



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Saulės elementų elektromobiliuose efektyvumo tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Aurimas Meškauskas**

Projekto autorius

**Doc. Rolandas Makaras**

Vadovas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

## **Saulės elementų elektromobiliuose efektyvumo tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

---

**Aurimas Meškauskas**

Projekto autorius

**Doc. Rolandas Makaras**

Vadovas

**Doc. Robertas Keršys**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Aurimas Meškauskas

## **Saulės elementų elektromobiliuose efektyvumo tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Aurimo Meškausko, baigiamasis projektas tema „Saulės elementų elektromobiliuose efektyvumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa – Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

## **Magistro baigiamojo projekto užduotis**

Studentui(-ei) Aurimui Meškauskui

### **1. Baigiamojo projekto tema:**

Saulės elementų elektromobiliuose efektyvumo tyrimas

Investigation of solar cell efficiency in electric vehicles.

**2. Projekto tikslas:** Ištirti saulės elementų panaudojimo elektromobiliuose efektyvumą Lietuvos sąlygomis.

### **3. Projekto uždaviniai:**

1. Atlikti saulės elementų panaudojimo transporte ir apšvietimo kaitos Lietuvoje literatūros analizę;
2. Parinkti fotoelementus, tvirtinimo plotus ant automobilio kėbulo, sudaryti principines schemas;
3. Atlikti fotoelemento parametrų tyrimus Lietuvos sąlygomis, nustatyti jo efektyvumą;
4. Nustatyti fotoelementų efektyvumą bei generuojamos energijos kiekius naudojant juos ant automobilio kėbulo ir įvertinti energijos sąnaudų kiekį dėl padidėjusios automobilio masės.

### **4. Projekto aprašomosios dalies struktūra:**

1. LITERATŪROS APŽVALGA
  - 1.1. Iškastinis kuras
  - 1.2. Alternatyvių energijos šaltinių panaudojimas transporte
  - 1.3. Atsinaujinantys energijos šaltiniai

- 1.4. Saulės energija
- 1.5. Saulėtumo nagrinėjimas Lietuvoje
- 1.6. Fotovoltiniai elementai ir jų rūšys
- 1.7. Saulės energija varomos transporto priemonės
2. PRAKTINIS SAULĖS ENERGIJOS BATERIJOS PANAUDOJIMAS
  - 2.1. Įrangos pasirinkimas
  - 2.2. Naudojamos formulės
3. ATLIKTO TYRIMO REZULTATAI
  - 3.1. Generuojamos galios matavimų rezultatai kovo – gegužės mėnesiais
  - 3.2. Gautų matavimų rezultatų pritaikymas automobilyje
  - 3.3. Sąnaudų skaičiavimas, įvertinant masės pokytį
4. REZULTATŲ APIBENDRINIMAS IR PALYGINIMAS

Išvados

#### **5. Projekto konsultantai:**

Baigiamojo projekto autorius

Aurimas Meškauskas

---

*(pareiḡų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)*

Baigiamojo projekto vadovas

doc. Rolandas Makaras

---

*(pareiḡų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)*

Krypties studijų programų vadovas

prof. Artūras Keršys

---

*(pareiḡų sutrumpinimas, vardas, pavardė, parašas, data)*

Meškauskas, Aurimas. Saulės elementų elektromobiliuose efektyvumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Rolandas Makaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Saulės energija, elektromobiliai, saulės baterijos, atsinaujinanti energetika.

Kaunas, 2020. 69 p.

## Santrauka

Darbe aptariama iškastinio kuro suvartojimo ir gavimo statistika 2009 – 2018 m., apžvelgiamos oro taršos problemos. Literatūros analizė leidžia teigti, jog iškastinio kuro gavimas kasmet mažėja, taip pat mažėja ir iškastinio kuro suvartojimas, tačiau oro taršos problema vis dar išlieka opus klausimas. Norint prisidėti prie ekologijos skatinimo, nagrinėjamas alternatyvių energijos šaltinių panaudojimas transporte, lyginami alternatyvus energijos šaltiniai (vanduo, oras, vėjas, saulė). Kadangi darbo tikslas yra susijęs su Saulės energijos efektyvumo tyrimu – aptariama Saulės energija, saulėtumas Lietuvoje. Apžvelgus saulėtumą Lietuvoje pastebima, jog viena iš pagrindinių problemų, kurios gali turėti įtakos Saulės energijos naudojimo pasirinkimui – debesuotumas. Lietuvoje fiksuojamas vidutiniškai 80 % debesuotumas per metus, tačiau gaunamas Saulės energijos kiekis nėra mažesnis nei palyginimui naudotos šalies – Vokietijos. Tyrimui atlikti naudojama įvairi įranga, todėl susipažįstama su fotovoltiniais elementais, jų rūšimis, akumuliatorių baterijomis, fotovoltinių elementų jungimo būdais. Dėl dažniausio praktinio panaudojimo tiek moksliniuose tyrimuose, tiek ir rinkoje pasirenkamas monokristalinis fotovoltinis elementas bei nuoseklus įrangos jungimo būdas. Taip pat darbe aptariamos saulės elemento charakteristikos. Dėl didžiausių energijos sąnaudų bei populiarumo rinkoje pasirenkamas „Nissan Leaf“ automobilis, pateikiamas automobilio grafinis vaizdas, saulės elementų montavimo vietos – variklio dangtis ir stogas, šio pasirinkimo priežastys – išnaudojamas laisvas ir nenaudojamas plotas. Siekiant įvertinti, ar efektyvu naudoti saulės elementus elektromobilyje atliekami matavimai kovo – gegužės mėnesiais, skaičiuojama generuojama saulės elemento galia ir pateikiami rezultatai. Įvertinus gautus rezultatus, nustatyta jog skirtingų matavimų metu automobilis teoriškai gali nuvažiuoti naudojant tik Saulės energiją 0,371 – 10,1 km. Taip pat, gauti rezultatai itin priklauso nuo oro sąlygų – dėl nepalankių oro sąlygų generuojamas galios kiekis ant automobilio gali kisti daugiau nei 1888,47 W (gegužės mėnesį yra generuojama 96 % daugiau galios nei kovo mėnesį) Įvertinant padidėjusią automobilio masę bandoma išaiškinti energijos kiekio pokyčiai. Atlikus skaičiavimus 4 skirtingais atvejais (įvertinant papildomą masę, dėl montuojamos įrangos/be papildomos masės; be pagreičio ir su pagreičiu) gauti rezultatai leidžia teigti, jog

papildoma masė turi itin minimalią įtaką energijos sąnaudų pokyčiui (įvertinus papildomą masę vidutinis energijos sąnaudų pokytis 0,29 – 1,58 %). Darbo pabaigoje pateikiamos išvados ir priedai.

Meškauskas, Aurimas. Investigation of solar cell efficiency in electric vehicles. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc.prof. Rolandas Makaras; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: solar energy, electric vehicle, solar batteries, renewable energy.

Kaunas, 2020. 69 p.

### **Summary**

In the final projects discusses the statistics of fossil fuel consumption and production in 2009 – 2018, reviews the problems of air pollution. An analysis of the literature suggests that fossil fuel production is declining every year, as is fossil fuel consumption, but the problem of air pollution remains a sensitive issue. In order to contribute to the promotion of ecology, the use of alternative energy sources in transport is analyzed, alternative energy sources (water, air, wind, sun) are compared. Since the aim of the work is related to the study of solar energy efficiency - solar energy and sunshine in Lithuania are discussed. After reviewing irradiance in Lithuania, it can be noticed that one of the main problems that may influence the choice of solar energy use is cloudiness. Lithuania has an average of 80% cloud cover per year, but the amount of solar energy received is not less than that of the country used for comparison – Germany. Various equipment is used for the research, therefore it is possible to get acquainted with photovoltaic cells, their types, batteries, photovoltaic cell connection methods. Due to the now common practical use both in research and on the market, a mono crystal photovoltaic cell and choose a consistent connection method . The paper also discusses the characteristics of the solar cell. Due to the highest energy consumption and popularity in the market, the „Nissan Leaf“ is chosen, the car is presented with a graphic view, the solar cell installation locations - the bonnet and roof, the reasons for this choice – the use of free and unused space. In order to assess whether it is efficient to use solar cells in an electric vehicle, measurements are performed in March - May, the generated power of the solar cell is calculated and the results are presented. After evaluating the obtained results, it was established that during different measurements the car can theoretically drive using only solar energy 0,371 – 10,1 km. Also, the results obtained are highly dependent on weather conditions – due to unfavorable weather conditions, the amount of power generated on the car can vary by more than 1888,47 W (96% more power is generated in May than in March). The results of the calculations in 4 different cases (estimating the extra mass, due to the installed equipment / without additional mass; with and without acceleration) allow to state that the additional mass has a very minimal effect on the change in energy consumption



( average change in energy consumption 0,29 – 1,58%). Conclusions and appendices are presented at the end of the work.

## Turinys

Lentelių sąrašas.....	11
Paveikslų sąrašas .....	12
ĮVADAS.....	14
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	15
1.1. Iškastinis kuras .....	15
1.2. Alternatyvių energijos šaltinių panaudojimas transporte .....	17
1.3. Atsinaujinantys energijos šaltiniai.....	19
1.4. Saulės energija.....	22
1.5. Saulėtumo nagrinėjimas Lietuvoje .....	24
1.6. Fotovoltiniai elementai ir jų rūšys.....	26
1.7. Saulės energija varomos transporto priemonės .....	29
2. PRAKTINIS SAULĖS ENERGIJOS BATERIJOS PANAUDOJIMAS .....	35
2.1. Įrangos parinkimas .....	35
2.2. Skaičiavimo metodika .....	40
3. ATLIKTO TYRIMO REZULTATAI.....	43
3.1. Generuojamos galios matavimų rezultatai kovo – gegužės mėnesiais.....	43
3.2. Gautų matavimų rezultatų pritaikymas automobilyje .....	48
3.3. Sąnaudų skaičiavimas, įvertinant masės pokytį .....	53
4. REZULTATŲ APIBENDRINIMAS IR PALYGINIMAS.....	55
IŠVADOS.....	58
Literatūros sąrašas .....	59
Priedai.....	63
1 priedas. 1 matavimas (debesuota diena).....	63
2 priedas. 2 matavimas (diena su pragiedruliais) .....	63
3 priedas. 3 matavimas (diena su pragiedruliais) .....	64
4 priedas. 4 matavimas (idealios sąlygos) .....	64
5 priedas. Nuvažiuoto atstumo skaičiavimas.....	65
6 priedas. „Nissan Leaf“ energijos skaičiavimai be papildomo svorio, pagreitis 0 .....	66
7 priedas. „Nissan Leaf“ energijos skaičiavimai su papildomu svoriu, pagreitis 0.....	67
8 priedas. „Nissan Leaf“ energijos skaičiavimai be papildomo svorio, su pagreičiu.....	68
9 priedas. „Nissan Leaf“ energijos skaičiavimai su papildomu svoriu, su pagreičiu.....	69

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> VDV ir elektros variklio palyginimas [32].....	18
<b>2 lentelė.</b> Hibridinio automobilio ir elektromobilio palyginimas (sudaryta autoriaus).....	19
<b>3 lentelė.</b> Atsinaujinančių energijos šaltinių privalumai ir trūkumai [24].....	21
<b>4 lentelė.</b> Akumuliatorių baterijų tipai ir apibūdinimai [32].....	27
<b>5 lentelė.</b> Tyrimo rezultatai [29].....	31
<b>6 lentelė.</b> Saulės baterijos specifikacija (sudaryta autoriaus).....	35
<b>7 lentelė.</b> Kontrolerio specifikacija (sudaryta autoriaus).....	36
<b>8 lentelė.</b> Akumuliatorių baterijos specifikacijos (sudaryta autoriaus).....	38
<b>9 lentelė.</b> „Nissan Leaf“ techniniai duomenys (sudaryta autoriaus).....	39
<b>10 lentelė.</b> 2 matavimų palyginimas (sudaryta autoriaus).....	44
<b>11 lentelė.</b> Gauti matavimų rezultatai (sudaryta autoriaus).....	46
<b>12 lentelė.</b> Celių skaičiaus ant automobilio skaičiavimas (sudaryta autoriaus).....	50
<b>13 lentelė.</b> Nuvažiuojamo atstumo vidurkis (6 automobiliai) (sudaryta autoriaus).....	52

## Paveikslų sąrašas

<b>1 paveikslas.</b> Iškastinio kuro suvartojimas 2009-2018 m. ES šalyse [2].....	15
<b>2 paveikslas.</b> Iškastinio kuro gavimas 2009-2018 m. ES šalyse [2].....	16
<b>3 paveikslas.</b> Oro tarša 2008-2017 m. ES šalyse [3].....	16
<b>4 paveikslas.</b> Galios perdavimo schema, nuoseklus jungimas (hibridinis automobilis) [32].....	17
<b>5 paveikslas.</b> Galios perdavimo schema, lygiagretus jungimas (hibridinis automobilis) [32].....	17
<b>6 paveikslas.</b> Galios perdavimo schema [32].....	18
<b>7 paveikslas.</b> Atsinaujinantys energijos šaltiniai [8].....	20
<b>8 paveikslas.</b> Atsinaujinantys energijos šaltiniai pagal išgavimą Lietuvoje 2008-2018 m. laikotarpiu [9].....	20
<b>9 paveikslas.</b> Saulės energijos kiekis pagal dienos laiką [15].....	23
<b>10 paveikslas.</b> Saulės energijos kiekis Lietuvoje ir Vokietijoje [16].....	24
<b>11 paveikslas.</b> Saulės spindėjimo trukmė Lietuvoje [18].....	25
<b>12 paveikslas.</b> Žemės judėjimas aplink saulę [19].....	25
<b>13 paveikslas.</b> Fotoelektriniai elementai (polikristalinis, monokristalinis, amorfinis silicio) [21].....	26
<b>14 paveikslas.</b> Idealių fotoelektros modulių nuoseklus jungimas ir jo charakteristika [14].....	28
<b>15 paveikslas.</b> Idealių fotoelektros modulių lygiagretus jungimas ir jo charakteristika [14].....	29
<b>16 paveikslas.</b> „Squad Mobility“ automobilis varomas Saulės energija [33].....	32
<b>17 paveikslas.</b> „Tesla Cybertruck“ [33].....	33
<b>18 paveikslas.</b> Tyrimui naudota įranga.....	35
<b>19 paveikslas.</b> Kontroleris bei jo matmenys.....	36
<b>20 paveikslas.</b> Nuoseklaus jungimo schema.....	37
<b>21 paveikslas.</b> Nuosekliu jungimo būdų sujungta įranga (saulės elementas).....	37
<b>22 paveikslas.</b> Nuosekliu jungimo būdų sujungta įranga.....	38
<b>23 paveikslas.</b> „Nissan Leaf“ automobilis.....	39
<b>24 paveikslas.</b> Baterijų montavimo vieta.....	39
<b>25 paveikslas.</b> Papildomos įrangos montavimo vieta.....	40
<b>26 paveikslas.</b> Matavimų rezultatai, kovo 7 d.....	43
<b>27 paveikslas.</b> Matavimų rezultatai, kovo 8 d.....	44
<b>28 paveikslas.</b> Balandžio mėnesio matavimo rezultatai.....	45
<b>29 paveikslas.</b> Gegužės mėnesio matavimų rezultatų palyginimas su idealiomis sąlygomis.....	46

<b>30 paveikslas.</b> Gautų rezultatų palyginimas.....	47
<b>31 paveikslas.</b> Generuojamos galios vidurkis kovo – gegužės mėnesiais.....	48
<b>32 paveikslas.</b> Stogo ploto skaičiavimas.....	49
<b>33 paveikslas.</b> Variklio dangčio ploto skaičiavimas.....	49
<b>34 paveikslas.</b> „AutoCad“ programa atvaizduota celė (su matmenimis).....	50
<b>35 paveikslas.</b> Generuojama galia ant automobilio.....	51
<b>36 paveikslas.</b> Nuvažiuojamas atstumas, km.....	51
<b>37 paveikslas.</b> Energijos sąnaudų palyginimas automobiliui važiuojant be pagreičio (su papildoma mase ir be).....	53
<b>38 paveikslas.</b> Energijos sąnaudų palyginimas automobiliui važiuojant su pagreičiu (su papildoma mase ir be).....	54

## ĮVADAS

Atsinaujinančios energijos naudojimas – itin opus klausimas šiais laikais, kuomet bandoma kovoti su oro užterštumu. Transporto sektorius plečiasi, todėl atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas šiame sektoriui – neišvengiamas. Taršios transporto priemonės keičiamos mažiau taršiomis, siekiant išsaugoti kuo švaresnę aplinką ir orą. Įvairūs mokesčiai, degalų kainos – tai dar keli veiksniai, darantys įtaką būtinybei naudoti alternatyvius energijos šaltinius, kurių atsargos nesibaigtų. Šiame darbe nagrinėjamas vienas iš atsinaujinančių energijos šaltinių – Saulės energija ir šios energijos pritaikymas transporto priemonėse. Tiriamas saulėtumas Lietuvoje, aiškinamasi priežastys, kurios gali turėti įtakos Saulės energijos nepopuliarumui Lietuvoje. Taip pat darbe aprašomi fotoelektros elementai, akumuliatorių baterijos, atliekami palyginimai. Naudojant įvairius literatūros šaltinius bandoma išsiaiškinti rinkoje egzistuojančių automobilių, varomų Saulės energija pranašumai bei trūkumai, aptariami rinkoje egzistuojančių gamintojo ateities planai susiję su Saulės energijos naudojimu automobiliuose. Tyriamojoje darbo dalyje atliekami bandymai su saulės baterijomis, stebimi įtampos pokyčiai, skaičiuojama generuojama galia skirtingomis oro sąlygomis bei skirtingais metų mėnesiais. Bandymų metų bandoma išsiaiškinti – kokį kiekį energijos geba sukaupti akumuliatorių baterijos automobiliui stovint ilgą laiką. Atliekami skaičiavimų rezultatų palyginimai, nustatomas galimas nuvažiuoti atstumas naudojant tik sugeneruotą Saulės energiją. Taip pat, atliekami skaičiavimai, kurių pagalba siekiama iširti – ar papildomos įrangos montavimas ant automobilio turi įtakos energijos kiekio suvartojimui. Darbo pabaigoje pateikiamos apibendrinančios išvados.

**Darbo tikslas:** Iširti saulės elementų panaudojimo elektromobiliuose efektyvumą Lietuvos sąlygomis.

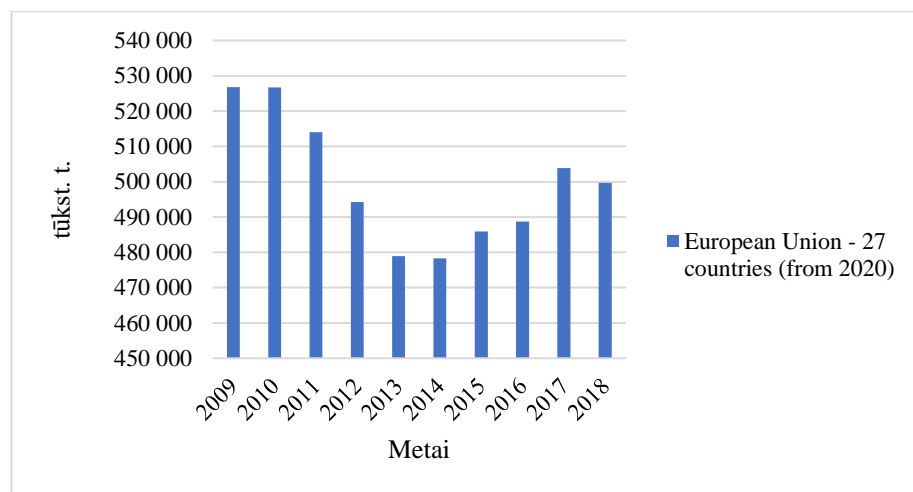
### **Darbo uždaviniai:**

1. Atlikti saulės elementų panaudojimo transporte ir apšviestumo kaitos Lietuvoje literatūros analizę;
2. Parinkti fotoelementus, tvirtinimo plotus ant automobilio kėbulo, sudaryti principines schemas;
3. Atlikti fotoelemento eksperimentinius tyrimus Lietuvos sąlygomis, nustatyti jo efektyvumą;
4. Nustatyti fotoelementų efektyvumą bei generuojamos energijos kiekius naudojant juos ant automobilio kėbulo ir įvertinti energijos sąnaudų pokytį dėl padidėjusios automobilio masės.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Iškastinis kuras

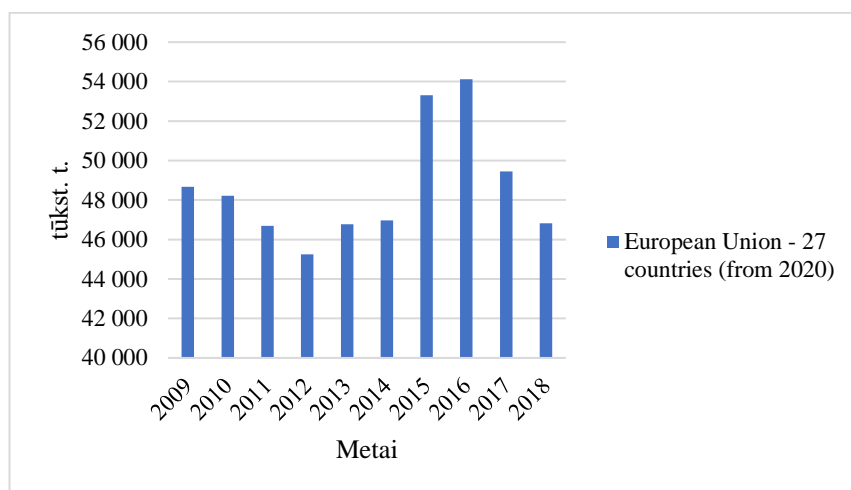
Iškastinis kuras – labiausiai paplitusi energijos rūšis. Prie iškastinio kuro priskiriama – akmens anglis, nafta bei dujos. Mokslininkai, nagrinėję iškastinį kurą teigia, jog „iškastinis kuras sukelia ekologines ir aplinkosaugos problemas“ [1] bei šio kuro atsargos vis labiau senka. Iškastinio kuro suvartojimas ES šalyse pateiktas 1 pav.



