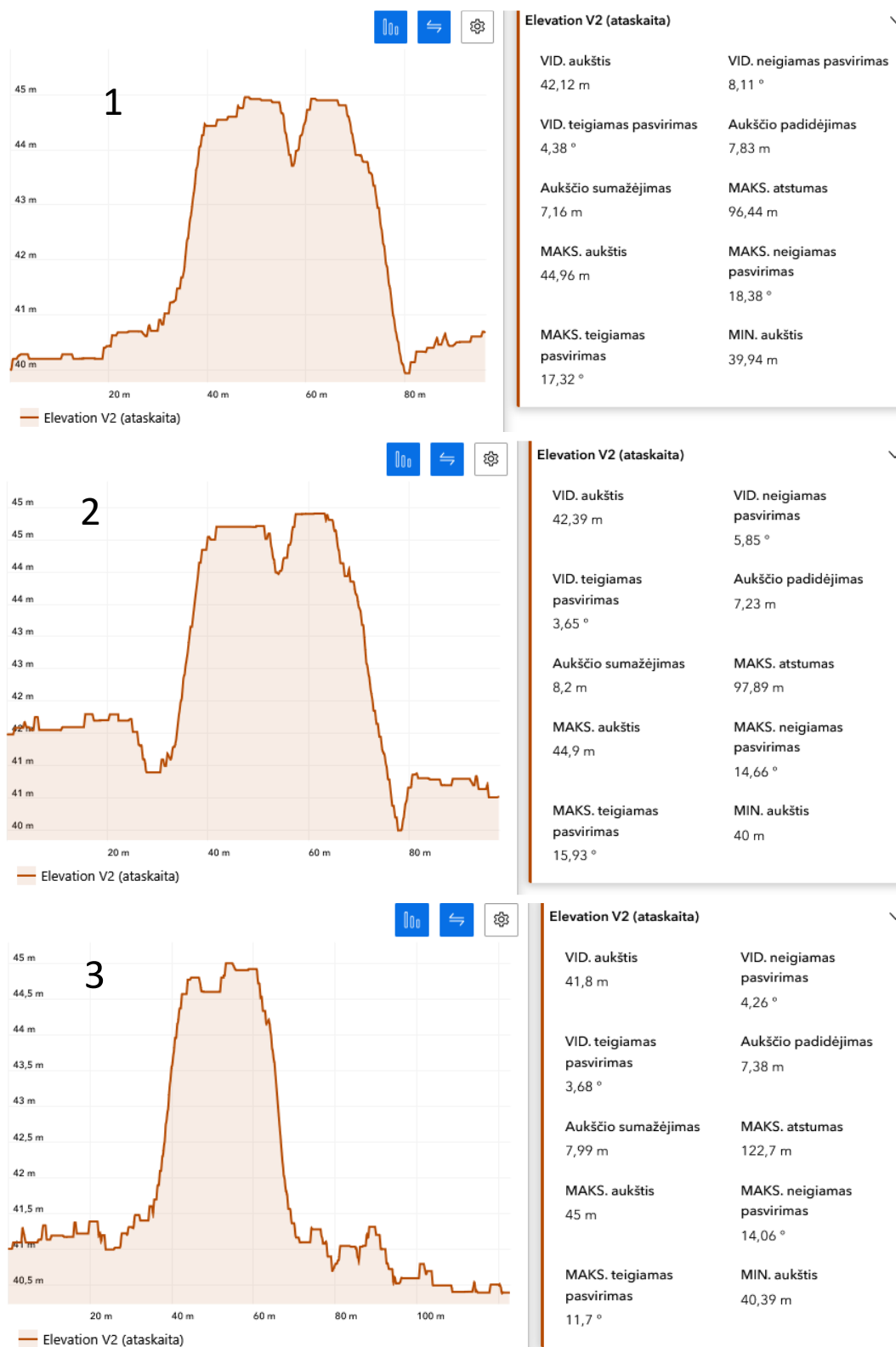
13 priedas. *Aeolos* galios kreivės



14 priedas. Jėgainės ir iešmų automatikos veikimo loginė schema



15 priedas. Pilviškių stoties teritorijos reljefo pjūviai

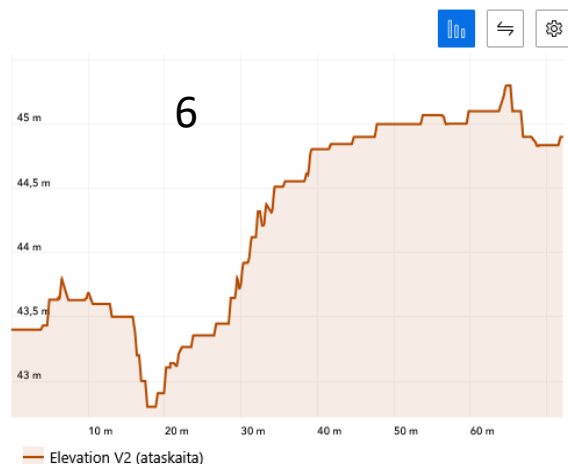


15 priedo tęsinys

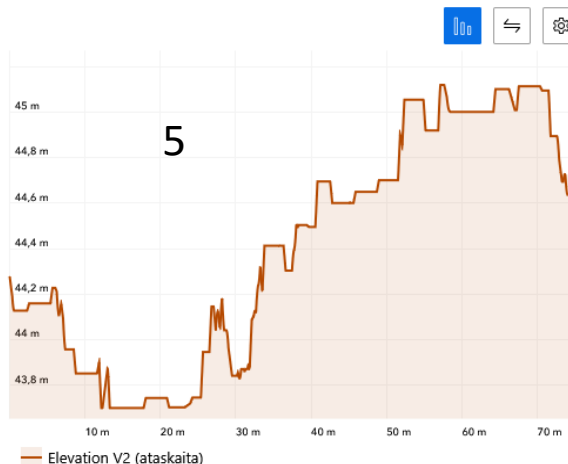


Elevation V2 (ataskaita)

VID. aukštis	VID. neigiamas pasvirimas
42,77 m	2,78 °
VID. teigiamas pasvirimas	Aukščio padidėjimas
5,39 °	6,38 m
Aukščio sumažėjimas	MAKS. atstumas
7,97 m	121,89 m
MAKS. aukštis	MAKS. neigiamas pasvirimas
45,19 m	14,34 °
MAKS. teigiamas pasvirimas	MIN. aukštis
10,79 °	41,43 m

