



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Šiuolaikinio hibridinio automobilio efektyvumo tyrimas**  
Baigiamasis magistro projektas

---

**Lukas Pucilauskas**  
Projekto autorius

**Doc. Darius Juodvalkis**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Šiuolaikinio hibridinio automobilio efektyvumo tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

---

**Lukas Pucilauskas**

Projekto autorius

**Doc. Darius Juodvalkis**

Vadovas

**Dėst. Algirdas Laskys**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Lukas Pucilauskas

## **Šiuolaikinio hibridinio automobilio efektyvumo tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Lukas Pucilauskas

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



## Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa – Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

# Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studentui(-ei) *Lukui Pucilauskui*

### 1. Baigiamojo projekto tema:

*Šiuolaikinio hibridinio automobilio efektyvumo tyrimas*

*Research of Modern Hybrid Vehicle Efficiency*

**2. Projekto tikslas:** ištirti hibridinio automobilio efektyvumą realiomis važiavimo sąlygomis ir nustatyti jo privalumus tam tikruose maršrutuose

### 3. Projekto uždaviniai:

- apžvelgti šiuolaikinių automobilių hibridines pavaras, jų veikimo principus ir privalumus;
- natūriniais eksperimentais nustatyti hibridinio automobilio dinامينius parametrus bei hibridinės pavaros elektros srovės pasiskirstymą;
- remiantis eksperimentų rezultatais, apskaičiuoti vidaus degimo ir elektros variklių galios pasiskirstymą automobilio įsibėgėjimo metu;
- palyginti hibridinio ir įprastinio automobilio energijos ir degalų sąnaudas realiuose maršrutuose.

### 4. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

*Literatūrinės medžiagos analizė, tyrimo metodika, gautų rezultatų analizė bei skaičiavimai, išvados.*

### 5. Projekto konsultantai:

Baigiamojo projekto autorius	Lukas Pucilauskas	2020-10-09
	<i>(vardas, pavardė, data)</i>	
Baigiamojo projekto vadovas	Doc. Darius Juodvalkis	2020-10-09
	<i>(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, data)</i>	
Krypties studijų programų vadovas	Doc. Saulius Japertas	2020-10-09
	<i>(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, data)</i>	

Pucilauskas, Lukas. Šiuolaikinio hibridinio automobilio efektyvumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Darius Juodvalkis; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: hibridinis automobilis, efektyvumas, tyrimas.

Kaunas, 2022. 59 p.

## Santrauka

Šio baigiamojo magistro projekto tikslas – ištirti šiuolaikinio hibridinio automobilio efektyvumą realiomis važiavimo sąlygomis ir nustatyti jo privalumus tam tikruose maršrutuose. Šiam tikslui pasiekti pirmiausiai buvo apžvelgta teorinė medžiaga susijusi su hibridiniais automobiliais: išnagrinėti hibridinių automobilių tipai, juose naudojamos pavaros, veikimo principai ir privalumai. Aptariami hibridinių automobilių vidaus degimo variklių ypatumai, aprašyti juose naudojamų akumulatoriaus baterijų ir elektros variklių tipai bei pristatyti jų privalumai ir trūkumai. Taip pat išnagrinėjamas hibridinio automobilio galios paskirstymo įrenginys, paaiškinamas jo veikimo principas. Teorinės dalies pabaigoje detaliau išnagrinėta konkretaus hibridinio automobilio sandara bei atliktas palyginimas su kitais hibridiniais automobiliais.

Tyrimų metodikos dalyje pateikiama eksperimentinių bandymų atlikimo eiga ir sąlygos, aprašomas eksperimente naudojamas hibridinis automobilis bei duomenų matavimo įranga. Apdorojus eksperimento metu išmatuotus duomenis, nustatyta, kad bandomųjų važiavimų metu įsibėgėjimui buvo sunaudota 0,933 kWh elektros energijos, o stabdymo metu regeneruotas elektros energijos kiekis yra 0,861 kWh. Taip pat apskaičiuotas vidaus degimo ir elektros variklių galios pasiskirstymas automobilio įsibėgėjimo metu. Remiantis apskaičiuotais rezultatais matyti, kad automobilio įsibėgėjimo metu vidutiniškai 74,3 % galios yra naudojama iš vidaus degimo variklio ir 23,9 % iš elektros variklio.

Siekiant ištirti hibridinio automobilio privalumus realiuose maršrutuose, buvo nuspręsta sumodeliuoti 3 skirtingus važiavimo maršrutus. Šiam tikslui pasiekti, remiantis tyrimo eksperimentinės dalies rezultatais, buvo sudaryta maršrutų modeliavimo, bei jais važiuojančio automobilio energijos ir degalų sąnaudų skaičiavimo metodika. Naudojantis sudaryta metodika sumodeliuojami ir detaliai aprašomi miesto, užmiesčio bei mišraus važiavimo maršrutai. Atlikus realių maršrutų modeliavimą, apskaičiuojamos šiais maršrutais važiuojančių hibridinio ir, panašaus galingumo, įprastinio automobilių energijos ir degalų sąnaudos.

Paskutinėje darbo dalyje pateikiami įprastinio ir hibridinio automobilių energijos sąnaudų, važiuojant skirtingais maršrutais, skaičiavimų rezultatai. Palyginus gautuosius rezultatus nustatyta, kad važiuojant miesto, užmiesčio ir mišriu maršrutais, hibridinis automobilis atitinkamai yra 23,28 %, 5,34 % ir 16,22 % ekonomiškėnis nei įprastinis automobilis. Taip pat pastebėta, jog hibridinės pavaros efektyvumas priklauso nuo maršrute numatytų sustojimų skaičiaus bei greičio, iki kurio su automobiliu įsibėgėjama tam tikroje maršruto atkarpoje. Galiausiai apskaičiuoti rezultatai apibendrinami ir nustatomas hibridinio automobilio efektyvumas ir nauda.

Pucilauskas, Lukas. Research of Modern Hybrid Vehicle Efficiency. Masters's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Darius Juodvalkis; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: hybrid car, efficiency, analysis.

Kaunas, 2022. 59 p.

### **Summary**

The aim of this thesis is to research the efficiency of a modern hybrid vehicle in real driving conditions and to determine its advantages on certain routes. To achieve this goal, the theoretical material related to hybrid cars was first reviewed: the types of hybrid cars, the drives used in them, the operating principles and advantages of each drive type were examined. The peculiarities of internal combustion engines used in hybrid cars are discussed, the types of batteries and electric motors used in them are described and their advantages and disadvantages are presented. Subsequently, the power distribution device of a hybrid car is also examined, and the principle of its operation is explained. At the end of the theoretical part, the structure of a specific hybrid car is examined in detail and a comparison with other hybrid cars is made.

The part of the research methodology presents the course and conditions of the experimental trials, describes the hybrid car and data measurement equipment that was used in the experiment. After processing the data measured during the experiment, it was found that during the test runs 0,933 kWh of electricity was used for acceleration and 0,861 kWh was recovered during braking. Thereafter, the power distribution between internal combustion engine and electric motor during vehicle acceleration is also determined. The calculated results show that an average of 74,3 % of the power needed for acceleration is generated from the internal combustion engine and 23,9 % is produced from the electric motor.

In pursuance of exploring the advantages of a hybrid car in different environments, it was decided to model 3 distinct driving routes. To achieve this goal, based on the established results of the experimental part of the study, a methodology for route modelling, along with calculations of energy and fuel consumption of the car driving the route, was developed. Using the presented methodology, urban, extra-urban, and combined driving routes were modelled and described in detail. After modelling the routes, the energy and fuel consumption of hybrid and conventional cars running on them is calculated.

The last part of the work presents the calculation results of the energy consumption of conventional and hybrid cars on urban, extra-urban, and combined driving routes. A comparison of the results obtained shows that a hybrid car is respectively 23,28 %, 5,34 % and 16,22 % more economical than a conventional car. It has also been observed that the efficiency of a hybrid drive depends on the number of stops planned on the route and the speed at which the car accelerates on a certain section of the route. Finally, the calculated results are summarized, as well as efficiency and benefits of the hybrid car are determined.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Teorinės medžiagos apžvalga bei analizė .....</b>	<b>13</b>
1.1. Hibridinių automobilių tipai .....	13
1.1.1. „Mikro“ hibridiniai automobiliai.....	13
1.1.2. „Lengvieji“ hibridiniai automobiliai .....	14
1.1.3. „Visiškai“ (angl. „Full“) hibridiniai automobiliai .....	15
1.1.4. „Kištukiniai“ hibridiniai automobiliai.....	15
1.2. Hibridinių automobilių pavarų komponuotės.....	16
1.2.1. Lygiagreto jungimo (paraleliniai) hibridiniai automobiliai .....	16
1.2.2. Nuoseklaus jungimo hibridiniai automobiliai .....	16
1.2.3. Mišraus jungimo hibridinio automobilio.....	17
1.3. Hibridinių automobilių akumulatoriaus baterijos.....	17
1.4. Hibridinių automobilių elektros varikliai .....	19
1.5. Hibridinių automobilių transmisijos.....	20
1.6. Šiuolaikiniuose hibridiniuose automobiliuose naudojamų vidaus degimo variklių ypatumai .	21
1.7. Automobilio „Ford Mondeo Hybrid“ apžvalga.....	21
<b>2. Tyrimų metodika ir skaičiavimai.....</b>	<b>25</b>
2.1. Eksperimente naudotas hibridinis automobilis.....	25
2.2. Eksperimente naudota įranga .....	26
2.3. Eksperimento atlikimo sąlygos ir eiga .....	27
2.4. Matavimų rezultatai ir galios pasiskirstymo skaičiavimai .....	28
2.4.1. Duomenų apdorojimas.....	28
2.4.2. Automobilio pagreičio ir hibridinės pavaros elektros srovės kitimo laiko atžvilgiu nustatymas .....	29
2.4.3. Vidaus degimo ir elektros variklių galios pasiskirstymas automobilio įsibėgėjimo metu ....	31
<b>3. Įprastinio ir hibridinio automobilio sąnaudų skaičiavimas realiuose maršrutuose.....</b>	<b>36</b>
3.1. Maršrutų modeliavimo ir energijos sąnaudų skaičiavimų metodika .....	36
3.1.1. Maršrutų modeliavimas .....	36
3.1.2. Energijos sąnaudų skaičiavimai .....	38
3.2. Užmiesčio maršruto detalizacija.....	41
3.3. Miesto maršruto detalizacija.....	44
3.4. Mišraus maršruto detalizacija.....	46
<b>4. Tyrimo rezultatų analizė ir apibendrinimas.....</b>	<b>50</b>
4.1. Tradicinio ir hibridinio automobilio sąnaudų, važiuojant užmiesčio maršrutu, skaičiavimų rezultatai .....	50
4.2. Tradicinio ir hibridinio automobilio sąnaudų, važiuojant miesto maršrutu, skaičiavimų rezultatai .....	51
4.3. Tradicinio ir hibridinio automobilio sąnaudų, važiuojant mišriu maršrutu, skaičiavimų rezultatai .....	52
4.4. Rezultatų palyginimas ir apibendrinimas .....	53

<b>Išvados .....</b>	<b>56</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>57</b>



## Lentelių sąrašas

<b>1.1 lentelė.</b> Pagrindinių akumuliatoriaus baterijų, naudojamų hibridiniuose automobiliuose, palyginimas [10] .....	18
<b>1.2 lentelė.</b> Hibridinių automobilių specifikacijų palyginimas [25, 26, 27, 28, 29] .....	24
<b>2.1 lentelė.</b> Automobilio Toyota Prius (XW50) pagrindiniai duomenys [31] .....	25
<b>2.2 lentelė.</b> Osciloskopo „Picoscope3423“ ir srovės matavimo replių „Pico TA019“ techniniai duomenys [34, 35] .....	27
<b>2.3 lentelė.</b> Bandomųjų važiavimų metu įsibėgėjimui panaudotos bei regeneruotos elektros srovės ir energijos kiekiai.....	31
<b>3.1 lentelė.</b> Įsibėgėjimo metu panaudojamos elektros srovės kiekis skirtinguose įsibėgėjimo intervaluose.....	37
<b>3.2 lentelė.</b> Skaičiavimuose naudojamų automobilių techniniai parametrai.....	39
<b>3.3 lentelė.</b> Užmiesčio maršruto „Ivoniškės-Punia“ duomenys .....	41
<b>3.4 lentelė.</b> Miesto maršruto „Kaunas-Kaunas“ duomenys .....	44
<b>3.5 lentelė.</b> Mišraus maršruto „Kaunas-Prienai“ duomenys .....	47
<b>4.1 lentelė.</b> Tradicinio ir hibridinio automobilių sąnaudos važiuojant skirtingais maršrutais .....	53

## Paveikslų sąrašas

<b>1.1 pav.</b> „Micro“ hibridinio automobilio sistemos schema [3] .....	14
<b>1.2 pav.</b> „Lengvojo“ hibridinio automobilio sistemos schema [5].....	14
<b>1.3 pav.</b> „Visišškai“ hibridinio automobilio sistemos schema [6].....	15
<b>1.4 pav.</b> Lygiagretaus HEV pavaros schema [2].....	16
<b>1.5 pav.</b> Nuoseklaus HEV pavaros schema [2].....	17
<b>1.6 pav.</b> Mišraus jungimo HEV pavara [2] .....	17
<b>1.7 pav.</b> Nuolatinio magneto ir indukcinio elektros variklių sandara [12] .....	19
<b>1.8 pav.</b> Kintamos srovės elektros variklių sukimo momento priklausomybė nuo apsisukimų. a) – indukcinio elektros variklio; b) – nuolatinio magneto elektros variklio [14, 15].....	19
<b>1.9 pav.</b> Hibridinio automobilio galios paskirstymo įrenginys [16] .....	20
<b>1.10 pav.</b> Tradicinio ir Atkinsono ciklu veikiančio vidaus degimo variklių suspaudimo taktai [19]21	
<b>1.11 pav.</b> 2014 m. gamybos „Ford Mondeo Hybrid“ [21].....	22
<b>1.12 pav.</b> Ford užpatentuota „Hybrid split“ sistema [22].....	23
<b>1.13 pav.</b> „Ford Mondeo Hybrid“ hibridinės sistemos pagrindinių komponentų išdėstymas [23]... 23	
<b>2.1 pav.</b> Eksperimente naudojamas hibridinis automobilis Toyota Prius (XW50) [30] .....	25
<b>2.2 pav.</b> „DL1 Data Logger“ automobilio dinaminių charakteristikų matavimo prietaisas [32].....	26
<b>2.3 pav.</b> Keturių kanalų osciloskopas „Picoscope3423“ ir srovės matavimo replės „Pico TA019“ [33, 34].....	26
<b>2.4 pav.</b> Matavimo prietaisų sujungimas.....	27
<b>2.5 pav.</b> Duomenų stebėjimui ir saugojimui naudotas nešiojamas kompiuteris „HP“.....	28
<b>2.6 pav.</b> Pirmojo bandomojo važiavimo išmatuotos srovės kitimas laiko atžvilgiu .....	29
<b>2.7 pav.</b> Automobilio greičio kitimas laike pirmojo bandomojo važiavimo metu .....	29
<b>2.8 pav.</b> Automobilio greičio ir elektros srovės stiprio kitimas laiko atžvilgiu pirmojo bandomojo važiavimo metu .....	30
<b>2.9 pav.</b> Pirmojo bandomojo važiavimo galios sąnaudų ir automobilio greičio kitimas laiko atžvilgiu .....	33
<b>2.10 pav.</b> Pirmojo bandomojo važiavimo galios sąnaudų pasiskirstymas laiko atžvilgiu .....	34
<b>2.11 pav.</b> Pirmojo ir antrojo bandomųjų važiavimų galių pasiskirstymas .....	35
<b>3.1 pav.</b> Įsibėgėjimui panaudotos srovės kiekis skirtinguose greičio intervaluose.....	38
<b>3.2 pav.</b> Užmiesčio maršrutas „Ivoniškės-Punia“ .....	41
<b>3.3 pav.</b> Užmiesčio maršruto „Ivoniškės-Punia“ 1-3 dalys.....	42
<b>3.4 pav.</b> Užmiesčio maršruto „Ivoniškės-Punia“ 4-6 dalys.....	42
<b>3.5 pav.</b> Užmiesčio maršruto „Ivoniškės-Punia“ 7-8 dalys.....	43
<b>3.6 pav.</b> Užmiesčio maršruto „Ivoniškės-Punia“ važiuojančio automobilio greičio kitimas laiko atžvilgiu .....	43
<b>3.7 pav.</b> Miesto maršrutas „Kaunas-Kaunas“ .....	44
<b>3.8 pav.</b> Miesto maršruto „Kaunas-Kaunas“ 1-6 dalys .....	45
<b>3.9 pav.</b> Miesto maršruto „Kaunas-Kaunas“ 7-14 dalys .....	45
<b>3.10 pav.</b> Miesto maršruto „Kaunas-Kaunas“ 15-19 dalys .....	46
<b>3.11 pav.</b> Miesto maršruto „Kaunas-Kaunas“ važiuojančio automobilio greičio kitimas laiko atžvilgiu .....	46
<b>3.12 pav.</b> Mišrus maršrutas „Kaunas-Prienai“ .....	47
<b>3.13 pav.</b> Mišraus maršruto „Kaunas-Prienai“ 1-7 dalys .....	48
<b>3.14 pav.</b> Mišraus maršruto „Kaunas-Prienai“ 8-14 dalys.....	48

<b>3.15 pav.</b> Mišraus maršruto „Kaunas-Prienai“ 15-20 dalys .....	49
<b>3.16 pav.</b> Mišriu maršrutu Kaunas-Prienai važiuojančio automobilio greičio kitimas laiko atžvilgiu .....	49
<b>4.1 pav.</b> Tradicinio automobilio, važiuojančio užmiesčio maršrutu „Ivoniškės-Punia“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko.....	50
<b>4.2 pav.</b> Hibridinio automobilio, važiuojančio užmiesčio maršrutu „Ivoniškės-Punia“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko.....	50
<b>4.3 pav.</b> Tradicinio automobilio, važiuojančio miesto maršrutu „Kaunas-Kaunas“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko .....	51
<b>4.4 pav.</b> Hibridinio automobilio, važiuojančio miesto maršrutu „Kaunas-Kaunas“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko .....	52
<b>4.5 pav.</b> Tradicinio automobilio, važiuojančio mišriu maršrutu „Kaunas-Prienai“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko .....	52
<b>4.6 pav.</b> Hibridinio automobilio, važiuojančio mišriu maršrutu „Kaunas-Prienai“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko .....	53
<b>4.7 pav.</b> Hibridinės pavaros degalų sutaupymas važiuojant skirtingais režimais .....	54
<b>4.8 pav.</b> Įsibėgėjimo metu kompensuotos energijos kiekio priklausomybė nuo įsibėgėjimų skaičiaus .....	54

## Įvadas

Transportas yra vienas iš svarbiausių faktorių, lemiančių ekonomikos plėtrą bei žmonių gyvenimo kokybę. Jau nuo senų laikų žmonės kūrė ir tobulino įvairias transporto priemones, kurios jiems padėjo keliauti tolimus atstumus bei transportuoti įvairius daiktus ar prekes. Šiais laikais transportas ir jo infrastruktūra yra daug patobulėjusi: šiuolaikinė transporto sistema naudoja oro, vandens bei sausumos kelius, o dabartinio gyvenimo neįsivaizduotume be tokių transporto priemonių kaip lėktuvai, laivai, traukiniai, sunkvežimiai, automobiliai ir kt. Tačiau, besivystant transporto sistemai bei vis plačiau ir plačiau transporto priemonėse naudojant vidaus degimo ar kitus iškastinį kurą deginančius variklius, išryškėjo vienas iš didžiausių transporto sistemos trūkumų – į aplinką išmetamos kenksmingosios dujos, kurios daro neigiamą įtaką aplinkai bei spartina pasaulyje vykstantį globalinį atšilimą. Viena iš daugiausiai prie šio neigiamo poveikių prisidedančių transporto priemonių yra ta, kurią didžioji dalis žmonių naudoja kiekvieną dieną – lengvieji automobiliai. Šis, ir tokie veiksniai kaip riboti iškastinio kuro išteklių, privertė žmones tobulinti automobilius ir kurti naujas technologijas, kurios padidintų automobilių ekonomiškumą, sumažintų kuro sąnaudas bei į aplinką išmetamų kenksmingųjų dujų kiekį. Šiam tikslui pasiekti buvo pradėta kurti naujos kartos hibridinius automobilius, kurie, kaip ir įprastiniai automobiliai, yra varomi vidaus degimo varikliais, tačiau papildomai naudoja elektros energijos pagalbą ir taip pagerina automobilio efektyvumą, sumažina degalų sąnaudas bei į aplinką išmetamų kenksmingųjų dujų kiekį. Siekiant išsiaiškinti hibridinės sistemos efektyvumą, šiame magistro baigiamajame darbe, apžvelgus su hibridiniais automobiliais susijusią literatūrinę medžiagą, buvo nuspręsta su šiuolaikiniu hibridiniu automobiliu atlikti natūrinius bandymus, išmatuoti bandomųjų važiavimų dinامينius bei energetinius parametrus, apskaičiuoti efektyvumo rodiklius ir juos palyginti su įprastinio automobilio efektyvumo rodikliais.