1 pav. Iškastinio kuro suvartojimas 2009-2018 m. ES šalyse [2]

Matoma, jog 2009 – 2013 m. iškastinio kuro suvartojimas mažėja, pagrindinės šio sumažėjimo priežastys – ekonomikos nuosmukis, dėl kurio sulėtėja pramonė. Transportas – pagrindinė sritis, kurioje itin plačiai naudojamas iškastinis kuras. Atsigaunanti ekonomika padėjo iškastinio kuro suvartojimui vėl augti, tačiau, galima teigti, jog iškastinio kurio sunaudojimas negrįžo į 2009 – 2010 m. lygį, kuomet Europos Sąjungoje (toliau – ES) per metus buvo sunaudojama maždaug 525 tūkst. t. iškastinio kuro. Didelę įtaką iškastinio kuro suvartojimo kiekio pokyčiui turi vis dažnesni ES skatinimai rinktis mažiau taršius energijos šaltinius – alternatyvias energijos rūšis.

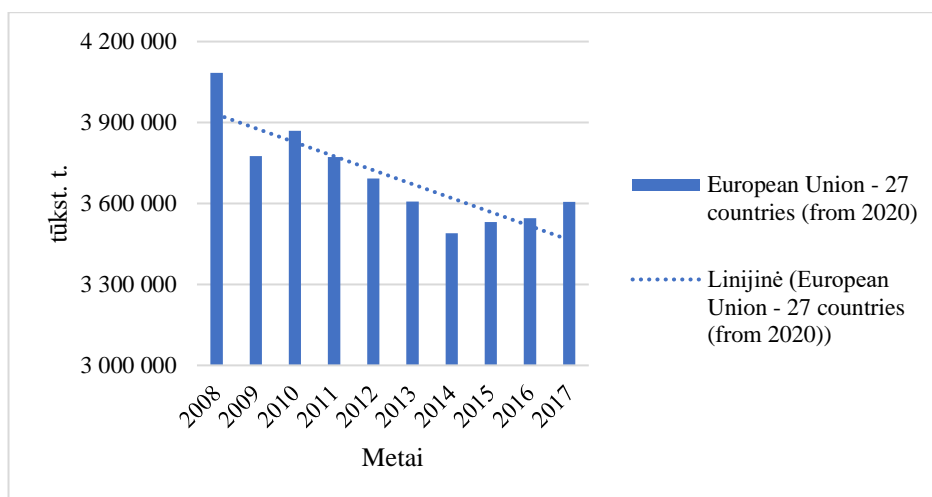
Nagrinėjamas iškastinio kuro gavimo pokytis 2009 – 2018 m. ES šalyse (žr. 2 pav.).



**2 pav.** Iškastinio kuro gavimas 2009-2018 m. ES šalyse [2]

Nagrinėjant 2 paveiksle pateiktus duomenis matoma, jog vidutiniškai per metus išgaunama 48,6 tūkst.t. iškastinio kuro. Duomenų analizė rodo, jog iškastinio kuro gavimas nuo 2016 m. pradėjo stipriai mažėti. Pokytis, lyginant 2016 – 2018 m. yra daugiau nei 7 tūkst. t. Remiantis *Eurostat* duomenimis bei literatūra galima teigti, jog iškastinis kuras yra baigtinis bei sukelia nepageidaujamą klimato kaitą [3]. Iškastinio kuro gavimas stipriai koreliuoja su aplinkos tarša. Galima teigti, jog dėl iškastinio kuro naudojimo per mėnesį yra sunaikinama apie 2 mlrd. tonų atmosferos deguonies, teigtina, jog iki 2100 m. prognozuojamas temperatūros kilimas yra 1,4 – 5,8 °C [4].

Apžvelgiama šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją 2008 – 2017 m. (žr. 3 pav.)



**3 pav.** Oro tarša 2008 – 2017 m. ES šalyse [3]

Nors, lyginant 2008 – 2017 m. šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija mažėja (10 m. pokytis beveik 500 tūkst. t.), tačiau mažėjimas itin lėtas – kaip ir minėta, per visą analizuojamą laikotarpį šių dujų kiekis sumažėja tik 500 tūkst. t. O tai yra tik 12 proc. mažėjimas per 10 m. laikotarpį. Atsižvelgiant į Europos Komisijos išleistą leidinį „Baltoji knyga“, būtina paminėti, jog vieni iš ES



siekių yra – „Sumažinti pasaulio šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, kad klimato kaita neviršytų 2°C. Norėdama pasiekti šį tikslą ir atsižvelgdama į tai, kiek teršalų išmetimą turi sumažinti visos išsivysčiusios šalys, ES iki 2050 m. turi užtikrinti, kad, palyginti su 1990 m., joje teršalų būtų išmetama 80 – 95 proc. mažiau. Komisijos tyrimo duomenimis, galima pasiekti, kad kituose ūkio sektoriuose teršalų būtų išmetama daug mažiau, tačiau transporto sektoriuje, kuris yra didelis ir vis dar augantis šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinis, iki 2050 m. dujų išmetimą, palyginti su 1990 m., būtina sumažinti bent 60 proc. Siekiama, kad iki 2030 m., palyginti su 2008 m., transporto sektoriuje šiltnamio efektą sukeliančių dujų būtų išmetama 20 proc. mažiau.“ [6].

Atsižvelgus į atliktą iškastinio kuro suvartojimo, išgavimo ir taršos analizę galima teigti, jog yra itin svarbu mažinti tokio tipo kuro naudojimą ir keisti jį mažiau taršiais energijos šaltiniais. Vieni iš mažiau taršių energijos šaltinių – atsinaujinantys energijos šaltiniai.

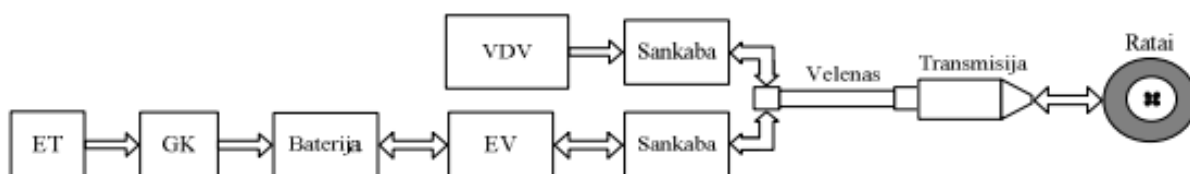
## 1.2. Alternatyvių energijos šaltinių panaudojimas transporte

Transporto sektoriuje, kaip alternatyva iškastiniam kurui dažniausiai yra naudojama elektros energija. Automobiliai, su vidaus degimo varikliais (toliau – VDV) yra keičiami mažiau taršiais automobiliais, turinčiais elektros pavaras. Šių elektros pavarų pagalba, vietoje tradiciškai naudojamo iškastinio kuro, atsiranda galimybė pakeisti jį, mažiau taršia elektros energija. Rinkoje paplitę 2 transporto priemonių tipai, kuriuose yra naudojama elektros energija – automobiliai, turintys hibridinę arba elektrinę pavarą.

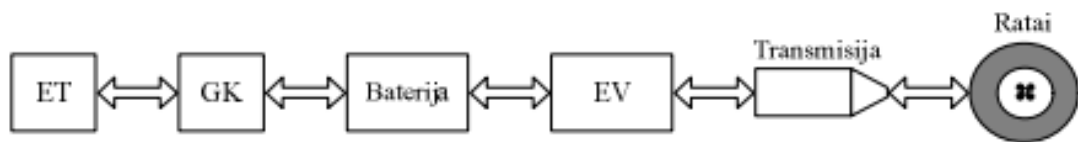
Norint suprasti akivaizdžius skirtumus tarp hibridinės transporto priemonės ir elektra varomos, galima palyginti galios perdavimo schemas (žr. 4 – 6 pav.)



4 pav. Galios perdavimo schema, nuoseklus jungimas (hibridinis automobilis) [32]



5 pav. Galios perdavimo schema, lygiagretus jungimas (hibridinis automobilis) [32]



**6 pav.** Galios perdavimo schema (elektra varomas automobilis) [32]

Atlikus palyginimą galima pastebėti, jog hibridinio automobilio atveju, kuomet jungimas yra nuoseklus, elektros energija nėra gaunama iš tinklo, nes elektros energiją gamina vidaus degimo variklyje (toliau – VDV) esantis generatorius. Minėtas generatorius perduoda pagamintą energiją baterijai, tačiau ratų sukima užtikrina elektros variklis. Lygiagrečiame hibridiniame automobilyje automobilio ratus varo arba VDV arba elektros variklis (toliau – EV). „Plug – in“ tipo automobilis, kaip ir elektromobilis yra įkraunamas iš elektros tinklo (toliau – ET), naudojant galios keitiklį (toliau – GK). Šio tipo automobilis užmiesčio keliuose, kuriuose dažniausiai greitis yra pastovus naudoja VDV, tuo tarpu, kuomet važiuojama miesto režimu (dažnas greitėjimas bei stabdymas) naudojamas EV. Kaip matoma 6 paveiksle, elektrinis automobilis naudoja tik elektros energiją, gautą iš elektros tinklo, todėl ir tolimesnė galios perdavimo schema yra gan paprasta. Elektromobilis, lyginant jį su VDV turinčiu automobiliu pasižymi efektyvesniu galios naudojimu.

Toliau pateikiamas trumpas VDV ir elektros variklių palyginimas (žr. 1 lentelė).

**1 lentelė.** VDV ir elektros variklio palyginimas [32]

Eil. Nr.	Palyginami dalykai	Vidaus degimo variklis	Elektros variklis
1	Naudingumo koeficientas	33 % geriausiu atveju	90-95 %
2	Variklio aušinimo sistema	Reikalingas radiatorius	Radiatorius nereikalingas
3	Teršalai	Į aplinką išmetami teršalai	Tiesioginių teršalų nėra
4	Tuščia veika	Yra tuščios veikos degalų nuostoliai	Nėra tuščios veikos
5	Energijos konversija	Negrižtama	Stabdymo energija grąžinama į bateriją
6	Variklio svoris	Didelis ir sunkus (0,7 kW/kg)	Lengvas ir mažas (75 kW – 13 kg; 5,8 kW/kg)
7	Erdvės poreikis	Reikalauja daug vietos automobilyje	Gali būti įrengti automobilio ratuose
8	Triukšmo lygis	Triukšmingas, reikalingas duslintuvas	Triukšmas labai mažas, nereikia duslintuvo

Kaip galima pastebėti, šiuo atveju VDV ir EV yra lyginami pagal pasirinktus 8 kriterijus. Pagal visus išskirtus kriterijus elektromobilis yra pranašesnis prieš automobilį, turintį VDV. Naudingumo koeficientas aukštesnis net 3 kartais. 2 lentelėje puikiai atsispindi pagrindiniai elektros variklio privalumai.

Aptarus galios perdavimo schemų skirtumus tarp hibridinės ir elektrinės transporto priemonės, galima palyginti šių transporto priemonių privalumus bei trūkumus (žr. 2 lentelė).

## 2 lentelė. Hibridinio automobilio ir elektromobilio palyginimas (sudaryta autoriaus)

Hibridinis automobilis	Elektromobilis
+ didinamas VDV efektyvumas;	+ tylus veikimas;
+ gerinama automobilio dinamika;	+ minimalūs eksploatacijos kaštai;
+ mažesnės degalų sąnaudas;	+ skiriamos įvairios lengvatos;
- nėra pilnai ekologiška transporto priemonė;	- didelė įsigijimo kaina;
- ateityje galimai augančios eksploatacijos išlaidos;	- ilgas baterijų įkrovimo laikas;
- priklausomybė nuo iškastinio kuro.	- sąlyginai greitas nuvertėjimas.

Atlikus hibridinio automobilio bei elektromobilio palyginimą matoma, jog kiekvienas iš šių automobilių tipų turi tiek privalumų, tiek trūkumų. Tačiau, apžvelgus literatūrą, galima išskirti pagrindinį skirtumą tarp šių automobilių – elektromobilis yra tinkamesnis trumpoms kelionėms (mieste), o hibridinės transporto priemonės pritaikomesnės ilgesnėse kelionėse.

Apžvelgus alternatyvių energijos šaltinių panaudojimą transporte galima teigti, jog šie energijos šaltiniai, nors ir padeda sumažinti iškastinio kuro naudojimą, tačiau hibridinio automobilio atveju, iškastinis kuras yra naudojamas – benzinas ar dyzelinas. Elektromobiliai yra kraunami įkrovimo stotelėse, tačiau elektros gavimo šaltinis nėra iki galo žinomas. Dėl šių priežasčių, toliau darbe nagrinėjami atsinaujinantys energijos šaltiniai ir atliekami bandymai, kurie padės nustatyti, ar yra galimybė sumažinti elektromobilio krovimo dažnį.

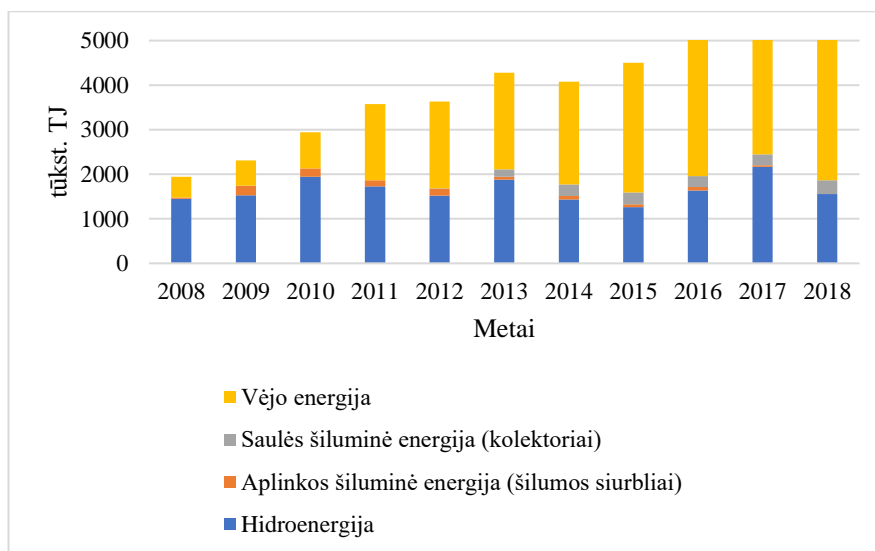
### 1.3. Atsinaujinantys energijos šaltiniai

Atsinaujinantys energijos šaltiniai – tai šaltiniai, kurių gavimui yra reikalingi tik gamtos ištekliai – saulės šviesa, vėjas, vanduo ir kt., todėl šie energijos šaltiniai yra mažiau taršūs nei iškastinis kuras. Galima teigti, jog atsinaujinantys energijos šaltiniai dažnu atveju yra brangesni už šiuo metu dažniausiai naudojamą iškastinį kurą, tačiau, šio tipo šaltiniai skatina ne tik technologinę plėtrą, bet ir kuria naujas darbo vietas [7]. Galima apžvelgti kokio tipo energijos yra priskiriamos prie atsinaujinančių energijos šaltinių (žr. 7 pav.).



**7 pav.** Atsinaujinantys energijos šaltiniai [8]

Kaip matoma, yra prie atsinaujinančių energijos šaltinių yra priskiriami 5 energijos šaltiniai. Galima teigti, jog Lietuvoje daugiausiai energijos išgaunama yra naudojant vėjo jėgaines (2008 – 2018 m. laikotarpis) (žr. 8 pav.).



**8 pav.** Atsinaujinantys energijos šaltiniai pagal išgavimą Lietuvoje 2008 – 2018 m. laikotarpiu [9]

Saulės šiluminės energijos Lietuvoje išgaunama itin mažai – vienos iš daugelio to priežasčių yra – brangi technologija, netinkamos klimato sąlygos [10].

Galima apžvelgti atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimą Lietuvoje. Literatūroje teigiama, jog didžiausią įtaką užterštumui daro anglies dioksido dujų susidarymas (šios dujos susidaro deginant

iškastinį kūrą). JTO (Jungtinių Tautų organizacija) išskyrė transporto sektorių, kuris 2016 m. itin prisidėjo prie klimato kaitos pokyčių. 2016 m. vėjo jėgainėmis pagaminta elektros energija sudarė daugiau nei 26 proc. visos šalyje pagamintos elektros energijos. Teigtina, jog Saulės energija neturi didelio potencialo Lietuvoje, tačiau šio teiginio priežastys nėra įvardijamos. Galima išskirti vienintelį atsinaujinantį energijos šaltinį, kuris gali būti pritaikomas transporto sektoriuje – biomasė. Tačiau, iškart galimas kontraargumentas – išteklių sezoniškumas. Taip pat, galima išskirti atsinaujinančius energijos šaltinius:

- biomasės energija;
- vėjo energija;
- Saulės energija;
- hidroenergija;
- geoterminė energija [11].

Apžvelgiami kiekvieno iš atsinaujinančių energijos šaltinių privalumai bei trūkumai (žr. 3 lentelė).

**3 lentelė.** Atsinaujinančių energijos šaltinių privalumai ir trūkumai [24]

<b>Pavadinimas</b>	<b>+</b>	<b>-</b>
Biomasė	Pigiau nei iškastinis kuras; Gali būti naudojamos įvairios organinės kilmės atliekos;	Biomasės kuro paruošimas užtrunka; Kai kurie išteklių yra sezoniniai;
Vėjo energija	Neišsenkantys išteklių; Dėl tobulinamų turbinų elektros energijos kaina mažėja;	Nepastovi energija; Jėgainės skleidžia triukšmą; Gan brangi technologija;
Saulės energija	Neišsenkantys išteklių;	Nepastovi energija; Brangi technologija; Sąlyginai mažas efektyvumas;
Hidroenergija	Pigi elektros energijos gamyba; Patikimas energijos tiekimas; Neišsenkantys išteklių	Daromas poveikis vandens ekosistemoms; Statybai reikalingi žemės plotai, jų užtvindymas; Priklausomybė nuo klimato;
Geoterminė energija	Neišsenkantys išteklių; Nuolatinė galia.	Brangi technologija, reikalaujanti daug investicijų; Kyla techninės problemos dėl jėgainių eksploatavimo.

Atlikta atsinaujinančių energijos šaltinių analizė parodė, jog Saulės energija – mažiausiai populiarai ir rečiausiai naudojama energijos rūšis. Tačiau, atlikus mokslinių straipsnių analizę, itin sunku išskirti priežastis, dėl kurių Saulės energija nėra taip paplitusi, kaip, pavyzdžiui, vėjo energija. Dažniausiai mokslininkai išskiria šias priežastis – sunkus pritaikomumas skirtingose klimato zonose, mažas efektyvumas bei brangi technologija.

Vienas iš šio darbo tikslų – nustatyti Saulės energijos galimybių panaudojimą automobilyje. Tikimasi, jog atliktas tyrimas suteiks galimybę platesniam Saulės energijos panaudojimui transporto sektoriuje.

## 1.4. Saulės energija

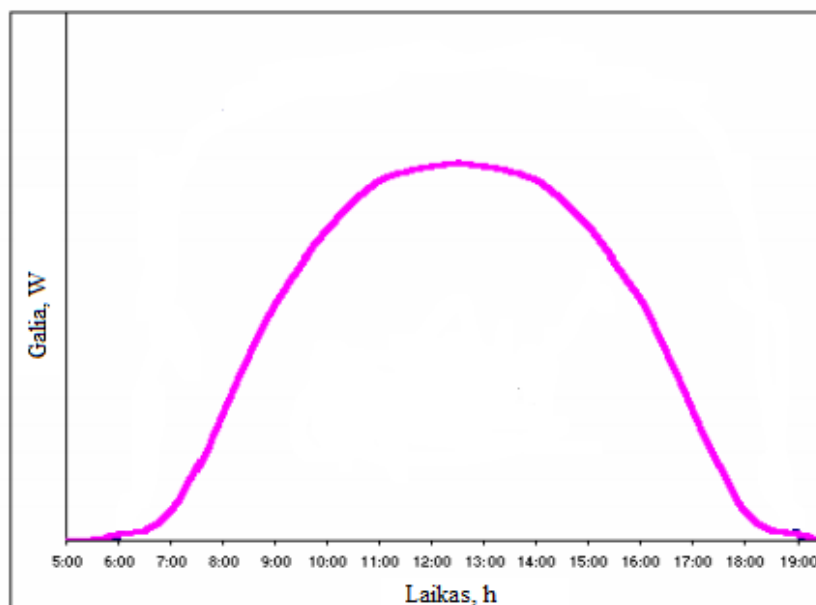
Elektros energija – labiausiai paplitusi energijos naudojama rūšis visame pasaulyje. Tačiau, šiuolaikiniame pasaulyje apstu įvairių vietų, kuriose nėra prieigos prie elektros tinklo, elektros energijos vartotojų siekis – kaip įmanoma mažesniais kaštais gauti pakankamą kiekį elektros energijos. Kita priežastis, dėl kurios pradėta naudoti Saulės energija – aplinkos tarša. Saulė, kaip ir vėjas, vanduo ir t.t. yra priskiriama prie atsinaujinančių energijos šaltinių. Todėl, vis dažniau pasigirsta skatinimų naudoti ne tik vėjo energiją (kaip galima pastebėti 1.3 skyriuje, šio tipo energija yra populiariausia), bet ir Saulės energiją. Europos Sąjunga (toliau – ES) skiria lėšas, skatinančias įsirengti vis daugiau saulės elektrinių (2020 m. Lietuvos Respublikos energetikos ministerijos duomenimis, ES paramos suma siekia 9 mln. Eur, iš kurių net 50 proc. visos sumos yra skiriama saulės elektrinių įrengimo individualiuose namuose, kita pusė lėšų – saulės elektrinių parkų įsigijimui/įrengimui).