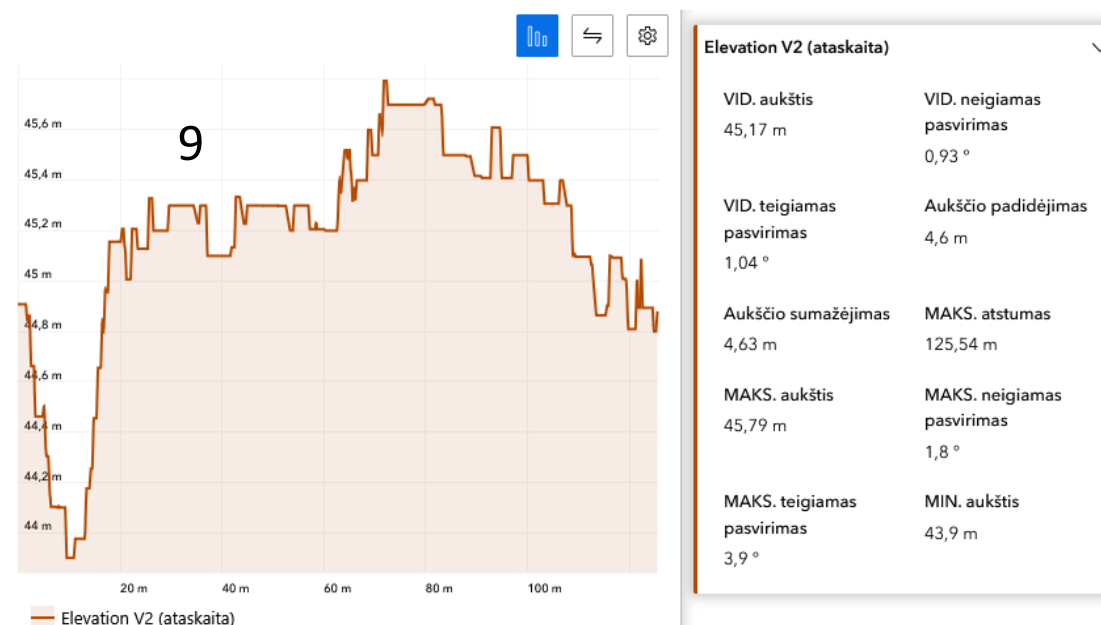
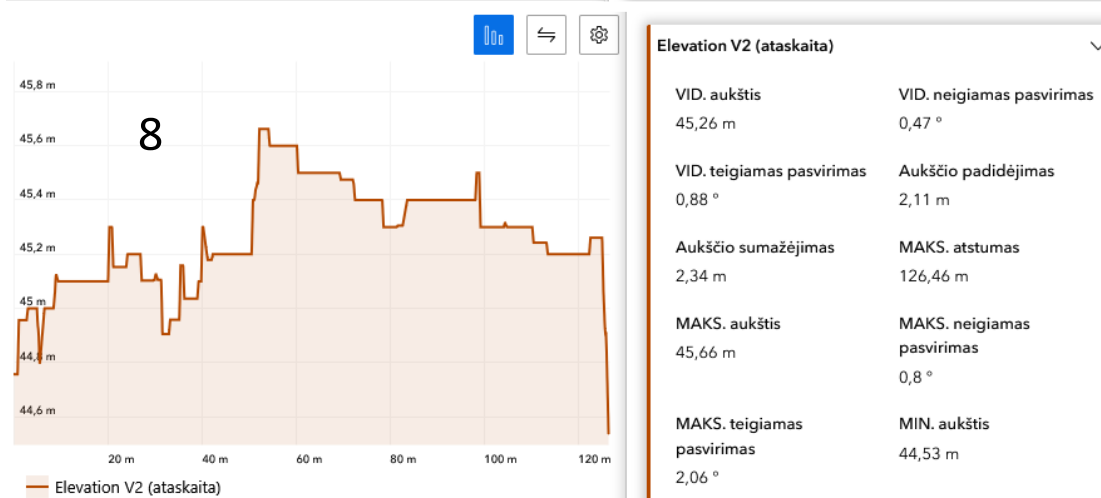
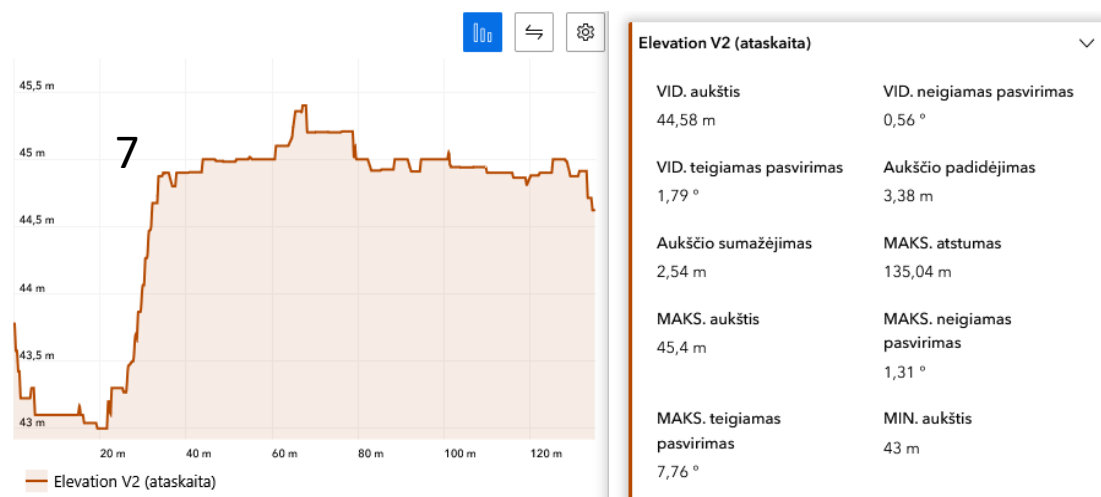
Elevation V2 (ataskaita)

VID. aukštis	VID. neigiamas pasvirimas
44,24 m	1,19 °
VID. teigiamas pasvirimas	Aukščio padidėjimas
1,98 °	3,38 m
Aukščio sumažėjimas	MAKS. atstumas
1,88 m	72,14 m
MAKS. aukštis	MAKS. neigiamas pasvirimas
45,3 m	1,25 °
MAKS. teigiamas pasvirimas	MIN. aukštis
5,97 °	42,8 m