Projekto tikslas – ištirti hibridinio automobilio efektyvumą realiomis važiavimo sąlygomis ir nustatyti jo privalumus tam tikruose maršrutuose

Projekto uždaviniai:

1. apžvelgti šiuolaikinių automobilių hibridines pavaras, jų veikimo principus ir privalumus;
2. natūriniais eksperimentais nustatyti hibridinio automobilio dinامينius parametrus bei hibridinės pavaros elektros srovės pasiskirstymą;
3. remiantis eksperimentų rezultatais, apskaičiuoti vidaus degimo ir elektros variklių galios pasiskirstymą automobilio įsibėgėjimo metu;
4. palyginti hibridinio ir įprastinio automobilio energijos ir degalų sąnaudas realiuose maršrutuose.

## 1. Teorinės medžiagos apžvalga bei analizė

### *Hibridiniai automobiliai*

Hibridiniai automobiliai – tai tokie automobiliai, kuriuose yra sumontuoti tradiciniai vidaus degimo varikliai, tačiau kaip pagalbinė arba, kai kuriais atvejais, pagrindinė varomoji jėga yra elektrinė pvara. Daugeliu atvejų elektrinė pvara yra naudojama kaip pagalbinė priemonė, kuri „papildo“ vidaus degimo variklį tais momentais, kai jo efektyvumas yra mažiausias. Dėl to pagerinamas automobilio efektyvumas bei dinamika, sumažinamos degalų sąnaudos bei išmetamos kenksmingosios emisijos. Taip pat šiuolaikiniai hibridiniai automobiliai naudoja tokias technologijas kaip „Start – stop“ sistemos ar regeneracinis stabdymas, kurios prisideda prie automobilio efektyvumo gerinimo. Hibridiniai automobiliai yra klasifikuojami pagal hibridinės pavaros tipą bei komponuotės pobūdį. Pagal hibridinės pavaros tipą hibridiniai automobiliai yra skirstomi į [1]:

- 1) „Mikro“ hibridinius automobilius;
- 2) „Lengvuosius“ (angl. „Mild“) hibridinius automobilius;
- 3) „Visiškai“ (angl. „Full“) hibridinius automobilius;
- 4) „Kištukinius“ (angl. „Plug-in“) hibridinius automobilius.

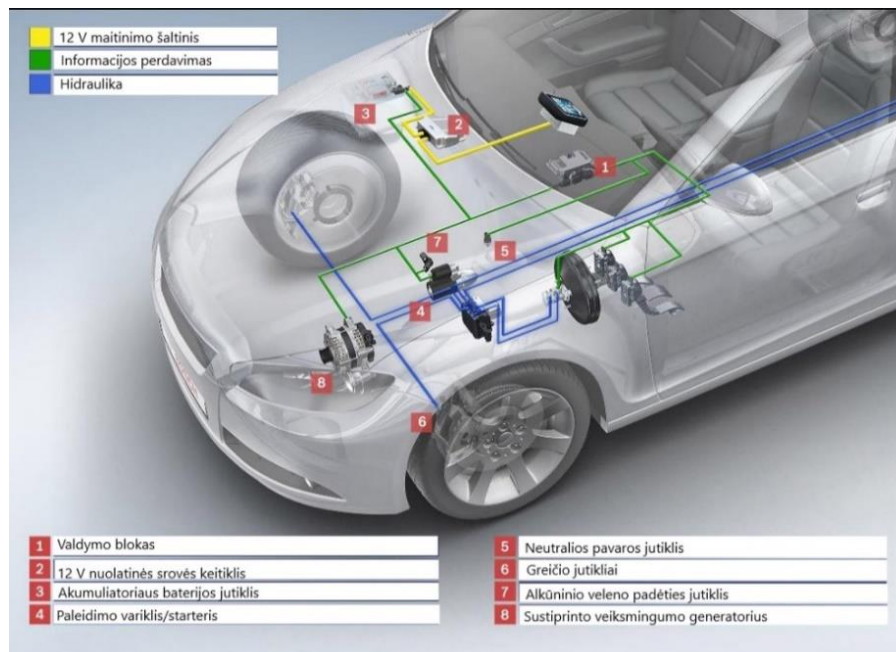
Pagal hibridinės pavaros komponuotės pobūdį hibridiniai automobiliai yra skirstomi į [2]:

- 1) lygiagretaus (paralelinio) jungimo;
- 2) nuoseklaus jungimo;
- 3) mišraus jungimo.

### **1.1. Hibridinių automobilių tipai**

#### **1.1.1. „Mikro“ hibridiniai automobiliai**

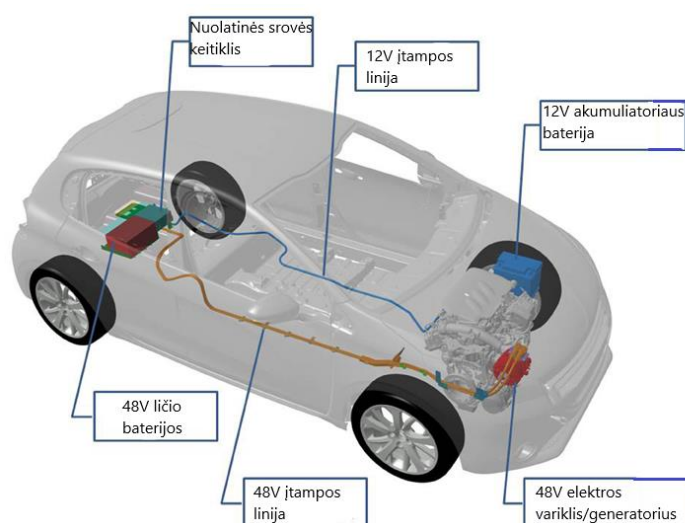
„Mikro“ hibridiniai automobiliai – tai paprasčiausias iš visų hibridinių automobilių tipas. Šio tipo automobiliuose yra įdiegta „start – stop“ sistema, kuri leidžia automatiškai išjungti vidaus degimo variklį, kai jo veikimas yra nereikalingas, pavyzdžiui sustojus prie šviesoforo. Vairuotojui nuspaudus sankabos pedalą ar atleidus stabdžių pedalą, variklis automatiškai paleidžiamas ir automobilis gali judėti toliau. Tokiu būdu vidaus degimo variklis yra nenaudojamas kai to nereikia, taip sumažinant automobilio degalų sąnaudas. Šio tipo sistema sudaryta iš elektros variklio – „starterio“, sustiprinto generatoriaus bei valdymo bloko, kuris priklausomai nuo automobilio judėjimo ir vairuotojo veiksmų valdo sistemą ir siunčia signalus į elektros variklį, o pastarasis beveik nepastebimai užgesina arba užveda vidaus degimo variklį. Taip pat „mikro“ hibridiniuose automobiliuose yra naudojamos „ECM“ arba „AGM“ tipo akumulatoriaus baterijos gebančios atlaikyti papildomą apkrovą dėl dažno variklio užvedimo ir papildomų elektros energijos sąnaudų automobiliui esant neužvestam. 1.1 paveiksle pateikiama tradicinės „start-stop“ sistemos veikimo bei komponentų išdėstymo schema.



1.1 pav. „Micro“ hibridinio automobilio sistemos schema [3]

### 1.1.2. „Lengvieji“ hibridiniai automobiliai

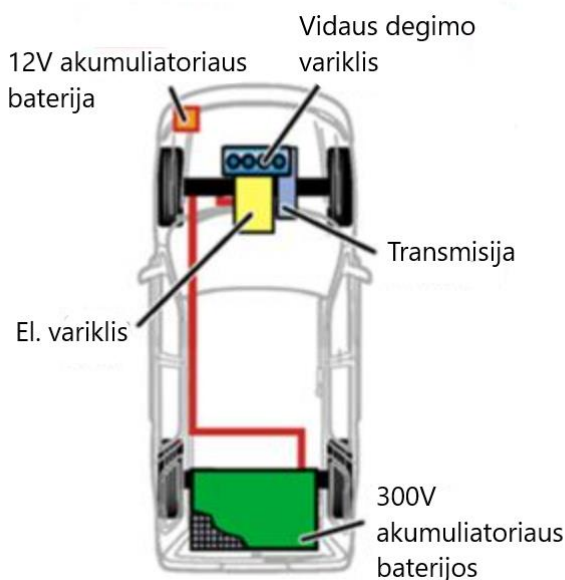
Lengvieji hibridiniai automobiliai – tai panašiu principu kaip ir „start-stop“ veikianti sistema, kuri priklausomai nuo važiavimo sąlygų gali automatiškai išjungti ir įjungti vidaus degimo variklį. Tačiau, skirtingai nei „mikro“ hibridiniuose automobiliuose, ši sistema naudoja 48 V įtampos elektros variklį ir papildomas, didesnės talpos akumuliatoriaus baterijas [4]. Šioje sistemoje esantis elektros variklis atlieka ne tik starterio funkciją, tačiau, reikalui esant, gali „padėti“ vidaus degimo varikliui kai automobilis pradeda judėti iš vietos. Taip pat elektros variklis gali veikti kaip generatorius: automobilio stabdymo metu atsirandanti kinetinė energija yra regeneruojama ir paverčiama elektros energija, kuri kaupiama padidintos talpos akumuliatoriaus baterijose. Vėliau ši sukaupta elektros energija panaudojama automobiliui pajudant iš vietos arba tiekiami automobilyje esantiems elektros prietaisams



1.2 pav. „Lengvojo“ hibridinio automobilio sistemos schema [5]

### 1.1.3. „Visišškai“ (angl. „Full“) hibridiniai automobiliai

„Visišškai“ hibridinis automobilis – tai labiausiai paplitęs hibridinio automobilio tipas. Šio tipo hibridai dažniausiai naudoja elektros variklį, kuris su vidaus degimo varikliu yra sujungtas per bendrą transmisiją. Dėl šios priežasties šio tipo hibridai gali važiuoti 3-imis skirtingais režimais: naudojant tik vidaus degimo variklį, naudojant tik elektrinį variklį arba naudojant abu kartu. Dažniausiai šio tipo hibridai naudojant vien tik elektros energiją gali nuvažiuoti labai nedidelius atstumus – nuo 1 iki keliolikos kilometrų. Kaip ir „lengvojo“ hibridinio automobilio atveju, „visiškas“ hibridas stabdymo metu švaistomą kinetinę energiją regeneruoja ir kaupia iš dalies nedidelės talpos akumuliatoriaus baterijose, o vėliau sukaupia energija panaudojama automobiliui stovint vietoje, įsibėgėjant ar važiuojant laisvąją eiga. „Visišškai“ hibridiniai automobiliai yra daug efektyvesni lyginant su tradiciniais automobiliais, kurie yra varomi tik vidaus degimo varikliu, o didžiausias jų efektyvumas yra pasiekiamas važiuojant miesto eismo sąlygomis, kai automobiliui tenka daug kartų sustoti ir vėl judėti iš vietos. 1.3 paveiksle pavaizduotas „visiško“ hibridinio automobilio hibridinę pavarą sudarantys komponentai.



1.3 pav. „Visišškai“ hibridinio automobilio sistemos schema [6]

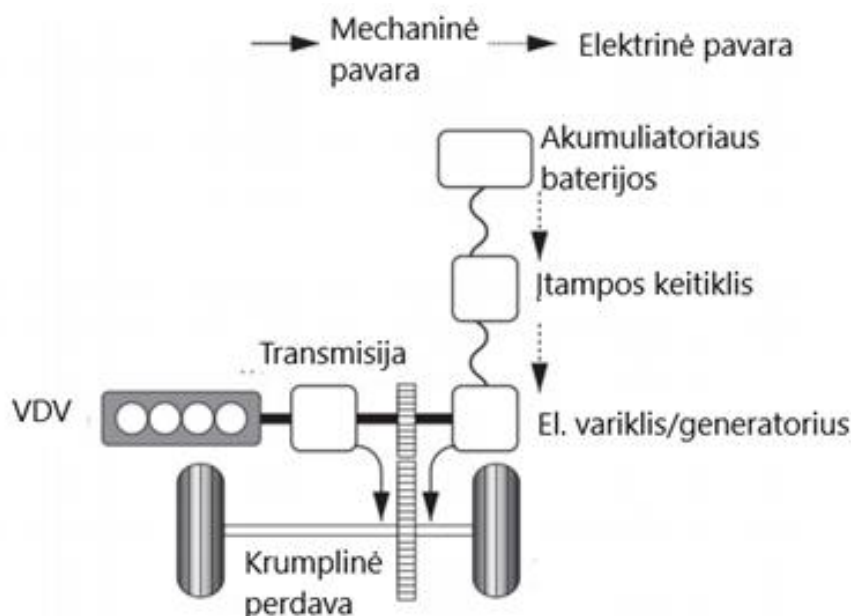
### 1.1.4. „Kištukiniai“ hibridiniai automobiliai

„Kištukiniai“ hibridai – tai tokiu pačiu principu kaip ir „visiški“ hibridai veikiantys automobiliai, tačiau juose naudojamos didesnės talpos akumuliatoriaus baterijos, kurios gali būti įkraunamos ne tik stabdymo metu, bet ir prijungiant krauti iš išorinio elektros energijos šaltinio. Dėl padidintos akumuliatoriaus baterijų talpos, šių hibridų nuvažiuojamas atstumas naudojant tik elektros variklį yra didesnis nei „visiškų“ hibridų – dažniausiai apie 30 kilometrų. Remiantis elektros ir elektronikos inžinierių instituto (IEEE) studentų atlikta apžvalga [7], automobilis yra priskiriamas „kištukinių“ hibridinių automobilių kategorijai, kai nuvažiuojamas atstumas su pilnai įkrautomis akumuliatoriaus baterijomis yra nemažesnis nei 16 kilometrų.

## 1.2. Hibridinių automobilių pavarų komponuotės

### 1.2.1. Lygiagretaus jungimo (paraleliniai) hibridiniai automobiliai

Paraleliniai hibridiniai automobiliai – tai automobiliai, kurie yra varomi tiek elektros, tiek vidaus degimo varikliu, ir yra sujungti per bendrą transmisiją (žr. 1.4 pav.). Galia tarp elektros variklio ir vidaus degimo variklio yra paskirstoma tokiu būdu, kad abu varikliai visada dirbtų efektyviausiais režimais. Šioje sistemoje atskiras generatorius nereikalingas, kadangi elektros variklis gali veikti ir generatoriaus režimu, kai to reikia. Elektros variklis pradeda veikti kaip generatorius tada, kai automobilis stabdomas, o kinetinė stabdymo energija paverčiama į elektros srovę ir yra „grąžinama“ atgal į baterijas. Lygiagrečiajame hibride elektros variklis naudojamas kaip pagalbinė priemonė vidaus degimo varikliui, o valdymo blokas jį įjungia tik tada, kai jo veikimas yra reikalingas.

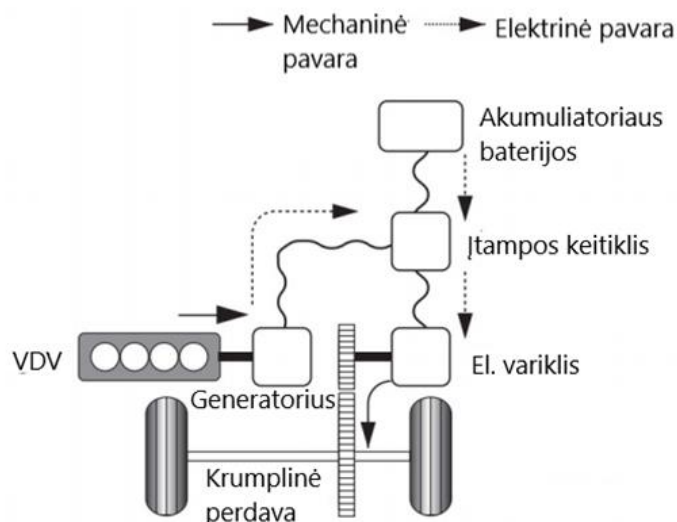


1.4 pav. Lygiagretaus HEV pavaros schema [2]

### 1.2.2. Nuoseklaus jungimo hibridiniai automobiliai

Nuoseklaus jungimo hibridai veikia panašiu principu kaip „visiškai“ elektriniai automobiliai. Šio tipo hibriduose vidaus degimo variklis sukimo momentą perduoda ne automobilio ratams, o elektros energijos generatoriui, kuris krauna akumuliatoriaus baterijas ir tuo pačiu „siunčia“ energiją elektros varikliui (žr. 1.5 pav.). Automobilio ratams sukimo momentas perduodamas tik iš elektros variklio, kuriam tiekiamą energiją iš akumuliatoriaus baterijų arba, kai to reikia, iš generatoriaus. Šio tipo hibridiniai automobiliai dar vadinami kaip „prailginto atstumo“ elektromobiliai, kadangi automobilio ratams sukimo momentas yra perduodamas tik iš elektros variklio, o išsekus akumuliatoriaus baterijoms, jos gali būti įkraunamos naudojant vidaus degimo variklį.

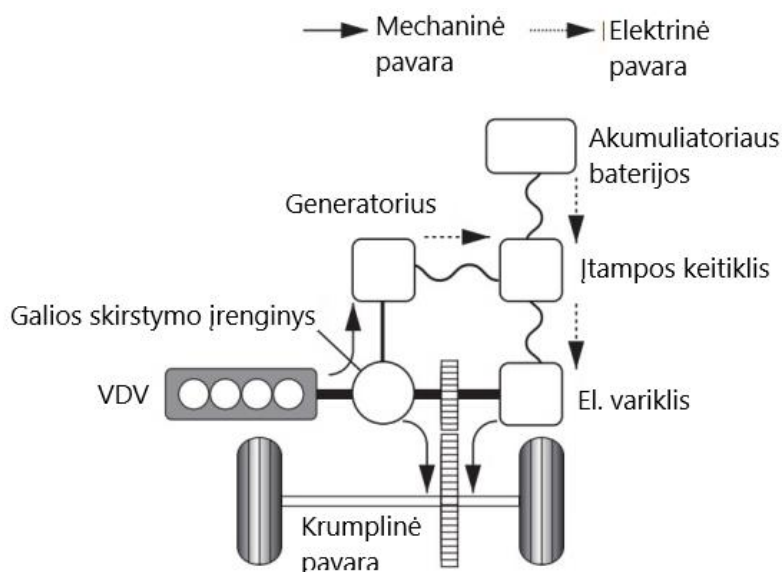




1.5 pav. Nuoseklus HEV pavaros schema [2]

### 1.2.3. Mišraus jungimo hibridinio automobilio

Mišraus jungimo hibrido pavarą sujungta taip, kad automobilio ratams sukimo momentas gali būti perduodamas tiek iš vidaus degimo variklio, tiek iš elektros variklio arba iš abiejų kartu. Galia paskirstoma taip, kad būtų pasiekiamas maksimalus efektyvumas. Mišraus jungimo hibridinio automobilio schema pavaizduota 1.6 paveiksle.



1.6 pav. Mišraus jungimo HEV pavarą [2]

### 1.3. Hibridinių automobilių akumulatoriaus baterijos

Vienas iš svarbiausių komponentų hibridiniuose automobiliuose yra akumulatoriaus baterijos (toliau AB). Jų paskirtis yra kaupti automobilio stabdymo metu regeneruotą elektros energiją, kuri vėliau panaudojama automobiliui išibėgėjant ar stovint vietoje, taip sumažinant vidaus degimo variklio energijos sąnaudas. Šiuolaikiniuose hibridiniuose automobiliuose dažniausiai yra naudojamos 3-ijų tipų AB [8]:

- **Švino rūgšties AB;**

Švino rūgšties AB yra vienas seniausių AB tipų naudojamų automobilių pramonėje. Šio tipo AB automobiliuose dažniausiai yra naudojamos vidaus degimo variklio užvedimui, tačiau buvo naudojamos ir pirmuosiuose hibridiniuose automobiliuose. Švino rūgšties AB yra sąlyginai galingos, pigios ir patikimos, tačiau dėl žemos specifinės energijos, prasto veikimo žemoje temperatūroje bei trumpo gyvavimo ciklo, šiuolaikiniuose hibridiniuose automobiliuose naudojamos retai.

- **Nikelio metalo hidrido AB;**

Nikelio metalo hidrido AB – tai vienas iš labiausiai paplitusių AB tipų naudojamų hibridiniuose automobiliuose. Šio tipo AB energijos kaupimui naudoja vandenilį, o vandenilio jonų apsaugojimui naudojamas nikelio metalas. Nikelio metalo hidrido AB pasižymi ilgaamžiškumu, aukšta savitąja galia bei energija todėl yra tinkamos naudoti hibridiniuose automobiliuose. Nikelio metalo hidrido AB didžiausi trūkumai yra brangi gamyba, aukštas savaiminio išsikrovimo lygis ir šilumos generavimas esant aukštai aplinkos temperatūrai.