Toliau nagrinėjant Saulės energijos panaudojimo galimybes gaminant elektros energiją, galima trumpai apžvelgti mokslinėje literatūroje sutinkamą Saulės energijos vertimo į elektros energiją paaiškinimą.

„Fotoelektriniu efektu (**fotoefektu**) vadinamas šviesos dalelių (fotonų) energijos perdavimas medžiagos elektronams, kurie dėl to arba išlekia iš jos (išorinis fotoefektas), arba joje tampa laisvi (vidinis fotoefektas)“ [13] (angl. Photovoltaic, PV). PV reakcijos gali vykti skystoje, dujinėje, kietoje medžiagoje. Energija, gaunama iš saulės yra generuojama saulės viduje, kurioje nuolatos vyksta termodinaminės reakcijos. Saulės paviršiaus temperatūrą artima 5700 K [14]. 1.3 skyriuje minėta, jog dažniausiai literatūroje sutinkamos priežastys, dėl kurių saulė energija nėra itin paplitusi – priklausomybė nuo oro sąlygų, brangi technologija. Tačiau, atsižvelgiant mokslinę literatūrą, galima teigti, jog Lietuvoje yra pakankami ištekliai Saulės energijai plėtoti, taip pat įrengimo technologija pinga, galima teigti, jog Lietuvoje nėra pakankamai išnaudojama Saulės energija, todėl prisirišimas prie iškastinio kuro išlieka glaudus.

Iradiacija (spinduliavimas) – parametras, kuriuo galima apibūdinti ir išmatuoti saulės šviesos energijos tankį. Šių matavimų matavimo vienetas yra kWh/m<sup>2</sup>. Spinduliavimo laikas – tai laikas, kuomet apšvietos kiekis siekia 1000 W/m<sup>2</sup>. Spinduliavimo intensyvumas tiesiogiai koreliuoja su žemės padėtimi saulės atžvilgiu – atsižvelgiant į 6 paveiksle pateiktą grafiką, galima daryti prielaidą, jog spinduliavimo intensyvumas yra didžiausias vidurdienį ir +/- 2 valandos (kaip žinoma, vidurdienis yra 12 val. dienos metu).

Bandant ieškoti argumentų, kodėl Saulės energija yra tinkamas ir laisvai prieinamas alternatyvus energijos šaltinis, galima nagrinėti Saulės energijos išsiskyrimo priklausomybę nuo paros laiko (žr. 9 pav.)



**9 pav.** Saulės energijos kiekis pagal dienos laiką [15]

Galima apžvelgti Saulės energijos išsiskyrimą pagal laiką. Kaip matoma, nuo 11 iki 14 val. dienos metu saulės baterijos geba sukurti didžiausią galią, kadangi saulės spinduliuotė pasiekia piką. Todėl, galima teigti, jog ne klimato zona turi didžiausią įtaką alternatyvių energijos šaltinių naudojimo pasirinkime.

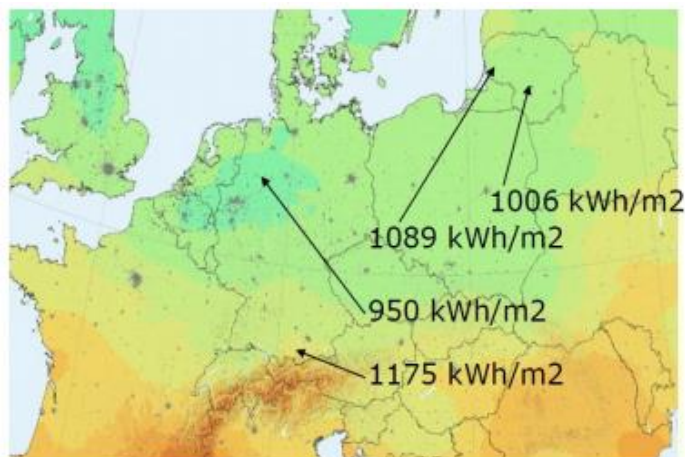
Taip pat, galima išskirti pagrindinius Saulės energijos privalumus:

- nenaudojamas joks kuras;
- Saulės energijos tiekimui nereikalingas žmogaus įsikišimas;
- Saulės energija neturi įtakos iškastinio kuro kiekiui;
- Saulės energijai neturi įtakos įvairios ekonominės/politinės situacijos;
- saulės elektriniu darbo metu į aplinką nepatenka kenksmingos medžiagos;
- ilgaamžiškumas [14].

Vienintelis šios energijos trūkumas – nepastovumas, tačiau išvardinti pranašumai bei technologinė pažanga padeda iki minimumo sumažinti paminėtą trūkumą.

## 1.5. Saulėtumo nagrinėjimas Lietuvoje

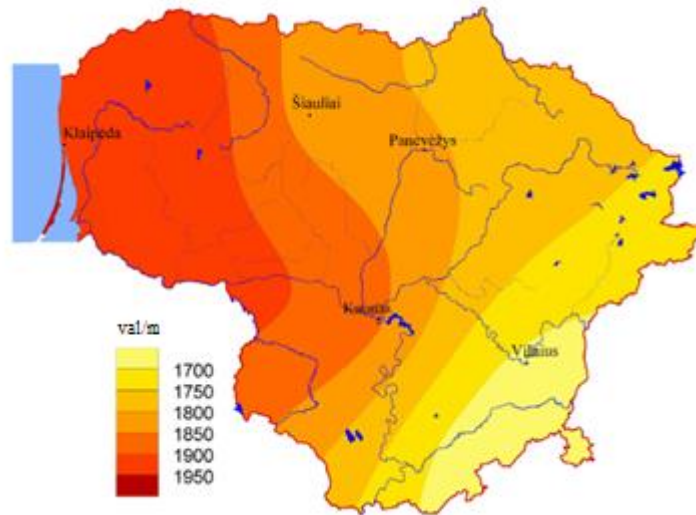
Saulės energijos panaudojimo galimybės itin priklauso nuo saulės spinduliuotės. Todėl toliau aptariamas saulėtumas Lietuvoje. Galima palyginti Saulės energijos kiekį Lietuvoje ir Vokietijoje (žr. 10 pav.).



10 pav. Saulės energijos kiekis Lietuvoje ir Vokietijoje [16]

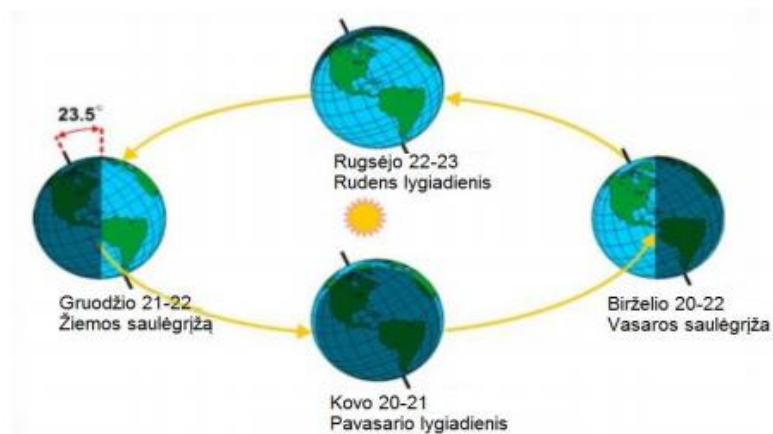
Kaip galima matyti pateiktame paveiksle, geografinė zona, lyginant Lietuvą ir Vokietiją neturi didelės įtakos Saulės energijos kiekiui. Didžiausią įtaką Saulės energijos kiekiui šalyje turi metų laikas, paros laikas bei oro sąlygos. Galima teigti, jog „Horizontalaus paviršiaus spinduliuotės (radiacijos) balanso metinės reikšmės Lietuvoje kinta nuo 1600 iki 1900 MJ/m<sup>2</sup>“ [17]. Lapkričio – kovo mėnesiais šis balansas yra neigiamas (t.y. efektyvioji spinduliuotė > sugertoji spinduliuotė) Kovo – spalio mėnesiais balansas yra teigiamas. Pastebima, jog didžiausia teigiama balanso reikšmė yra gegužės – liepos mėnesiais. Saulės spinduliuotės kiekis taip pat tiesiogiai koreliuoja su debesuotumu (pastebima, jog šaltuoju metų periodu (lapkričio – vasario mėnesiai), debesuotumas Lietuvoje yra daugiau nei 80 %). Nagrinėjant saulėtų valandų trukmę Lietuvoje galima pastebėti, jog trumpiausiai saulė šviečia Vilniaus apskrityje, o ilgiausia saulės spindėjimo trukme pasižymi Klaipėdos regionas (šiam regione salė šviečia apie 1900 val./m.) (žr. 11 pav.) [17].





**11 pav.** Saulės spindėjimo trukmė Lietuvoje [18]

Atsižvelgiant į saulės spindėjimo trukmę ir debesuotumą, galima teigti, jog saulės spinduliuotė priklauso nuo žemės judėjimo aplink saulę (žr. 12 pav.).



**12 pav.** Žemės judėjimas aplink saulę [19]

Saulę vasaros laikotarpiu yra matoma aukščiau nei šaltuoju sezonu, kadangi žemė yra pasvirusi į saulę  $23,5^\circ$ . Taip pat, nuo metų laiko priklauso ir saulės švietimo laikas, kuris jau aptartas remiantis 11 paveikslu.

Aptarus saulėtumą Lietuvoje, galima teigti, jog Saulės energijos kiekis Lietuvoje nėra ženkliai mažesnis nei vidurio Europos šalyse, tačiau, Lietuvoje, ypač žiemos laikotarpiu, debesuotumas siekia daugiau nei 80 %. Šis veiksnys gali turėti įtakos Saulės energijos panaudojimo pasirinkimo Lietuvoje.

## 1.6. Fotovoltiniai elementai ir jų rūšys

Atliekant Saulės energijos panaudojimo elektromobilyje tyrimą, būtina apžvelgti ir fotovoltinius elementus bei jų rūšis. Visų pirma, aiškinama fotovoltinių elementų sąvoka ir jų reikšmė. Fotoelektros elementas – puslaidininkis įtaisas, kuris yra geba šviesos energiją paversti į elektros energiją [14]. Fotoelektros elementų tipai gali būti skirstomi į šias 3 grupes:

- monokristaliniai;
- polikristaliniai;
- amorfinio silicio.

Monokristaliniai fotoelektros elementai – vieni populiariausių elementų. Šio tipo elementai pasižymi vienu iš didžiausių naudingumo faktoriumi bei monokristalinių fotoelektros elementų parametrai ateityje keičiasi mažiausiai;

Polikristaliniai fotoelektros elementai – panašaus storio, kaip ir monokristaliniai elementai (200 ÷ 300 mm), tačiau pasižymi mažesniu naudingumo faktoriumi;

Šie, išvardinti fotoelektros elementai, sudaro daugiau nei 80 proc. visos rinkos.

Amorfinio silicio fotoelektros elementai yra sąlyginai pigesni, tačiau ir mažiau efektyvūs nei monokristaliniai ar polikristaliniai fotoelektros elementai. Šio tipo elementai yra naudojami tokiuose prietaisuose, kaip: laikrodžiai, skaičiavimo mašinėlės. Amorfinio silicio elementams nėra reikalinga stipri saulės apšvieta, todėl šie elementai vis dažniau yra naudojami namų fasaduose [20].

Galima palyginti vizualinius skirtumus tarp minėtų fotoelektros elementų (žr. 13 pav.).



**13 pav.** Fotoelektriniai elementai (polikristalinis, monokristalinis, amorfinis silicio) [21]

Parinkus tinkamą fotoelektros elementą, būtina atsižvelgti į akumuliatorių baterijas ir jų tipus. Palyginti kiekvieną iš tipų ir nuspręsti, kuris tipas yra tinkamiausias šiam tyrimui.

Akumuliatorių baterija sudaroma iš nuosekliai jungiamų elementų, baterijos vidaus įtampos dydis priklauso nuo elementų skaičiaus, esančio akumuliatorių baterijoje.

**4 lentelė.** Akumuliatorių baterijų tipai ir apibūdinimai [32]

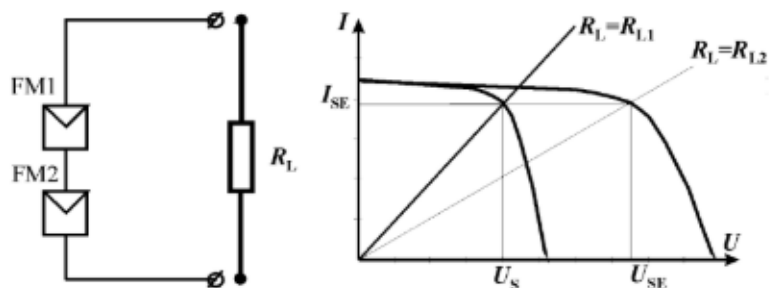
<b>Baterijų tipas</b>	<b>Aprašymas</b>
<b>Švino rūgštinis</b>	Dažniausiai sutinkamas akumuliatorių tipas; Pasižymi – ilgaamžiškumu, sąlyginai nedidelėmis sąnaudomis. Naudojama – automobiliuose;
<b>Nikelio-kadmio</b>	Pasižymi – ilgaamžiškumu, atsparumu temperatūrai;
<b>Nikelio-metalo hibridas</b>	Pasižymi – mažomis galimybėmis tiekti didelę galią, pažaidžiamumu. Sąlyginai brangus baterijų tipas;
<b>Ličio-jonų</b>	Pasižymi – galimybe kaupti 3 kartus daugiau energijos, įtampa 1,5 karto didesnė nei švino rūgštinio akumuliatoriaus baterijų;
<b>Ličio polimeras</b>	Pasižymi – kietais polimeriniais elektrolitais, minėtas polimeras sugeba didinti energiją;
<b>Cinko-oro</b>	Veikimui būtinas geras oro srauto valdymas.

Pagal aprašytas specifikacijas dažniausiai naudojama yra švino rūgštinis akumuliatoriaus tipas. Šis akumuliatorių baterijų tipas ypač paplitęs dėl savo sąlyginai mažesnės kainos. Tačiau, dėl tobulesnės specifikacijos, elektromobiliuose naudojamas yra ličio jonų akumuliatoriaus tipas. Šis akumuliatorių baterijų tipas geba savyje kaupti 3 kartus daugiau energijos, lyginant su švino rūgštinio akumuliatoriumi.

Atlikus fotoelektrinių elementų ir akumuliatorių baterijų analizę, toliau galima nagrinėti fotoelektrinių elementų jungimo būdus. Sujungus fotoelektros elementus gaunamas fotoelektros modeliai, kurie toliau jungiami į modulynus, taip siekiant išgauti kuo didesnę saulės elektrinės galią.

Moduliai gali būti jungiami šiais būdais:

- lygiagrečiu;
- nuosekliu.



**14 pav.** Idealių fotoelektros modulių nuoseklus jungimas ir jo charakteristika [14]

Remiantis šiuo modeliu įtampa yra skaičiuojama pagal žemiau nurodytą formulę:

$$U_{FE} = U_{FE1} + U_{FE2}, \text{ kai } I_{FE} > 0, \text{ ir } U_0 = 2U_{01} = 2U_{02}, \text{ kai } I_{FE} = 0. \quad (1.1)$$

Nagrinėjant idealių fotoelektros modulių jungimą keliamos hipotezės, kad :

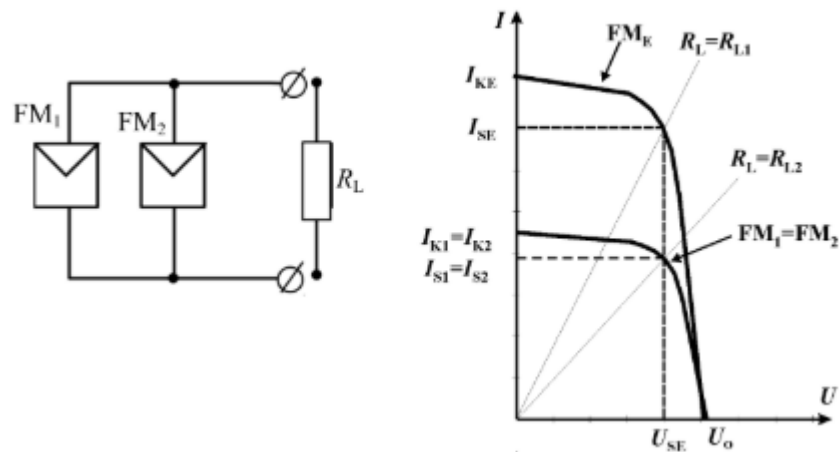
- modulių tuščiosios veikos įtampa yra vienoda -  $U_{01} = U_{02}$ ;
- modulių suderintojo režimo įtampa yra vienoda -  $U_{S1} = U_{S2}$ ;
- modulių trumpojo jungimo srovė yra vienoda -  $I_{K1} = I_{K2}$  [14].

Tačiau, realiomis sąlygomis įtampos ir srovės stiprumas nėra vienodas, kadangi skiriasi tiek pačių fotoelektros elementų gamybos technologijos, tiek ir darbo krūvis dėl oro pokyčių [14].

Kuomet atliekamas lygiagretus jungimas, moduliai gali dirbti suderintu režimu.

Jungiant du identiškus fotoelektros modulius lygiagrečiai, abu gali dirbti suderintuoju režimu ir jungimo srovė bus lygi abiejų modulių suderintojo režimo srovių sumai, o junginio įtampa bus lygi pirmojo arba antrojo modulio įtampai (identiškų modulių suderintojo režimo įtampos vienodos) [14]:

$$I_{SE} = I_{S1} + I_{S2}, \quad U_{SE} = U_{S1} = U_{S2} \quad (1.2)$$



**15 pav.** Idealių fotoelektros modulių lygiagretus jungimas ir jo charakteristika [14]

Atliekant modulyno formavimą, dažniausiai praktikoje yra pasirenkamas nuoseklus jungimo būdas. Todėl, atlikus jungimo būdų analizę, tolimesniai tyrimai yra pasirenkamas taip pat nuoseklus jungimo būdas.

Atlikus fotoelektrinių elementų, akumuliatorių baterijų bei fotoelektrinių elementų modelių jungimo būdų analizę prieita išvadų, jog geriausias pasirinkimas yra:

- ličio jonų akumuliatorių baterija;
- nuoseklus jungimo būdas.

Toliau atliekama Saulės energija varomų transporto priemonių apžvalga, aptariami šiuo metu rinkoje esantys pavyzdžiai, pateikiamos išvalgos ir Saulės energijos panaudojimo galimybės elektromobilyje.

### 1.7. Saulės energija varomos transporto priemonės

Galima teigti, jog Saulės energija, saulės spinduliuotė ir šiluma yra ateitis. Naudojant Saulės energiją yra daroma vis mažesnė įtaka gamtai ir vis mažiau reikalingas yra žmogaus įsikišimas.

Saulės energija varomi automobiliai nuėjo ilgą kelią nuo tada, kai 1883 m. buvo sukurta pirmoji saulės baterija. Teigtina, kad Saulės energija varomi automobiliai naudoja fotoelementus (PV). PV yra saulės elementų komponentai, kurie Saulės energiją paverčia elektra. Jie sudaryti iš puslaidininkių, dažniausiai iš silicio, kurie sugeria šviesą. Saulės šviesos energija išlaisvina elektronus puslaidininkiuose, sukurdamas elektronų srautą. Šis srautas generuoja elektrą, kuri maitina akumuliatorių arba specializuotą automobilio variklį saulės baterijose [25].

Pirmoji transporto priemonė varoma Saulės energija atsirado po 1985 m. įvykusių „Tour de Sol“ lenktynių, kuriose buvo leista krauti transporto priemones kelkraščiuose iš tinklo [26]. 2000 m. pasirodė vieni pirmųjų automobilių su elektros varikliais. Fotelektinės (PV) ląstelės paverčia Saulės energiją tiesiai į elektros energiją.

Tvaraus judumo klausimai sulaukia vis daugiau dėmesio tarp įvairių mokslininkų dėl:

- automobilių sistemų poveikio anglies dioksido gamybai;
- klimato pokyčių;
- iškastinio kuro išekvojimo.

Vis dažniau stengiamasi Saulės energiją naudoti elektriniuose ir hibridiniuose automobiliuose, taip mažėja išlaidos ir didėja fotelektinių plokščių efektyvumas, tačiau vis dar Saulės energijos naudojimas automobiliuose laikoma abejotina tema.

Galima teigti, jog svarbiausi argumentai ieškant naujų asmeninio mobilumo sprendimų yra šie:

- CO<sub>2</sub> prisideda prie šiltnamio efekto, turinčio pavojingą poveikį globaliam atšilimui ir klimato pokyčiams;
- visame pasaulyje sparčiai auga asmeninio judumo poreikis, ypač Kinijoje ir Indijoje; dėl to manoma, kad padidės energijos suvartojimas ir CO<sub>2</sub> išmetimas, susijęs su automobiliais ir transportu;
- iškastinis kuras daugiausia naudojamas automobiliams, yra neatsinaujantis energijos šaltinis, todėl šio šaltinio atsargos ateityje vis labiau mažės; jų kaina vis dar auga;
- pervežimai daro didelį poveikį miesto aplinkos taršai;
- saulės energija yra nemokama ir atsinaujanti [27].