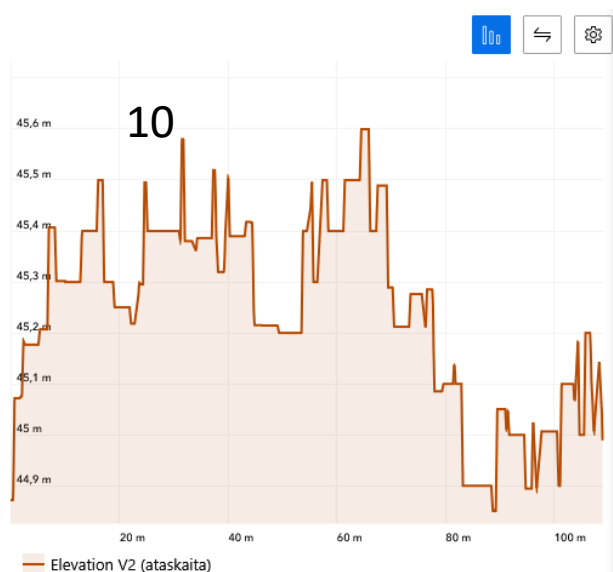
Elevation V2 (ataskaita)

VID. aukštis	VID. neigiamas pasvirimas
44,4 m	1,41 °
VID. teigiamas pasvirimas	Aukščio padidėjimas
1,49 °	3,13 m
Aukščio sumažėjimas	MAKS. atstumas
2,78 m	74,36 m
MAKS. aukštis	MAKS. neigiamas pasvirimas
45,12 m	1,93 °
MAKS. teigiamas pasvirimas	MIN. aukštis
2,41 °	43,7 m

15 priedo tęsinys

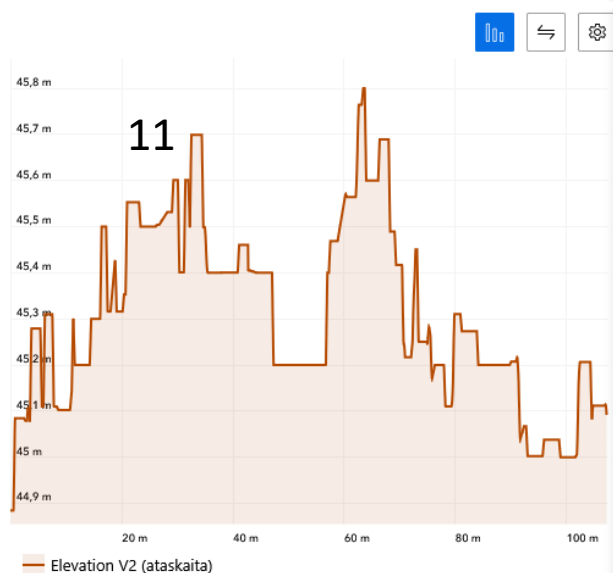


15 priedo tęsinys



Elevation V2 (ataskaita)

VID. aukštis	VID. neigiamas pasvirimas
45,24 m	0,87 °
VID. teigiamas pasvirimas	Aukščio padidėjimas
0,46 °	3,69 m
Aukščio sumažėjimas	MAKS. atstumas
3,57 m	108,89 m
MAKS. aukštis	MAKS. neigiamas pasvirimas
45,6 m	1,48 °
MAKS. teigiamas pasvirimas	MIN. aukštis
0,82 °	44,85 m



Elevation V2 (ataskaita)

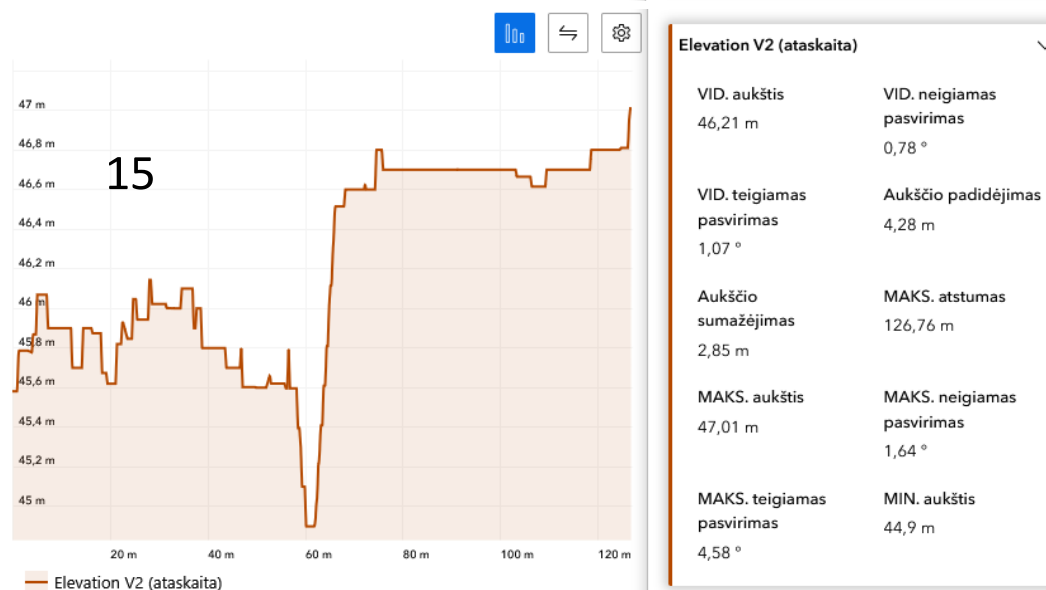
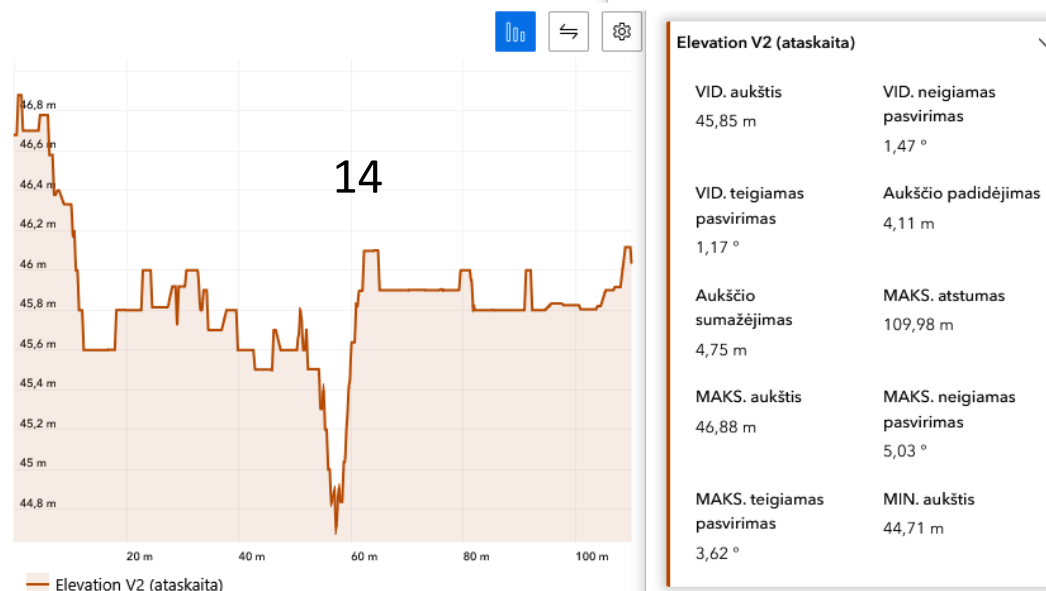
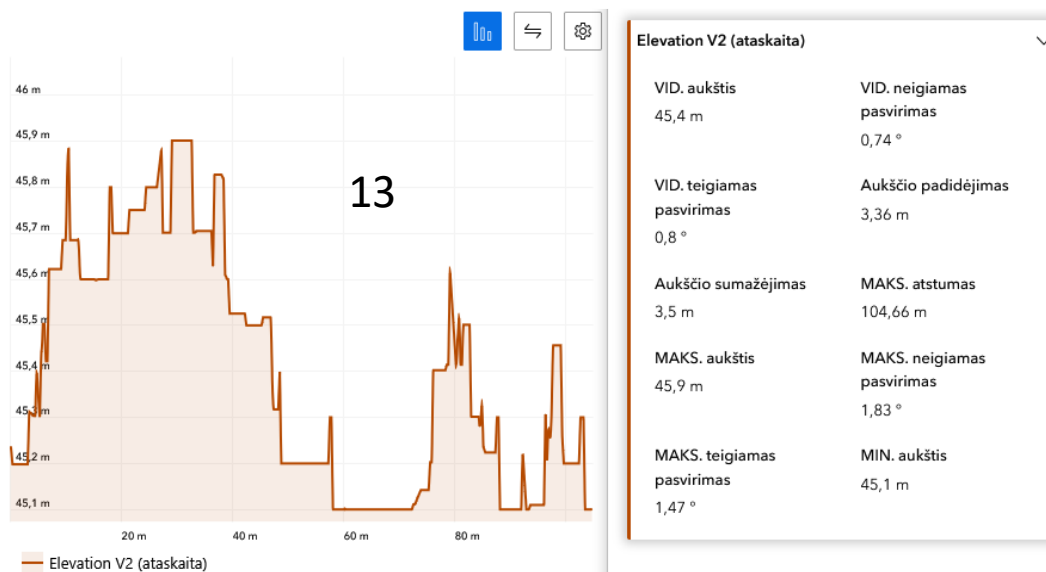
VID. aukštis	VID. neigiamas pasvirimas
45,31 m	0,75 °
VID. teigiamas pasvirimas	Aukščio padidėjimas
1,06 °	3,54 m
Aukščio sumažėjimas	MAKS. atstumas
3,34 m	107,23 m
MAKS. aukštis	MAKS. neigiamas pasvirimas
45,8 m	2,12 °
MAKS. teigiamas pasvirimas	MIN. aukštis
1,84 °	44,88 m