- **Ličio-jonų (angl. Lithium-Ion) AB;**

Ličio-jonų AB, kaip ir nikelio metalo hidrido AB, yra dažnai yra naudojamos įvairiuose nešiojamuose elektronikos prietaisuose, tokiuose kaip mobilieji telefonai, nešiojami kompiuteriai ir t.t. Šio tipo AB pasižymi dideliu galios ir masės santykiu, geru veikimu aukštoje temperatūroje, mažu savaiminio išsikrovimo lygiu, greitu įkrovimu bei dideliu našumu. Dėl šių privalumų, ličio-jonų akumulatoriaus baterijos yra vis dažniau naudojamos šiuolaikiniuose elektriniuose ir hibridiniuose automobiliuose, tokiuose kaip „Nissan Leaf“, „Mitsubishi i-MiEV“ bei „Honda Fit“ [9]. Didžiausias šio tipo akumulatoriaus baterijų trūkumas yra didelė pagaminimo kaina.

Svarbiausi kriterijai pasirenkant AB hibridiniam automobiliui yra:

- nuvažiuojamas atstumas su pilnai įkrautomis AB;
- talpos ir masės ir santykis;
- galios ir masės santykis;
- kaina.

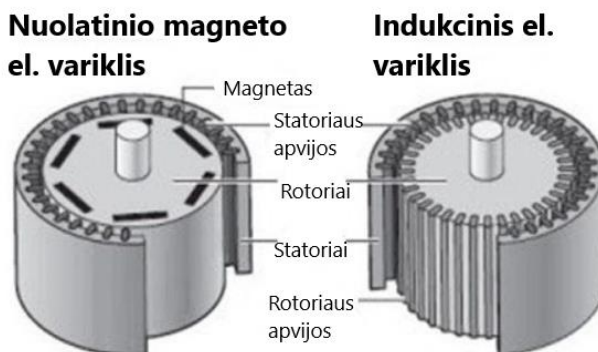
1.1 lentelėje pateikiamas skirtingų AB, naudojamų hibridiniuose automobiliuose, palyginimas, atsižvelgiant į aukščiau išvardintus AB pasirinkimo kriterijus.

**1.1 lentelė.** Pagrindinių akumulatoriaus baterijų, naudojamų hibridiniuose automobiliuose, palyginimas [10]

AB tipas	Maksimalus nuvažiuojamas atstumas kai AB masė yra 350 kg, km	Talpos ir masės santykis, Wh/kg	Galios ir masės santykis, W/kg
Švino rūgšties	<100	30-40	180
Nikelio metalo hidrido	150-150	60-120	220
Ličio-jonų	>200 (~250)	120-130	315

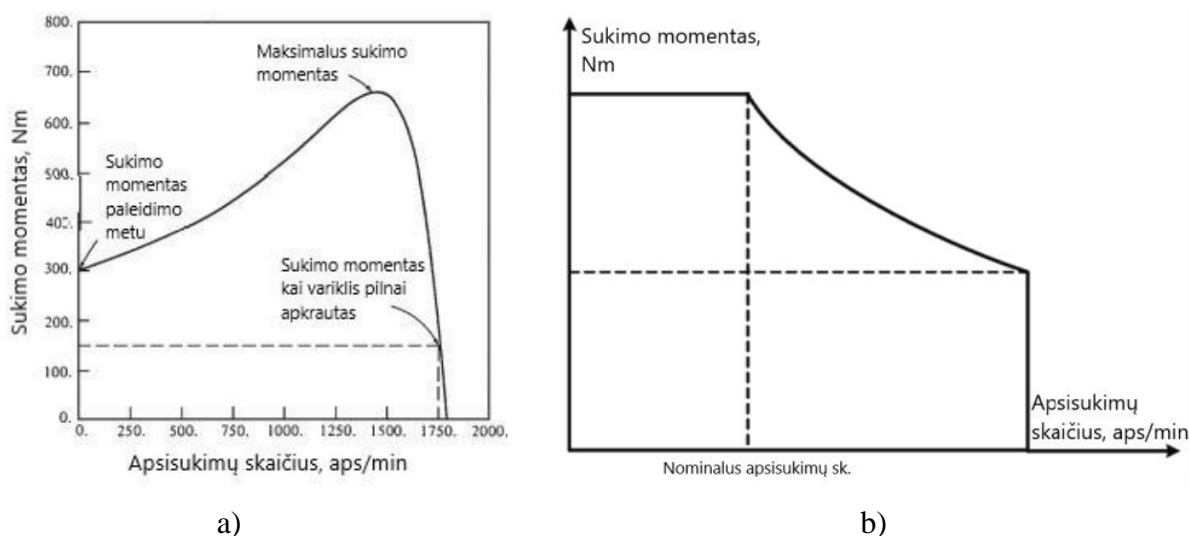
#### 1.4. Hibridinių automobilių elektros varikliai

Hibridiniuose automobiliuose elektros variklis dažniausiai atlieka 2 pagrindines funkcijas: įsibėgėjimo metu, atskirai arba kartu su vidaus degimo varikliu, perduoda sukimo momentą varantiesiems ratams, o stabdymo metu – veikia kaip generatorius ir krauna AB. Elektros variklis taip pat dažnai naudojamas vidaus degimo variklio užvedimui. Hibridiniuose automobiliuose dažniausiai naudojami 2-jų tipų kintamos srovės elektros varikliai: nuolatinio magneto (sinchroniniai) ir trifaziai arba daugiafaziai indukciniai (žr. 1.7 pav.)[11].



1.7 pav. Nuolatinio magneto ir indukcinio elektros variklių sandara [12]

Trifaziai indukciniai elektros varikliai yra pigūs, patikimi ir didelį našumą (90-95 %) turintys elektros varikliai [13]. Šio tipo varikliai geba išvystyti didelę galią bei sukimo momentą, o dėl savo paprastos konstrukcijos jiems nereikalinga dažna priežiūra. Didžiausi variklio trūkumai: sudėtingas valdymas, mažas pradinis sukimo momentas, esant aukštiems variklio ir didelei apkrovai atsiranda „slydimas“, t.y. variklio sukimo momentas staigiai mažėja (žr. 1.8 pav.).



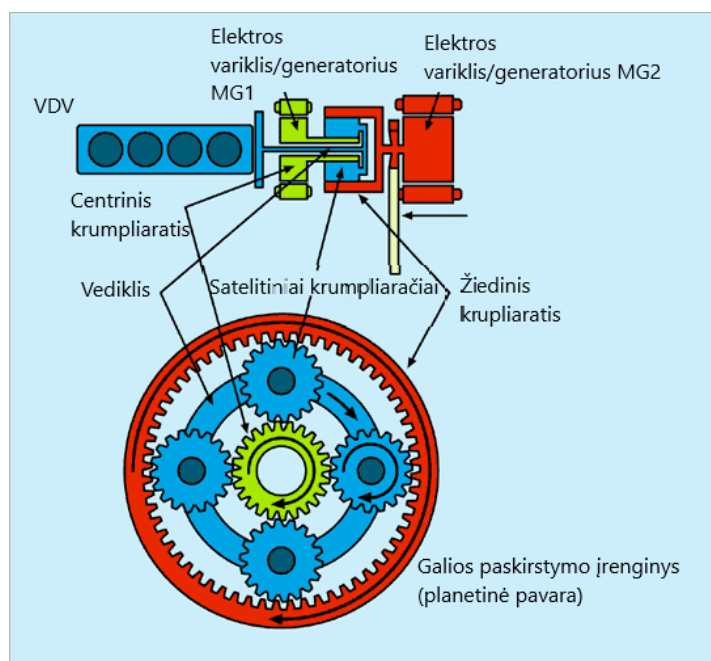
1.8 pav. Kintamos srovės elektros variklių sukimo momento priklausomybė nuo apsisukimų. a) – indukcinio elektros variklio; b) – nuolatinio magneto elektros variklio [14, 15]

Nuolatinio magneto elektros varikliai veikia panašiu principu kaip ir indukciniai, tačiau jų rotoruose yra integruoti nuolatiniai magnetai (žr. 1.7 pav.). Kadangi šio tipo varikliuose naudojami nuolatiniai magnetai, nebereikalinga papildoma energija magnetiniams poliems gaminti, o rotorius gali sukėti sinchroniškai, todėl nebelieka indukcinio tipo variklyje pasireiškiančio „slydimo“ bei pagerinamas šiluminis efektyvumas. Nuolatinio magneto elektros varikliai pasižymi 2-3 kartus didesniu sukimo

momentu plačiame variklio apsisukimų diapazone bei mažesniais galios nuostoliais, taip pat šio tipo variklio valdymas yra daug paprastesnis lyginant su indukcinio tipo elektros varikliu. Didžiausias nuolatinio magneto elektros variklio trūkumas – sąlyginai didelė kaina. Nepaisant to, daugeliu atvejų šio tipo variklis yra tinkamesnis pasirinkimas naudojimui hibridiniame automobilyje.

### 1.5. Hibridinių automobilių transmisijos

Hibridiniuose automobilyuose naudojama transmisija priklauso nuo hibridinės pavaros komponentų. Kai hibridinė pvara yra nuoseklaus jungimo, daugeliu atvejų transmisija yra nereikalinga, kadangi automobilio ratams sukimo momentas perduodamas tik iš elektros variklio, todėl sukimo momentą galima perduoti per įprastinę krumplinę perdavą. Tačiau lygiagretaus ar mišraus jungimo atveju, reikalingas galios paskirstymo įrenginys, kuris leidžia tinkamai paskirstyti sukimo momentą tarp vidaus degimo ir elektros variklių bei nuolat keisti perdavimo santykį (žr. 1.9 pav.).

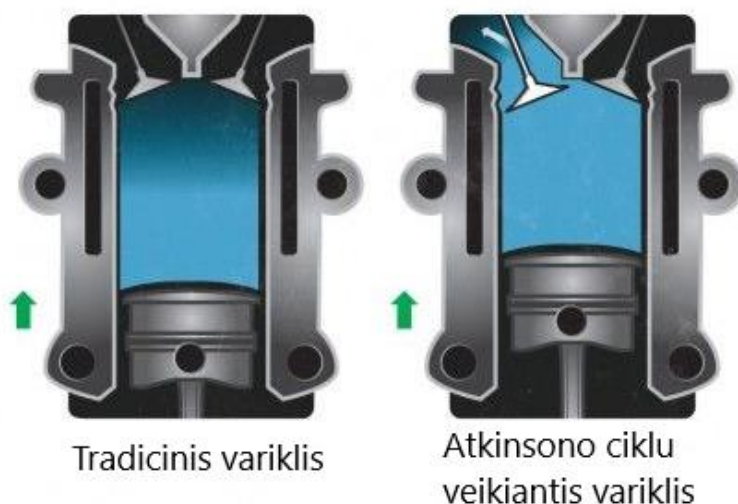


1.9 pav. Hibridinio automobilio galios paskirstymo įrenginys [16]

Kaip matoma iš 1.9 paveikslo, galios paskirstymo įrenginys yra planetinių pavarų rinkinys, kuris jungia vidaus degimo variklį ir pirminį elektros variklį/generatorių MG2 bei antrinį (mažesnę) elektros variklį/generatorių MG1. Vidaus degimo variklis yra sujungtas su planetinės pavaros vedikliu ir perduoda sukimo momentą satelitiniais krumpliaraičiais, o antrinis elektros variklis MG1 yra sujungtas su centriniu krumpliaraičiu. Pirminis elektros variklis MG2 yra sujungtas su išoriniu žiediniu krumpliaraičiu bei perduoda sukimo momentą diferencialui, o pastarasis – automobilio ratams. Elektros variklis MG1 dažniausiai dirba generatoriaus režimu arba, reikalui esant, veikia kaip vidaus degimo variklio užvedimo starteris. Automobiliui pradendant važiuoti sukimo momentas visada perduodamas tik iš pirminio elektros variklio MG2, o jei AB yra nepakankamas energijos kiekis, užvedamas vidaus degimo variklis, kuris perduoda sukimo momentą generatoriui MG1, o pastarasis įkrauna AB. Automobiliui pasiekus 67 km/h greitį ar įsibėgėjant pilnu pajėgumu, automobilio ratams sukimo momentas perduodamas iš vidaus degimo variklio ir iš elektros variklio MG2 kartu, o generatorius MG1 reguliuoja perdavimo santykį [17]. Automobilio valdymo blokas, kuris, priklausomai nuo automobilio greičio, reikiamos galios ir kitų sąlygų, siunčia signalus į kiekvieną variklį bei parenka efektyviausią važiavimo režimą.

## 1.6. Šiuolaikiniuose hibridiniuose automobiliuose naudojamų vidaus degimo variklių ypatumai

Hibridinių automobilių konstrukcija yra daug sudėtingesnė nei tradicinių automobilių, o jiems pagaminti reikia daug įvairių resursų bei komponentų. Nepaisant to, vienas iš svarbiausių hibridiniame automobilyje naudojamų komponentų yra vidaus degimo variklis. Priklausomai nuo automobilio paskirties, vidaus degimo varikliai montuojami šiuolaikiniuose automobiliuose būna įvairaus litražo bei cilindų skaičiaus, cilindrai gali būti išdėstomi eilėje, „V“ formoje, opoziciniai ir t.t. Tačiau, siekiant maksimalaus efektyvumo ir ekonomiškumo, hibridiniuose automobiliuose dažniausiai naudojami nedidelio tūrio, dažniausiai 4-ių cilindų eilėje, vidaus degimo varikliai, kurie veikia Atkinsono ciklu. Atkinsono ciklas – tai britų inžinieriaus James Atkinson 1882 m. išrastas Oto variklio „patobulinimas“, kurio veikimo principas buvo pritaikytas moderniuose vidaus degimo varikliuose [18]. Atkinsono ciklo tikslas buvo sumažinti įprastinio Oto variklio degalų sąnaudas ir pagerinti variklio efektyvumą. Varikliai, kurie yra suprojektuoti dirbti Atkinsono ciklu, iš esmės savo konstrukcija niekuo nesiskiria nuo Oto variklio. Įprastiniame variklyje suspaudimo takto metu, kai stūmoklis kyla aukštyn, įsiurbimo vožtuvai visada būna uždaryti, taip sudarant atitinkamą slėgį. 1.10 paveiksle matoma, kad Atkinsono ciklu dirbančiame variklyje suspaudimo takto metu įsiurbimo vožtuvai yra laikomi atidaryti ilgesnį laiką, todėl cilindre susidaro mažesnis slėgis ir stūmoklis turi mažesnę pasipriešinimą, dėl to pagerėja variklio efektyvumas ir sumažėja degalų sąnaudos.



1.10 pav. Tradicinio ir Atkinsono ciklu veikiančio vidaus degimo variklių suspaudimo taktai [19]

Tačiau toks variklio veikimo ciklas turi ir trūkumų. Nors Atkinsono ciklu dirbantis variklis sunaudoja mažiau degalų, tačiau maksimali išvystoma galia taip pat sumažėja, o variklis dirba efektyviausiai tik esant aukštiems sūkiams. Dėl šios priežasties Atkinsono ciklu dirbantys varikliai yra tinkami naudoti tik hibridiniuose automobiliuose, kadangi hibridinėje pavaroje veikiantis elektros variklis „papildo“ vidaus degimo variklį ir prideda galios kai to reikia, pavyzdžiui esant žemiems sūkiams. Taip pat, jei hibridinė sistema naudoja beaipsnę (CVT) transmisiją, Atkinsono ciklu dirbantis variklis gali būti pastoviai aukštų sūkių zonoje – ten, kur jis yra efektyviausias.

## 1.7. Automobilio „Ford Mondeo Hybrid“ apžvalga

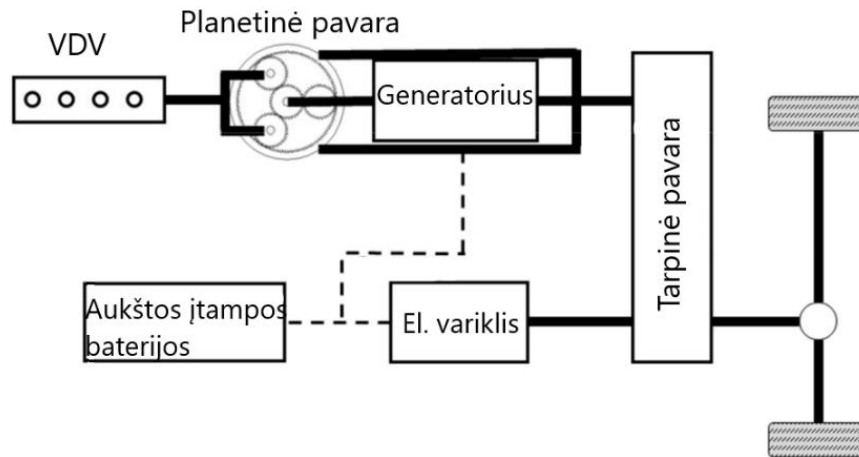
„Ford Mondeo“ – tai didelis šeimos automobilis, kurio gamyba pirmą kartą pradėta 1993 m. Iki šiol, „Ford“ yra pagaminęs 4 skirtingas „Ford Mondeo“ kartas, kurios buvo gaminamos sedano, hečbeko

arba universalio tipo kėbuluose. 2012 metais Ford pristatė naujausią 4-os kartos „Ford Mondeo“, kuris vėliau, nuo 2014 metų, buvo siūlomas su hibridine pavarą (žr. 1.11 pav.). Tai buvo pirmasis Ford kompanijos gaminamas hibridinis automobilis skirtas Europos rinkai [20].



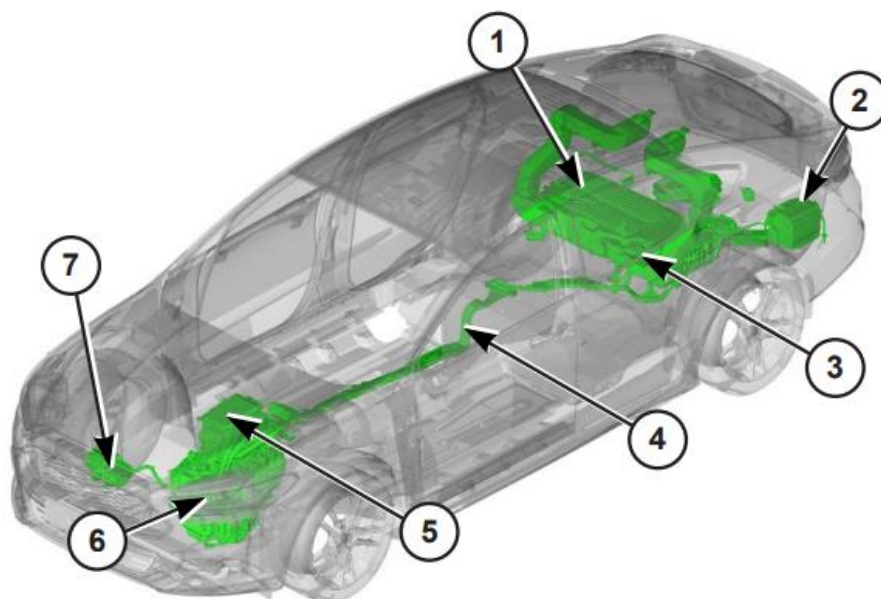
**1.11 pav.** 2014 m. gamybos „Ford Mondeo Hybrid“ [21]

Naujasis „Ford Mondeo Hybrid“ buvo komplektuojamas su 2.0-litrų darbinio tūrio Atkinsono ciklu veikiančiu vidaus degimo varikliu, kuris buvo specialiai suprojektuotas veikti kartu su naująja hibridine sistema. Hibridinę pavarą sudaro 1,4 kWh ličio jonų akumuliatoriaus baterijos ir 35 kW galingumo elektros variklis, kuris, kartu su vidaus degimo varikliu, sujungtas per bendrą „e-CVT“ (kintamo perdavimo) tipo pavarų dėžę. Elektros ir vidaus degimo variklių išvystoma maksimali galia yra 138 kW, kurios užtenka automobiliui iki 100 km/h įsibėgėti per 9,2 sekundės. 1.12 paveiksle matoma, kad Ford sukūrė „Hybrid split“ hibridinėje sistemoje vidaus degimo variklis, generatorius bei tarpinė pavarą yra sujungti per planetinę (elektromechaninę) pavarą, o elektrinė pavarą sudaryta iš aukštos įtampos ličio jonų akumuliatoriaus baterijų ir elektros variklio, kuris sukimo momentą į ratus perduoda tiesiogiai per tarpinę pavarą. Ši sistema gali veikti trimis režimais: naudojant tik elektros energiją, naudojant tik vidaus degimo variklį arba naudojant abu kartu. Elektroninis valdymo blokas, kuris priklausomai nuo vairuotojo atliekamų veiksmų ir gaunamų jutiklių signalų parenka optimalų važiavimo režimą. Automobiliui važiuojant laisva eiga arba iš lėto bėgėjantis, automobilis gali važiuoti tik elektriniu režimu, tačiau stipriau nuspaudus akseleratoriaus pedalą arba atsiradus tam tikro dydžio apkrovai, įjungiamas vidaus degimo variklis. Kiekvieną kartą automobiliui lėtėjant ar stabdant, vidaus degimo variklis išjungiamas, o stabdymo metu automobilio ratų sukimo momentas perduodamas generatoriui. Generatorius stabdymo metu atsiradusią kinetinę energiją paverčia elektros energija, o pastaroji yra kaupiama aukštos įtampos ličio jonų akumuliatoriaus baterijose. Verta paminėti, jog elektromechaninės pavaros perdavimo santykis yra reguliuojamas generatoriumi, kuris gauna signalus iš sistemos valdymo bloko. Perdavimo santykis sureguliuojamais taip, kad vidaus degimo variklis dirbtų efektyviausiame sūkių diapazone.