Daugelis automobilių kompanijų stengiasi gaminti Saulės energija varomus automobilius ir keičia automobilių pramonę. Saulės energija varomi automobiliai yra elektriniai automobiliai, kurie naudoja Saulės energiją. Jie naudoja fotelektinius elementus Saulės energijai paversti į elektrą. Šie automobiliai gali kaupti Saulės energiją, be to, gali sklandžiai važiuoti naktį arba nesant tiesioginiams saulės spinduliams. Saulės energija varomi automobiliai ne tik padeda mažinti aplinkos užterštumą, bet ir mažina keliamą triukšmą [30].

Šiuo metu bandoma daug Saulės energija varomų automobilių prototipų. Kuriant hibridinius Saulės energijos automobilius, dalyvauja daug monopolinių įmonių ir tik dalis startuolių. Remiantis

statistika, tikėtina, kad Saulės energija varomų automobilių rinka iki 2021 m. sudarys 1 milijardą JAV dolerių. Automobilių įmonės jau kuris laikas gamina saulės baterijų komplektus. Šie rinkiniai gali padėti automobiliams nuvažiuoti didelius atstumus naudojant Saulės energiją.

Pirmasis Saulės energija varomas automobilis buvo pagamintas „General Motors“ ir pristatytas 1955 m. Čikagoje vykusiame suvažiavime. Šis Saulės energija varomas automobilis pagamintas iš mažo „Pooley“ elektros variklio ir 12 seleno fotoelementų. „Pooley“ elektrinis variklis atsakingas už skriemulio, kuris suko galinio rato veleną, pasukimą. Tai – pirmasis elektrinis automobilis [30].

Yra keletas priežasčių, kodėl net pačios pažangiausios automobilių kompanijos nesugebėjo sukurti visiškai Saulės energija varomų automobilių. Pirmą ir svarbiausią priežastį yra pats saulės modulis. Dabartinių komercinių saulės modulių naudingumas yra tik 15 – 20%. Taigi, norint pilnai aprūpinti automobilį energija, automobilio kėbulo plote reikia sutalpinti fotovoltinius modulius. Tačiau tai darant kyla dar dvi problemos – svoris ir kaina. Saulės elementai nėra pigūs. Saulės modulių montavimas į automobilio kėbulą didina automobilio masę. Giedrą dieną žemės paviršius gauna maždaug 1 kW Saulės energijos viename kvadratiname metre. Atsižvelgiant į tai, kad labai efektyvios 4 m<sup>2</sup> PV plokštės gali sugeneruoti maždaug 8 kWh energijos per dieną, tai automobiliui leidžia nuvažiuoti tik apie 40 mylių (64 km). Dėl prastų oro sąlygų, netinkamo plokščių išdėstymo ir nešvarumų nuvažiuojamas atstumas mažėja. Be to, Saulės energija varomi automobiliai nėra „100%“ ekologiški. Pažvelgus į tai, kaip gaminamos baterijos ir saulės elementai, tampa aišku, kad kiekviena transporto priemonė turi savo „anglies pėdsaką“. Atliekami tyrimai siekiant sukurti mažo svorio baterijas ir didelio efektyvumo fotoelementus [28].

Aptariant saulės baterijų naudą automobiliuose, kompanija „Toyota“ atliko tyrimą, kuriame buvo nustatyta, jog hibridinis automobilis su papildomai įmontuotomis saulės baterijomis yra efektyvesnis, nei tik įkraunamas automobilis (rezultatai pateikiami 5 lentelėje). Remiantis Gianfranco Rizzo, Ivan Arsie and Marco Sorrentino teigimu „plug-in“ sistemą turintys automobiliai gali paskatinti „Vehicle to Grid“ (V2G) technologijos plėtrą.

**5 lentelė.** Tyrimo rezultatai [29]

	PRIUS PHV	SOLAR PRIUS PROTOTYPE
Saulės konversijos efektyvumas	22,5 %	daugiau nei 34 %
Išeinamoji galia	180 W	860 W
Nuvažiuojamas atstumas (nuo pilno sustojimo)	1,6 km	44,5 km
Nuvažiuojamas atstumas (krovimosi metu)	n/d	56,3 km

Palyginant gautus rezultatus matoma, jog Saulės energijos naudingumas išauga daugiau nei 10 proc., išeinamoji galia didėja 4 kartus, nuvažiuojamas atstumas nuo visiško sustojimo didėja

daugiau nei 40 km. „Toyota Prius“ neturi galimybės krovimo metu važiuoti, tačiau automobilis su saulės baterijomis krovimo metu gali nuvažiuoti 56,3 km.

Rinkoje pasirodo vis daugiau transporto priemonių prototipų, kuriuose yra naudojama Saulės energija. Galima apžvelgti kelis pavyzdžius:

- „Squad Mobility“ pristatė automobilį, kuris varomas Saulės energija. Automobilis skirtas judėjimui mieste, gali talpinti 2 žmones, maksimalus greitis 45 km/h. Automobilio dizainas kurtas atsižvelgiant į daugelio Europos miestų stilius. Dėl savo sąlyginai mažo dydžio, automobiliai yra kompaktiški. Gamintojo teigimu, per metus šis automobilis gali nuvažiuoti iki 9000 km varomas vien tik Saulės energija;



**16 pav.** „Squad Mobility“ automobilis varomas Saulės energija [33]

- „Light Year“ pristatė pirmąjį automobilį, kuris gamintojo teigimu, gali nuvažiuoti didelį atstumą, varomas tik Saulės energija. Saulės baterijos yra įmontuotos ant automobilio stogo. Gamintojas teigia, jog automobilis gali nuvažiuoti apie 700 km, naudoja 83 Wh/km, per 10 s įsibėgėja nuo 0 iki 100 km/h;
- „Hyundai“ naujasis modelis „Sonata“. Tačiau, tai nėra pilnai tik Saulės energija varomas automobilis. Gamintojo teigimu, apie 30 – 60 % transporto priemonės akumulatoriaus gali būti įkrauta naudojant Saulės energiją. Šis automobilis turi hibridinį variklį, saulės kolektoriai taip pat įmontuoti ant automobilio stogo. Tačiau, automobilis, net ir stovėdamas visą dieną saulėje, generuoja Saulės energijos, kurios nuvažiuoti užtektų tik 3 km;
- „Stella Ersa“ – savarankiškas automobilis, kuris pats važiuoja į vietą, kurioje šviečia saulė, kuomet akumuliatoriuje sukauptas energijos lygis pradeda kristi. Šis automobilis pasižymi „dvikrypčiu įkrovimu“ – galimybė kaupti energiją ir perduoti ją į elektros tinklą ar kitiems automobiliams;



- „Sion“ – hibridinė transporto priemonė, gamintojas „Sono Motors“. Automobilyje yra integruota daugiau nei 240 saulės elementai, todėl automobilis gali savarankiškai važiuoti nedidelius atstumus. Vienu įkrovimu galima nuvažiuoti apie 250 km, o per saulės baterijas automobilis papildomai įkraunamas dar 33 km. Šis automobilis yra parduodamas ir rinkoje, kaina siekia daugiau nei 28 tūkst. Eur;
- „Tesla Cybertruck“ – pirmasis šios kompanijos automobilis, kuriame naudojama Saulės energija. Gamintojo teigimu, saulės baterijų dėka automobilis geba nuvažiuoti 24 km daugiau nei įprastai. Elon Musk teigimu, vidutiniškai žmogus per dieną nuvažiuoja apie 48 km. Tai reiškia, jog maždaug 50 % kelionės gali būti varoma naudojant tik Saulės energiją.



17 pav. „Tesla Cybertruck“ [33]

Apžvelgus rinkoje egzistuojančius Saulės energiją varomų automobilių prototipus, galima paminėti, jog Saulės energija yra jau kuris laikas naudojama Volkswagen „Phaeton“ automobilyje. Tačiau, šiuo atveju nėra siekiama, jog dėl saulės baterijų automobilis gebėtų nuvažiuoti didesni atstumą, kadangi šie automobiliai yra varomi dyzelinu arba benzinu. Saulės baterijos VW „Phaeton“ automobilyje yra įmontuotos stoglangyje. 28 monokristaliniai fotoelektros elementai, generuojantys 37 W galios. Saulės energija yra naudojama vėdinimo sistemoje, taip pat, kuomet automobiliui stovint, pučiant gaivų orą į automobilio vidų. Salono ventiliacija yra aktyvuojama, kuomet automobilis gauna pakankamą kiekį saulės spindulių. Ši oro cirkuliacija yra itin komfortabili vartotojui tiek žiemą, tiek vasarą [34]. 2017 m. „Audi“ taip pat pristatė automobilį, kurioje panoraminiame stoge įmontuoti saulės elementai. Gamintojo teigimu, ateityje visas automobilio stogas bus padengiamas saulės elementais, kurie galėtų perimti neesminių sistemų, tokių kaip – oro kondicionieriaus ar sėdynių šildymo funkcijas [35].

Kinijoje taip pat atliekami bandymai su „intelektuali greitkeliu“ (V2G technologija). Greitkelyje po skaidriu betonu užkasamos saulės baterijos, žemėlapių jutikliai ir elektrinių akumuliatorių pakrovėjai. Fotoelektriniais elementais sukuriama pakankamai elektros energijos

užtenka greitkelio apšvietimui ir net 800 namų apšvietimui. Tai leidžia teigti, jog pasaulyje Saulės energijos panaudojimo klausimas yra itin aktualus [29].

Galima išskirti pagrindinius saulės baterijų automobiliuose trūkumus:

- intensyviausia apšvieta nustatoma saulėtos dienos vidurdienį (debesuotomis dienomis jos būna mažiau);
- sąlyginai brangus įrengimas;
- brangios baterijos reikalingos Saulės energijai kaupti;
- saulės elementai nepasižymi aukštu efektyvumo procentu, o plotas, kurį užima kolektoriai yra gan didelis. [31]

Automobilių pramonės mokslininkai vis dažniau atkreipia dėmesį į efektyvesnių saulės baterijos varomų automobilių pasiūlos didinimą. Deja, šiuo metu Saulės energija varomi automobiliai vis dar nėra tinkami kasdieniam naudojimui. Didžiausi automobilių pramonės gamintojai ieško efektyvesnių saulės elementų ir akumuliatorių technologijos – akumuliatoriai tampa lengvesni ir geba kaupti daugiau energijos. Kuomet prasidėjo „pasaulinis saulės iššūkis“ (1987 m.), vidutinis Saulės energija varomo automobilio greitis buvo 67 km/h, tuo tarpu 2007 m. vidutinis greitis jau siekė 91 km/h [31].

Atlikus literatūros analizę, galima pastebėti, jog Saulės energijos panaudojimas automobiliuose nėra itin paplitęs. Sekančioje darbo dalyje aprašoma tyrimui naudojama įranga, jos specifikacijos. Taip pat sudaroma principinė schema, kurioje matomas įrangos jungimo būdas. Pasirenkamas ir pagrindžiamas fotoelektros elementų pasirinkimas, aprašomos tyrimui atlikti reikalingos formulės.

## 2. PRAKTINIS SAULĖS ENERGIJOS BATERIJOS PANAUDOJIMAS

### 2.1. Įrangos parinkimas

Praktinis tyrimas, naudojant fotovoltinius elementus atliekamas kovo – gegužės mėnesiais. Matavimų laikas 8 – 17 val. Modeliuojama situacija – žmogus atvažiavęs į darbą palieka automobilį aikštelėje visai dienai. Minėtu laikotarpiu atliekami matavimai. Tyrimui naudojama ši įranga:



18 pav. Tyrimui naudota įranga

A – saulės kolektorius;

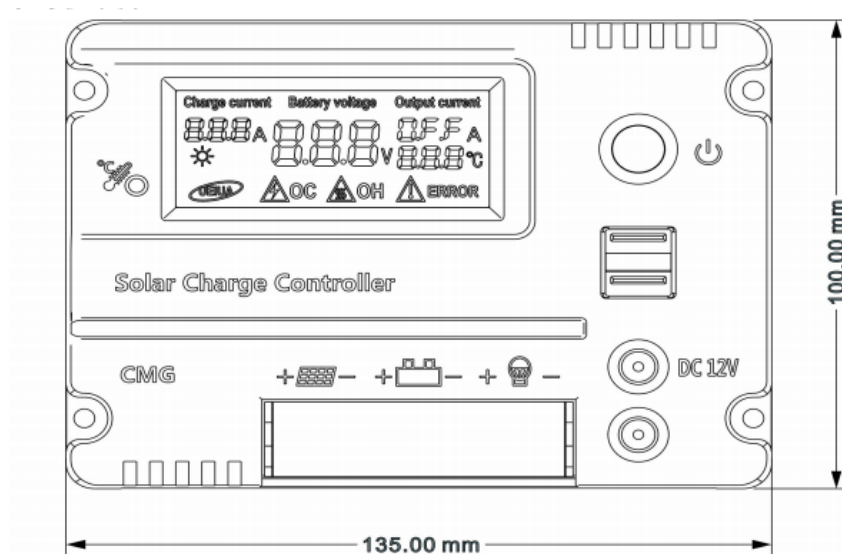
B – krovimo kontroleris;

C – jungiamieji laidai.

**6 lentelė.** Saulės baterijos specifikacija (sudaryta autoriaus)

Nominali galia (Spec)	100 W
Apšvita, esant 25°C	1000W/m <sup>3</sup> AM1.5 25 °C
Maksimali galia (Pmax)	100 W
Maksimali įtampa esant maksimaliai galiai (Vmax)	17.3 V
Maksimali srovė esant maksimaliai galiai (Ipm)	5.78 A
Atviros grandinės įtampa (Voc)	21.6 V
Užtrumpintos grandinės srovė (Isc)	6.17 A

Apžvelgiamas tyrimui atlikti naudojamas kontroleris, jo matmenys bei specifikacijos (žr. 19 pav.; 7 lentelė).



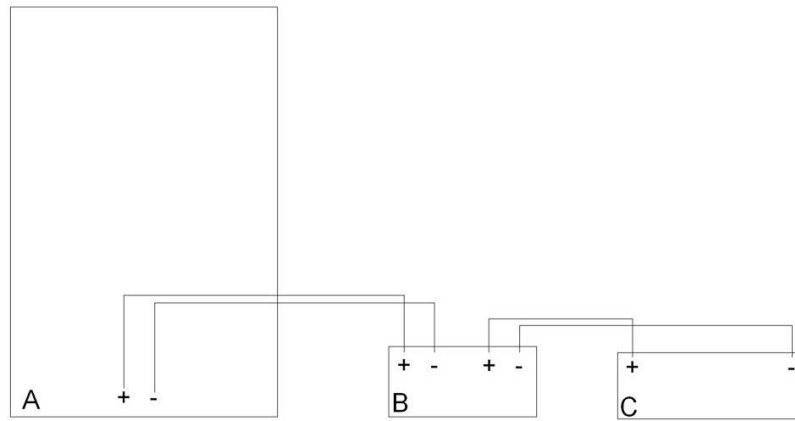
19 pav. Kontroleris bei jo matmenys

Pateikiamos kontrolerio specifikacijos (žr. 7 lentelė).

7 lentelė. Kontrolerio specifikacija

Pavadinimas/Modelis	CMG Solar Charge Controller/CMG-2410
Vardinė krovimo srovė	10 A
Vardinė iškrovimo srovė	10 A
Nuolatinė srovės įtampa	12/24 V
Perkrovos ir trumpojo jungimo apsauga	1,5x10A
Nuostoliai (be apkrovos)	0,05 W
Darbinės temperatūros diapazonas	-35°C÷55°C

Atliekant literatūros analizę pastebėta, jog praktikoje, formuojant modulyną, dažniausiai yra naudojamas nuoseklus jungimo būdas. Dėl šios priežasties, ir šio tyrimo metu įranga sujungiama nuosekliu būdu (nuoseklaus jungimo principinė schema pavaizduota 20 pav.).



**20 pav.** Nuoseklaus jungimo schema

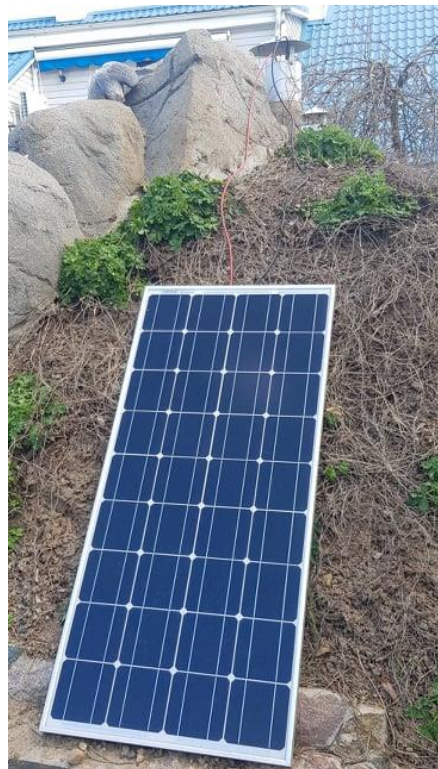
**A** – saulės baterija;

**B** – krovimo reguliatorius;

**C** – akumuliatorių baterija.

Nuoseklus jungimas pasirinktas, kadangi šis jungimas paprastesnis ir jungiant šiuo būdu įtampa pasidalina po lygiai į visas grandinės dalis. Išskiriant pagrindinius šio jungimo trūkumus, galima pastebėti, jog perdegus ar atsijungus vienam komponentui nustoja veikti visi.

Pagal sudaryta principinę nuoseklaus jungimo schema, yra sujungiama tyrimui naudojama įranga.



**21 pav.** Nuosekliu jungimo būdų sujungta įranga (saulės elementas)



**22 pav.** Nuosekliu jungimo būdų sujungta įranga

Galima apžvelgti akumuliatorių baterijos specifikacijas (žr. 8 lentelė).

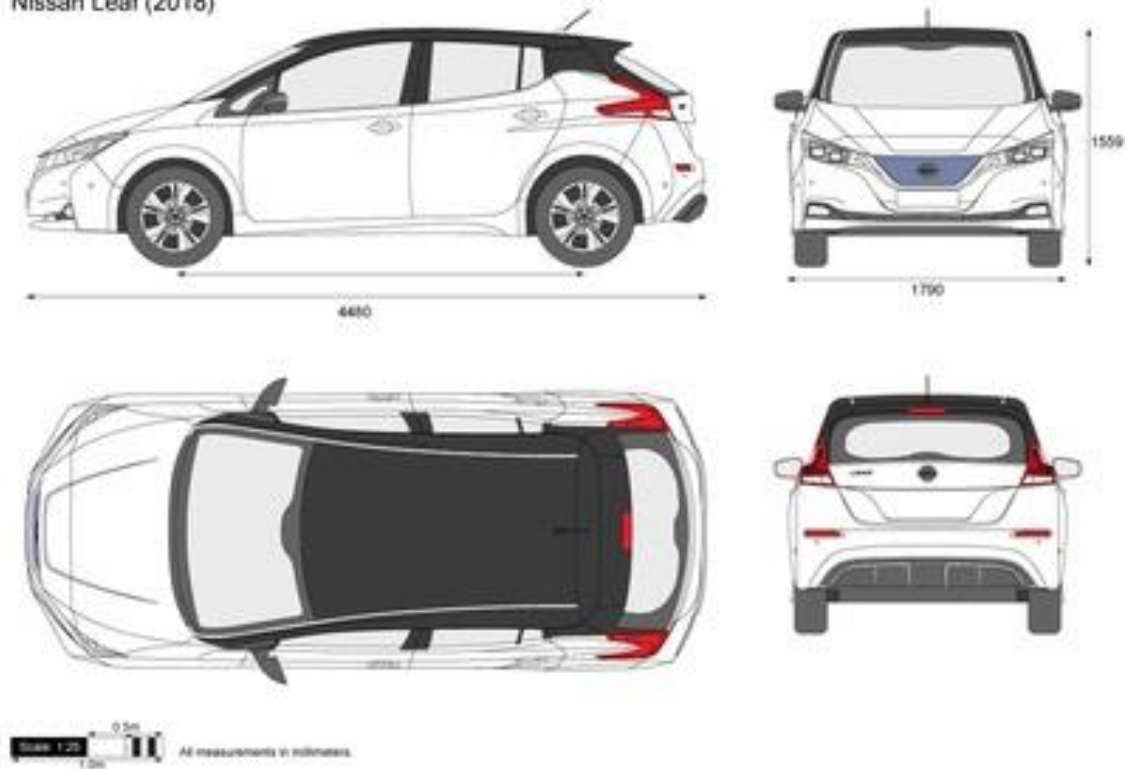
**8 lentelė.** Akumuliatorių baterijos specifikacijos (sudaryta autoriaus)

Galia	12 V
Talpa	7.2 Ah
Baterijos tipas	Švino-rūgštinis

Visi tolimesni bandymai ir skaičiavimai yra atliekami naudojant „Nissan Leaf“ duomenis, kadangi, tai yra vienas populiariausių elektromobilių bei „Nissan Leaf“ išsiskiria didžiausiomis energijos sąnaudomis. Dėl didžiausių energijos sąnaudų skaičiavimų rezultatai pesimistiškiausi – nuvažiuojamas atstumas mažiausias, energijos sąnaudos – didžiausios.