Elevation V2 (ataskaita)

VID. aukštis	VID. neigiamas pasvirimas
45,44 m	0,67 °
VID. teigiamas pasvirimas	Aukščio padidėjimas
0,57 °	4,19 m
Aukščio sumažėjimas	MAKS. atstumas
4,2 m	105,28 m
MAKS. aukštis	MAKS. neigiamas pasvirimas
45,81 m	1,3 °
MAKS. teigiamas pasvirimas	MIN. aukštis
1,42 °	45 m

15 priedo tęsinys



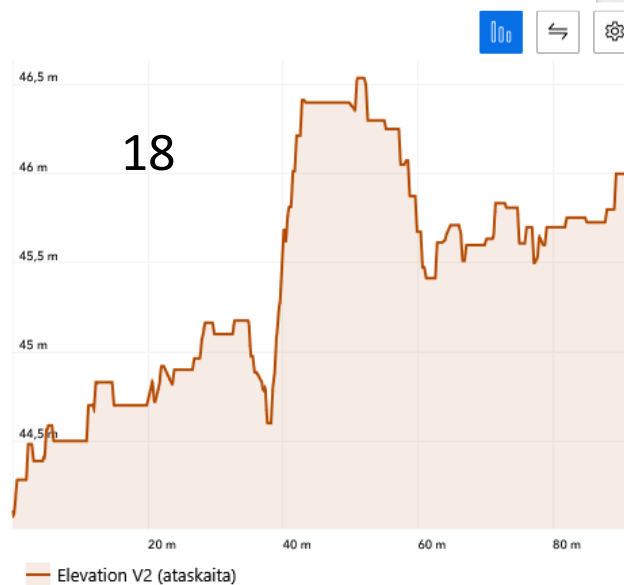
15 priedo tęsinys



Elevation V2 (ataskaita)	
VID. aukštis	VID. neigiama pasvirimas
45,72 m	1,66 °
VID. teigiama pasvirimas	Aukščio padidėjimas
1,4 °	3,9 m
Aukščio sumažėjimas	MAKS. atstumas
3,87 m	80,47 m
MAKS. aukštis	MAKS. neigiama pasvirimas
46,31 m	2,62 °
MAKS. teigiama pasvirimas	MIN. aukštis
3,21 °	45 m