**1.12 pav.** Ford užpatentuota „Hybrid split“ sistema [22]

1.13 paveiksle pateikiamas automobilio „Ford Mondeo Hybrid“ hibridinės sistemos pagrindinių elektronikos komponentų išdėstymas. Iš paveikslo matoma, kad aukštos įtampos ličio jonų akumuliatoriaus baterijos (1) yra išdėstytos galinėje automobilio dalyje, už galinių sėdynių, o įprastinė 12 V akumuliatoriaus baterija (2) sumontuota automobilio bagažinės kairiajame kampe. 3 numeriu pažymėtas aukštos įtampos išjungėjas, kuris sumontuotas už galinės sėdynės atlošo, o 4 numeriu pažymėti aukštos įtampos laidai, kurie išdėstyti prie automobilio dugno ir perduoda elektros srovę nuo automobilio galinės dalies iki automobilio priekio, kur sumontuotas elektros variklis bei generatorius. Virš automobilio transmisijos (6) yra pritvirtintas transmisijos valdymo blokas (5), kuris tiekia elektros srovę elektros varikliui bei generatoriui ir tuo pačiu keičia transmisijos perdavimo santykį. Automobilio priekyje sumontuotas elektrinis oro kondicionieriaus siurblys (7), kuriam taip pat tiekama aukštos įtampos elektros srovė.



**1.13 pav.** „Ford Mondeo Hybrid“ hibridinės sistemos pagrindinių komponentų išdėstymas [23]. 1 – Aukštos įtampos baterijos; 2 – 12 V akumuliatoriaus baterijos; 3 – aukštos įtampos išjungėjas; 4 – aukštos įtampos laidai; 5 – transmisijos valdymo blokas; 6 – transmisija; 7 – elektrinis oro kondicionieriaus siurblys.

„Ford Mondeo Hybrid“ sistema, bei daugelio kitų gamintojų hibridinės pavaros, savo veikimo principu yra labai panašios į vieną populiariausių „Toyota Hybrid Synergy Drive“ hibridinių sistemų, kuri pirmą kartą debiutavo automobilyje „Toyota Prius“ [24]. Palyginimui, 1.2 lentelėje pateikiamos „Ford Mondeo Hybrid“, „Toyota Prius“, „Honda Civic Hybrid“ ir Volkswagen Golf GTE“ hibridinių automobilių specifikacijos.

**1.2 lentelė.** Hibridinių automobilių specifikacijų palyginimas [25, 26, 27, 28, 29]

	„Ford Mondeo Hybrid“	„Toyota Prius“	„Honda Civic Hybrid“	„Volkswagen Golf GTE“
<b>Pagaminimo metai</b>	<b>2014-2022</b>	<b>2009-2015</b>	<b>2011-2017</b>	<b>2014-2017</b>
<b>VDV/El. variklis/Bendra galia, kW</b>	105/35/138	73/60/100	65/17/82	112/76/152
<b>VDV darbinis tūris, cm<sup>3</sup></b>	1999	1798	1497	1395
<b>Įsibėgėjimas 0-100 km/h, s</b>	9,2	10,4	11,9	7,6
<b>Degalų sąnaudos mieste/užmiesty/mišrios, l/100km</b>	2,8/5,0/4,2	4,3/4,3/4,4	5,3/5,3/5,3	1,5/1,5/1,5
<b>Baterijų tipas/talpa, kWh</b>	Ličio-jonų/1,4	Nikelio metalo hidrido/1,3	Ličio-jonų/0,65	Ličio-jonų/8,7
<b>CO<sub>2</sub> emisijos, g/km</b>	101	89	109	35
<b>Transmisijos tipas</b>	e-CVT	e-CVT	CVT	DSG
<b>Masė, kg</b>	1579	1345	1294	1524

Iš 1.1 lentelėje pateiktų automobilių specifikacijų matoma, kad automobilių gamintojų deklaruojami rodmenys kai kuriais aspektais yra labai skirtingi, pavyzdžiui, „Ford Mondeo Hybrid“ deklaruoja, jog degalų sąnaudos mieste yra 2,8 l/100 km, „Toyota Prius“ – 4.3l/100km, o „Volkswagen Golf GTE“ – 1,5 l/100 km. Taip pat galima pastebėti, kad į aplinką kenksmingųjų CO<sub>2</sub> dujų mažiausia išmeta „Volkswagen Golf GTE“, o daugiausiai – „Honda Civic Hybrid“. Didžiausias skirtumas tarp „Volkswagen Golf GTE“ ir kitų hibridinių autobilių yra tas, kad pastarasis yra „kištukinis“ hibridas, todėl jo AB talpa yra ženkliai didesnė nei kitų, „pilnai“ hibridinių automobilių.



## 2. Tyrimų metodika ir skaičiavimai

Šiame skyriuje pateikiama tyrimų metodika, kuria remiantis atliekami eksperimentiniai bandymai su hibridiniu automobiliu. Tolimesniuose poskyriuose bus aprašomas eksperimente naudotas automobilis bei įranga, aprašoma eksperimento eiga bei pateikiami išmatuoti parametrai.

### 2.1. Eksperimente naudotas hibridinis automobilis

Eksperimentas buvo atliekamas naudojant 2017 m. gamybos, „pilnai“ hibridinį automobilį Toyota Prius (XW50), kuriame yra sumontuota lygiagrečioji hibridinė pavara (žr. 2.1 pav.).



2.1 pav. Eksperimente naudojamas hibridinis automobilis Toyota Prius (XW50) [30]

Pagrindiniai bei kiti tyrime reikalingi automobilio duomenys pateikti 2.1 lentelėje. Gamintojo deklaruojama automobilio masė yra 1350 kg., tačiau eksperimento metu automobilyje sėdėjo vairuotojas ir du keleiviai, todėl tolimesniuose skaičiavimuose automobilio masė bus pakoreguota į 1550 kg.

2.1 lentelė. Automobilio Toyota Prius (XW50) pagrindiniai duomenys [31]

Parametro pavadinimas	Reikšmė	Matavimo vienetai
<b>Vidaus degimo variklis</b>		
Darbinis tūris	1798	cm <sup>3</sup>
Galia	73	kW/esant 5200 aps.
Cilindrų skaičius	4	vnt.
<b>Elektros variklis</b>		
Variklio tipas	Kintamos srovės trifazis sinchroninis	-
Variklio maksimali galia	53	kW
Sukimo momentas	40	Nm
<b>Akumulatoriaus baterijos</b>		
Baterijos talpa	0,7	kWh
Baterijos įtampa	207,2	V
<b>Kiti duomenys</b>		
Galia (VDV+ el. variklis)	100	kW
Masė	1350	kg
Aerodinaminis koeficientas	0,24	-
Midelio plotas	2,397	m <sup>2</sup>

## 2.2. Eksperimente naudota įranga

Tyrimui atlikti reikalinga išmatuoti automobilio judėjimo greičio, pagreičio bei nuvažiuoto atstumo kitimą laiko atžvilgiu. Šiems parametrus išmatuoti buvo naudojamas matavimo prietaisas „DL1 Data Logger“ (žr. 2.2 pav.), kuris skirtas matuoti įvairius automobilio parametrus ir yra orientuotas į naudojimą lenktynių trasoje, tačiau gali būti naudojamas ir kitose srityse. Šis prietaisas naudodamas aukšto tikslumo GPS signalus bei jame įmontuotą akcelerometrą matuoja automobilio greitį, pagreitį, išcentrinę jėgą bei kitus dinامينius parametrus. Taip pat prietaisas geba tiksliai nustatyti automobilio buvimo vietą laiko atžvilgiu, o visi išmatuoti duomenys gali būti perkelti tiesiai į kompiuterį, kur vėliau, naudojant „Race-Technology“ programinę įrangą, duomenys gali būti stebimi ir analizuojami.



2.2 pav. „DL1 Data Logger“ automobilio dinaminė charakteristikų matavimo prietaisas [32]

Atliekant eksperimentą taip pat reikalinga išmatuoti automobilio stabdymo metu regeneruojamos bei išsibėgėjimo metu panaudojamos elektros energijos kiekį. Šiam tikslui buvo panaudotas keturių kanalų osciloskopas „PicoScope3423“ kartu su srovės matavimo replėmis „Pico TA019“ (žr. 2.3 pav.), kurių pagalba buvo matuojamas iš ir į baterijas tekančios srovės stipris, o išmatuoti dydžiai perkeltami į kompiuterį. Matuojamų duomenų stebėjimui ir įrašymui buvo naudotas nešiojamas kompiuteris „HP“. Osciloskopo bei srovės matavimo replių techniniai duomenys pateikti 2.2 lentelėje.



2.3 pav. Keturių kanalų osciloskopas „PicoScope3423“ ir srovės matavimo replės „Pico TA019“ [33, 34]

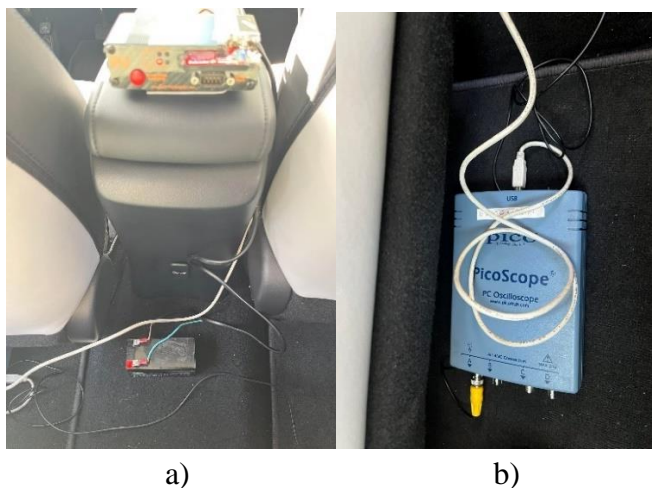
**2.2 lentelė.** Osciloskopo „Picoscope3423“ ir srovės matavimo replių „Pico TA019“ techniniai duomenys [34, 35]

Osciloskopo techniniai duomenys		Srovės matavimo replių techniniai duomenys	
Vertikali raiška	12 bitų	Matavimo ribos	0 – 600 mV (0-600 A)
Analoginio kanalo dažnis	10 MHz	Matavimo temperatūra	0 – 50 °C
Kanalai	4	Matavimo tikslumas	AC 0 - 400 A (2 % skalės + 2 A)
Įvestys	4 BNC įvestys su 1 MΩ varža		AC 400 - 500 A ± (3 % skalės + 2 A)
Įtampos diapazonai	± 50 V, ± 20 V, ± 10 V, ± 5 V, ± 2 V ± 1 V ± 500 mV, ± 200 mV, ± 100 mV, ± 50 mV, ± 20 mV		AC 500 - 600 A ± (6 % skalės + 2 A)
Matavimo tikslumas	Įtampa: 1 %; laikas: 50 ppm		DC 0 – 600 A ± (2 % skalės + 2 A)
Prijungimas prie kompiuterio	USB 2.0, USB 1.1	Varža	10 kΩ

### 2.3. Eksperimento atlikimo sąlygos ir eiga

Prieš pradėdant bandomuosius važiavimus, pirmiausiai buvo sumontuoti anksčiau minėti matavimo prietaisai:

- dinaminių charakteristikų matavimo prietaisas „DL1 Data Logger“ buvo sumontuotas automobilio viduryje, ant porankio tarp vairuotojo ir keleivio sėdynių bei prijungtas prie 12 V maitinimo šaltinio (žr. 2.4 pav.). Taip pat ant automobilio stogo sumontuota „DL1 Data Logger“ matavimo prietaiso GPS antena;
- po automobilio galine sėdyne, priekamoje vietoje, ant akumuliatoriaus baterijų iškrovimo - įkrovimo aukštos įtampos kabelio uždedamos srovės matavimo replės, kurios prijungiamos prie osciloskopo „Picoscope3423“;



**2.4 pav.** Matavimo prietaisų sujungimas. a) – sumontuotas dinaminių charakteristikų matavimo prietaisas „DL1 Data Logger“; b) – prijungtas osciloskopas „Picoscope3423“.

- Galiausiai, sumontuoti prietaisai prijungiami prie nešiojamo kompiuterio „HP“, į kurį automatiškai siunčiami bandomųjų važiavimų metu matuojami duomenys (žr. 2.5 pav.). Kompiuteryje iš anksto buvo įdiegti „PicoScope 6 Automotive“ ir „Race Technology v.85“ programinės įrangos paketai, kurie atitinkamai skirti „DL1 Data Logger“ ir „Picoscope3423“ prietaisų matuojamų duomenų stebėjimui ir įrašymui.



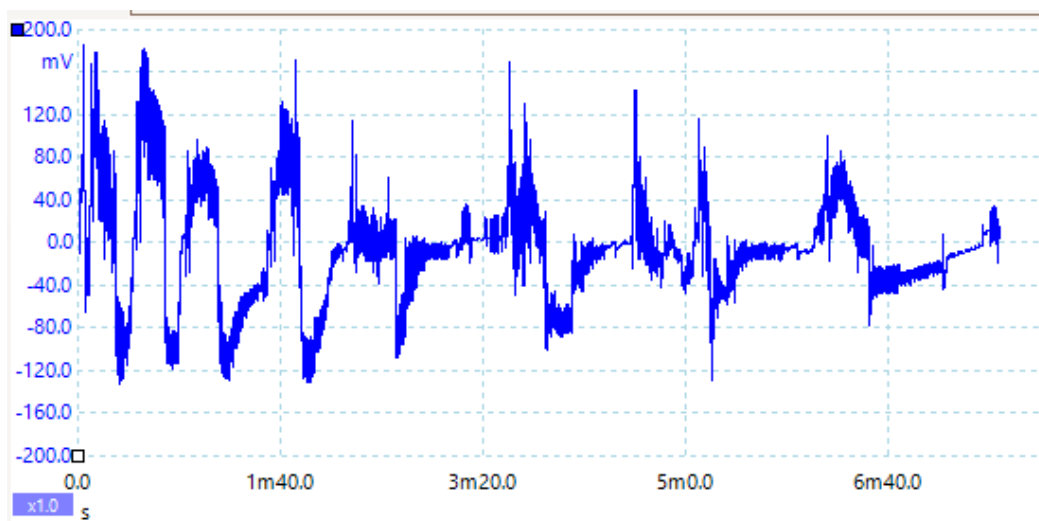
**2.5 pav.** Duomenų stebėjimui ir saugojimui naudotas nešiojamas kompiuteris „HP“

Eksperimento metu buvo atlikti 2 bandomieji važiavimai kelyje A6, atkarpoje tarp Kauno ir Jonavos. Pirmasis bandomasis važiavimas buvo atliekamas Kauno kryptimi, kelio A6 atkarpoje nuo 26,2 km. iki 18,05 km., o antrasis - Jonavos kryptimi, kelio A6 atkarpoje nuo 19,75 km. iki 26,2 km. Oro temperatūra eksperimento metu buvo 8 °C. Bandomųjų važiavimų metu automobiliu buvo įsibėgėjama nuo 0 iki 90-105 km/h ir vėl sustojama. Iš viso, abiejų bandomųjų važiavimo metu, buvo atlikta 18 įsibėgėjimo – sustojimo ciklų. Kiekvieno ciklo metu buvo stengiamasi išlaikyti kuo panašesnį įsibėgėjimo intensyvumą. Baigus eksperimentą išmatuoti duomenys išsaugoti kompiuteryje, o naudota įranga – išmontuota.

## **2.4. Matavimų rezultatai ir galios pasiskirstymo skaičiavimai**

### **2.4.1. Duomenų apdorojimas**

Atlikus eksperimentą ir išmatavus tyrimui atlikti reikalingus parametrus, toliau atliekamas duomenų apdorojimas. Pirmiausiai apdorojami osciloskopu išmatuotos srovės duomenys. 2.6 paveiksle matoma, jog srovės stiprio matavimo vienetai yra mV, tačiau pagal srovės matavimo replių charakteristikas, 1 mV yra lygus 1 A srovės. Srovės matavimo dažnis yra 16,67 ms, o matavimo diapazonas -  $\pm 200$  mV.



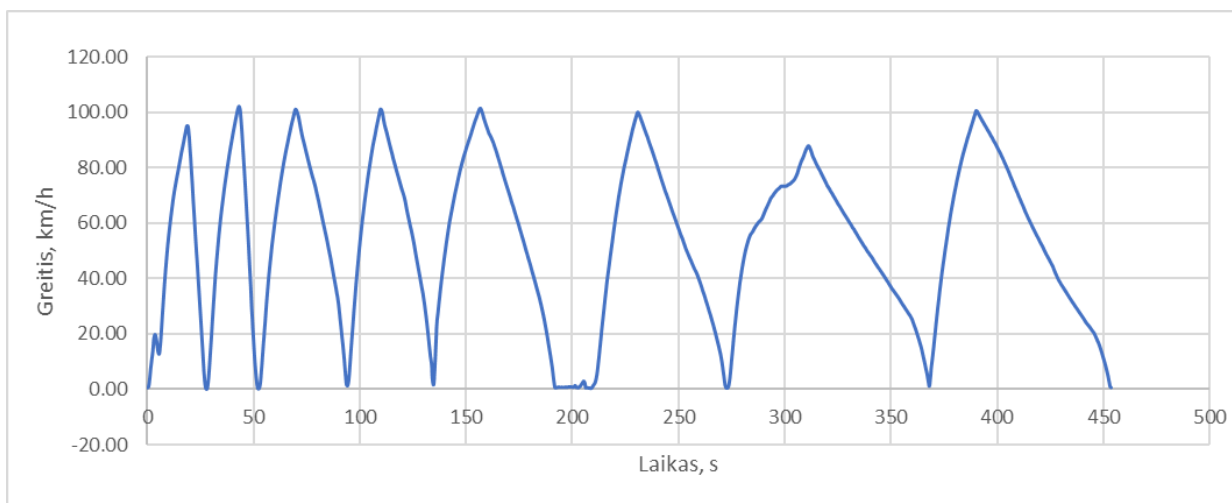
**2.6 pav.** Pirmojo bandomojo važiavimo išmatuotos srovės kitimas laiko atžvilgiu

Iš 2.6 paveikslo matoma, kad išmatuotos srovės stiprio reikšmių kitimo dažnis yra labai didelis, todėl srovės duomenys nufiltruojami naudojant „LS-PrePost“ programinę įrangą. Tiek pirmojo, tiek antrojo bandomojo važiavimo išmatuotos srovės reikšmės nufiltruojamos iki 0,5 s bei išsaugojamos „txt“ failo formatu.

Apdorojus srovės duomenis, toliau sutvarkomi automobilio dinaminiai parametrai, kurie buvo išmatuoti su matavimo prietaisu „DL1 Data Logger“. Atsidarius „RaceTechnology“ programinę įrangą, nustatomas išmatuotų duomenų reikšmių dažnis – kas 0,5 s, o duomenys taip pat išsaugomi „txt“ failo formatu. Tiek srovės, tiek dinaminiai parametrai įkeliami į „Microsoft Excel“ programinę įrangą, su kuria atliekama duomenų analizė bei tolimesni skaičiavimai.

#### **2.4.2. Automobilio pagreičio ir hibridinės pavaros elektros srovės kitimo laiko atžvilgiu nustatymas**

Siekiant atlikti numatomus skaičiavimus tolimesnėje tyrimo dalyje, toliau pateikiami realaus eksperimento metu išmatuoti rezultatai. Kaip anksčiau minėta, pirmojo bandomojo važiavimo metu atlikti 8 įsibėgėjimai – sustojimai (žr. 2.7 pav.), antrojo bandomojo važiavimo metu – 10 įsibėgėjimų–sustojimų.