Nissan Leaf (2018)



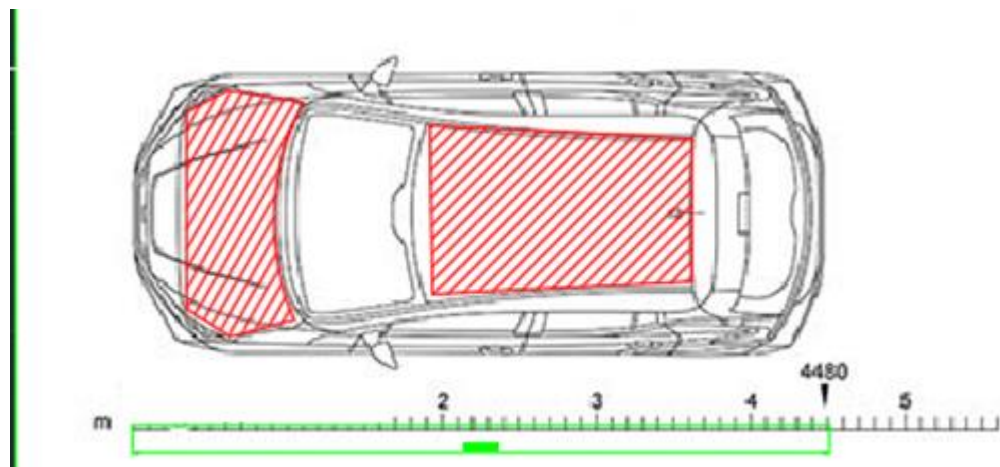
23 pav. „Nissan Leaf“ automobilis

Pateikiami automobilio duomenys, reikalingi skaičiavimų atlikimui (žr. 9 lentelė).

9 lentelė. „Nissan Leaf“ techniniai duomenys

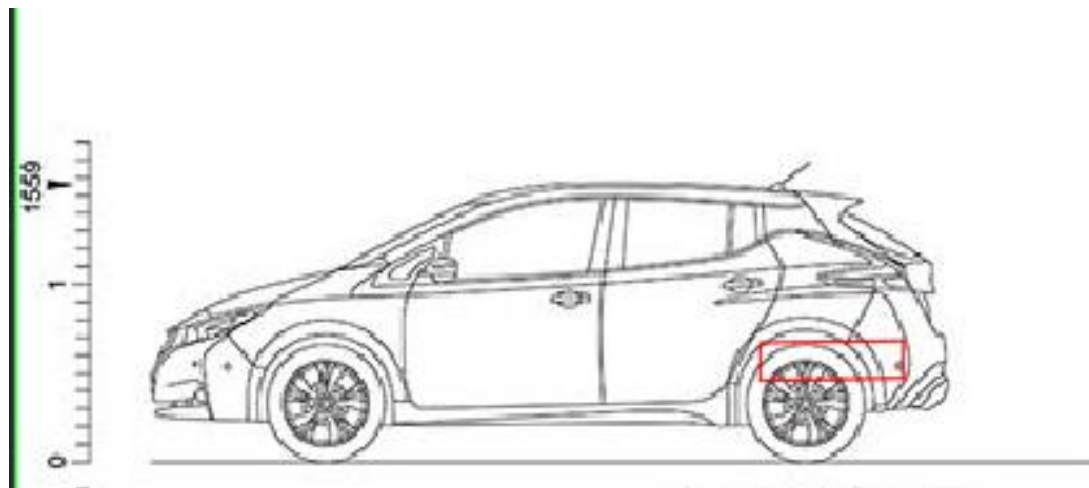
<b>Ilgis</b>	4480 mm
<b>Plotis</b>	1790 mm
<b>Aukštis</b>	1540 mm
<b>Masė</b>	1591 kg
<b>Aerodinaminis koeficientas (<math>C_x</math>)</b>	0,28

Pavaizduojama galima baterijų montavimo vieta automobilyje (žr. 24 pav.)



24 pav. Baterijų montavimo vieta

Saulės elementų montavimo vieta pasirinkta – automobilio stogas ir variklio dangtis. Pagrindžiant tokių vietų pasirinkimą, galima teigti, jog schemeje pavaizduotos vietos saulės kolektoriams yra ergonomiškiausios – patogus montavimas, išnaudojant tuščią plotą.



**25 pav.** Papildomos įrangos montavimo vieta

Papildoma įranga montuojama išnaudojant bagažinės dugną, kadangi dažniausiai elektromobiliuose padaryta prieiga aptarnauti baterijas – lengviausia prieiti norint įrengti/taisyti.

Apžvelgus naudojamą įrangą, jos specifikaciją, taip pat grafiškai pavaizdavus baterijų ir papildomos įrangos montavimo vietas, toliau galima aprašyti formules, kurios bus naudojamos tyriamojoje darbo dalyje.

## **2.2. Skaičiavimo metodika**

Atliekant matavimus ir gautus rezultatus pateikiant 3-oje darbo dalyje reikalingi įvairūs skaičiavimai – pradedant galios apskaičiavimu, kuris leis išsiaiškinti – kokį kiekį Saulės energijos generuoja saulės elementas, baigiant sąnaudų pokyčio skaičiavimu, įvertinant masės pokytį. Išvardintiems skaičiavimams naudojamos žemiau pateiktos formulės, taip pat pritaikius pateiktas formules gaunami papildomi duomenys, leidžiantys formuluoti darbo išvadas ir įvertinti saulės baterijų efektyvumą elektromobiliuose.

Norint įvertinti saulės elemento generuojamą galią, visų pirmą reikia turėti šiuos parametrus:

1. Srovę  $I$  [A];
2. Įtampą  $U$  [V].



### ***Galios apskaičiavimo formulė:***

$$P = U * I \quad (2.1)$$

Siekiant apskaičiuoti generuojamą saulės elemento galią ant automobilio reikalingi šie parametrai:

1. Automobilio stogo plotas  $A_{stogo}$ ;
2. Variklio dangčio plotas  $A_{variklio}$ ;
3. Elemento plotas  $A_{elemento}$ .

22 paveiksle pažymėtas plotas randamas „AutoCad“ programos pagalba, įvertinant mastelį, kuris yra 1:0,2019.

Automobilio stogo plotas – 1,68 m<sup>2</sup>, variklio dangčio plotas – 0,91 m<sup>2</sup>. Saulės baterijos elemento matmenys – 125x125 mm.

### ***Elemento ploto apskaičiavimo formulė:***

$$A_{elemento} = a^2 \quad (2.2)$$

Gautas elemento plotas yra 0,016 m<sup>2</sup>.

Naudojantis gautais plotais yra apskaičiuojamas išdėliojamų celių kiekis ant automobilio variklio dangčio ir stogo (įvertinant reikalingus tarpus tarp celių).

Gaunamas ***celių kiekis*** yra skaičiuojamas pagal šią formulę:

$$Celių\ kiekis = \frac{(A_{stogo} + A_{variklio})}{A_{elemento}} \quad (2.3)$$

Apskaičiavus generuojamą saulės elemento galią bei išdėliojamų celių kiekį ant automobilio, įvertinama generuojama galia ant automobilio.

Saulės kolektoriuje telpa 36 vnt. celių. Išskaičiuojama 1 celės generuojama galia. Gauta galia dauginama iš išdėliojamų celių kiekio ant automobilio ir gaunama generuojama galia ant automobilio.

***Galimas nuvažiuoti atstumas*** skaičiuojamas remiantis WLTP metodika nustatytais deklaruojamomis energijos sąnaudomis bei apskaičiuotu energijos kiekiu, kWh.

$$S = \frac{\text{generuojamas energijos kiekis}}{\text{energijos sąnaudos}} \quad (2.4)$$

Tolimesniems skaičiavimams, norint įvertinti sąnaudų kiekio pokytį dėl padidėjusios masės naudojamos šios formulės:

Midelio plotas naudojamas apskaičiuoti oro pasipriešinimo jėgą:

$$\text{Midelio plotas } A = b * h * 0,8; \quad (2.5)$$

$b$  – automobilio plotis;  $h$  – automobilio aukštis; 0,8 – kėbulo užapvalinimo įvertinimas

$$\text{Pagreitis } a = \frac{v-v_0}{t}; v - \text{galinis greitis, } v_0 - \text{pradinis greitis; } t - \text{laikas} \quad (2.3)$$

Norint sužinoti suminę jėgą reikia apskaičiuoti šiuo parametrus:

$$\text{Riedėjimo pasipriešinimo koeficientas priklausantis nuo greičio } f_a = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v^2}{1800}\right);$$

$$f_0 - \text{pradinis riedėjimo pasipriešinimo koeficientas, } v - \text{greitis} \quad (2.6)$$

$$\text{Riedėjimo pasipriešinimo jėga } F_{ried} = m \cdot g \cdot f_a \cdot \cos \alpha;$$

$m$  – masė,  $g$  – laisvojo kritimo pagreitis,  $f_a$  –

$$\text{riedėjimo pasipriešinimo koeficientas, } \cos \alpha - \text{posvyrio kampas} \quad (2.7)$$

$$\text{Oro pasipriešinimo jėga } F_{oro} = \frac{c_x \cdot A \cdot \rho \cdot v^2}{2};$$

$$c_x - \text{aerodinaminis koeficientas, } A - \text{midelio plotas, } \rho - \text{oro tankis, } v - \text{greitis} \quad (2.8)$$

$$\text{Inercijos jėga } F_{in} = m \cdot a; m - \text{masė, } a - \text{pagreitis} \quad (2.9)$$

Apskaičiavus  $F_{ried}$ ;  $F_{oro}$ ;  $F_{in}$  skaičiuojama suminė jėga, kuri bus naudojama galios skaičiavimui:

$$\text{Suminė jėga } F_{sum} = F_{ried} + F_{oro} + F_{in};$$

$F_{ried}$  – riedėjimo pasipriešinimo jėga,  $F_{oro}$  –

$$\text{oro pasipriešinimo jėga (aerodinaminė), } F_{in} - \text{inercijos jėga} \quad (2.10)$$

$$\text{Galia } N = F_{sum} \cdot v; F_{sum} - \text{suminė jėga, } v - \text{greitis} \quad (2.11)$$

Energijos skaičiavimui naudojama galia, apskaičiuota naudojant 2.1 formulę:

$$\text{Energija } E = \frac{N}{3600}; N - \text{galia, gauta sekunde, padalinus iš 3600 gaunama kWh} \quad (2.12)$$

### 3. ATLIKTO TYRIMO REZULTATAI

#### 3.1. Generuojamos galios matavimų rezultatai kovo – gegužės mėnesiais

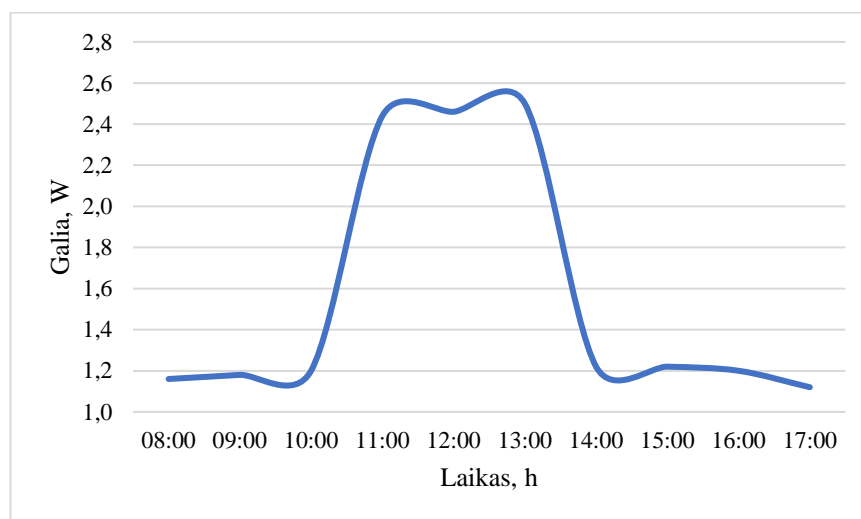
Naudojant 2 darbo dalyje aprašytą ir vizualiai pateiktą įrangą atliekami matavimai. Matavimų rezultatai suvedami, atliekami skaičiavimai bei formuojamos išvados, atsakant į darbo tikslą – ištirti saulės elementų panaudojimo elektromobiliuose efektyvumą Lietuvos sąlygomis.

Kaip ir minėta, naudojant monokristalinius saulės elementų modulį ir atliekant matavimus dienomis nuo 8 val. iki 17 val. siekiama išsiaiškinti – kiek galios gali generuoti saulės baterijos automobiliui stovint (pavyzdžiui – atvykus į darbo vietą).

Pateikti rezultatai apskaičiuojami keliant hipotezę, jog sąlygos yra idealios – nevertinami elektriniai nuostoliai, oro pasipriešinimo pokytis dėl saulės elementų montavimo.

Naudojant 2 darbo dalyje pateiktą galios formulę (2.16), išmatavus įtampą (V) ir srovės stiprį (A) gauta galia (W).

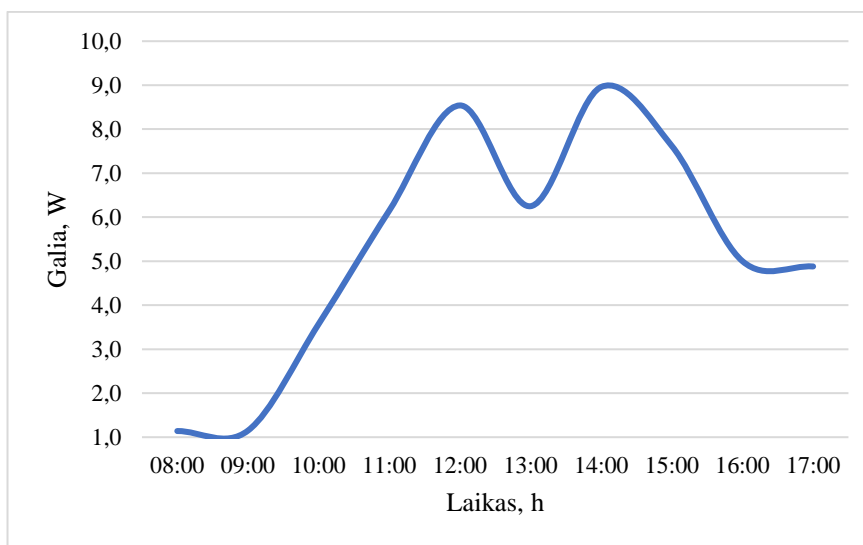
Atliktų matavimo rezultatai pateikti paveiksluose. Galima atlikti rezultatų analizę (žr. 26 pav.).



26 pav. Matavimų rezultatai kovo 7 d.

Matavimai atlikti kovo 7 dieną. Oro temperatūros vidurkis +4°C, diena apsiniaukusi, daugiausia lietus. Šio matavimo metu siekta išsiaiškinti – kokią įtaką generuojamam galios kiekiui turi nepalankios oro sąlygos ir dar neatėjęs pavasario lygiadienis. Matavimų metu srovės stiprio svyravimai menki – 0,1 – 0,2 A. Generuojama galia svyruoja tarp 1,12 – 2,5 W. Matavimų galios vidurkis tik 1,6 W. Kaip galima pastebėti 8-10 val. generuojama galia svyruoja apie 1,1 – 1,2 W per valandą. Nuo 10 val. matomas staigus generuojamos galios išaugimas, kadangi, kaip ir minėta

teorinėje darbo dalyje, vidurdienio metu saulės apšvieta yra pati intensyviausia. Galima matyti, jog 11 – 13 val. metu generuojama galia pasiekia šios dienos matavimo maksimumą ir siekia 2,5 – 2,6 W. Generuojama galia 14 val. pasiekia 10 val. ryto galią ir likusias matavimų valandas išlieka tame pačiame lygyje. Kaip galima matyti 1 priede, tiek įtampos, tiek ir srovės stiprio pokyčiai šios dienos matavimuose – menki. Tačiau, būtina paminėti, jog oro sąlygos matavimų metų itin nepalankios, taip pat – matavimai atlikti pirmomis pavasario dienomis, kuomet iki pavasario lygiadienio yra likę 13 – 14 dienų. Tai leidžia teigti, jog gerėjant oro sąlygos ir pavasario – vasaros laikotarpiu generuojamos galios kiekis turėtų būti ženkliai didesnis.



**27 pav.** Matavimų rezultatai, kovo 8 d.

Matavimų diena – kovo 8 diena. Šio matavimo metu tiriama – ar geresnės oro sąlygos turi didelę įtaką generuojamam galios kiekiui. Matavimų metu oro temperatūra panaši kaip ir kovo 7 dieną. Tačiau – nelyja. Išlieka didelis debesuotumas. Pastebimas srovės stiprio išaugimas, šią dieną svyravimai – 0,1 – 0,7 A. Generuojamos galios svyravimai 1,1 – 9,0 W. Pastebimas matavimų galios vidurkio išaugimas, iki 5,3 W (žr. 2 priedas). 1-o ir 2-o matavimo palyginimus galima matyti 10 lentelėje.

**10 lentelė.** 2 matavimų palyginimas (sudaryta autoriaus)

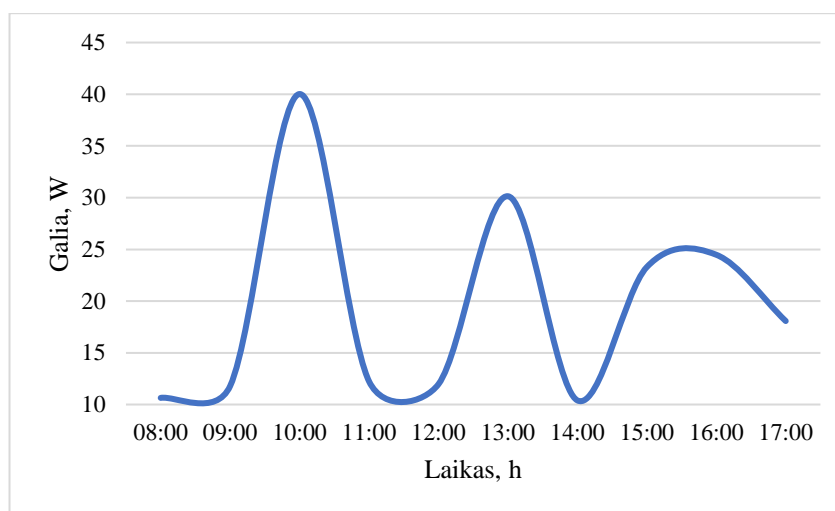
Matavimų diena	Srovė	Įtampa	Galia
Kovo 7 d.	0,1 – 0,2 A	11,2 – 12,5 V	1,12 – 2,5 W
Kovo 8 d.	0,1 – 0,7 A	11,4 – 12,8 V	1,1 – 9 W

Nors įtampos pokyčiai 1-o ir 2-o matavimo metu nėra itin skirtingi, tačiau, generuojama galia išauga daugiau nei 3 kartus, kadangi srovės stipris 2-o matavimo metu yra 0,5 A didesnis nei 1-o matavimo metu. Šie matavimai, atlikti kelias dienas iš eilės, tik skirtingomis oro sąlygomis leidžia

teigti, jog pakitusios oro sąlygos – sumažėjęs kritulių kiekis generuojama galios kiekį leidžia padidinti daugiau nei 3 kartus.

Tarp pirmųjų ir tolimesnių matavimų – daugiau nei mėnesio tarpas. Šį laikotarpį atliekami matavimai neturėjo didelių nuokrypių nuo kovo 7 d. ir kovo 8 d. matavimų, kadangi remiantis Lietuvos hidrometeorologijos duomenimis, vidutinė kovo mėnesio temperatūra buvo apie 3°C. Vidutiniškai saulė švietė beveik 180 val. Tačiau, Šiaurės rytų Lietuvoje saulės švietimo laikas trumpiausias 160 – 170 val. Balandžio mėnesio vidutinė temperatūra didesnė daugiau nei 2 kartus ir siekia 6,5°C, tačiau saulės švietimo laikas išauga daugiau nei 26 % ir balandžio mėnesį vidutiniškai saulė švietė 242 val.

Balandžio mėnesiais atlikti matavimai fiksavo itin nepastovią srovę – dienos eigoje srovė dažnai kisdavo dėl debesuotumo (žr. 3 priedas).

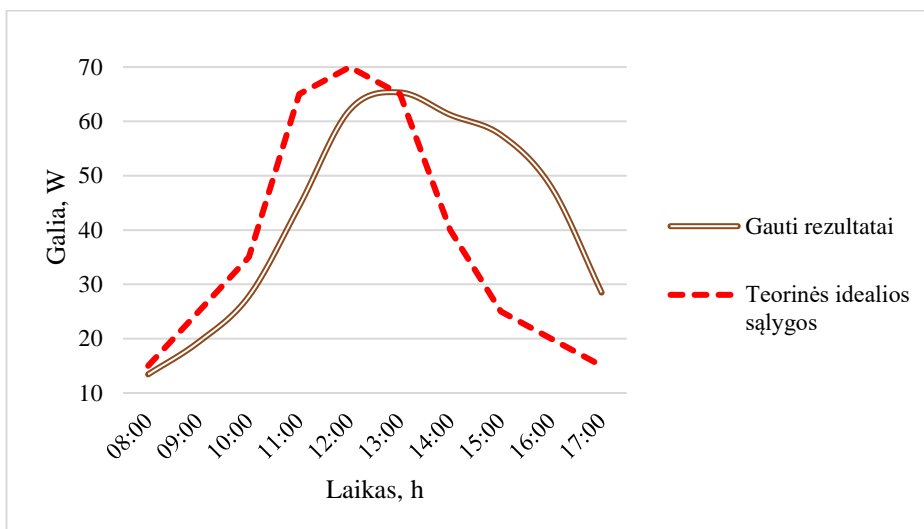


**28 pav.** Balandžio mėnesio matavimo rezultatai

Balandžio 19 dienos matavimai pateikti 26 paveiksle. Oro temperatūros svyravimai 6 – 8°C. Šio matavimo metu pastebimi itin aukštas srovės stipris – svyravimai tarp 0,8 – 2,9 A. Viso matavimo metu diena buvo itin saulėta, tačiau, debesuotumas taip pat gan aukštas. Dėl šios priežasties matomi generuojamos galios svyravimai. 1-ą ir 3-ą matavimą skiria daugiau nei 1 mėn. laiko tarpas. Galima pastebėti, jog pirmo matavimo metu generuojama galia siekė maksimaliai 2,5 W, paskutinio matavimo metu 8-9 val., 11-12 val. bei 14 val. buvo gautos minimalios galios reikšmės, kurios siekė 10 – 11 W. Galima teigti, jog keičiantis metų laikams, keičiasi ir saulės apšvieta, kuri nagrinėta 1 šio darbo skyriuje, todėl ir atsiranda dideli skirtumai tarp srovės stiprio (lyginant 1-ą ir 3-ą matavimą, skirtumas tarp maksimalios generuojamos galios reikšmės yra net 16 kartų).