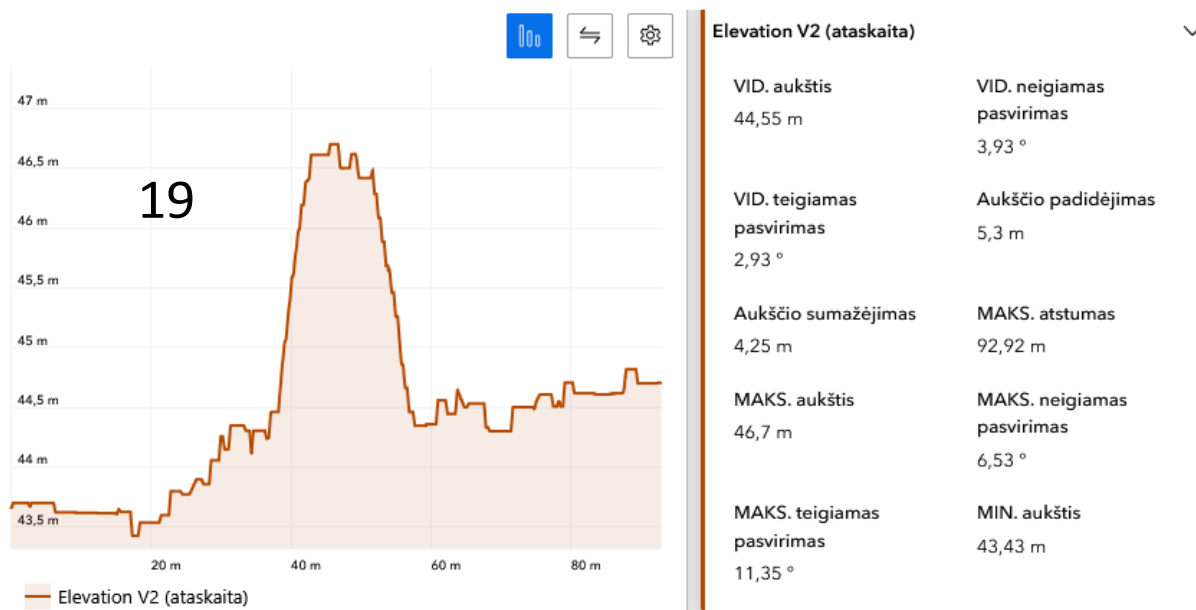


Elevation V2 (ataskaita)	
VID. aukštis	VID. neigiamas
45,85 m	pasvirimas
	1,94 °
VID. teigiamas	Aukščio padidėjimas
pasvirimas	3,9 m
1,57 °	
Aukščio sumažėjimas	MAKS. atstumas
3 m	87,99 m
MAKS. aukštis	MAKS. neigiamas
46,44 m	pasvirimas
	3,01 °
MAKS. teigiamas	MIN. aukštis
pasvirimas	45,11 m
2,25 °	



Elevation V2 (ataskaita)	
VID. aukštis	VID. neigiamas
45,41 m	pasvirimas
	1,97 °
VID. teigiamas	Aukščio padidėjimas
pasvirimas	5,09 m
1,84 °	
Aukščio sumažėjimas	MAKS. atstumas
3,2 m	90,74 m
MAKS. aukštis	MAKS. neigiamas
46,54 m	pasvirimas
	3,73 °
MAKS. teigiamas	MIN. aukštis
pasvirimas	44,08 m
7,12 °	

15 priedo tęsinys



16 priedas. Vėjo jėgainių duomenys

Pavadinimas	AE 300	AE 600	AE 1000	AE 3000	AE 5000	AE 10000	
Nominali galia, kW	0,3	0,6	1	3	5	10	
Maksimali galia, kW	0,4	0,8	1,5	3,6	6	12	
Rotoriaus aukštis, m	1,6	2	2,8	3,6	4,8	6	
Rotoriaus skersmuo, m	1,2	1,6	2	2,8	4,5	5,5	
Startinis vėjo greitis, m/s	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	
Darbinis vėjo greitis, m/s	10	10	10	11	11	11	
Maksimalus vėjo greitis, m/s	50	50	50	52,5	52,5	52,5	
Turbinos masė, kg	10	18	28	106	500	680	
Ribinės temperatūros, C°	nuo -20 iki +50						
Suma, kWh per metus	309,18	515,30	901,77	1623,19	3478,26	5314,00	
Santykis	1,03	0,86	0,90	0,54	0,70	0,53	
Kaina, €	1258,00	1929,50	2635,00	4930,00	8330,00	13770,00	
Pavadinimas	ECOROT E 300	ECOROTE 1000	ECOROTE 1500	ECOROTE 2800	ECOROTE 9800		
Turbinos galia, W	300	1000	1500	2800	9800		
Vėjaračio skersmuo, m	1	1	2,2	2,2	4,3		
Vėjaračio aukštis, m	1,2	1,5	2,15	3	5,6		
Startinis vėjo greitis, m/s	2	2	1,25	1,25	1,2		
Darbinis vėjo greitis, m/s	10	12					
Jėgainės masė, kg	48	52	155	175	550		
Stabdžiai	elektromagnetiniai		elektromagnetiniai ir elektromechaniniai				
Darbinė temperatūra, C°	nuo -40 ik +70						
Suma, kWh per metus	193,24	241,55	761,67	1062,80	3877,61		
Santykis	0,64	0,24	0,51	0,38	0,40		
Kaina, €	1176,00	1608,00	3576,00	3576,00	14376,00		