**2.7 pav.** Automobilio greičio kitimas laike pirmojo bandomojo važiavimo metu

Kadangi yra žinomas automobilio greičio kitimas laiko atžvilgiu, apskaičiuojamas automobilio pagreitis  $a_n$ , duotuoju laiko momentu, naudojant 2.1 išraišką:

$$a_n = \frac{v_n - v_{n-1}}{\Delta t}; \quad (2.1)$$

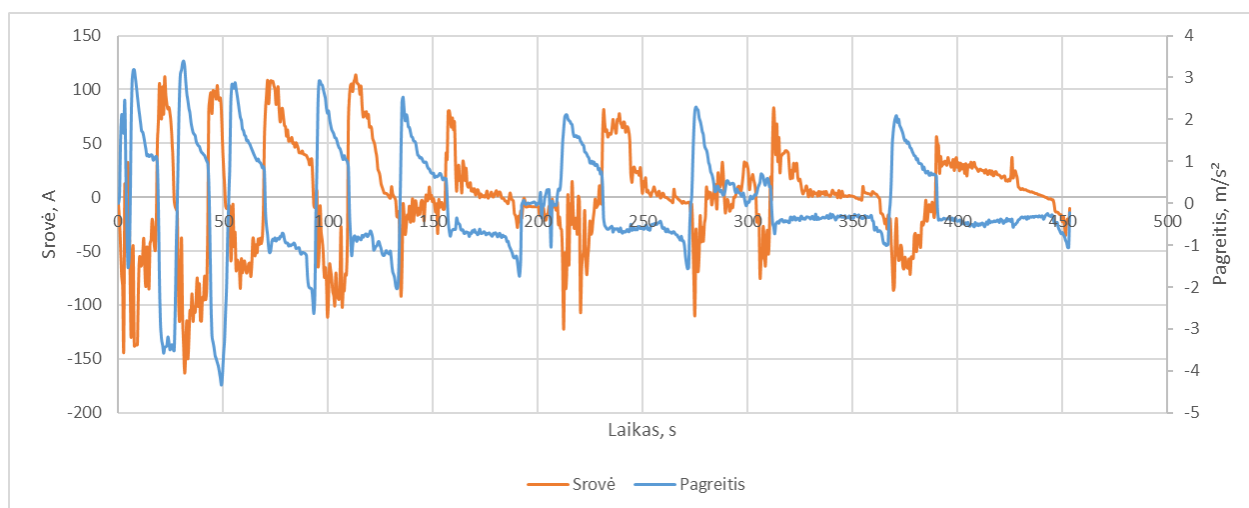
čia  $a_n$  – automobilio pagreitis n-tuoju laiko momentu ( $\text{m/s}^2$ );

$v_n$  – galinis greitis ( $\text{m/s}$ );

$v_{n-1}$  – pradinis greitis ( $\text{m/s}$ );

$\Delta t$  – laiko skirtumas (s).

Apskaičiavus automobilio pagreitį, sudaromas automobilio pagreičio ir išmatuotos elektros srovės stiprio kitimo laiko atžvilgiu grafikas. 2.8 paveiksle matoma, jog esant teigiamam pagreičiui, t.y. automobiliui įsibėgėjant, elektros srovė yra su minuso ženklu – elektros srovė yra naudojama automobiliui įsibėgėjimui. Kai automobilis lėtėja (pagreitis neigiamas), matoma, kad elektros srovė yra regeneruojama, t.y. hibridinės pavaros elektros variklis pradeda dirbti generatoriaus režimu ir akumulatoriaus baterijos yra įkraunamos.



**2.8 pav.** Automobilio greičio ir elektros srovės stiprio kitimas laiko atžvilgiu pirmojo bandomojo važiavimo metu

Pirmojo bei antrojo bandomųjų važiavimų metu įsibėgėjimui panaudotos bei stabdymo metu regeneruotos elektros srovės ir energijos kiekiai pateikiami 2.3 lentelėje. Elektros srovės kiekis apskaičiuojamas pagal 2.2 išraišką:

$$I_{sum} = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{3600}; \quad (2.2)$$

čia  $I_{sum}$  – suminis elektros srovės kiekis (Ah);

$I_n$  – panaudotos/regeneruotos srovės stipris (A/1 s).

Suminis elektros energijos kiekis apskaičiuojamas pagal 2.3 formulę:

$$E_{el} = I_{sum} \cdot U_{AB}; \quad (2.3)$$

čia  $E_{el}$  – suminis elektros energijos kiekis (Wh);

$U_{AB}$  – hibridinio automobilio akumulatoriaus baterijų įtampa (V).

**2.3 lentelė.** Bandomųjų važiavimų metu įsibėgėjimui panaudotos bei regeneruotos elektros srovės ir energijos kiekiai

	Įsibėgėjimui panaudotas elektros srovės kiekis, Ah	Stabdymo metu regeneruotos srovės kiekis, Ah	Įsibėgėjimui panaudotas elektros energijos kiekis, kWh	Stabdymo metu regeneruotos elektros energijos kiekis, kWh
<b>Pirmasis bandomasis važiavimas</b>	2,105	2,078	0,436	0,430
<b>Antrasis bandomasis važiavimas</b>	2,399	2,082	0,497	0,431
<b>Iš viso:</b>	4,444	4,160	0,933	0,861

Iš 2.3 lentelėje pateiktų rezultatų matoma, kad įsibėgėjimui panaudotos srovės kiekis yra didesnis nei regeneruotos srovės. Taip yra todėl, nes eksperimento metu buvo įsibėgėjama iki tam tikro greičio ir iškart stabdoma, t.y. imituojamos neekonomiškiausios važiavimo sąlygos. Važinėjant įprastiniu režimu, įsibėgėjimui panaudotos srovės kiekis yra mažesnis nei regeneruotos, todėl akumulatoriaus baterijos beveik niekada pilnai neiškraunamos.

#### 2.4.3. Vidaus degimo ir elektros variklių galios pasiskirstymas automobilio įsibėgėjimo metu

Žinant automobilio judėjimo greitį, pagreitį, nuvažiuotą atstumą bei elektros srovės kitimą laiko atžvilgiu, galima nustatyti kaip pasiskirsto vidaus degimo ir elektros variklio varantiesiems ratams perduodama galia. Norint apskaičiuoti galių pasiskirstymą, pirmiausiai reikia surasti kokia galia yra reikalinga įveikti automobilį veikiančias pasipriešinimo jėgas. Automobiliui įsibėgėjant jį veikia trys, priešingos krypties automobilio judėjimo kryptys, pasipriešinimo jėgos: riedėjimo, oro ir inercijos.

Riedėjimo pasipriešinimo jėga apskaičiuojama naudojantis 2.4 išraiška:

$$F_{ried} = m \cdot g \cdot f_a \cdot \cos \alpha; \quad (2.4)$$

čia  $F_{ried}$  – riedėjimo pasipriešinimo jėga (N);

$m$  – automobilio masė (kg);

$g$  – laisvojo kritimo pagreitis ( $m/s^2$ );

$f_a$  – riedėjimo pasipriešinimo koeficientas;

$\cos \alpha$  – kelio posvyrio kampas ( $^\circ$ ).

Riedėjimo pasipriešinimo jėgai surasti reikalinga žinoti kelio kuriuo automobilis juda posvyrio kampas bei riedėjimo pasipriešinimo koeficientą. Kadangi kelio posvyrio kampas nuolat gali kisti ir jį išmatuoti yra sudėtinga, skaičiavimuose laikysime, jog posvyrio kampas yra lygus  $0^\circ$ . Riedėjimo pasipriešinimo koeficientas apskaičiuojamas pagal 2.5 išraišką:

$$f_a = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v_n^2}{1800}\right); \quad (2.5)$$

čia  $f_a$  – riedėjimo pasipriešinimo koeficientas;

$f_0$  – pradinis riedėjimo pasipriešinimo koeficientas;

$v_n$  – automobilio greitis  $n$ -tuoju laiko momentu (m/s).

Pradinis riedėjimo pasipriešinimo koeficientas įprastai yra nuo 0,007 iki 0,015 [36 p. 31], skaičiavimuose naudojama vidutinė reikšmė – 0,012.

Oro pasipriešinimo jėga skaičiuojama naudojant 2.6 išraišką:

$$F_{oro} = \frac{c_x \cdot A \cdot \rho \cdot v_n^2}{1800}; \quad (2.6)$$

čia  $F_{oro}$  – oro pasipriešinimo jėga (N);

$c_x$  – automobilio aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas (dažniausiai nurodomas automobilio techninėse charakteristikose);

$A$  – automobilio midelio plotas ( $m^2$ );

$\rho$  – oro tankis ( $kg/m^3$ ).

Automobilio midelio plotas apytiksliai gali būti apskaičiuojamas pagal 2.7 išraišką, tačiau skaičiavimuose bus naudojama internetiniame šaltinyje [37] nurodyta reikšmė - 2.397  $m^2$ .

$$A = 0,778(B_a \cdot H_a); \quad (2.7)$$

čia  $B_a$  – automobilio plotis (m);

$H_a$  – automobilio aukštis (m).

Oro tankio reikšmė kinta priklausomai nuo oro temperatūros. Kadangi eksperimento metu oro temperatūra buvo 8 °C, todėl skaičiavimuose naudojama artimiausia reikšmė – 1.247  $kg/m^3$  esant 10 °C [38]. Inercijos jėga, kuri automobilį veikia tik esant automobilio greitėjimui arba lėtėjimui, apskaičiuojama pagal 2.8 išraišką:

$$F_{in} = (m \cdot a_n); \quad (2.8)$$

Galia, reikalinga įveikti pasipriešinimo jėgas, apskaičiuojama padauginus automobilio greitį iš pasipriešinimo jėgų sumos,  $n$ -tuoju laiko momentu:

$$N_{Fsum} = v_n \cdot (F_{ried} + F_{oro} + F_{in}); \quad (2.9)$$

čia  $N_{Fsum}$  – galia (W).

Apskaičiuota galia parodo reikalingą automobilio variklio(-ų) galios sąnaudas automobilio judėjimui užtikrinti, tačiau realybėje automobilio variklio(-ų) galios sąnaudas yra didesnės dėl transmisijos nuostolių, todėl tikrosios galios sąnaudos turi būti perskaičiuotos:



$$N_{Tn} = \frac{N_{Fsum}}{\eta_{tr}}; \quad (2.10)$$

čia  $N_{Tn}$  – tikrosios galios sąnaudos (W);

$\eta_{tr}$  – transmisijos naudingumo koeficientas.

Tradicinės transmisijos naudingumo koeficientas įprastai yra nuo 0,85 iki 0,95 ir apytiksliai gali būti apskaičiuojamas pagal 2.11 priklausomybę. Nepaisant to, transmisijos naudingumo koeficientas pagal šią priklausomybę neskaičiuojamas, kadangi eksperimente naudotas automobilis „Toyota Prius“ naudoja „e-CVT“ transmisiją, kurios veikimo principas yra kitoks nei tradicinės transmisijos. Remiantis elektros ir elektronikos inžinierių instituto studentų autorių atliktu tyrimu [39] nustatyta, jog „e-CVT“ transmisijai veikiant efektyviausiu režimu, jos efektyvumas siekia 95.4%. Taigi, skaičiavimuose naudojamas transmisijos naudingumo koeficientas  $\eta_{etr} = 0.954$ .

$$\eta_{tr} = 0,98^z \cdot 0,97^k \cdot 0,99^n; \quad (2.11)$$

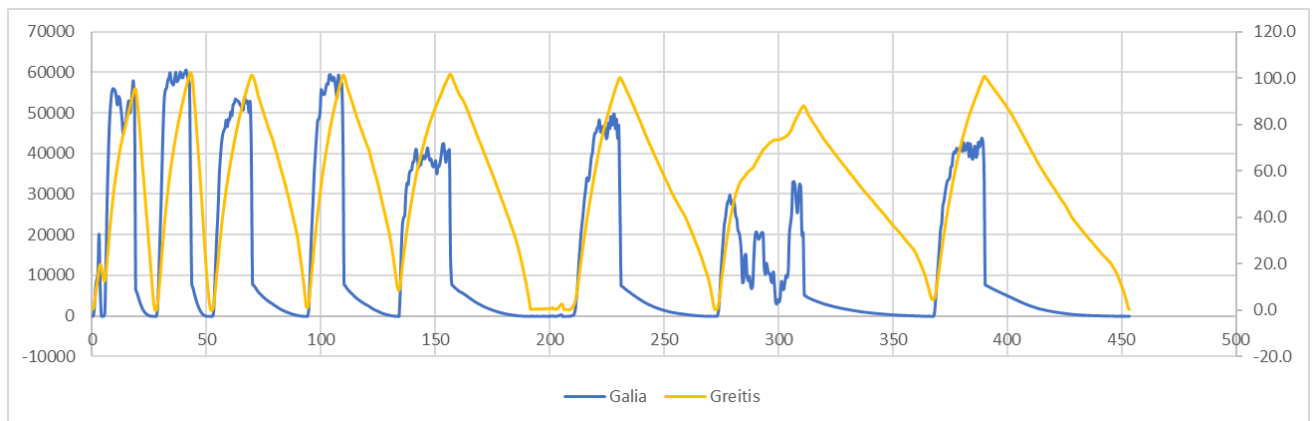
čia  $\eta_{tr}$  – transmisijos naudingumo koeficientas;

$z$  – tiesiakrumplių pavarų skaičius;

$k$  – įstrižakrumplių pavarų skaičius;

$n$  – kardaninių pavarų skaičius.

Atlikus skaičiavimus gauta, jog pirmojo bandomojo važiavimo suminės galios sąnaudos yra 12786.2 kW, o antrojo - 13781.6 kW. Galios sąnaudų ir greičio palyginimui pateikiamas pirmojo bandomojo važiavimo galios sąnaudų ir automobilio greičio kitimo laike grafikas (žr. 2.9 pav.).



**2.9 pav.** Pirmojo bandomojo važiavimo galios sąnaudų ir automobilio greičio kitimas laiko atžvilgiu

2.9 paveiksle matoma, jog didžiausios galios sąnaudos yra automobilio įsibėgėjimo metu, kadangi automobilį veikia inercijos jėga, kuri priklauso nuo automobilio masės bei įsibėgėjimo pagreičio. Automobilui važiuojant pastoviu greičiu inercijos jėga yra lygi 0, todėl energijos sąnaudas sudaro tik riedėjimo ir oro pasipriešinimo jėgos. Automobilio lėtėjant, galios sąnaudos proporcingai mažėja, kadangi oro pasipriešinimo jėga yra greičio kvadratinė funkcija. Esant neigiamam pagreičiui automobilį vėl pradeda veikti inercijos jėga, tačiau jau priešinga kryptimi, todėl galios sąnaudoms neigiamos įtakos neturi.

Norint sužinoti kokią dalį galios sąnaudų kompensuoja hibridinė pavarą, reikalinga apskaičiuoti elektros variklio generuojamą galią. Atliekant eksperimentinius bandymus buvo išmatuotas elektros srovės stiprio kitimas laiko atžvilgiu (žr. 2.6 pav.), todėl elektros variklio generuojama galia n-tuoju laiko momentu gali būti apskaičiuojama pagal 2.12 išraišką:

$$N_{En} = \frac{I_n \cdot U_{HP}}{\eta_{etr}}; \quad (2.12)$$

čia  $N_{En}$  – elektros variklio galia (W);

$U_{HP}$  – hibridinės pavaros akumulatoriaus baterijų įtampa (V);

$\eta_{etr}$  – hibridinės pavaros „e-CVT“ transmisijos naudingumo koeficientas.

Skaičiavimuose naudojama eksperimente naudoto automobilio akumulatoriaus baterijų įtampa – 207,2 V. Apskaičiavus elektros variklio generuojamą galią n-tuoju laiko momentu, vidaus degimo variklio galios sąnaudas surandamos iš tikrųjų galios sąnaudų atėmus elektros variklio galios sąnaudas:

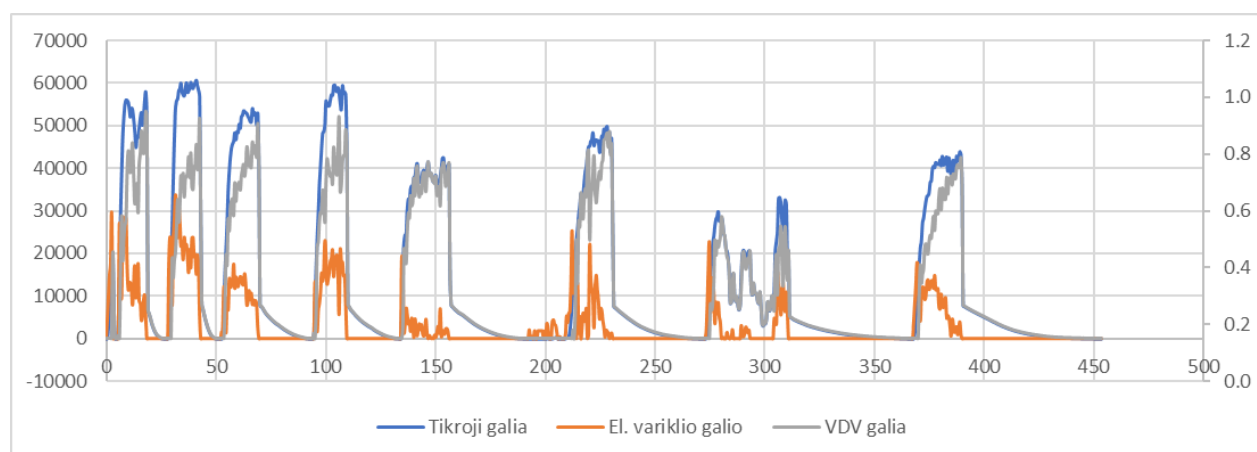
$$N_{VDVn} = N_{Tn} - N_{En}; \quad (2.13)$$

čia  $N_{VDVn}$  – vidaus degimo variklio galios sąnaudos n-tuoju laiko momentu (W);

$N_{Tn}$  – tikrosios galios sąnaudos n-tuoju laiko momentu (W);

$N_T$  – elektros variklio generuojama galia n-tuoju laiko momentu (W).

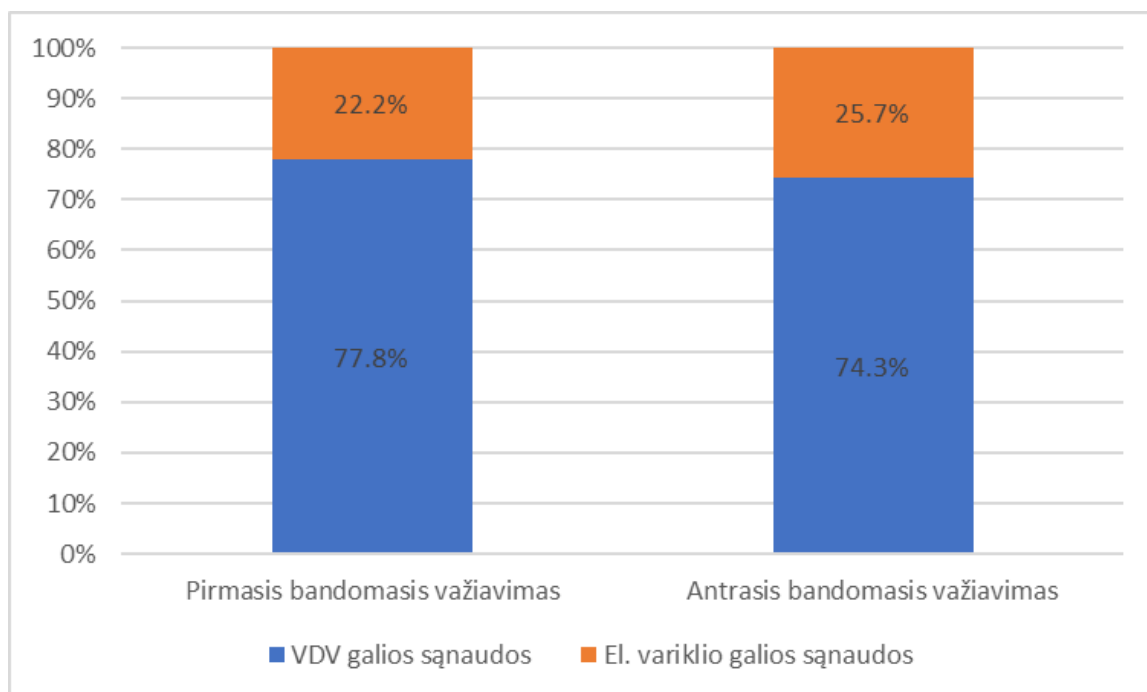
Atlikus skaičiavimus, sudaromi pirmojo ir antrojo bandomųjų važiavimų galių pasiskirstymo laike grafikai. 2.10 paveiksle pateikiamas pirmojo bandomojo važiavimo galių pasiskirstymas. Kaip matoma iš pateikto grafiko, hibridinės pavaros elektros variklis kompensuoja dalį pasipriešinimo jėgoms įveikti reikalingos galios ir ženkliai sumažina reikalingas vidaus degimo variklio galios sąnaudas.



**2.10 pav.** Pirmojo bandomojo važiavimo galios sąnaudų pasiskirstymas laiko atžvilgiu

Apskaičiavus sumines elektros ir vidaus degimo variklio galios sąnaudas, galima pamatyti kaip automobiliui išibėgėjant galia pasiskirsto tarp abiejų variklių procentine išraiška (žr. pav. 2.11). Matoma, jog pirmojo bandomojo važiavimo metu 22,2 % automobilio išibėgėjimui užtikrinti

reikalingos galios buvo sugeneruota iš elektros variklio ir 77,8 % iš vidaus degimo variklio, o antrojo bandomojo važiavimo metu – atitinkamai 25,7 % ir 74,3 %. Taigi, remiantis apskaičiuotomis galios pasiskirstymo reikšmėmis, nustatyta, kad eksperimento metu hibridinio automobilio išibėgėjimui vidutiniškai 76,1 % galios buvo generuojama iš vidaus degimo variklio ir 23,9 % iš elektros variklio.