Gegužės mėnesio matavimai leidžia teigti, jog kuo arčiau vasaros saulėgrįža, tuo saulė yra aukščiau ir apšvietos kiekis didesnis. Atliktas paskutinis matavimas, kurio rezultatus galima laikyti

idealiais – grafiškai pateikti rezultatai atitinka 1 darbo skyriuje nagrinėtą Saulės energijos kiekį pagal paros laiką (žr. 29 pav.).



**29 pav.** Gegužės mėnesio matavimo rezultatų palyginimas su idealiomis sąlygomis

Paskutiniai matavimai atlikti gegužės 3 dieną. Oro temperatūra 12 – 15°C. Visą matavimų laiką didelė saulės apšvieta. Galima pastebėti, jog 8 val. ryto, kuomet pradedami matavimai, generuojamos galios kiekis siekė 13,4 W, kadangi srovės stipris itin didelis ir siekia 1,2 A (žr. 4 priedas). Skirtumas tarp gautos minimalios ir maksimalios galios daugiau nei 51 W. Šių matavimų dieną stebimas itin stiprus srovės srautas (žr. 11 lentelė).

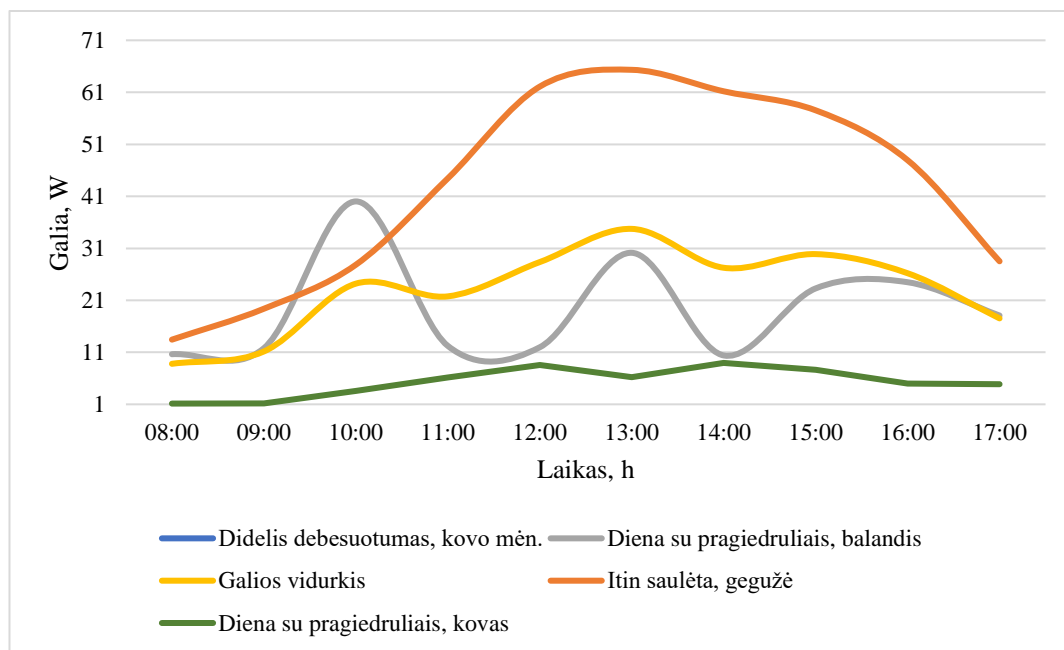
**11 lentelė.** Gauti matavimų rezultatai (sudaryta autoriaus)

Laikas	Srovė, A	Įtampa, V	Galia, W
08:00	1,2	11,2	13,4
09:00	1,7	11,4	19,4
10:00	2,4	11,6	27,8
11:00	3,5	12,7	44,5
12:00	4,5	13,8	62,1
13:00	4,7	13,9	65,3
14:00	4,5	13,6	61,2
15:00	4,2	13,7	57,5
16:00	3,5	13,7	48,0
17:00	2,5	11,4	28,5

Pastebima, jog maksimalus srovės stipris 4,7 A. Tuo tarpu, atliekant matavimus kovo – balandžio mėnesiais srovės stipris maksimaliai siekė 2,2 A (žr. 1 priedą).

Lyginant gautus gegužės 3 dienos matavimų rezultatus ir teorines idealias sąlygas galima matyti, jog generuojamos galios kiekio pikas yra pasiekiamas 11 – 13 val. Gegužės mėnesio matavimo metu, srovės stipris minėtomis valandomis siekį 3,5 – 4,7 A.

Atlikus kovo – gegužės mėnesių matavimų rezultatų aptarimą, galima palyginti gautus rezultatus tarpusavyje bei apskaičiuoti generuojamos galios vidurkį, remiantis šiais 4 matavimais. Generuojamos galios vidurkio apskaičiavimas leidžia įverti galios vidurkį pagal oro sąlygas bei metų laiką (žr. 30 pav.).

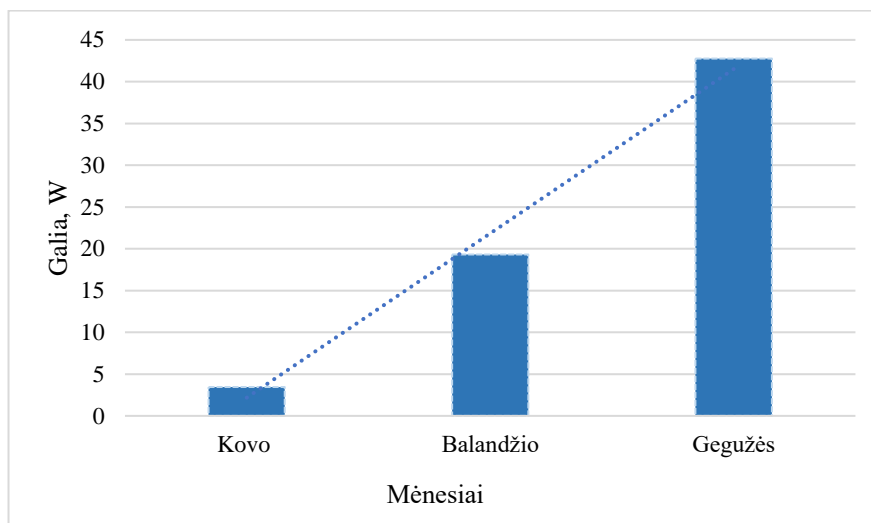


**30 pav.** Gautų rezultatų palyginimas

Kaip galima pastebėti atliekant gautų matavimų palyginimą, galios vidurkis svyruoja tarp 8,79 – 34,74 W. Nors pirmieji matavimai atlikti ne itin palankiomis oro sąlygomis ir generuojamos galios kiekis per valandą maksimaliai siekia 9 W, tačiau, šylant orams ir keičiantis mėnesiams – artėjant vasaros laikotarpiui, generuojamos galios kiekis pradeda augti itin greitu tempu – kovo mėnesį atlikti matavimai parodo, jog per visą dieną galima sugeneruoti vidutiniškai apie 34 W. Tačiau, atlikus matavimus balandžio mėnesį gauta, jog per dieną galima sugeneruoti 193,04 W energijos, o tai yra net 5,5 karto daugiau nei atliekant matavimus kovo mėnesio pradžioje. Gegužės mėnesio matavimo metu gauti rezultatai dar labiau išauga – per visą dieną generuojamas galios kiekis viršija 427 W. Todėl galima teigti, jog šylant orams, gerėjant oro sąlygoms, sugeneruojama energija turėtų dar labiau augti.

Nors, norint įvertinti, kiek galios gali generuoti saulės baterijos automobiliui stovint ilgą laiką, reikia atsižvelgti į sugenerotą galios kiekį per visą matavimų laiką, tačiau, norint geriau suprasti

metų laiko ir oro sąlygų įtaką generuojamam galios kiekiui, galima apžvelgti vidutinį generuojamos galios kiekį skirtingų mėnesių matavimo metu (žr. 31 pav.)



**31 pav.** Generuojamos galios vidurkis kovo – gegužės mėnesiais

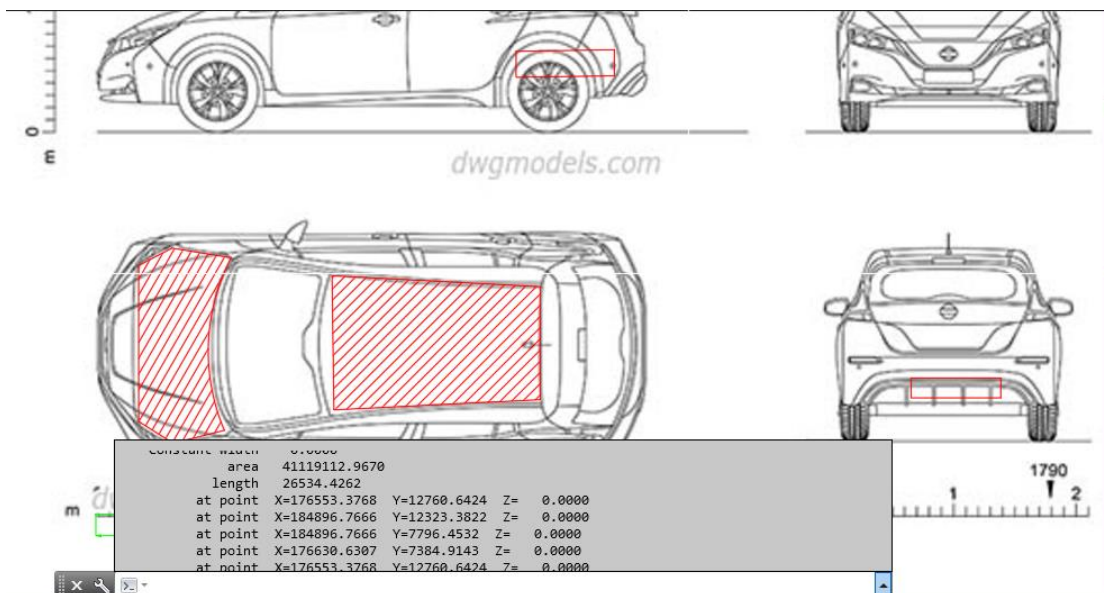
Galima pastebėti, jog skirtumas tarp kovo mėnesio generuojamos galios (per valandą) vidurkio ir gegužės mėnesio daugiau nei 39 W. Teorinėje darbo dalyje teigiama, jog efektyvioji saulės spinduliuotė pastebima gegužės – liepos mėnesiais, todėl teigtina, jog generuojamos galios vidurkis vasaros mėnesiais turėtų ženkliai didėti.

Atlikus gautų matavimų rezultatų analizę galima teigti, jog lyginant kovo ir gegužės mėnesių matavimų rezultatus, gautas 92 % suminės generuojamos galios išaugimas. Dėl šios priežasties yra tikimasi, jog didėjant efektyviajai saulės spinduliuotei saulės baterijos bus pajėgios generuoti daugiau energijos nei šaltuoju metų laiku.

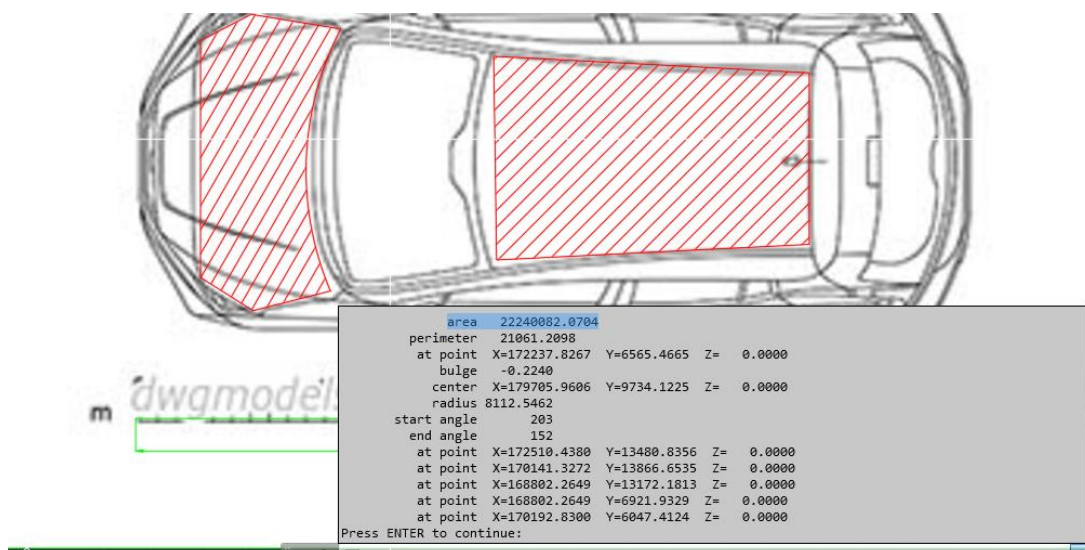
### **3.2. Gautų matavimų rezultatų pritaikymas automobilyje**

Atliekant matavimus celių skaičius visame saulės elemente – 36 vienetai. Daroma prielaida, jog ant pasirinktose montavimo vietose galima sutalpinti didesnę celių skaičių. Šiai prielaidai pagrįsti, atliekanti skaičiavimai, naudojantis „AutoCad“ programa. (žr. 32 pav.).



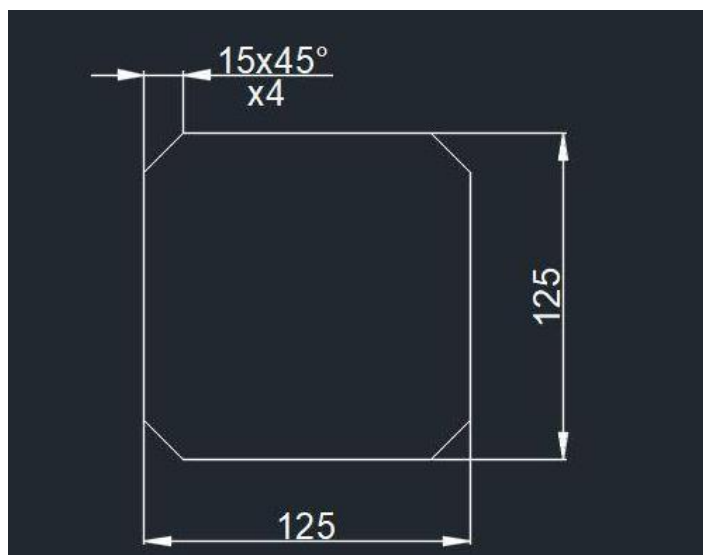


32 pav. Stogo ploto skaičiavimas



33 pav. Variklio dangčio ploto skaičiavimas

Pagal gautus skaičiavimus apskaičiuojamas stogo ir variklio dangčio plotas. Toliau skaičiuojamas elemento plotas (elemento matmenys pavaizduoti 34 pav.).



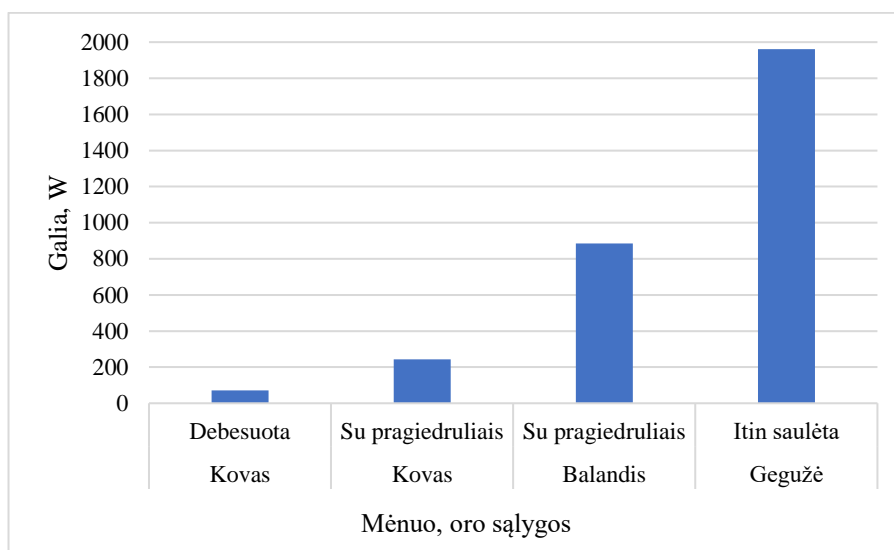
34 pav. „AutoCad“ programa atvaizduota celė (su matmenimis)

Pagal gautus plotus išskaičiuojamas galimas stogo padengimas celėmis ir gaunami 107 vnt. celių, taip pat ir variklio dangčio padengimas – 58 vnt. Taigi, atlikus skaičiavimus gauta, jog pasirinktose celių montavimo vietose, iš viso ant automobilio telpa 165 celės.

12 lentelė. Celių skaičiaus ant automobilio skaičiavimas (sudaryta autoriaus)

<b>Stogas</b>	1,676	m <sup>2</sup>
<b>Variklio dangtis</b>	0,907	
<b>Elemento plotas</b>	0,016	
<b>Stogo padengimas</b>	107	vnt.
<b>Variklio dangčio padengimas</b>	58	
<b>Elementų viso</b>	165	

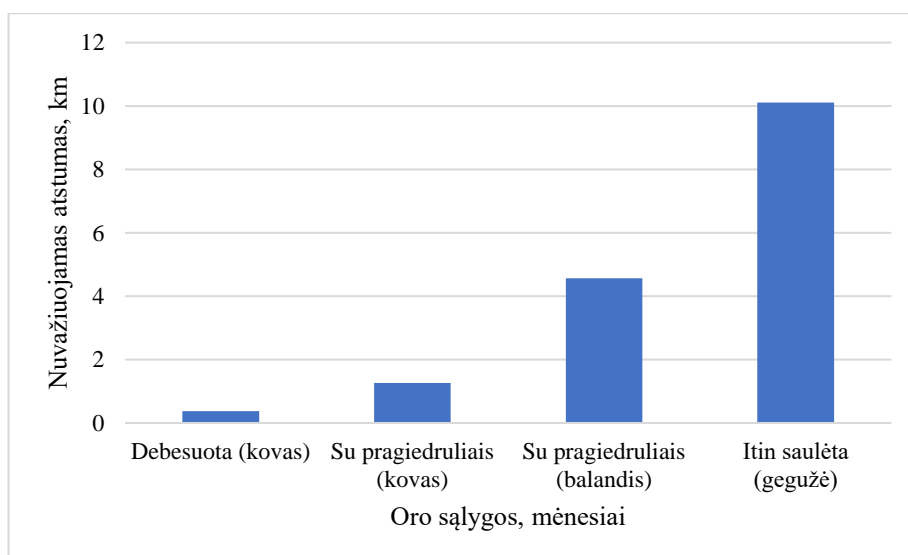
Darant prielaidą, jog per 8 matavimų valandas sukaupta galia yra lygi 8 valandų matavimo sumai, gauta, jog debesuotą dieną (matavimai atlikti kovo mėnesį) generuojama galia ant automobilio yra 71,96 W, tuo tarpu, atliekant matavimus gegužės mėnesį, saulėta dieną gauta, jog generuojama galia yra 1960,43 W. Galima apžvelgti skirtumus generuojamos galios ant automobilio pagal oro sąlygas bei metų laiką (žr. 35 pav.).



**35 pav.** Generuojama galia ant automobilio

Lyginant gautus rezultatus, galima pastebėti, jog generuojama galia itin priklauso nuo oro sąlygų. Skirtumas, tarp generuojamos galios, gautos debesuotu oru (kovo mėnesį) ir itin saulėta dieną (gegužės mėnesį) yra net 27 kartai. Kovo mėnesį generuojamos galios kiekis svyruoja 71,96 – 244,11 W. Tuo tarpu, balandžio mėnesį, nors ir matavimai atlikti panašiomis oro sąlygomis, kaip kovo 8 dieną (diena su pragiedruliais), tačiau generuojamos galios kiekis ant automobilio gautas yra daugiau nei 3,5 karto didesnis ir siekia 884,77 W.

Atlikus generuojamos galios skaičiavimus ir gavus rezultatus, bandoma įvertinti atstumą, kurį galima nuvažiuoti naudojant tik sugeneruotą Saulės energiją (žr. 36 pav.).



**36 pav.** Nuvažiuojamas atstumas, km

Nuvažiuojamo atstumo skaičiavimams naudojami 6 skirtingi elektromobiliai, itin pritaikomi miesto sąlygomis („Hyundai IONIQ Electric“; „Hyundai Kona Electric“; „Kia e-Soul“; „Nissan

Leaf“; „PEUGEOT e-208“; „Volkswagen e-Golf“). Kadangi celių skaičiaus skaičiavimui ant automobilio yra naudojamas „Nissan Leaf“ automobilis, šiuo atveju, skaičiuojant nuvažiuoti galimą atstumą, naudojant Saulės energiją, taip pat naudojamas „Nisaan Leaf“ automobilis. 34 paveiksle pastebima, jog kovo mėnesį nuvažiuojamas atstumas, naudojant tik Saulės energija svyruoja tarp 0,37 – 1,26 km. Tai – itin mažas atstumas, todėl, jei matavimai būtų atliekami tik kovo mėnesį, būtų galima teigti, jog saulės baterijos nėra efektyvios ir pritaikomos elektromobilyje, tačiau, atsižvelgiant į nuvažiuojamo atstumo išaugimą balandžio – gegužės (matoma, jog naudojant tik Saulės energiją, balandžio mėnesį galima nuvažiuoti 4,56 km, gegužės mėnesį – 10,10 km), teigtina, jog saulės baterijų pritaikomumas ir efektyvumas didėja. Verta paminėti, jog gegužės – liepos mėnesiais efektyvioji saulės spinduliuotė pasiekia piką, todėl saulė baterijų panaudojimas elektromobilyje galimai tampa efektyvesnis.