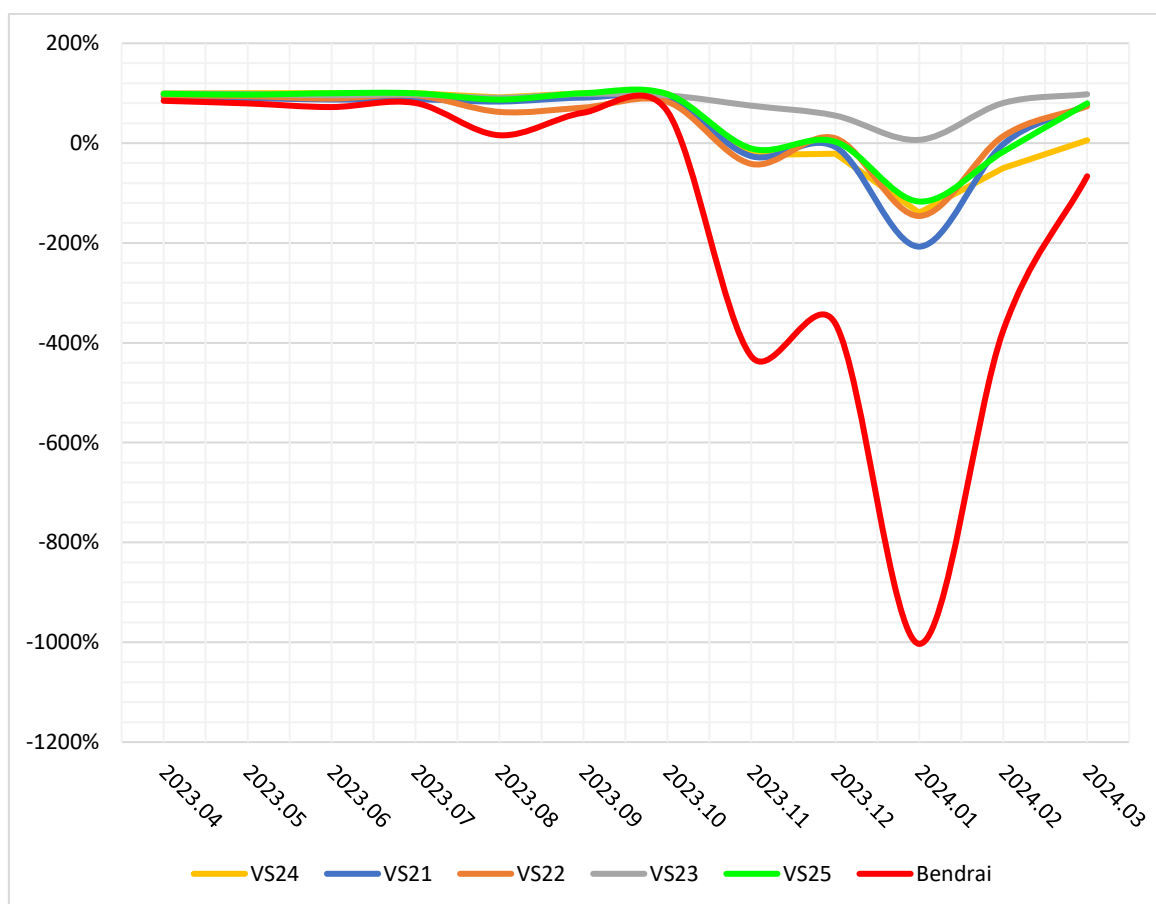
16 priedo tęsinys

Pavadinimas	DS 300	DS 700	DS 1500	DS 3000	Hibrid DS
Turbinos galia, W	300	700	1500	3000	300
Bendras aukštis, m	5,06	4,6	6,16	8,16	4,5
Rotoriaus aukštis, m	1,06	1,6	2,6	4,16	1,06
Rotoriaus skersmuo, m	1,24	1,93	2,9	4	1,24
Startinis vėjo greitis, m/s	3	3	3	3	3
Darbinis vėjo greitis, m/s	13,5	12	12	12	13,5
Suma, kWh per metus	402,18	607,07	986,49	1578,38	402,18
Santykis	1,34	0,87	0,66	0,53	1,34
Kaina, €	2507,50	5525,00	Nenurodyta	14875,00	Nenurodyta
Pavadinimas	V- 1	V- 2	V-3	V-5	
Rotoriaus aukštis, m	9,14	9,14	9,14	9,75	
Masė, kg	351,53	442,25	566,99	657,7	
Rotoriaus skersmuo, m	1,37	1,58	1,67	2,13	
Startinis vėjo greitis, m/s	3,5	3,5	3,5	3,5	
Darbinis vėjo greitis, m/s	15,6	18,77	18,77	15,6	
Suma, kWh per metus	2293,65	2645,24	2795,91	3804,04	
Santykis	1,64	1,10	0,82	0,70	
Kaina, €	Nenurodyta	Nenurodyta	Nenurodyta	Nenurodyta	
Pavadinimas	<i>Astralux</i> 10kW	<i>Astralux</i> 20kW			
Bendras aukštis, m	7	11			
Rotoriaus aukštis, m	4	6			
Rotoriaus skersmuo, m	8	12			
Startinis vėjo greitis, m/s	1,5	1,5			
Darbinis vėjo greitis, m/s	10,5	10,5			
Suma, kWh per metus	5152,97	11594,19			
Santykis	0,52	0,58			
Kaina, €	Nenurodyta	Nenurodyta			

17 priedas. Jėginių sugeneruotos energijos poreikis

Ecorote EC 9800 jėgainės sugeneruotos energijos duomenys

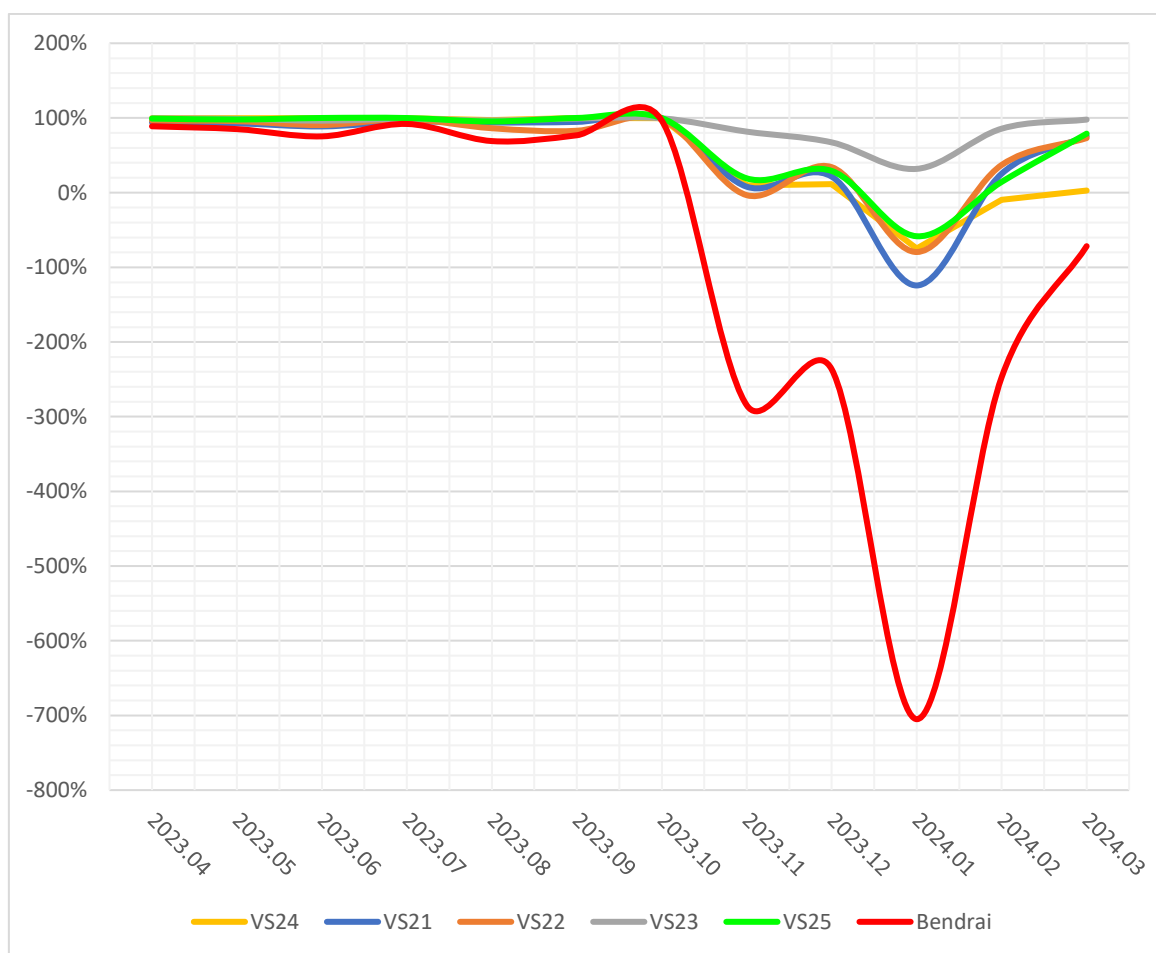
EC 9800	VS21	VS22	VS23	VS24	VS25	Bendrai
2023.04	91,9%	95,2%	99,2%	99,6%	98,9%	84,8%
2023.05	90,2%	94,1%	98,3%	99,7%	97,2%	79,6%
2023.06	87,3%	89,3%	96,0%	99,7%	100,0%	72,2%
2023.07	87,7%	95,8%	97,3%	99,7%	99,9%	80,3%
2023.08	83,3%	62,5%	90,8%	91,9%	87,2%	15,8%
2023.09	91,2%	71,1%	98,7%	100,0%	100,0%	61,0%
2023.10	88,1%	82,9%	95,6%	99,0%	98,2%	63,8%
2023.11	-26,2%	-41,7%	74,9%	-23,6%	-10,8%	-427,3%
2023.12	-7,6%	9,7%	55,2%	-21,4%	2,8%	-361,3%
2024.01	-207,3%	-145,9%	6,6%	-139,5%	-117,0%	-1003,2%
2024.02	-2,2%	13,8%	80,4%	-50,3%	-17,2%	-375,6%
2024.03	76,5%	73,9%	97,9%	5,6%	79,6%	-66,5%