**2.11 pav.** Pirmojo ir antrojo bandomųjų važiavimų galių pasiskirstymas

Kadangi hibridinė pavara kompensuoja reikalingas galios sąnaudas automobilio išibėgėjimo metu, o elektros ir vidaus degimo variklio galios pasiskirstymas skiriasi priklausomai išibėgėjimo pagreičio, išibėgėjimų skaičiaus ir iki kokio greičio automobilis išibėgėja, tolimesnėje projekto dalyje bus nagrinėjamas hibridinės pavaros efektyvumas automobiliui važiuojant skirtingais maršrutais

### **3. Įprastinio ir hibridinio automobilio sąnaudų skaičiavimas realiuose maršrutuose**

Siekiant ištirti hibridinio automobilio efektyvumą, remiantis eksperimentinės projekto dalies duomenimis, buvo nuspręsta sumodeliuoti 3 skirtingus realius maršrutus bei apskaičiuoti maršrutams įveikti reikalingas energijos sąnaudas, sužinoti elektros bei vidaus degimo variklių galių pasiskirstymą. Taip pat įvertinti skirtingais maršrutais judančio hibridinio ir, panašaus galingumo, tradicinio automobilio degalų sąnaudas bei į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekį.

#### **3.1. Maršrutų modeliavimo ir energijos sąnaudų skaičiavimų metodika**

Tam tikram maršrutui įveikti reikalingos energijos sąnaudos priklauso nuo daug faktorių: automobilio charakteristikų, kelio ypatumų, vairavimo stiliaus, aplinkos faktorių, tokių kaip nenumatyti sustojimai, automobilių spūstys ir t.t. Kadangi visų faktorių, lemiančių energijos sąnaudų pokyčius, važiuojant tam tikru maršrutu, įvertinti praktiškai neįmanoma, projekto tikslas yra ištirti būtent hibridinės pavaros efektyvumą, todėl maršrutų modeliavimas bei skaičiavimai bus atliekami laikantis toliau aprašyta metodika.

##### **3.1.1. Maršrutų modeliavimas**

Kaip anksčiau minėta, hibridinės pavaros efektyvumas priklauso nuo įsibėgėjimų skaičiaus ir iki kokio greičio automobilis įsibėgėja. Kadangi įsibėgėjimų skaičius ir pasiekiamas greitis priklauso nuo maršruto tipo, buvo nuspręsta sumodeliuoti automobilio judėjimą 3 realiais maršrutais: užmiesčio maršrutu, miesto maršrutu bei mišraus važiavimo maršrutu. Pasirinkti maršrutai modeliuojami pagal šią metodiką:

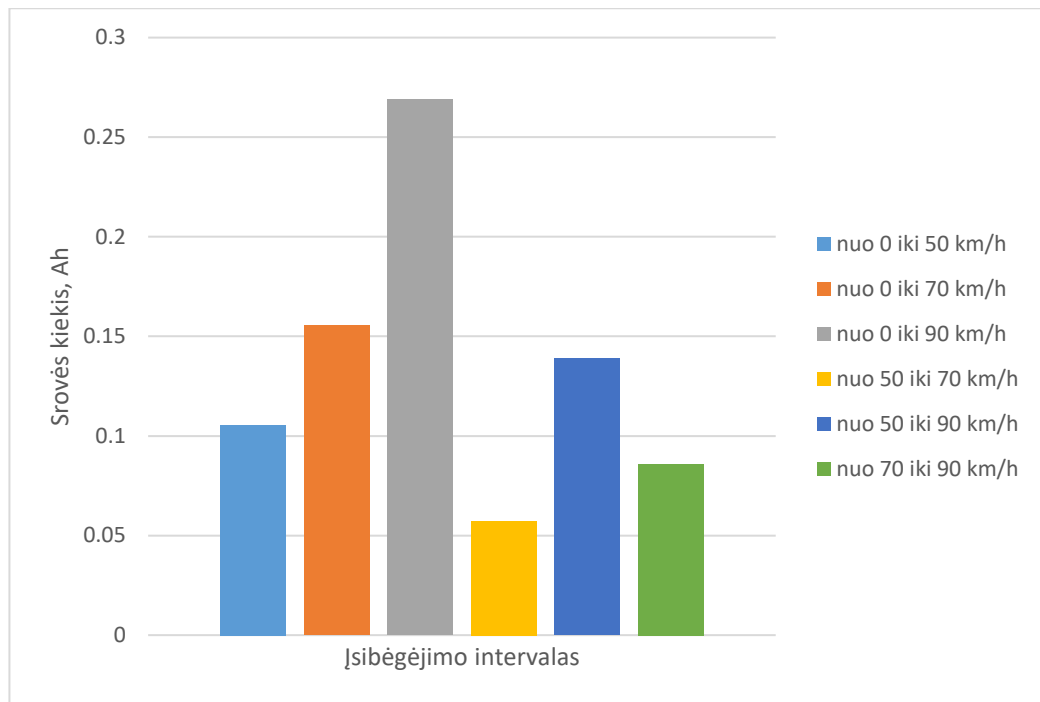
1. naudojantis „Google žemėlapiais“ nustatomi pasirinkto maršruto pradžios ir pabaigos taškai bei apskaičiuojamas bendras maršruto ilgis;
2. pasirinktas maršrutas išskaidomas į atskiras atkarpas atsižvelgiant į reikiamus sustojimus bei greičio pokyčius, pavyzdžiui, automobilis pajuda nuo sankryžos, įsibėgėja iki leistino greičio ir vėl sustoja prie tolimesnės sankryžos;
3. apskaičiuojamas kiekvienos maršruto atkarpos ilgis bei pagal galiojančias kelių eismo taisykles nustatomas pasiekiamas automobilio greitis toje atkarpoje;
4. hibridinės pavaros efektyvumui įvertinti, surandamas koks elektros srovės kiekis bus panaudojamas kiekvieno įsibėgėjimo metu;

Remiantis projekto eksperimentinėje dalyje išmatuotais duomenimis, surandamas įsibėgėjimui panaudojamas elektros srovės kiekis skirtinguose greičio intervaluose: nuo 0 iki 50 km/h, nuo 0 iki 70 km/h, nuo 0 iki 90 km/h, nuo 50 iki 70 km/h, nuo 50 iki 90 km/h ir nuo 70 iki 90 km/h. Greičio intervalai parinkti remiantis Lietuvos Respublikoje galiojančiomis kelių eismo taisyklėmis [40], t.y. Lietuvos keliuose dažniausiai pasitaikantys greičio intervalai, kurių ribose įsibėgėja automobiliai. Kiekvienam įsibėgėjimo intervalui parenkami duomenys iš 3-jų skirtingų eksperimento metu atliktų įsibėgėjimo-sustojimo ciklų. Surandamas kiekvieno įsibėgėjimo metu panaudos srovės kiekis, vidutinis įsibėgėjimo pagreitis, įsibėgėjimo trukmė bei nuvažiuotas atstumas ir apskaičiuojamas duomenų vidurkis, kuris ir bus naudojamas maršruto modeliavime. Išrinkti ir apskaičiuoti duomenys pateikiami 3.1 lentelėje.

**3.1 lentelė.** Įsibėgėjimo metu panaudojamos elektros srovės kiekis skirtinguose įsibėgėjimo intervaluose.

	Trukmė, s	Atstumas, m	Vidutinis įsibėgėjimo pagreitis, m/s <sup>2</sup>	Įsibėgėjimo metu panaudota el. Srovė, Ah
<b>Įsibėgėjimas nuo 0 iki 50 km/h</b>				
Ciklas 1	6,5	40,80	2,08	0,1246
Ciklas 2	6,5	40,55	2,12	0,1093
Ciklas 3	6,0	40,553	2,29	0,0827
<b>Vidurkis</b>	6,3	40,64	2,16	0,1055
<b>Įsibėgėjimas nuo 0 iki 70 km/h</b>				
Ciklas 1	9,5	91,00	1,99	0,1421
Ciklas 2	11,0	115,89	1,75	0,1663
Ciklas 3	11,5	132,160	1,69	0,1577
<b>Vidurkis</b>	10,7	113,02	1,81	0,1554
<b>Įsibėgėjimas nuo 0 iki 90 km/h</b>				
Ciklas 1	11,5	165,04	2,03	0,3609
Ciklas 2	13,5	194,69	1,75	0,2101
Ciklas 3	12,0	178,43	2,04	0,2358
<b>Vidurkis</b>	12,4	179,38	1,94	0,2689
<b>Įsibėgėjimas nuo 50 iki 70 km/h</b>				
Ciklas 1	4,5	74,20	1,34	0,0805
Ciklas 2	3,0	50,20	1,80	0,0543
Ciklas 3	4,0	68,09	1,45	0,0373
<b>Vidurkis</b>	3,8	64,16	1,53	0,0574
<b>Įsibėgėjimas nuo 50 iki 90 km/h</b>				
Ciklas 1	10,0	201,45	1,12	0,198
Ciklas 2	8,5	170,39	1,34	0,094
Ciklas 3	7,5	151,73	1,51	0,125
<b>Vidurkis</b>	10,0	203,22	1,19	0,139
<b>Įsibėgėjimas nuo 70 iki 90 km/h</b>				
Ciklas 1	5,0	110,43	1,17	0,0760
Ciklas 2	4,0	88,83	1,43	0,1252
Ciklas 3	5,5	123,10	1,06	0,0570
<b>Vidurkis</b>	4,8	107,45	1,22	0,0860

Pagal gautus duomenis sudaroma elektros srovės kiekio panaudojimo skirtinguose greičio intervaluose diagrama (žr. 3.1 pav.). Iš diagramos matoma, kad didžiausias srovės kiekis yra sunaudojamas įsibėgėjimo intervale nuo 0 iki 90 km/h, o mažiausias – nuo 50 iki 70 km/h.



**3.1 pav.** Įsibėgėjimui panaudotos srovės kiekis skirtinguose greičio intervaluose

5. Žinant kokių pagreičių automobilis įsibėgėja kiekviename greičio intervale pradedamas maršruto modeliavimas „Microsoft Excel“ programinėje įrangoje.

Naudojantis 3.1 ir 3.2 išraiškomis apskaičiuojamas automobilio greitis bei nuvažiuotas atstumas laiko intervalais kas 0,5 sekundės. Kadangi tikslas yra įvertinti hibridinės efektyvumą automobilio įsibėgėjimo metu, atliekant skaičiavimus kelio posvyriai nevertinami. Automobilio stovėjimo laikas kiekvieno sustojimo metu yra parinktas remiantis automobilių degalų sąnaudų nustatymo ciklu NEDC (angl. New European Driving cycle) todėl modeliuojant maršrutą parinktas automobilio stovėjimo laikas yra 20-23 s važiuojant mieste ir 18-21 s važiuojant užmiestyje [41].

$$v_n = a_n \cdot \Delta t + v_{n-1}; \quad (3.1)$$

čia  $v_n$  – automobilio greitis n-tuoju laiko momentu (m/s);

$a_n$  – automobilio pagreitis n-tuoju laiko momentu (m/s<sup>2</sup>);

$\Delta t$  – laiko pokytis (s).

$$s_n = \left( \frac{v_n + v_{n-1}}{2} \right) \cdot \Delta t + s_{n-1}; \quad (3.2)$$

čia  $s_n$  – nuvažiuotas atstumas n-tuoju laiko momentu (m).

### 3.1.2. Energijos sąnaudų skaičiavimai

Sumodeliavus pasirinktus maršrutus, atliekami skaičiavimai, kurių tikslas įvertinti skirtingais maršrutais judančio hibridinio ir, panašaus galingumo, tradicinio automobilio energijos ir degalų sąnaudas bei į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekį. Pirmiausiai, turi būti apskaičiuojamos maršrutu važiuojantį automobilį veikiančios pasipriešinimo jėgos bei joms įveikti reikalinga galia. Šie dydžiai

yra apskaičiuojami naudojant tokią pačią metodiką kaip ir vidaus degimo bei elektros variklių galios pasiskirstymas ankstesnėje projekto dalyje, todėl skaičiavimams naudojamos 2.4-2.11 išraiškos. Pasipriešinimo jėgoms bei galiai nustatyti reikalinga žinoti automobilio charakteristikas. Kadangi skaičiavimų esmė yra įvertinti hibridinės pavaros įtaką automobilio išibėgėjimo metu ir gautus rezultatus palyginti su tradiciniu automobiliu, skaičiavimai atliekami tariant, jog tiek tradicinio, tiek hibridinio automobilio techniniai parametrai yra tokie patys, t.y. abejais atvejais automobilių masė, galingumas, oro pasipriešinimo koeficientas bei kiti skaičiavimams reikalingi parametrai yra tokie patys. Automobilių techniniai parametrai, kurie bus naudojami skaičiavimuose parinkti pagal eksperimente naudoto automobilio „Toyota Prius“ techninius duomenis ir yra pateikiami 3.2 lentelėje.

**3.2 lentelė.** Skaičiavimuose naudojamų automobilių techniniai parametrai

Parametro pavadinimas	Reikšmė		Matavimo vienetai
	Hibridinis automobilis	Tradicinis automobilis	
Darbinis tūris	1798	1798	cm <sup>3</sup>
Galia (VDV+ el. variklis)	100	100	kW
Cilindrų skaičius	4	4	vnt.
El. variklio tipas	Kintamos srovės trifazis sinchroninis	-	-
Baterijos talpa	0,7	-	kWh
Baterijos įtampa	207,2	-	V
Masė	1550	1550	kg
Aerodinaminis koeficientas	0,24	0,24	-
Midelio plotas	2,397	2,397	m <sup>2</sup>
Transmisijos tipas	“e-CVT”	mechaninė	-
Transmisijos naudingumo koeficientas	0,954	0,90	-

Toliau atliekami maršrutu važiuojančio automobilio energijos bei degalų sąnaudų skaičiavimai, taip pat surandama į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekis. Įprastinio automobilio energijos sąnaudos yra surandamos naudojant 3.3 išraišką:

$$E_{TAn} = \frac{N_{TAn}}{3600}; \quad (3.3)$$

čia  $E_{TAn}$  – įprastinio automobilio energijos sąnaudos (Wh);

$N_{TAn}$  – apskaičiuota galia, gauta 1-ai sekunde, n-tuoju laiko momentu (W).

Hibridinio automobilio energijos sąnaudos apskaičiuojamos pagal 3.4 formulę:

$$E_{HBn} = \frac{E_{TAsum} - E_{HPsum}}{3600}; \quad (3.4)$$

čia  $E_{HPsum}$  – hibridinės pavaros išibėgėjimo metu kompensuojamos suminės energijos sąnaudos (Wh).

Hibridinės pavaros įsibėgėjimo metu kompensuojamos suminės energijos sąnaudos yra surandamos aritmetiškai sudedant įsibėgėjimų skirtinguose greičio intervaluose kompensuotas energijos sąnaudas:

$$E_{HPsum} = E_{HP1} + E_{HP2} + \dots + E_{HPn}; \quad (3.5)$$

čia  $E_{HPn}$  – hibridinės pavaros kompensuojamos energijos sąnaudos tam tikrame greičio intervale (Wh).

Hibridinės pavaros kompensuojamos energijos sąnaudos tam tikrame greičio intervale yra apskaičiuojamos tame greičio intervale panaudotos elektros srovės kiekį padauginus iš hibridinės pavaros akumulatoriaus baterijų įtampos:

$$E_{HPn} = I_{GI} \cdot U_{HP}; \quad (3.6)$$

čia  $I_{GI}$  – greičio intervalo, kuriame automobilis įsibėgėja, panaudotos elektros srovės kiekis (Ah).

Skaičiavimuose naudojama hibridinės pavaros akumulatoriaus baterijų įtampa yra 207,2 V. Įsibėgėjimui panaudotos elektros kiekiai skirtinguose greičio intervaluose yra pateikti 3.1 lentelėje.

Maršrutui įveikti reikalingos hibridinio automobilio suminės degalų sąnaudos apskaičiuojamos pagal 3.7 išraišką:

$$Q_{HASum} = m_{oe} \cdot E_{HASum}; \quad (3.7)$$

čia  $m_{oe}$  – specifinės (lyginamosios) degalų sąnaudos (g/kWh),

$E_{HASum}$  – hibridinio automobilio suminės energijos sąnaudos (kWh).

Benzininių variklių specifinės degalų sąnaudos yra 260 ÷ 320 g/kWh [36 p. 44], skaičiavimuose priimame, jog  $m_{oe} = 260$  g/kWh;

Tradicinio automobilio degalų sąnaudos apskaičiuojamos tokiu pačiu būdu kaip ir hibridinio, tačiau papildomai turi būti įskaičiuojamos tuščiosios eigos degalų sąnaudos, t.y. degalų sąnaudos kai automobilis stovi vietoje. Hibridinio automobilio atveju to daryti nereikia, kadangi, automobiliui sustojus, hibridinio automobilio vidaus degimo variklis būna išjungtas. Tuščiosios eigos degalų sąnaudos, sunaudojamos per 1 sekundę, apskaičiuojamos naudojant 3.8 formulę:

$$Q_{TE} = \frac{0,35 \cdot V_{VDV} + 0,33}{3600}; \quad (3.8)$$

čia  $Q_{TE}$  – tuščiosios eigos degalų sąnaudos (g/s);

$V_{VDV}$  – vidaus degimo variklio darbinis tūris, l.

Taigi, įprastinio automobilio suminės degalų sąnaudos apskaičiuojamos pagal 3.9 išraišką:

$$Q_{TASum} = m_{oe} \cdot E_{TRsum}; \quad (3.9)$$

čia  $Q_{TASum}$  – įprastinio automobilio suminės degalų sąnaudos (g),

$E_{TRsum}$  - tradicinio automobilio suminės energijos sąnaudos, kWh.



Galiausiai apskaičiuojamas į aplinką išmetamų  $CO_2$  dujų kiekis kiekvieno maršruto atveju. Žinoma, jog sudeginus 1 l benzino, į aplinką yra išmetama apie 2,30 kg  $CO_2$  dujų [42], todėl į aplinką išmetamas  $CO_2$  kiekis surandamas degalų sąnaudas, gautas litrais, padauginus iš 2,30:

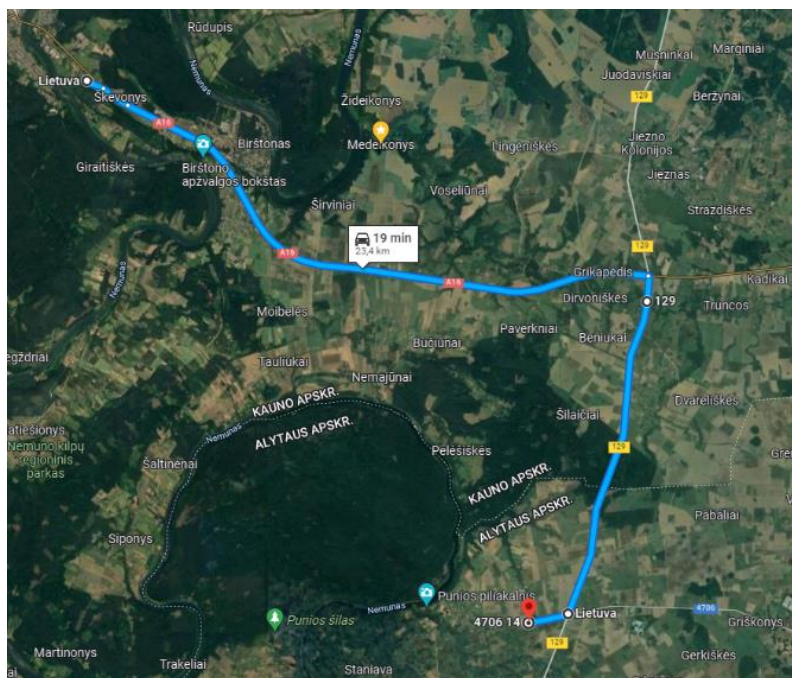
$$CO_2 = m_{nsum} \cdot 2,30; \quad (3.10)$$

čia  $CO_2$  -  $CO_2$  dujų kiekis (kg);

$m_{nsum}$  – suminės degalų sąnaudos (l).

### 3.2. Užmiesčio maršruto detalizacija

Užmiesčio maršrutas – tai toks maršrutas, kuris susideda tik iš užmiesčių kelių, kuriuose leistinas maksimalus greitis dažniausiai yra nuo 70 iki 130 km/h priklausomai nuo kelio tipo ir ypatumų. Tyrime nuspręsta sumodeliuoti užmiesčio maršrutą, kurio pradžia yra Ivoniškių kaimas (Birštono savivaldybė), o pabaiga – Punios kaimas (Alytaus rajonas). Bendras maršruto ilgis – 23,4 km (žr. 3.2 pav.).