**13 lentelė.** Nuvažiuojamo atstumo vidurkis (6 automobiliai) (sudaryta autoriaus)

	<b>Debesuota (kovas)</b>	<b>Su pragiedruliais (kovas)</b>	<b>Su pragiedruliais (balandis)</b>	<b>Itin saulėta (gegužė)</b>
<b>Nuvažiuojamas atstumas, km</b>				
<b>Vidurkis</b>	0,45	1,53	5,54	12,27

Galimi nuvažiuoti atstumai, naudojant tik Saulės energiją, apskaičiuojami visais 6 atvejais (žr. 5 priedas). Didžiausiu galimu nuvažiuoti atstumu pasižymi „Hyundai IONIQ Electric“ automobilis. Itin saulėta dieną (gegužės mėnuo), automobilis, varomas tik Saulės energija gali nuvažiuoti apie 14,2 km. 12 lentelėje pateiktas nuvažiuojamo atstumo vidurkis, įvertinus visų automobilių galimą nuvažiuoti atstumą, naudojant tik Saulės energiją. Kaip matoma, kovo mėnesio rezultatai yra labai artimi pasirinkto automobilio „Nissan Leaf“ nuvažiuojamam atstumui ir svyruoja 0,45 – 1,53 km tarpe. Atsižvelgiant į 5 priede pateiktą reikalingą energiją kiekį galima pastebėti, jog „Nissan Leaf“ yra reikalingas didžiausias energijos kiekis, kuris siekia 19,4 kWh/100 km. Dėl šios priežasties minėtas automobilis gali nuvažiuoti mažesnę atstumą, nei palyginimui naudojami automobiliai. Reikalingas energijos kiekis 100 km yra apskaičiuotas WLTP organizacijos (angl. Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicle Test Procedure).

Remiantis atliktais skaičiavimais, galima teigti, jog saulės baterijos, ypač šiltuoju metų periodu gali būti gan efektyviai panaudojamos elektromobilyje. Tačiau, papildomos įrangos montavimas gali turėti įtakos sąnaudoms. Jei energijos sąnaudos itin išauga – nuvažiuojamas atstumas, naudojant tik Saulės energiją mažėja. Dėl šios priežasties, atliekami skaičiavimai, bandant nustatyti sąnaudų pokyčius įvertinant padidėjusią masę.

### 3.3. Sąnaudų skaičiavimas, įvertinant masės pokytį

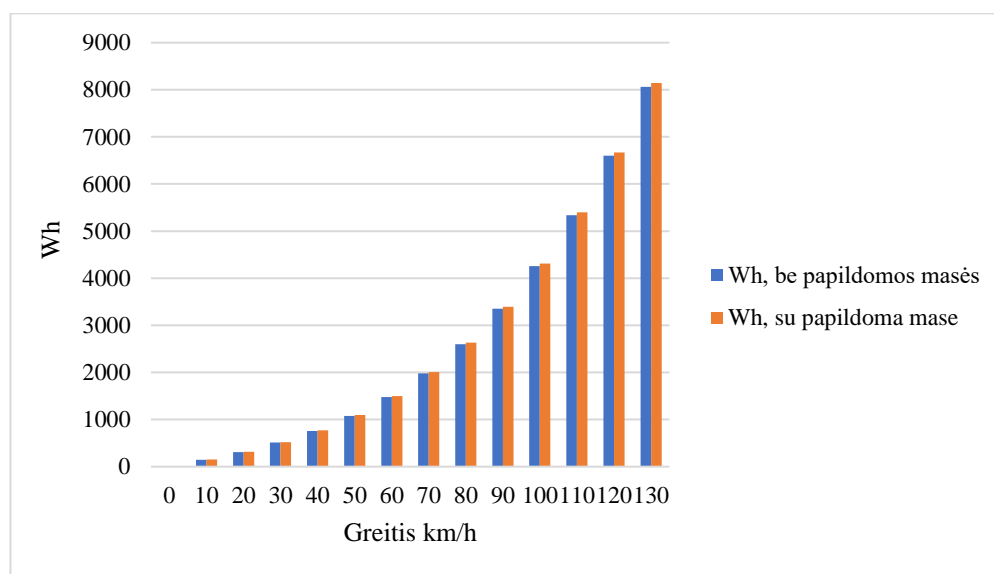
Atliekant tolimesnius skaičiavimus, siekiama palyginti sąnaudų skirtumus, įvertinant padidėjusią masę dėl papildomos įrangos (teigtina, jog papildomos įrangos masės yra 50 kg). Papildoma įranga – saulės elementai, laidynas bei krovimo kontroleris.

Skaičiavimai buvo atlikti 4 skirtingais atvejais:

- be papildomos masės, be pagreičio;
- su papildoma mase, be pagreičio;
- be papildomos masės, su pagreičiu;
- su papildoma mase, su pagreičiu.

Skaičiavimų metu greitis naudojamas nuo 0 iki 130 km/h.

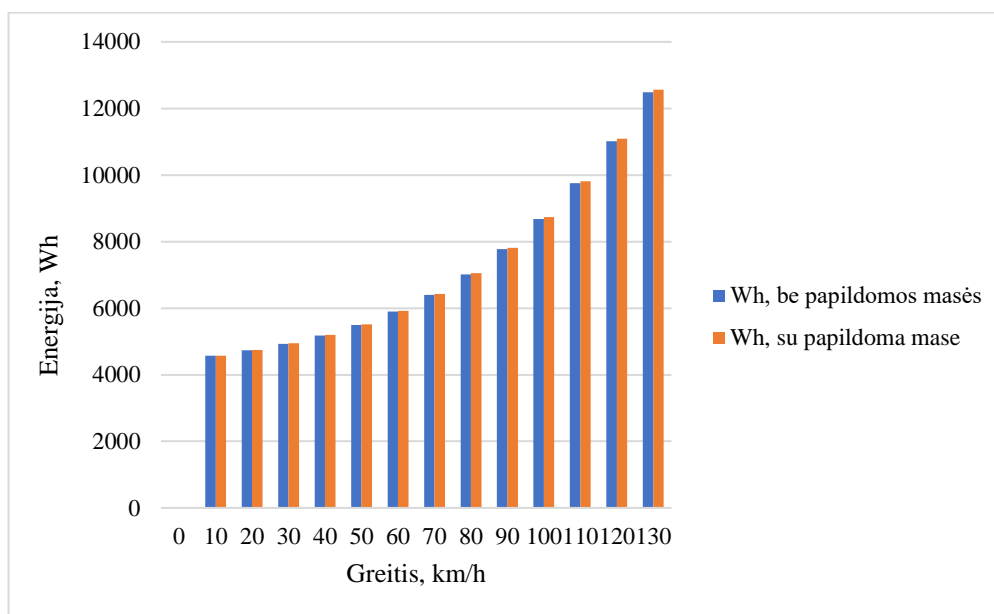
Pirmiausia galima apžvelgti, kaip keičiasi reikalingas energijos kiekis, be pagreičio (žr. 37 pav.). Skaičiavimams naudojama 2.2 darbo skyriuje pateiktas formules.



**37 pav.** Energijos sąnaudų palyginimas automobiliui važiuojant be pagreičio (su papildoma mase ir be)

Galima pastebėti, jog reikalingas energijos kiekis tiesiogiai koreliuoja su greičiu – važiuojant 130 km/h greičiu, reikalingas energijos kiekis siekia 8000 Wh. Nors, nagrinėjant reikalingą energijos kiekį be papildomo svorio ir su, pastebima, jog energijos kiekis išauga minimaliai. Didžiausią įtaką reikalingo energijos kiekio išaugimui turi riedėjimo pasipriešinimo jėgos ( $F_{\text{ried}}$ ) didėjimas dėl padidėjusios automobilio masės. Lyginant reikalingą energijos kiekį be papildomo svorio ir su, pokytis itin menkas – vidutiniškai reikalingas 1,58% didesnis energijos kiekis automobilio masę padidinus 50 kg.

Šiuo atveju, ištyrus, jog be pagreičio reikalingas energijos kiekis išauga nežymiai, naudinga aptarti reikalingos energijos kiekio pokyčius, automobiliui judant su pagreičiu (žr. 38 pav.).



**38 pav.** Energijos sąnaudų palyginimas automobiliui važiuojant su pagreičiu (su papildoma mase ir be)

Analizuojant reikalinga energijos kiekį važiuojant su pagreičiu pastebima, jog masės pokytis taip pat turi minimalią įtaką energijos kiekio išaugimui. Šiuo atveju, važiuojant su pagreičiu, didžiausią įtaką energijos kiekio pokyčiui turi inercijos jėgos pokytis. Automobiliui bėgėjantis iki 60 km/h  $F_{in}$  svyruoja 1146 – 5731 N. Didžiausia inercinė jėga reikalinga norint automobiliui įsibėgėti iki 10 km/h (5731 N). Toliau reikalinga minėta energija pradeda mažėti ir ties maksimaliu greičiu (130 km/h) inercinės jėga yra 440 N. Reikalingas energijos kiekis, automobiliui bėgėjantis 0 – 130 km/h svyruoja tarp 4569 – 12564 Wh.

Atlikus skaičiavimus, pastebima, jog papildomai pridėta masė (50 kg) turi minimalią įtaką sąnaudų pokyčiams (reikalingam energijos kiekiui), tiek automobiliui važiuojant be pagreičio, tiek ir su pagreičiu. Todėl galima teigti, jog saulės baterijų montavimas automobilyje turės itin minimalią įtaką nuvažiuojamo atstumo pokyčiui.

#### 4. REZULTATŲ APIBENDRINIMAS IR PALYGINIMAS

Atlikus literatūros analizę galima teigti, jog iškastinio kuro gavimas, nuo 2016 m. turi tendenciją mažėti. Tačiau, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija, nors ir nėra 2008 – 2010 m. lygmenyje, tačiau nuo 2014 m. metų nežymiai didėja, todėl poreikis iškastinį kurą keisti į mažiau taršius energijos šaltinius vis dar išlieka aktualus. Prie atsinaujinančių energijos šaltinių yra priskiriama – vėjo energija, Saulės energija, biokuras, geoterminė bei hidroenergija. Atlikus 2008 – 2018 m. atsinaujinančių energijos šaltinių išgavimo Lietuvoje analizę pastebima, jog plačiausiai yra naudojama vėjo energija. Alternatyvus energijos šaltiniai ir jų naudojimas transporte yra ne naujiena. Dažniausiai rinkoje sutinkami automobiliai varomi elektros energija – turintys hibridinę arba elektrinę pavarą. Elektros variklis lyginant jį su vidaus degimo varikliu (VDV) gali pasiekti 90 – 95 % naudingumo koeficientą bei pasižymi itin maža oro tarša, kadangi į aplinką tiesioginiai teršalai nepatenka. Saulės energijos naudojimas nėra plačiai paplitęs Lietuvoje, tačiau Saulės energija pasižymi keliais privalumais, svarbiausi jų – nereikalingas žmogaus įsikišimas, ilgaamžiškumas. Tačiau, atlikus literatūros analizę galima išskirti pagrindinį Saulės energijos trūkumą – nepastovumas. Dažnu atveju teigiama, jog saulėto laiko kiekis Lietuvoje – itin mažas, tačiau, atlikus saulėtumo nagrinėjimą pastebėta, jog Lietuvoje ir Vokietijoje gaunamas Saulės energijos kiekis beveik nesiskiria, todėl teigtina, jog geografinė zona neturi didelės įtakos Saulės energijos kiekiui. Pagrindinė problema, susijusi su saulėtumu Lietuvoje – debesuotumas. Debesuotumas Lietuvoje siekia 80 %, dėl šios priežasties galimai kyla problemų naudoti Saulės energija automobiliuose. Atliekama Saulės energija varomų transporto priemonių apžvalga. Šiuo metu rinkoje yra itin mažas kiekis automobilių, kurie yra varomi vien Saulės energija. Atliekant literatūros analizę rasti 6 šiuo metu rinkoje egzistuojantys arba artimiausiu metu pasirodantys automobilių modeliai, kurie varomi Saulės energija.

Apžvelgus fotovoltinius elementus, galima teigti, jog šie elementai yra skaidomi į 3 grupes: monokristaliniai, polikristaliniai, amorfinio silicio. Nagrinėjant kiekvieną fotovoltinių elementų rūšį atskirai pastebėta, jog polikristaliniai ir monokristaliniai fotoelementai yra populiariausi ir sudaro daugiau nei 80 % visos rinkos. Polikristaliniai fotoelementai pasižymi mažesniu naudingumo koeficientu nei monokristaliniai. Išsiskiria amorfinio silicio fotoelementai, kadangi jų kainą žemesnė, tačiau šio tipo fotoelementai nėra pritaikyti dideliuose prietaisuose, kurie reikalauja aukšto efektyvumo lygio. Atlikus fotoelektros elementų analizę, apžvelgti akumuliatorių baterijų tipai. Akumuliatorių baterijos gali būti 6 tipų. Labiausiai išsiskiria švino rūgštinis akumuliatoriaus tipas, kadangi šio tipo akumuliatorių baterijos yra pigesnės. Elektromobiliuose dažniausiai naudojamas yra ličio jonų akumuliatorių baterijos tipas, nes pasižymi tobulesne specifikacija – geba savyje kaupti 3

kartus daugiau energijos. Pasirinktą įrangą reikia sujungti. Šiam tikslui atlikti yra nagrinėjami galimi modulių jungimo būdai – lygiagretus arba nuoseklu jungimas. Praktikoje dažniausiai yra naudojamas nuoseklus jungimo būdas.

Norint įvertinti saulės baterijos efektyvumo tyrimą, atliekami bandymai Lietuvos sąlygomis. Daroma prielaida, jog automobilis ilgą laiką stovi vienoje vietoje (pavyzdžiui, atvykus į darbo vietą), todėl matavimai atliekami 8 valandas (nuo 8 val. ryto iki 17 val.). Matavimai atliekami kovo – gegužės mėnesiais. Gauti rezultatai parodo, jog kovo mėnesį generuojamas itin mažas kiekis galios – per visą matavimų dieną generuojama 15,7 – 53,3 W galios. Oro sąlygos turi itin didelę įtaką generuojamos galios kiekiui, kadangi debesuota diena generuojama apie 37 W mažiau galios. Balandžio mėnesio matavimų rezultatai leidžia teigti, jog šylant orams, didėja srovės stipris, todėl generuojamos galios kiekis didėja ir per dieną siekia 193 W. Tačiau, pastebimi dideli srovės stiprio svyravimai dėl debesuotumo. Gegužės mėnesį matavimas atliktas itin saulėtu oru, oro temperatūra siekia 12 – 15 °C. Generuojamos galios kiekis per visą matavimo dieną yra daugiau nei 2,2 karto didesnis nei balandžio mėnesį ir siekia 427,7 W.

Įvertinus, jog ant automobilio stogo ir variklio dangčio galima išdėlioti 165 vienetus celių, gaunama, jog kovo mėnesį nuvažiuojamas atstumas su pasirinktu automobiliu („Nissan Leaf“) siekia 0,371 – 1,26 km. „Nissan Leaf“ automobilis pasirenkamas dėl didžiausio suvartojamo energijos kiekio. Tačiau, atlikus vėlesnių mėnesių matavimus rezultatai gerėja, todėl didėja saulės elemento efektyvumas ir pritaikomumas elektromobilyje. Remiantis balandžio mėnesio matavimais galima teigti, jog srovės svyravimai itin nepastovūs ir siekia 0,8 – 2,9 A, dėl šios priežasties generuojama galia matavimo metu kinta intensyviai. Tačiau, nors ir intensyviai kinta generuojama galia balandžio mėnesį, tačiau, lyginant generuojamos galios per valandą vidurkį kovo – balandžio mėnesiais pastebima, jog ji išauga apie 5 kartus ir siekia beveik 20 W. Atlikus skaičiavimus pastebėta, jog su balandžio mėnesio matavimo metu nustatyta sugeneruota galia automobilis gali nuvažiuoti 4,56 km. Gegužės mėnesį atliktas matavimas leidžia teigti, jog generuojama galia itin išauga. Minimali generuojamos galios reikšmė gegužės mėnesio matavimo metu 13,4 W. Skirtumas tarp minimalios ir maksimalios generuojamos galios šią dieną – daugiau nei 51 W. Šio matavimo metu pastebėta, jog srovės stipris itin aukštas ir 13 val. dienos siekia net 4,7 A. Generuojamos galios per valandą vidurkis gegužės mėnesį siekia daugiau nei 45 W. Bendrai ant automobilio būtų generuojama arti 2000 W itin saulėtu oru, gegužės mėnesi. Skirtumas tarp bendrai ant automobilio generuojamos galios kovo – gegužės mėnesiais siekia 1888,47 W (gegužės mėnesį yra generuojama 96 % daugiau galios nei kovo mėnesį). Nuvažiuojamas atstumas, su gautais gegužės mėnesio duomenimis išauga ir siekia 10,1 km. Tai yra apie 9 km daugiau nei apskaičiuotas atstumas, remiantis kovo mėnesio rezultatais. Taip pat, siekiama įvertinti energijos sąnaudas dėl papildomos masės (teigiama, jog saulės elementai ir



reikalinga papildoma įranga gali pridėti 50 kg). Skaičiavimų metu naudojamas greitis svyruoja 0 – 130 km/h. Šiuo atveju atliktus skaičiavimus 4 skirtingais atvejais, nepastebėti dideli energijos sąnaudų išaugimai.

Lyginant gautus rezultatus su praktikoje randamais panašiais tyrimais, galima teigti, jog su saulės baterijų generuojama energija galima nuvažiuoti ženkliai mažesnę atstumą, nei, pavyzdžiui, „Toyota Solar Prius Prototype“ automobiliu (gamintojo teigimu, šis automobilis, varomas tik Saulės energija gali nuvažiuoti 42,9 km). Taip pat, „Sono Motors“ gamintojas deklaruoja, jog Saulės energijos pagalba automobilis gali įveikti 33 km atstumą. Šie atstumo skirtumai galimai gali būti nulemti saulės elementų efektyvumo skirtumo, celių kiekio (minėtas „Sono Motors“ teigia, jog automobilyje gali būti integruoti net 240 vienetų celių). Galimi įtakos turi klimato sąlygos atliekant nuvažiuoto atstumo bandymus, taip pat, metų laikų skirtumai, kuomet yra atliekamas testavimas.

## IŠVADOS

1. Atlikus Saulės energijos aktualumo analizę pastebima, jog oro taršos problema išlieka itin aktuali, todėl atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas – būtinas. Retas Saulės energijos panaudojimo transporto priemonėse pasirinkimas yra nulemtas netobula technologija ir nepastoviomis klimato sąlygomis Lietuvoje. Nors šiuo metu rinkoje nėra itin plataus elektromobilių, su integruotais saulės elementais, pasirinkimo, tačiau yra kuriama vis daugiau prototipų.
2. Apžvelgus skirtingo tipo fotoelementus, dėl dažniausio naudojimo ir efektyvumo, tyrimui naudoti pasirenkamas monokristalinis fotoelementas. Įranga (saulės elementas, kontroleris, akumuliatorių baterija) sujungiami nuosekliu jungimo būdu, dėl vienodo įtampos pasiskirstymo. Saulės elementai montuojami ant automobilio variklio dangčio bei stogo, kadangi šis plotas yra laisvas. Pagal atliktus skaičiavimus gauta, jog sautomobilio variklio dangčio plotas  $0,907 \text{ m}^2$ , stogo plotas siekia  $1,676 \text{ m}^2$ . Bendras laisvas plotas yra  $2,583 \text{ m}^2$ ;
3. Tyrimai atliekami 3 mėnesius iš eilės, pradedant kovo mėnesiu. Matavimų metu pastebėta, jog debesuotumas turi itin didelę įtaką srovės stiprio svyravimams (balandžio mėnesio matavimo metų srovės stipris svyruoja  $0,8 - 2,9 \text{ A}$ ). Generuojamas galios kiekis tiesiogiai koreliuoja su oro temperatūra bei oro sąlygomis ir metų laiku – kovo mėnesio matavimo metu, kuomet oro debesuotumas itin aukštas, fiksuojama maksimali generuojama galia siekia tik  $2,5 \text{ W}$ . Tuo tarpu, itin saulėtu oru, gegužės mėnesį, maksimali galia yra net 26 kartais didesnė ir siekia  $65,3 \text{ W}$ ;
4. Atlikus skaičiavimus, įvertinant celės bei variklio dangčio ir stogo plotą, apskaičiuojama, jog ant automobilio galima sumontuoti 165 vienetus celių, bendra generuojama galia gegužės mėnesį siekia  $1960,43 \text{ W}$ . Galimas nuvažiuoti atstumas, lyginat kovo – gegužės mėnesius skiriasi  $7,73 \text{ km}$ . Maksimali generuojama galia pasiekta gegužės mėnesį, su generuojama energija, varomas tik Saulės energija automobilis gali nuvažiuoti  $10,1 \text{ km}$ . Atlikus energijos sąnaudų tyrimą, vertinant – ar papildoma masė ( $+50 \text{ kg}$ ) turi įtakos energijos sąnaudoms, nustatyta, jog papildomos masės įtaka energijos sąnaudoms svyruoja tarp  $0,294 - 1,58 \%$ .