17 priedo tęsinys

Aeolos AE 10000 jėgainės sugeneruotos energijos duomenys

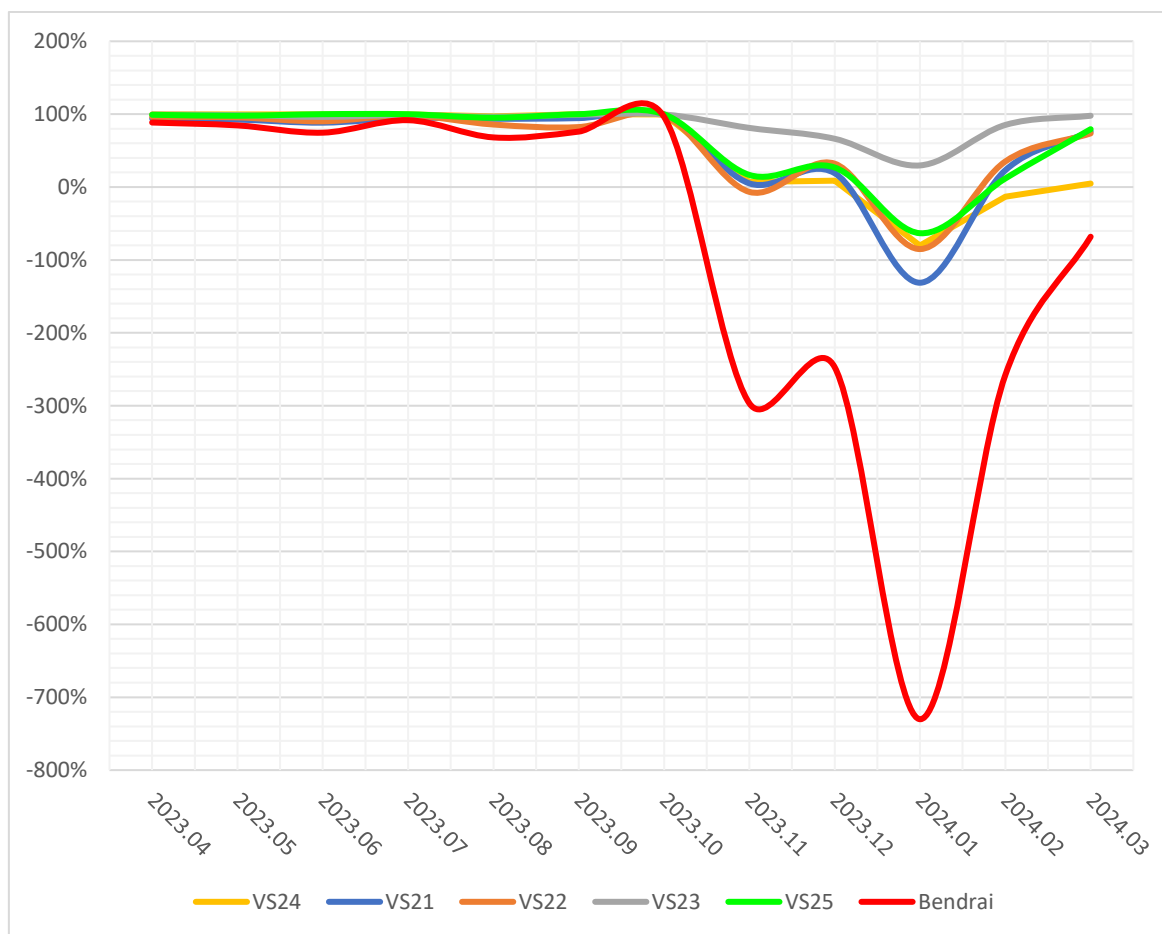
AE 10000	VS21	VS22	VS23	VS24	VS25	Bendrai
2023.04	94,1%	96,5%	99,4%	99,7%	99,2%	88,9%
2023.05	92,8%	95,7%	98,8%	99,8%	97,9%	85,1%
2023.06	88,7%	90,5%	96,4%	99,8%	100,0%	75,4%
2023.07	95,0%	98,3%	98,9%	99,9%	99,9%	92,0%
2023.08	93,9%	86,2%	96,6%	97,0%	95,3%	69,1%
2023.09	94,7%	82,9%	99,2%	100,0%	100,0%	76,8%
2023.10	98,8%	98,3%	99,6%	99,9%	99,8%	96,5%
2023.11	7,9%	-3,4%	81,7%	9,8%	19,2%	-284,7%
2023.12	21,5%	34,1%	67,3%	11,4%	29,0%	-236,6%
2024.01	-124,3%	-79,5%	31,8%	-74,8%	-58,4%	-705,0%
2024.02	25,4%	37,1%	85,7%	-9,7%	14,5%	-247,0%
2024.03	75,7%	73,1%	97,8%	2,7%	79,0%	-71,7%