3.2 pav. Užmiesčio maršrutas „Ivoniškės-Punia“

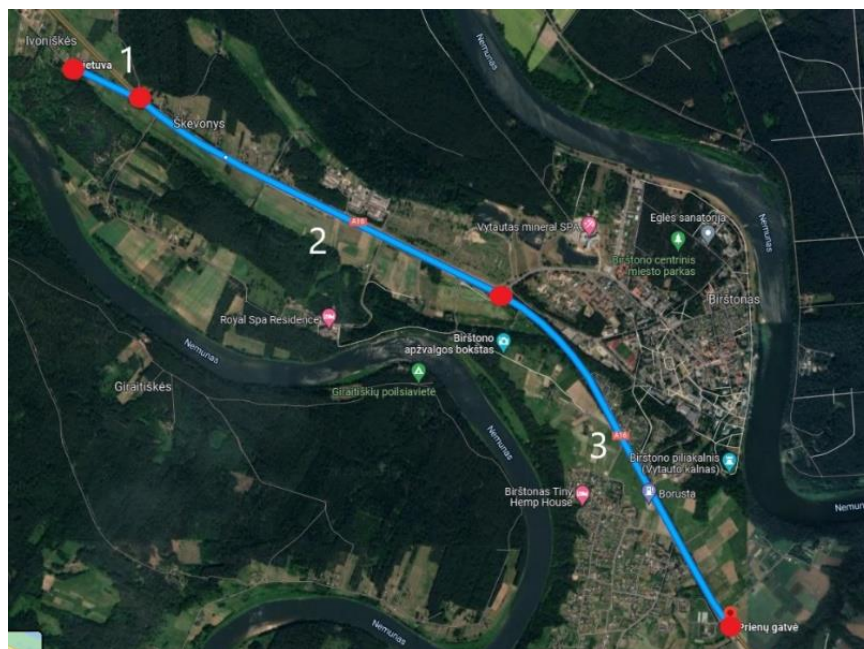
Modeliuojant maršrutą, jis buvo išskaidytas į 8-ias dalis, kuriuose fiksuojamas maršrutu važiuojančio automobilio sustojimas arba greičio pokytis. Maršruto dalių duomenys pateikiami 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Užmiesčio maršruto „Ivoniškės-Punia“ duomenys

Maršruto dalis	Ilgis, m	Maksimalus pasiekiamas greitis	Maršruto dalis	Ilgis, m	Maksimalus pasiekiamas greitis
1	408	50	5	575	70
2	2540	90	6	3320	90
3	2300	70	7	7940	90
4	5350	90	8	932	90

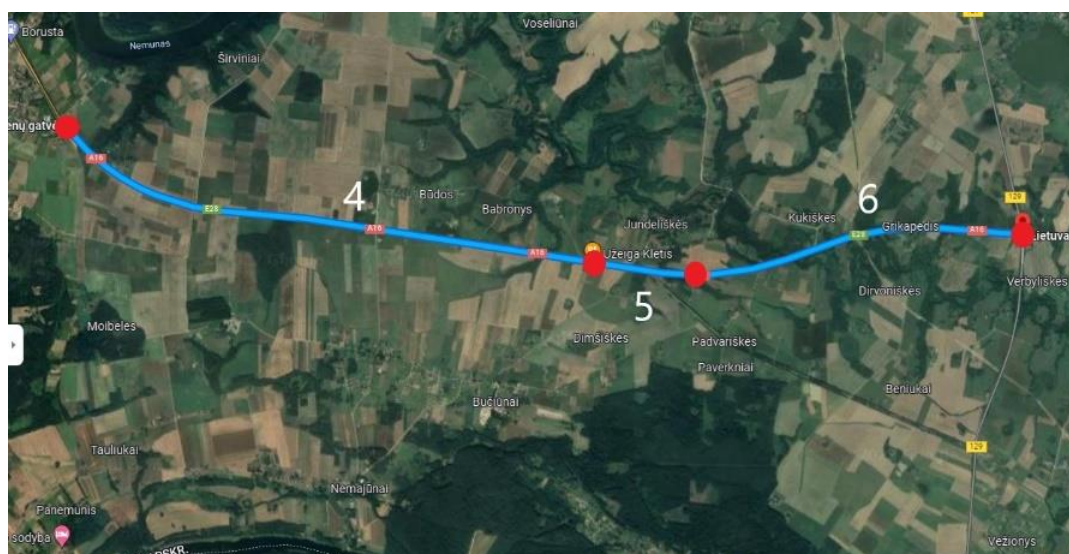
## Maršruto eiga:

- automobilis išvažiuoja iš Ivoniškių kaimo, įsibėgėja iki 50 km/h ir sustoja prieš susikirtimą su keliu A16 (1 dalis). Kelių sankirtoje sukama į dešinę (Vilniaus kryptimi), įsibėgėjama iki 90 km/h ir sustojama prieš žiedinę sankryžą ties Birštono miestu (2 dalis). Žiedinėje sankryžoje pasirenkamas 1-as išvažiavimas, įsibėgėjama iki 70 km/h ir toliau tęsiamas judėjimas Vilniaus kryptimi (3 dalis);



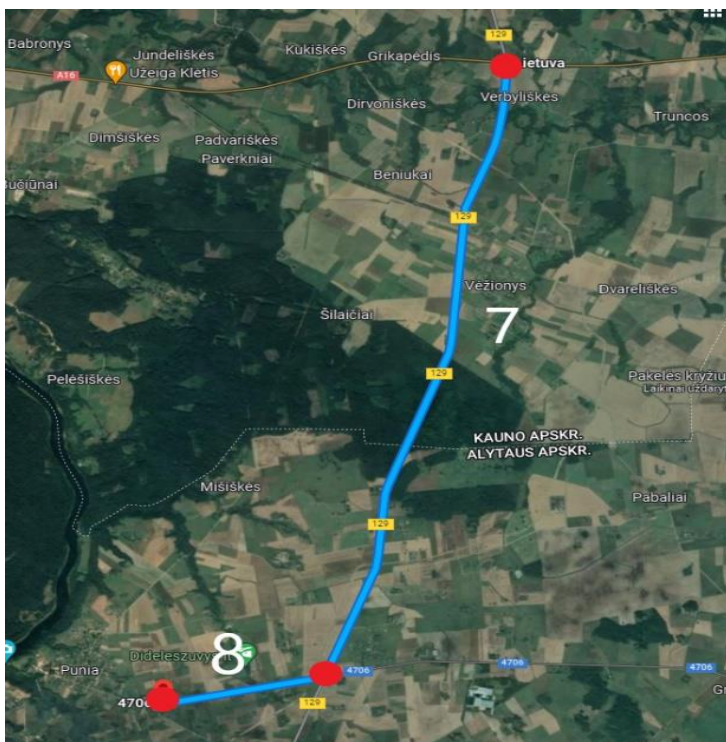
3.3 pav. Užmiesčio maršruto „Ivoniškės-Punia“ 1-3 dalys

- pasibaigus 70 km/h greičio ribojimui, įsibėgėjama iki 90 km/h (4 dalis) iki sekančio greičio ribojimo, kur greitis vėl sumažinamas iki 70 km/h (5 dalis). Pasibaigus greičio ribojimui, greitis vėl padidinamas iki 90 km/h ir judėjimas tęsiamas iki žiedinės sankryžos, prieš kurią fiksuojamas sustojimas (6 dalis);



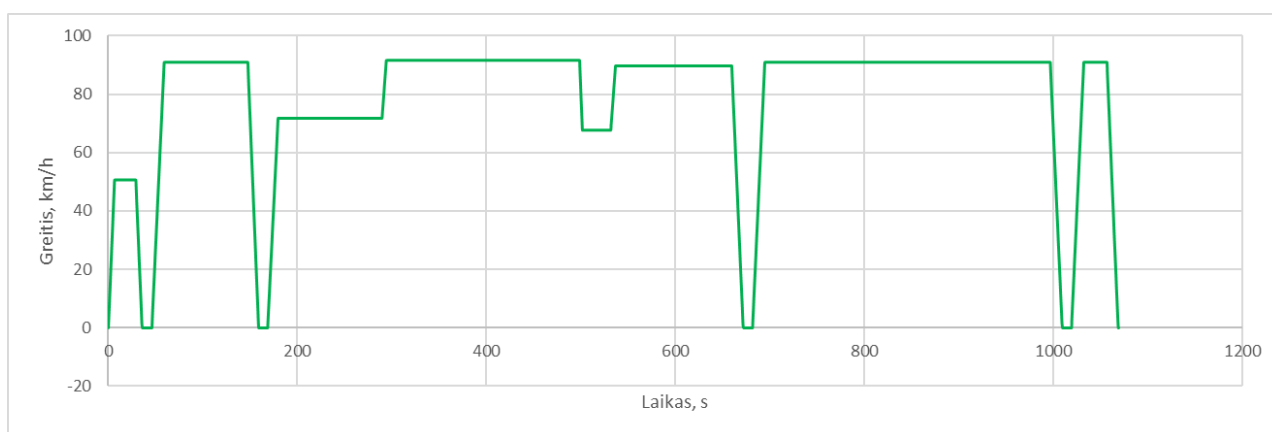
3.4 pav. Užmiesčio maršruto „Ivoniškės-Punia“ 4-6 dalys

- žiedinėje sankryžoje pasirenkamas 1-as išvažiavimas, įsibėgėjama iki 90 km/h ir važiuojama iki Alytaus kryptimi (kelio nr. 129) iki sekančios žiedinės sankryžos, prieš kurią sustojama (7 dalis). Žiedinėje sankryžoje pasirenkamas 1-as išvažiavimas, įsibėgėjama iki 90 km/h ir važiuojama keliu nr. 4706, kol pasiekiamas maršruto tikslas – Punios kaimas (8 dalis).



3.5 pav. Užmiesčio maršruto „Ivoniškės-Punia“ 7-8 dalys

Sumodeliuotu maršrutu važiuojančio automobilio greičio kreivė pateikiama 3.6 paveiksle.

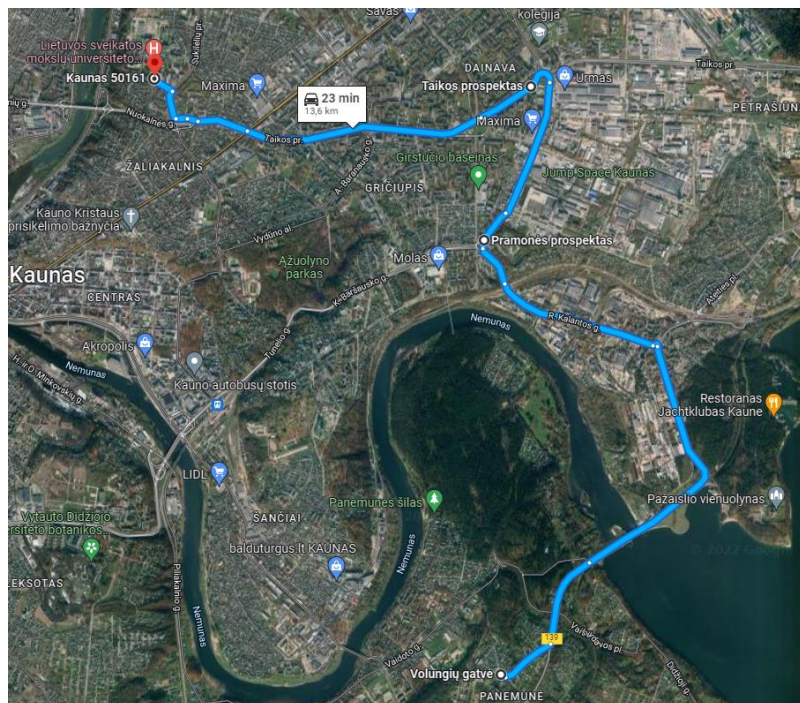


3.6 pav. Užmiesčio maršrutu „Ivoniškės-Punia“ važiuojančio automobilio greičio kitimas laiko atžvilgiu

3.6 paveiksle matoma, jog sumodeliuotą maršrutą pravažiavęs automobilis nuo 0 iki 50 km/h ir nuo 0 iki 70 km/h įsibėgėjo po 1-ą kartą, nuo 70 iki 90 km/h 2 kartus ir nuo 0 iki 90 km/h 3-is kartus. Viso maršruto trukmė – 17 minučių ir 49 sekundės.

### 3.3. Miesto maršruto detalizacija

Miesto maršrutas – tai toks maršrutas, kuris susideda iš miestuose ar gyvenvietėse esančių kelių, kuriuose didžiausias leistinas įprastai yra 50 km/h. Tyrime nuspręsta sumodeliuoti maršrutą Kauno mieste ribose. Sumodeliuoto maršruto „Kaunas-Kaunas“ pradžia yra Volungių g. 2, o pabaiga – Eivenių g. 2, Bendras maršruto ilgis – 13,6 km (žr. 3.7 pav.).



3.7 pav. Miesto maršrutas „Kaunas-Kaunas“

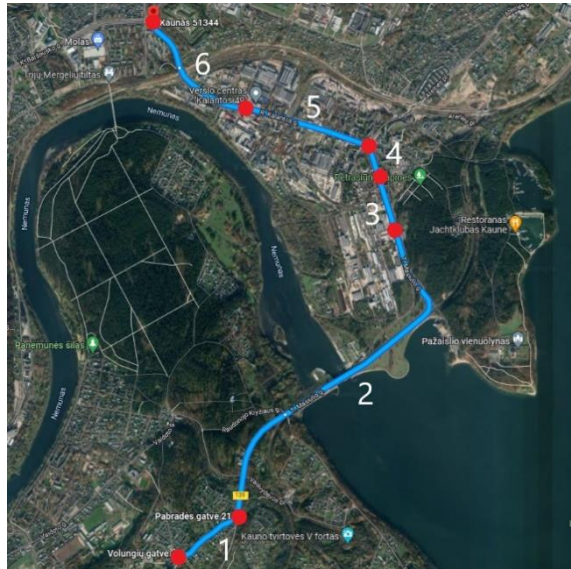
Modeliuojant maršrutą, jis buvo išskaidytas į 19-a dalių, atsižvelgiant į vietas, kuriose maršrutu važiuojančiam automobiliui numatomi sustojimai. Visame maršrute automobilio maksimalus greitis, iki kurio įsibėgėjama po kiekvieno sustojimo, yra 50 km/h. Miesto maršruto dalių duomenys pateikiami 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Miesto maršruto „Kaunas-Kaunas“ duomenys

Maršruto dalis	Ilgis, m	Maksimalus pasiekiamas greitis	Maršruto dalis	Ilgis, m	Maksimalus pasiekiamas greitis
1	647	50	11	955	50
2	3330		12	713	
3	452		13	481	
4	220		14	682	
5	1130		15	221	
6	1120		16	375	
7	448		17	801	
8	756		18	292	
9	325		19	275	
10	380				

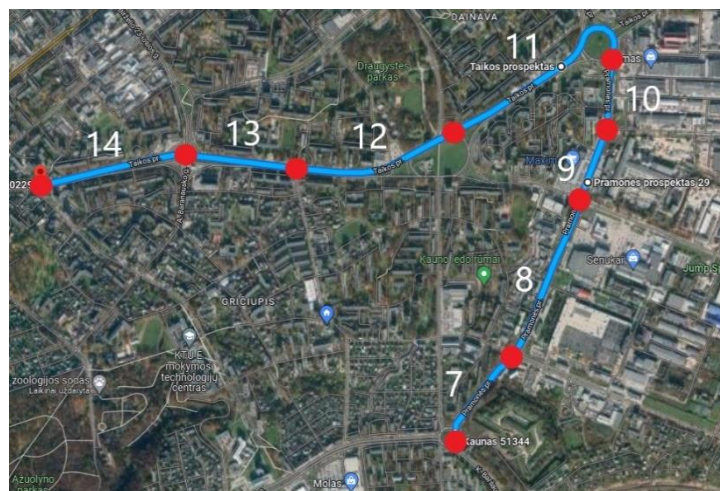
## Maršruto eiga:

- automobilis pradeda važiavimą Volungių gatvėje, toliau įvažiuoja į Pabradės gatvę ir tęsia judėjimą ir sustoja prie sankirtos su keliu nr.139 (1 dalis). Pasukus į kairę, toliau važiuojama keliu nr. 139 bei T. Masiulio gatve iki žiedinės sankryžos. Minėtoje atkarpoje fiksuojami 3 sustojimai ties šviesoforais (2-4 dalys). Žiedinėje sankryžoje pasirenkamas 3-ias išvažiavimas ir važiuojama R. Kalantos bei K. Baršausko gatvėmis iki sekančios žiedinės sankryžos. Šiame kelio ruože tariama, jog automobilis sustoja prie 2-jų šviesoforų (5-6 dalys);



3.8 pav. Miesto maršruto „Kaunas-Kaunas“ 1-6 dalys

- žiedinėje sankryžoje pasirenkamas 2-ias išvažiavimas ir važiuojama Pramonės prospektu iki kitos žiedinės sankryžos, kurioje susikerta Pramonės ir Taikos prospektai. Minėtoje atkarpoje automobilis sustoja prie 2-jų šviesoforų ir 1-os žiedinės sankryžos (7-10 dalys). Toliau, žiedinėje sankryžoje, pasirenkamas 3-ias išvažiavimas ir tęsiamas judėjimas Taikos prospektu iki šviesoforo ties Studentų gatve – fiksuojami 3 sustojimai prie šviesoforų ir 1 sustojimas prie žiedinės sankryžos (11-14 dalys);



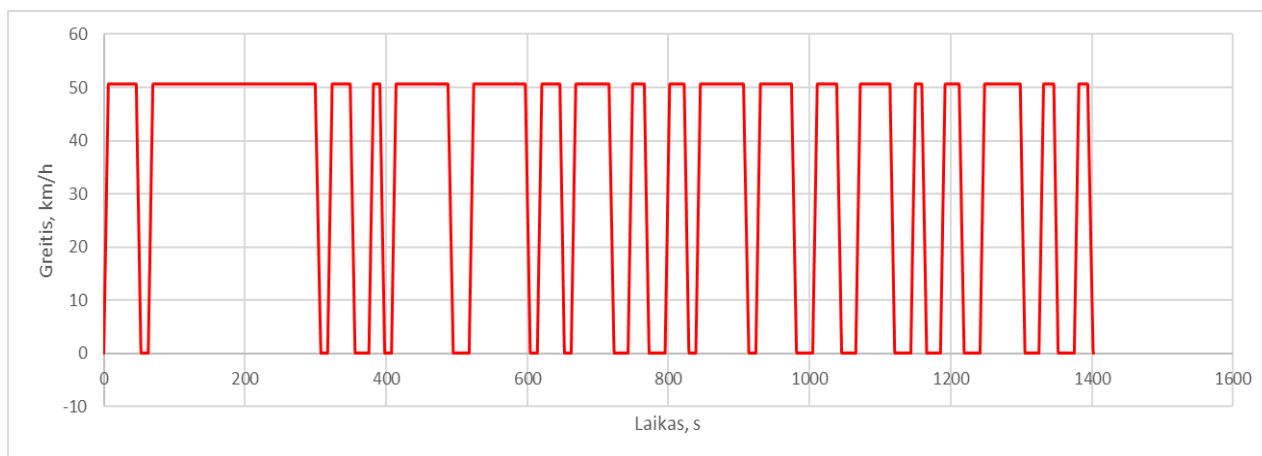
3.9 pav. Miesto maršruto „Kaunas-Kaunas“ 7-14 dalys

- toliau važiuojama Taikos prospektu bei Tvirtovės alėja iki Tvirtovės alėjos ir Sukilėlių prospekto sankirtos (15-17 dalys). Gatvių sankirtoje pasukama į dešinę ir važiuojama Sukilėlių prospektu iki sankryžos ties Eivenių gatve, kurioje sukama į kairę ir atvažiuojama iki maršruto pabaigos (18-19 dalys). Minėtuose ruožuose tariama, jog automobilis sustojo prie 4-ių šviesoforų.



**3.10 pav.** Miesto maršruto „Kaunas-Kaunas“ 15-19 dalys

3.11 paveiksle pateikiama miesto maršrutu „Kaunas-Kaunas“ važiuojančio automobilio greičio priklausomybė nuo laiko.

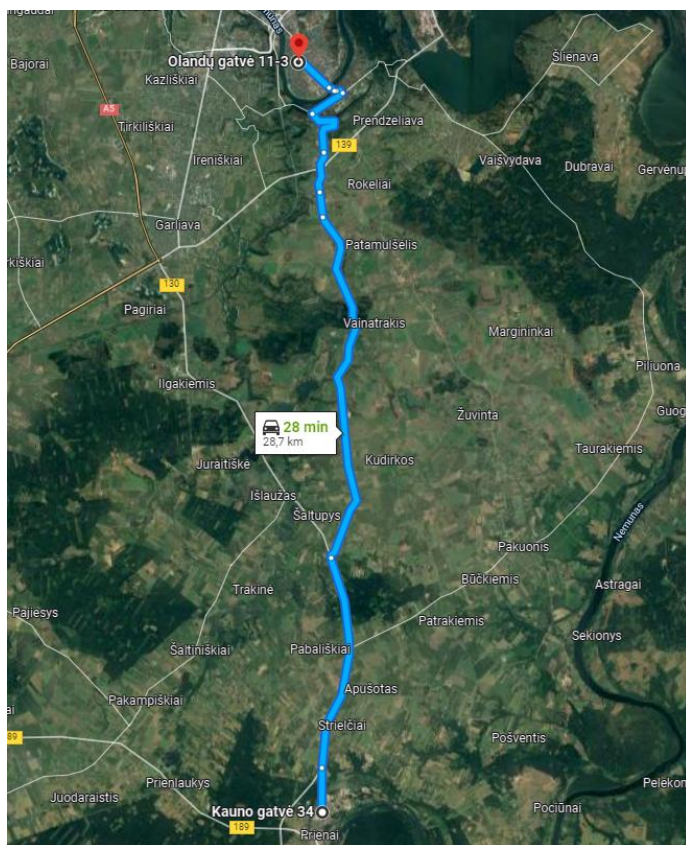


**3.11 pav.** Miesto maršrutu „Kaunas-Kaunas“ važiuojančio automobilio greičio kitimas laiko atžvilgiu

Paveiksle matoma, jog šiuo maršrutu važiuojantis automobilis nuo 0 iki 50 km/h iš viso išibėgėjo 19-a kartų. Bendra maršruto trukmė – 23 minutės ir 12 sekundžių.