## Literatūros sąrašas

1. AMIGUN B., SIGAMONEY R., BLOTTNITZ H. 2008. Commercialization of biofuel industry in Africa: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. No.12, p. 690–711;
2. Informacija apie iškastinį kurą (prieiga internete: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data>)
3. J. Černeckienė, T. Ždankus (2015) „Vėjo energijos panaudojimo šilumos gamybai, taikant hidraulinę sistemą, tyrimas“ ENERGETIKA. T. 61. Nr. 1. P. 32–43© Lietuvos mokslų akademija, 2015; [Prieiga internete: <https://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/energetika/article/view/3094/1921> ];
4. A. Zaurinis (2010) „EKONOMIKOS IR EKOLOGIJOS SANTYKIS“; AKADEMINIO JAUNIMO SIEKIAI: EKONOMIKOS, VADYBOS IR TECHNOLOGIJŲ ĮŽVALGOS. [Prieiga internete: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.8505&rep=rep1&type=pdf#page=5> ];
5. Oro tarša (prieiga internete: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/air-emissions>);
6. Europos Komisija „Baltoji knyga“; (2011); Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas; [Prieiga per internetą: <https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Veikla/Kita%20veikla/COM-2011-0144-FIN-LT-TXT.pdf>  
<http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko.xhtml?oid=13033265&ls=L2VuL21uc3RhbmNIL2tvLn hodG1sP29pZD0xMzAzMzE1MSZyZWxJZD02MDgyMiZmcm9tT2lkPTEzMDMzMTUxJmJvcnRlcnM9dHJ1ZSZyZXN1bHRJbmZvVHlwZUIkPTQwNjI3&rs=0>  
[https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/2016%20m\\_%20Transporto%20rinkos%20ap%C5%BEvalga%20SM%20talpinimui\(2\).pdf](https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/2016%20m_%20Transporto%20rinkos%20ap%C5%BEvalga%20SM%20talpinimui(2).pdf) ];
7. Vidmantas Jankauskas (2004) „Elektros energijos, pagamintos naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, rėmimo būdai“ ; Vilniaus Gedimino technikos universiteto Verslo vadybos fakultetas; [Prieiga internete: [http://www.elibrary.lt/resursai/LMA/Energetika/Ener001\\_011.pdf](http://www.elibrary.lt/resursai/LMA/Energetika/Ener001_011.pdf)];
8. D. Vasarevičius (2011); „Atsinaujinančių šaltinių panaudojimo ir perspektyvų Lietuvoje analizė“; Vilniaus Gedimino technikos universitetas;

9. Atsinaujinančių energijos šaltiniai Lietuvoje (prieiga internete: <https://osp.stat.gov.lt/lietuvos-statistikos-metrastis/lsm-2019/aplinka-ir-energetika/energetika>);
10. A. Kleivienė, E. Perednis (2012); „Saulės energijos paklausos didinimo prielaidos“. energetika. 2012. t. 58. nr. 3. P. 148–157;
11. R. Bužinskienė (2018); „Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo vertinimas“. Šiaulių valstybinė kolegija; ŽEMĖS ŪKIO MOKSLAI. 2018. T. 25. Nr. 1. P. 43–62;
12. Lietuvos energetikos institutas „Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo Lietuvoje patirtis, reikšmė ir siekiai“ 2016;
13. Doc., dr. D. Jasaitis; prof., dr. A. Jukna; dr. V. Valuntaitė (2012) „IŠSORINIO FOTOEFEKTO DĖSNINGUMŲ TYRIMAS“; Projektas „I ir II pakopos studijų modernizavimas medžiagotyros, nano- ir šviesos technologijų proveržio kryptimis (LaMeTech studijos)“ Projekto numeris VP1-2.2-ŠMM-09-V-01-005;
14. Gytis Petrauskas, Vytautas Adomavičius „Saulės energijos naudojimas elektrai gaminti“ (2012). KTU leidykla „Technologija“;
15. „Hybrid Solar Vehicles“; Gianfranco Rizzo, Ivan Arsie and Marco Sorrentino; Department of Mechanical Engineering, University of Salerno; Italy (Prieiga internete: [https://www.researchgate.net/publication/221905597\\_Hybrid\\_Solar\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/221905597_Hybrid_Solar_Vehicles) );
16. „A review on solar energy use in industries“; Saad Mekhilef ;Rahman Saidur; A. Safari;2011 (prieiga internete: [https://www.researchgate.net/publication/233923685\\_A\\_review\\_on\\_solar\\_energy\\_use\\_in\\_industries](https://www.researchgate.net/publication/233923685_A_review_on_solar_energy_use_in_industries) );
17. Visuotinė lietuvių enciklopedija „Lietuvos klimatas“; (prieiga internete: <https://www.vle.lt/Straipsnis/Lietuvos-klimatas-117637> );
18. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba „Saulės spindėjimo trukmė Lietuvoje“ (prieiga internete: <http://www.meteo.lt/lt/saules-spindejimo-trukme> );
19. Design and Development of a Solar/Electric Powered Hybrid Vehicle with Tilt angle Adjustment“; Archana Lakesar, Ashok John; 2018 (prieiga internete: [https://www.researchgate.net/publication/326058684\\_Design\\_and\\_Development\\_of\\_a\\_Solar\\_Electric\\_Powered\\_Hybrid\\_Vehicle\\_with\\_Tilt\\_angle\\_Adjustment](https://www.researchgate.net/publication/326058684_Design_and_Development_of_a_Solar_Electric_Powered_Hybrid_Vehicle_with_Tilt_angle_Adjustment) );
20. Roger A. Messenger, Jerry Ventre (2004); „Photovoltaic systems engineering“; CRC Press LLC;
21. Fotoelektriniai elementai; Baltijos saulės projekai; (prieiga internete: <http://www.bsp.lt/> );
22. Mukund R. Patel, Ph.D., P.E. „Wind and Solar Power Systems“ U.S. Merchant Marine Academy Kings Point, New York;

23. Kęstutis VALANČIUS, Jonas GRIGALIŪNAS „SAULĖS ENERGIJOS PANAUDOJIMO MODERNIZUOJAMUOSE DAUGIABUČIUOSE ANALIZĖ“ (2016). Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva;
24. Lietuvos energetikos institutas „Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo Lietuvoje patirtis, reikšmė ir siekiai“ 2016;
25. CRISTEN CONGER; „How can solar panels power a car?“, [Prieiga internete: <https://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/vehicles/solar-cars1.htm>];
26. Rajeshwari D. G, Sneha A. S „Design and Performance Analysis of Solar Powered Vehicle-Sun Bicycle“ (2017) (prieiga internete: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=8459>);
27. GTAA Meeting, Mulhouse, 26-27 May, (2010); „Solar energy for cars: perspectives, opportunities and problems“, Gianfranco Rizzo, Ivan Arsie, Marco Sorrentino [Prieiga internete: [https://www.hysolarkit.com/Doc/Paper\\_GTAA\\_Mulhouse\\_GRizzo.pdf](https://www.hysolarkit.com/Doc/Paper_GTAA_Mulhouse_GRizzo.pdf)];
28. International Journal for Research in Applied Science & Engineering; Rajeshwari D. G , Sneha A. S; (2017) [Prieiga internete: [https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=8459&fbclid=IwAR011\\_P4G8gksPl\\_tJSG0V89\\_AsvAaRqMIwuk3keoQqiXYyQKQpKSeKJPmeY](https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=8459&fbclid=IwAR011_P4G8gksPl_tJSG0V89_AsvAaRqMIwuk3keoQqiXYyQKQpKSeKJPmeY)];
29. Jie Ma, Kae Inoue, „Toyota Is Trying to Figure Out How to Make a Car Run Forever“ (2019); [Prieiga internete: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-09-12/a-car-running-on-empty-isn-t-impossible-if-toyota-gets-its-way?fbclid=IwAR2CxxEIozQduDuKrt9V87GRvgsA390yt4nZVcGDUvNw1vReo4v84gHFwdM>];
30. Kashyap Vyas; „All You Need to Know about Solar-Powered Cars“ (2019); [Prieiga internete: <https://interestingengineering.com/all-you-need-to-know-about-solar-powered-cars>];
31. Science Learning Hub; „Solar cars“, [Prieiga internete: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1749-solar-cars>]
32. „ELEKTROMOBILIAI IR JŪ PLĖTROS PERSPEKTYVOS“, V. Adomavičius; Kauno technologijos universitetas; (2011); [Prieiga internete: <http://gjstudija.net/ltma/ltma-darbai/LTMAMD-7-VA-Elektromob.pdf>];
33. 7 Companies That Are Leading the Way for Solar-Powered Cars“, Interesting Engineering (prieiga internete: <https://interestingengineering.com/7-companies-that-are-leading-the-way-for-solar-powered-cars>);
34. Volkswagen „Phaeton user manual“ p.20 (prieiga internete: [http://www.volkswagen.net/technik/ssp/ssp/SSP\\_270.pdf](http://www.volkswagen.net/technik/ssp/ssp/SSP_270.pdf));

35. Rob LeFebvre; „Audi will use solar panels to help power its future Evs“ (2017); (prieiga internete: <https://www.engadget.com/2017-08-23-audi-solar-panels-help-power-future-evs.html> )

## Priedai

### 1 priedas. 1 matavimas (debesuota diena)

Laikas	Srovė	Įtampa	Galia W
08:00	0,1	11,6	1,2
09:00	0,1	11,8	1,2
10:00	0,1	12	1,2
11:00	0,2	12,2	2,4
12:00	0,2	12,3	2,5
13:00	0,2	12,5	2,50
14:00	0,1	12,2	1,2
15:00	0,1	12,2	1,2
16:00	0,1	12	1,2
17:00	0,1	11,2	1,1

### 2 priedas. 2 matavimas (diena su pragiedruliais)

Laikas	Srovė	Įtampa	Galia W
08:00	0,1	11,4	1,1
09:00	0,1	11,5	1,2
10:00	0,3	11,9	3,6
11:00	0,5	12,3	6,2
12:00	0,7	12,2	8,5
13:00	0,5	12,5	6,3
14:00	0,7	12,8	9,0
15:00	0,6	12,7	7,6
16:00	0,4	12,5	5,0
17:00	0,4	12,2	4,9

### 3 priedas. 3 matavimas (diena su pragiedruliais)

Laikas	Srovė	Įtampa	Galia W
08:00	0,8	13,3	10,64
09:00	0,9	13,1	11,79
10:00	2,9	13,8	40,02
11:00	0,9	13,6	12,24
12:00	0,9	13,3	11,97
13:00	2,2	13,7	30,14
14:00	0,8	13	10,4
15:00	1,7	13,7	23,29
16:00	1,8	13,6	24,48
17:00	1,3	13,9	18,07

### 4 priedas. 4 matavimas (idealios sąlygos)

Laikas	Srovė, A	Įtampa, V	Galia, W
08:00	1,2	11,2	13,4
09:00	1,7	11,4	19,4
10:00	2,4	11,6	27,8
11:00	3,5	12,7	44,5
12:00	4,5	13,8	62,1
13:00	4,7	13,9	65,3
14:00	4,5	13,6	61,2
15:00	4,2	13,7	57,5
16:00	3,5	13,7	48,0
17:00	2,5	11,4	28,5



## 5 priedas. Nuvažiuoto atstumo skaičiavimas

			Debesuota (kovas)	Su pragiedruoliais (kovas)	Su pragiedruoliais (balandis)	Itin saulėta (gegužė)
	kWh/100 km	kWh/km	Nuvažiuojamas atstumas, km	Nuvažiuojamas atstumas, km	Nuvažiuojamas atstumas, km	Nuvažiuojamas atstumas, km
Hyundai IONIQ Electric	13,8	0,138	0,521	1,769	6,41	14,206
Hyundai Kona Electric	15,4	0,154	0,467	1,585	5,75	12,730
Kia e-Soul	15,6	0,156	0,461	1,565	5,67	12,567
Nissan Leaf	19,4	0,194	0,371	1,258	4,56	10,105
PEUGEOT e-208	16,9	0,169	0,426	1,444	5,24	11,600
Volkswagen e-Golf	15,8	0,158	0,455	1,545	5,60	12,408
Vidurkis		average	0,450	1,528	5,537	12,269

6 priedas. „Nissan Leaf“ energijos skaičiavimai be papildomo svorio, pagreitis 0

NISSAN LEAF ENERGIJOS SKAIČIAVIMAI BE PAPILDOMO SVORIO PAGREITIS=0		h(m)	1,55	Padangos	205/55 R16	m	1591				
		b(m)	1,77			alfa	0				
		Midelio plotas (m2)	2,1948								
		Statinis ratų spindulys (mm)	293,4	Metrais	0,2934						
		Pagreitis(0-50 km/h)	3,51620253	cx	0,28						
Greitis (km/h)	Pagreitis	Greitis (m/s)	Fa	Fried	Foro	Fin	Fsum	N, W	N, kW	E, kWh	Wh, be papildomo svorio
0	0	0,00	0,012	187,293	0,000	0	187,293	0	0	0	0,00
10	0	2,78	0,012	188,095	2,845	0	190,940	530,390	0,530	0,147	147,331
20	0	5,56	0,012	190,504	11,380	0	201,884	1121,580	1,122	0,312	311,550
30	0	8,33	0,012	194,518	25,606	0	220,124	1834,369	1,834	0,510	509,547
40	0	11,11	0,013	200,138	45,522	0	245,660	2729,557	2,730	0,758	758,210
50	0	13,89	0,013	207,364	71,128	0	278,492	3867,944	3,868	1,074	1074,429
60	0	16,67	0,014	216,196	102,424	0	318,620	5310,328	5,310	1,475	1475,091
70	0	19,44	0,015	226,633	139,410	0	366,043	7117,510	7,118	1,977	1977,086
80	0	22,22	0,015	238,676	182,087	0	420,763	9350,290	9,350	2,597	2597,303
90	0	25,00	0,016	252,325	230,454	0	482,779	12069,466	12,069	3,353	3352,629
100	0	27,78	0,017	267,579	284,511	0	552,090	15335,839	15,336	4,260	4259,955
110	0	30,56	0,018	284,439	344,258	0	628,698	19210,208	19,210	5,336	5336,169
120	0	33,33	0,019	302,905	409,696	0	712,601	23753,373	23,753	6,598	6598,159
130	0	36,11	0,021	322,977	480,824	0	803,801	29026,133	29,026	8,063	8062,815

7 priedas. „Nissan Leaf“ energijos skaičiavimai su papildomu svoriu, pagreitis 0

				h(m)	1,55	Padangos	205/55 R16		m	1630	
NISSAN LEAF ENERGIJOS SKAIČIAVIMAI BE PAGREIČIO, SU PAPILDOMU SVORIU				b(m)	1,77				alfa	0	
				Midelio plotas (m2)	2,1948						
				Statinis ratų spindulys (mm)	293,4	Metrais	0,2934				
				Pagreitis(0-50 km/h)	3,51620253	cx	0,28				
Greitis (km/h)	Pagreitis	Greitis (m/s)	Fa	Fried	Foro	Fin	Fsum	N, W	N, kW	E, kWh	Wh, su papildomu svoriu
0	0	0,00	0,012	191,884	0,000	0,000	191,884	0	0	0	0
10	0	2,78	0,012	192,706	2,845	0,000	195,551	543,1979372	0,543198	0,150888316	150,888
20	0	5,56	0,012	195,174	11,380	0,000	206,554	1147,523498	1,147523	0,318756527	318,757
30	0	8,33	0,012	199,287	25,606	0,000	224,893	1874,104306	1,874104	0,520584529	520,585
40	0	11,11	0,013	205,044	45,522	0,000	250,566	2784,067984	2,784068	0,773352218	773,352
50	0	13,89	0,013	212,447	71,128	0,000	283,575	3938,542155	3,938542	1,094039488	1094,039
60	0	16,67	0,014	221,495	102,424	0,000	323,919	5398,654444	5,398654	1,499626235	1499,626
70	0	19,44	0,015	232,188	139,410	0,000	371,599	7225,532474	7,225532	2,007092354	2007,092
80	0	22,22	0,015	244,527	182,087	0,000	426,614	9480,303868	9,480304	2,633417741	2633,418
90	0	25,00	0,016	258,510	230,454	0,000	488,964	12224,09625	12,2241	3,395582292	3395,582
100	0	27,78	0,017	274,138	284,511	0,000	558,649	15518,03724	15,51804	4,310565901	4310,566
110	0	30,56	0,018	291,412	344,258	0,000	635,670	19423,25447	19,42325	5,395348464	5395,348
120	0	33,33	0,019	310,330	409,696	0,000	720,026	24000,87556	24,00088	6,666909877	6666,910
130	0	36,11	0,021	330,894	480,824	0,000	811,718	29312,02812	29,31203	8,142230034	8142,230

8 priedas. „Nissan Leaf“ energijos skaičiavimai be papildomo svorio, su pagreičiu

		h(m)	1,55	Padangos	205/55 R16			m	1630			
NISSAN LEAF ENERGIJOS SKAIČIAVIMAI SU PAPILDOMU SVORIU, SU PAGREIČIU		b(m)	1,77					alfa	0			
		Midelio plotas (m2)	2,1948									
		Statinis ratų spindulys (mm)	293,4	Metrais	0,2934							
		Pagreitis(0-50 km/h)	3,51620253	cx	0,28							
Greitis (km/h)	Pagreitis	Greitis (m/s)	Fa	Fried	Poro	Fin	Fsum	N, W	N, kW	E, kWh	Wh	
0	0	0,00	0,00	0,012	191,884	0,000	0,000	191,884	0	0	0	0,00
10	3,516174402		2,78	0,012	192,706	2,845	5731,364	5926,916	16463,65426	16,46365	4,573237294	4573,237
20	1,758087201		5,56	0,012	195,174	11,380	2865,682	3072,236	17067,97982	17,06798	4,741105505	4741,106
30	1,172058134		8,33	0,012	199,287	25,606	1910,455	2135,347	17794,56063	17,79456	4,942933507	4942,934
40	0,879043601		11,11	0,013	205,044	45,522	1432,841	1683,407	18704,5243	18,70452	5,195701196	5195,701
50	0,70323488		13,89	0,013	212,447	71,128	1146,273	1429,848	19858,99848	19,859	5,516388466	5516,388
60	1,551831161		16,67	0,014	221,495	102,424	2529,485	2853,404	47556,73431	47,55673	13,21020398	13210,204
70	1,076658053		19,44	0,015	232,188	139,410	1754,953	2126,551	41349,61133	41,34961	11,48600315	11486,003
80	0,824266403		22,22	0,015	244,527	182,087	1343,554	1770,168	39337,06468	39,33706	10,92696241	10926,962
90	0,667735043		25,00	0,016	258,510	230,454	1088,408	1577,372	39434,29924	39,4343	10,95397201	10953,972
100	0,561167228		27,78	0,017	274,138	284,511	914,703	1473,352	40926,44228	40,92644	11,36845619	11368,456
110	0,995619275		30,56	0,018	291,412	344,258	1622,859	2258,530	69010,62559	69,01063	19,18961822	19189,618
120	0,77591558		33,33	0,019	310,330	409,696	1264,742	1984,769	66158,95542	66,15896	18,37748762	18377,488
130	0,635647089		36,11	0,021	330,894	480,824	1036,105	1847,822	66726,92204	66,72692	18,53525612	18535,256

**9 priedas. „Nissan Leaf“ energijos skaičiavimai su papildomu svoriu, su pagreičiu**

NISSAN LEAF ENERGIJOS SKAIČIAVIMAI BE PAPILDOMO SVORIO, SU PAGREIČIU		h(m)	1,55	Padangos	205/55 R16	m	1591			
		b(m)	1,77			alfa	0			
		Midelio plotas (m2)	2,1948							
		Statinis ratų spindulys (mm)	293,4	Metrais	0,2934					
		Pagreitis(0-50 km/h)	3,51620253	cx	0,28					
Greitis (km/h)	Pagreitis	Greitis (m/s)	Fa	Fried	Foro	Fin	Fsum	N, W	N, kW	E, kWh
0	0	0,00	0,012	187,293	0,000	0,000	187,293	0	0	0
10	3,516174402	2,78	0,012	188,095	2,845	5731,364	5922,305	16450,84659	16,45085	4,569679608
20	1,758087201	5,56	0,012	190,504	11,380	2865,682	3087,567	17042,03647	17,04204	4,73389902
30	1,172058134	8,33	0,012	194,518	25,606	1910,455	2130,579	17754,82559	17,75483	4,931895996
40	0,879043601	11,11	0,013	200,138	45,522	1432,841	1678,501	18650,01354	18,65001	5,180559317
50	0,70323488	13,89	0,013	207,364	71,128	1146,273	1424,765	19788,39995	19,7884	5,496777764
60	1,551831161	16,67	0,014	216,196	102,424	2529,485	2848,104	47468,40798	47,46841	13,18566888
70	1,076658053	19,44	0,015	226,633	139,410	1754,953	2120,996	41241,58914	41,24159	11,45599698
80	0,824266403	22,22	0,015	238,676	182,087	1343,554	1764,317	39207,05056	39,20705	10,89084738
90	0,667735043	25,00	0,016	252,325	230,454	1088,408	1571,187	39279,66912	39,27967	10,9110192
100	0,561167228	27,78	0,017	267,579	284,511	914,703	1466,793	40744,24407	40,74424	11,31784558
110	0,995619275	30,56	0,018	284,439	344,258	1622,859	2251,557	68797,57921	68,79758	19,11043867
120	0,77591558	33,33	0,019	302,905	409,696	1264,742	1977,344	65911,45276	65,91145	18,30873688
130	0,635647089	36,11	0,021	322,977	480,824	1036,105	1839,905	66441,02698	66,44103	18,45584083