17 priedo tęsinys

Astralux V10 jėgainės sugeneruotos energijos duomenys

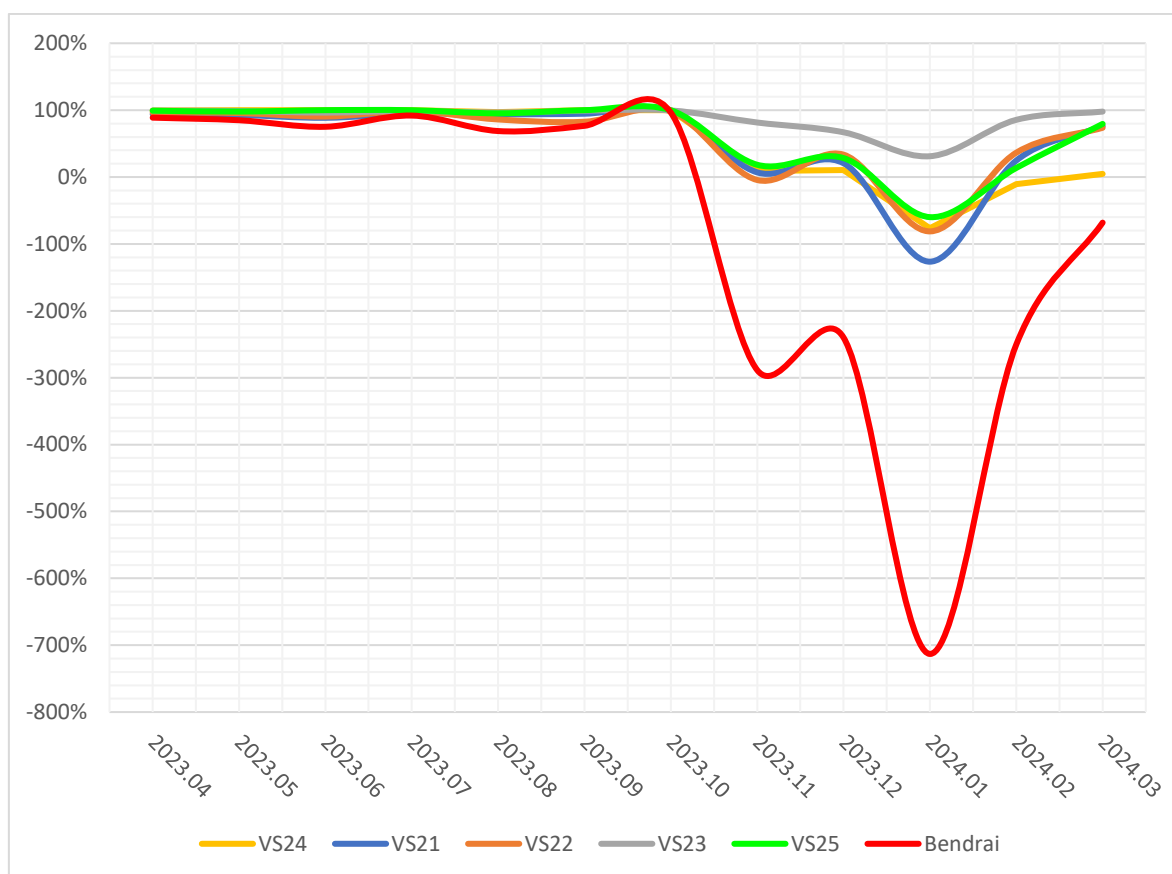
V10	VS21	VS22	VS23	VS24	VS25	Bendrai
2023.04	93,9%	96,4%	99,4%	99,7%	99,2%	88,6%
2023.05	92,6%	95,6%	98,7%	99,8%	97,9%	84,6%
2023.06	88,4%	90,2%	96,3%	99,8%	100,0%	74,6%
2023.07	94,9%	98,2%	98,8%	99,9%	99,9%	91,7%
2023.08	93,7%	85,8%	96,5%	96,9%	95,2%	68,1%
2023.09	94,6%	82,3%	99,2%	100,0%	100,0%	76,1%
2023.10	98,8%	98,3%	99,6%	99,9%	99,8%	96,3%
2023.11	5,1%	-6,6%	81,1%	7,0%	16,6%	-296,8%
2023.12	19,0%	32,1%	66,3%	8,7%	26,8%	-247,1%
2024.01	-131,3%	-85,1%	29,7%	-80,2%	-63,3%	-730,2%
2024.02	23,1%	35,1%	85,2%	-13,1%	11,8%	-257,9%
2024.03	76,2%	73,7%	97,9%	4,7%	79,4%	-68,1%



17 priedo tęsinys

HI VAWT DS 3000 jėgainės sugeneruotos energijos duomenys

DS 3000	VS21	VS22	VS23	VS24	VS25	Bendrai
2023.04	94,0%	96,4%	99,4%	99,7%	99,2%	88,8%
2023.05	92,8%	95,7%	98,8%	99,8%	97,9%	84,9%
2023.06	88,6%	90,4%	96,4%	99,8%	100,0%	75,2%
2023.07	95,0%	98,3%	98,9%	99,9%	99,9%	91,9%
2023.08	93,8%	86,1%	96,6%	97,0%	95,3%	68,8%
2023.09	94,7%	82,7%	99,2%	100,0%	100,0%	76,6%
2023.10	98,8%	98,3%	99,6%	99,9%	99,8%	96,4%
2023.11	7,0%	-4,4%	81,5%	8,9%	18,4%	-288,6%
2023.12	20,7%	33,5%	67,0%	10,5%	28,3%	-240,0%
2024.01	-126,5%	-81,3%	31,1%	-76,5%	-59,9%	-713,1%
2024.02	24,7%	36,5%	85,5%	-10,8%	13,6%	-250,5%
2024.03	76,2%	73,7%	97,9%	4,7%	79,4%	-68,1%



17 priedo tęsinys

Windspire V-5 jėgainės sugeneruotos energijos duomenys

V-5	VS21	VS22	VS23	VS24	VS25	Bendrai
2023.04	94,4%	96,6%	99,4%	99,7%	99,2%	89,4%
2023.05	93,2%	95,9%	98,8%	99,8%	98,0%	85,8%
2023.06	89,2%	90,9%	96,6%	99,8%	100,0%	76,5%
2023.07	95,2%	98,4%	98,9%	99,9%	99,9%	92,4%
2023.08	94,2%	86,9%	96,8%	97,2%	95,5%	70,5%
2023.09	95,0%	83,7%	99,2%	100,0%	100,0%	77,9%
2023.10	98,9%	98,4%	99,6%	99,9%	99,8%	96,6%
2023.11	12,2%	1,4%	82,6%	14,0%	22,9%	-266,8%
2023.12	25,1%	37,2%	68,8%	15,6%	32,4%	-220,9%
2024.01	-113,8%	-71,1%	35,0%	-66,6%	-51,0%	-667,5%
2024.02	28,9%	40,0%	86,3%	-4,6%	18,4%	-230,9%
2024.03	77,6%	75,1%	98,0%	10,0%	80,6%	-58,7%