#### 3.4. Mišraus maršruto detalizacija

Mišrus maršrutas – tai toks maršrutas, kuris susideda iš miesto ir užmiesčio kelių. Šiame tyrime pasirinkta sumodeliuoti mišrų maršrutą Kaunas-Prienai (žr. pav. 3.12). Maršruto pradžia yra Kauno mieste, Olandų gatvėje, pabaiga – Prienų mieste, Kauno gatvėje. Bendras maršruto ilgis yra 28,7 km., iš kurių 10,75 km. yra miestų bei gyvenviečių keliais ir 17,95 km. užmiesčio keliais.



**3.12 pav.** Mišrus maršrutas „Kaunas-Prienai“

Modeliuojant šį maršrutą, jis buvo išskaidytas į 20 dalių. Atskirų maršruto dalių duomenys pateikiami 3.5 lentelėje.

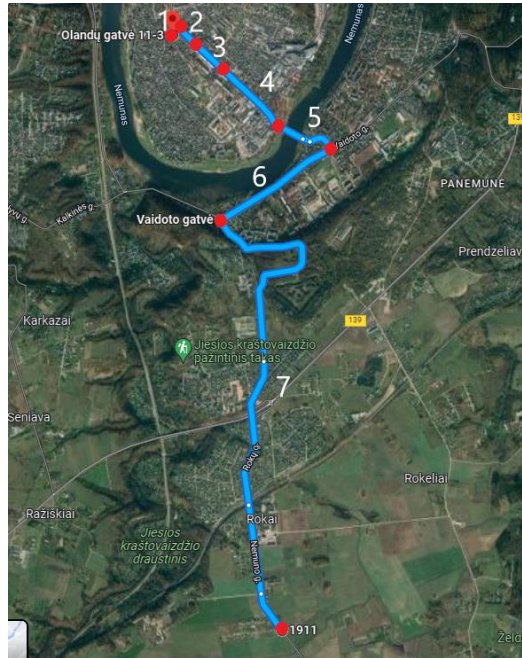
**3.5 lentelė.** Mišraus maršruto „Kaunas-Prienai“ duomenys

Maršruto dalis	Ilgis, m	Maksimalus pasiekiamas greitis	Maršruto dalis	Ilgis, m	Maksimalus pasiekiamas greitis
1	81	50	11	1160	50
2	177	50	12	2800	90
3	236	50	13	749	50
4	859	50	14	2140	90
5	565	50	15	2400	70
6	1200	50	16	820	90
7	4900	50	17	4110	70
8	3260	90	18	800	90
9	474	70	19	763	50
10	1150	90	20	100	50

**Maršruto eiga:**

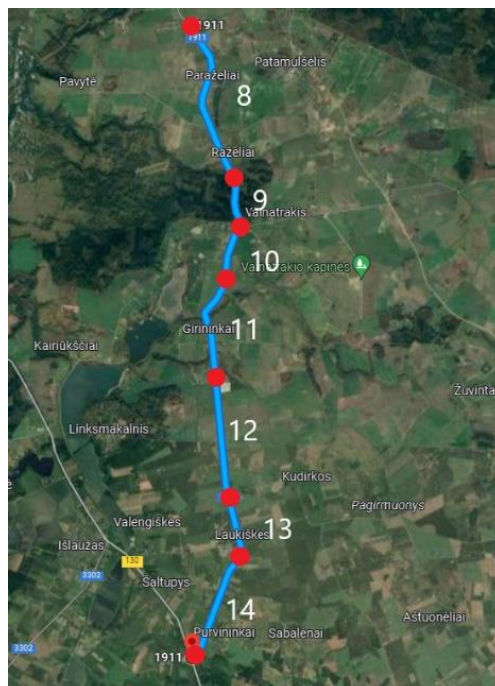
- pradėjus važiuoti, automobilis įsibėgėja iki mieste maksimalaus leistino greičio (50 km/h) ir sustoja prie Olandų gatvės ir A. Juozapavičiaus prospekto susikirtimo (1 dalis). Judėjimas toliau tęsiamas A. Juozapavičiaus prospektu, pervažiuojamas Panemunės tiltas ir fiksuojamas

sustojimas prie šviesoforo, esančio Tilto ir Vaidoto gatvių sankirtoje (5 dalis). Minėtame ruože tariama, jog automobilis taip pat buvo sustojęs prie 2-ejų šviesoforų ir 1-os pėsčiųjų perėjos (2-4 dalys). Sankirtoje pasukus į dešinę, toliau automobilis važiuoja Vaidoto gatve iki žiedinės sankryžos (6 dalis), kurioje pasirenkamas 3-as išvažiavimas ir Plytinės gatve važiuojama iki Rokų gyvenvietės pabaigos (7 dalis);



**3.13 pav.** Mišraus maršruto „Kaunas-Prienai“ 1-7 dalys

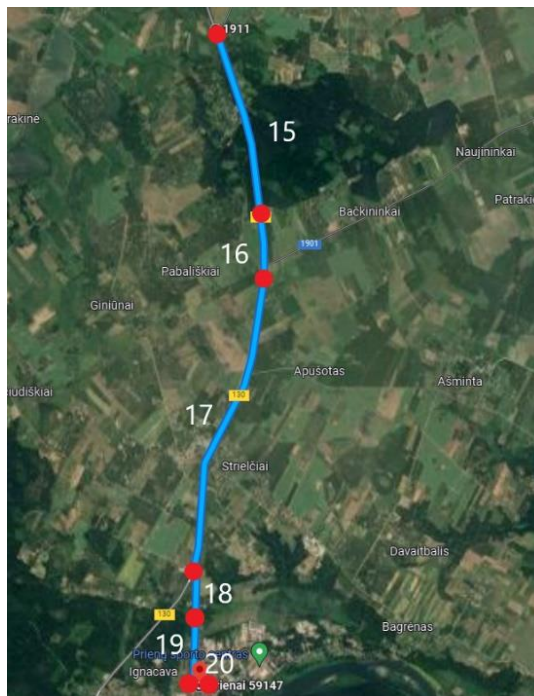
- pasibaigus gyvenvietei, automobilis įsibėgėja iki 90 km/h greičio ir tęsia judėjimą keliu Rokai-Girininkai-Purvininkai (kelio nr. 1911) iki sankirtos su keliu Kaunas-Prienai-Alytus (kelio nr. 130). Šioje maršruto atkarpoje fiksuojami 3 įsibėgėjimai nuo 50 iki 90 km/h ir 1 įsibėgėjimas nuo 70 iki 90 km/h (8-14 dalys);



**3.14 pav.** Mišraus maršruto „Kaunas-Prienai“ 8-14 dalys

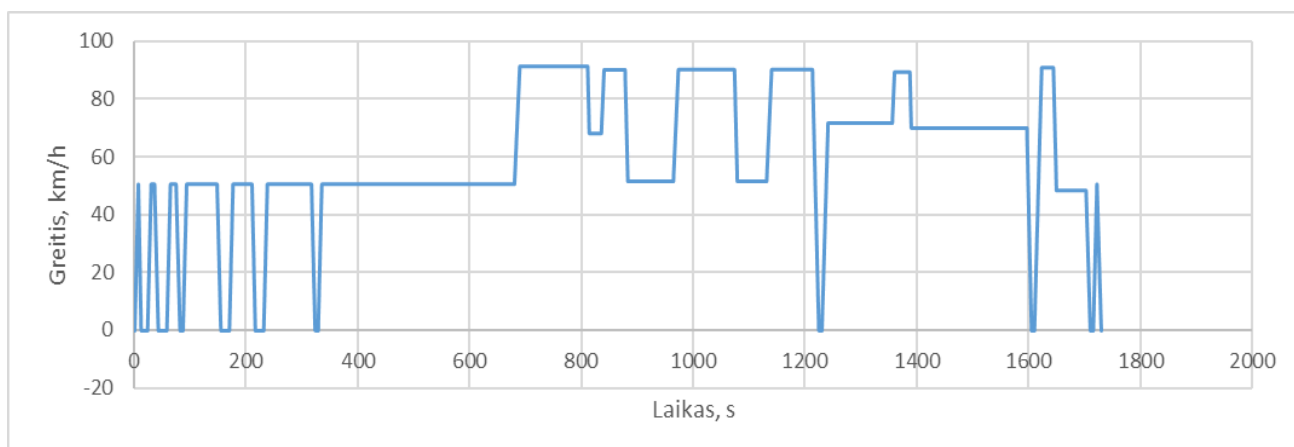


- kelių sankirtoje sukama į dešinę ir važiuojama Prienų kryptimi iki žiedinės sankryžos, kurioje pasirenkamas 3-as iš išvažiavimas link Prienų miesto (15-18 dalys). Įvažiavus į Prienų miestą, tęsiamas judėjimas Kauno gatve iki kairėje pusėje esančios parduotuvės „Maxima“ (Kauno g. 34), ties kuria pasukama į maršruto galutinį tašką – automobilių stovėjimo aikštelę (19-20 dalys).



3.15 pav. Mišraus maršruto „Kaunas-Prienai“ 15-20 dalys

Mišriu maršrutu „Kaunas-Prienai“ važiuojančio automobilio greičio priklausomybė nuo laiko pateikiama 3.16 paveiksle.



3.16 pav. Mišriu maršrutu Kaunas-Prienai važiuojančio automobilio greičio kitimas laiko atžvilgiu

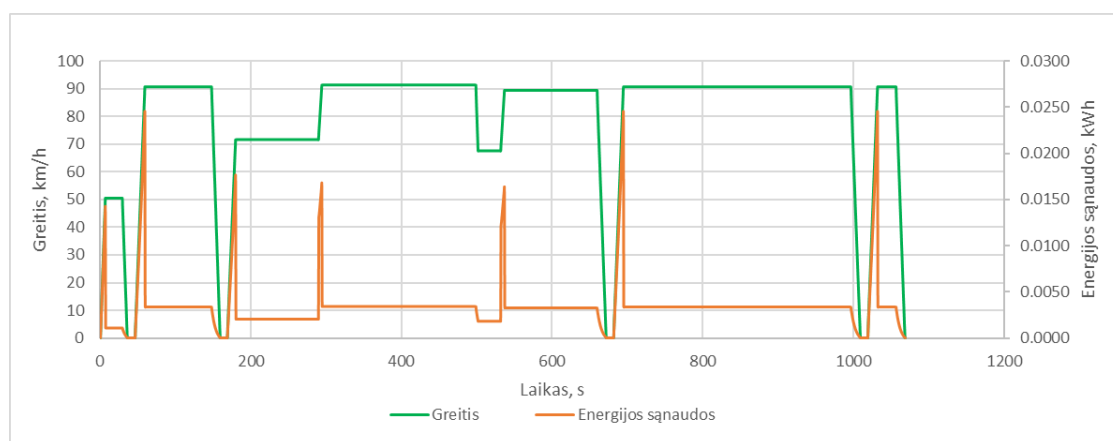
3.17 paveiksle matoma, jog sumodeliuotą maršrutą pravažiavęs automobilis nuo 0 iki 50 km/h įsibėgėjo 8 kartus, nuo 0 iki 70 km/h ir nuo 0 iki 90 km/h po 1 kartą, nuo 50 iki 90 km/h - 3 kartus ir nuo 70 iki 90 km/h – 2 kartus.

#### 4. Tyrimo rezultatų analizė ir apibendrinimas

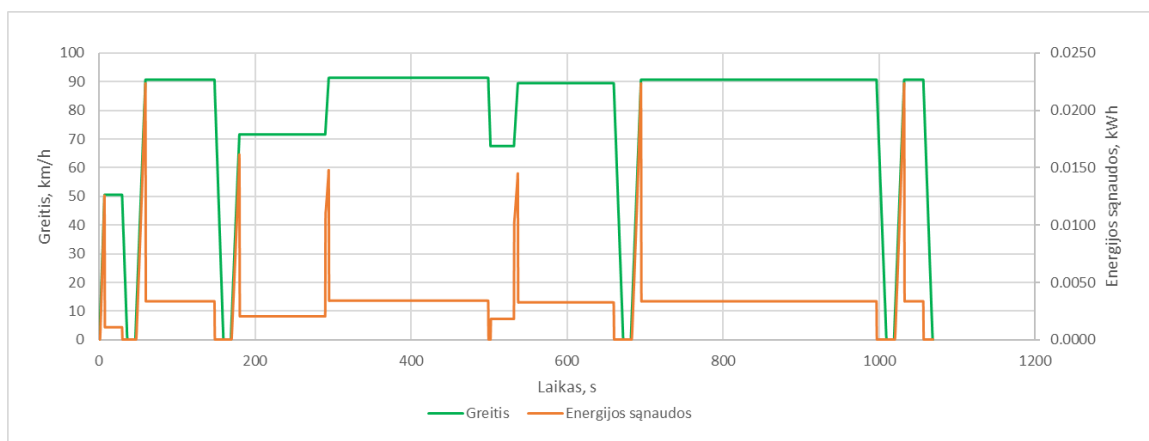
Šioje dalyje pateikiami tradicinio ir hibridinio automobilių energijos sąnaudų, važiuojant skirtingais maršrutais, skaičiavimų rezultatai. Gautieji rezultatai išanalizuojami, palyginamos hibridinio ir tradicinio automobilio degalų sąnaudos bei į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekis ir nustatomas hibridinės pavaros efektyvumas važiuojant skirtingais maršrutais. Pateikiamas tyrimo apibendrinimas bei tyrimo pritaikomumas praktikoje.

##### 4.1. Tradicinio ir hibridinio automobilio sąnaudų, važiuojant užmiesčio maršrutu, skaičiavimų rezultatai

Atlikus automobilio energijos sąnaudų skaičiavimus gauta, kad užmiesčio maršrutui „Ivoniškės-Punia“ įveikti reikalingas energijos kiekis, kai maršrutu važiuojama tradiciniu automobiliu yra 7,18 kWh, tuo tarpu hibridiniam automobiliui – 7,06 kWh. Hibridinio automobilio energijos sąnaudos, lyginant su tradiciniu automobiliu, yra 0,12 kWh mažesnės, dėl mažesnių galios nuostolių transmisijoje, bei energijos sąnaudų sutaupymų automobiliui lėtėjant bei stovint vietoje. Taip pat apskaičiuota, jog pravažiavus maršrutą, hibridinės pavaros kompensuotas energijos kiekis automobilio įsibėgėjimo metu yra 0,25 kWh, todėl hibridinio automobilio vidaus degimo variklio energijos sąnaudos yra 6,81 kWh. Tradicinio ir hibridinio automobilių greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko pateikta 4.1-4.2 paveiksluose.



4.1 pav. Tradicinio automobilio, važiuojančio užmiesčio maršrutu „Ivoniškės-Punia“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko



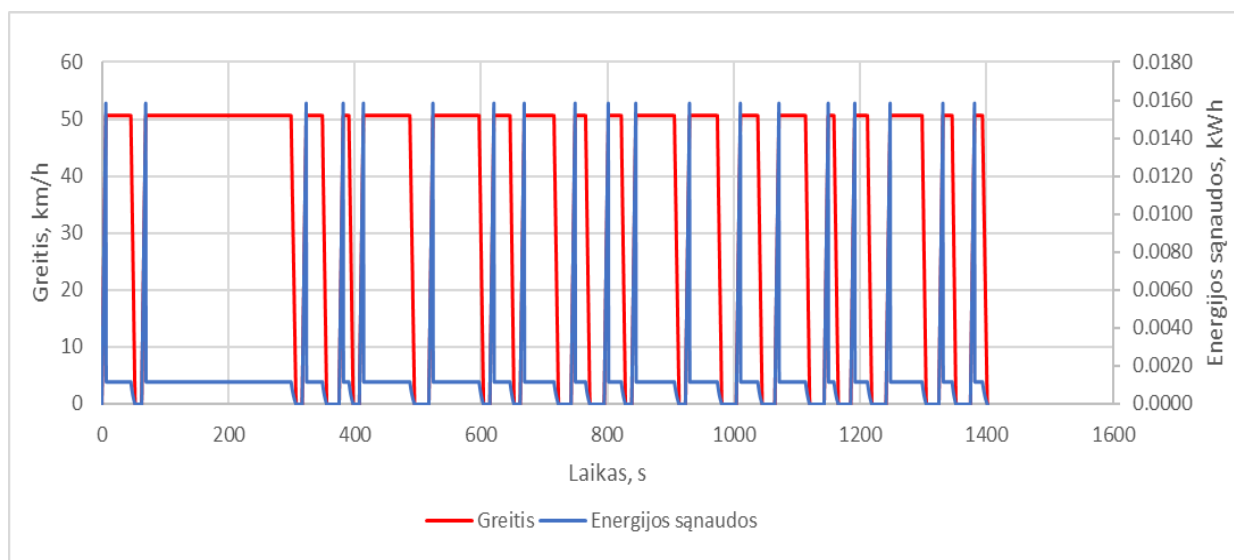
4.2 pav. Hibridinio automobilio, važiuojančio užmiesčio maršrutu „Ivoniškės-Punia“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko

Iš pateiktų grafikų matoma, kad tiek tradicinio tiek hibridinio automobilių energijos sąnaudos yra panašios, tačiau hibridinio automobilio energijos sąnaudos įsibėgėjimo metu yra pastebimai mažesnės nei tradicinio automobilio.

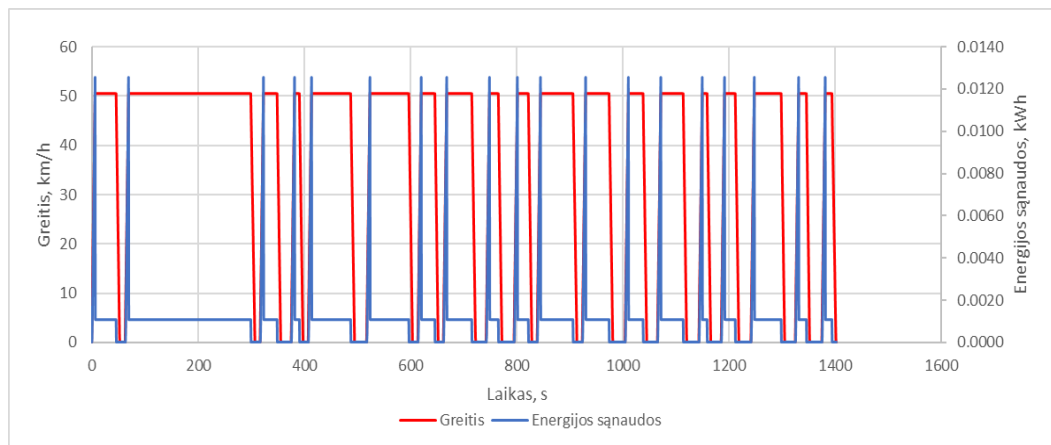
Apskaičiuota, jog visam maršrutui įveikti, tradiciniam automobiliui reikia sudeginti 1,87 l benzino, o hibridiniam automobiliui – 1,77 l. Taigi, vidutinės degalų sąnaudos, važiuojant užmiesčio maršrutu, atitinkamai yra 8,0 l/100 km. ir 7,57 l/100 km. Taip pat nustatyta, jog nuvažiavus maršrutą, tradicinio automobilio į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekis yra 4,33 kg, o hibridinio – 4,10 kg. Vidutiniškai į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekis atitinkamai yra 18,56 kg/100 km ir 17,57 kg/100 km. Taigi, važiuojant užmiesčio maršrutu, apskaičiuota, jog hibridinė pavara sutaupo 0,43 l/100 km degalų, bei 0,99 kg/100 km sumažina į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekį.

#### 4.2. Tradicinio ir hibridinio automobilio sąnaudų, važiuojant miesto maršrutu, skaičiavimų rezultatai

Atlikus automobilio energijos sąnaudų skaičiavimus gauta, jog važiuojant miesto maršrutu „Kaunas-Kaunas“ vidaus degimo variklio energijos sąnaudos, kai maršrutu važiuojama tradiciniu automobiliu, yra 4,17 kWh, tuo tarpu hibridinio automobilio – 3,65 kWh. Hibridinio automobilio energijos sąnaudos yra 0,52 kWh mažesnės nei tradicinio automobilio, kadangi hibridinės pavaros transmisija yra efektyvesnė ir patiriami mažesni galios nuostoliai, taip pat neekvojama energija, automobiliui lėtėjant bei stovint vietoje. Papildomai hibridinės pavaros kompensuotas energijos kiekis automobilio įsibėgėjimo metu yra 0,42 kWh, todėl hibridinio automobilio vidaus degimo variklio energijos sąnaudos yra 3,23 kWh. Tradicinio ir hibridinio automobilių greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko pateikta 4.3-4.4 paveiksluose.



4.3 pav. Tradicinio automobilio, važiuojančio miesto maršrutu „Kaunas-Kaunas“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko

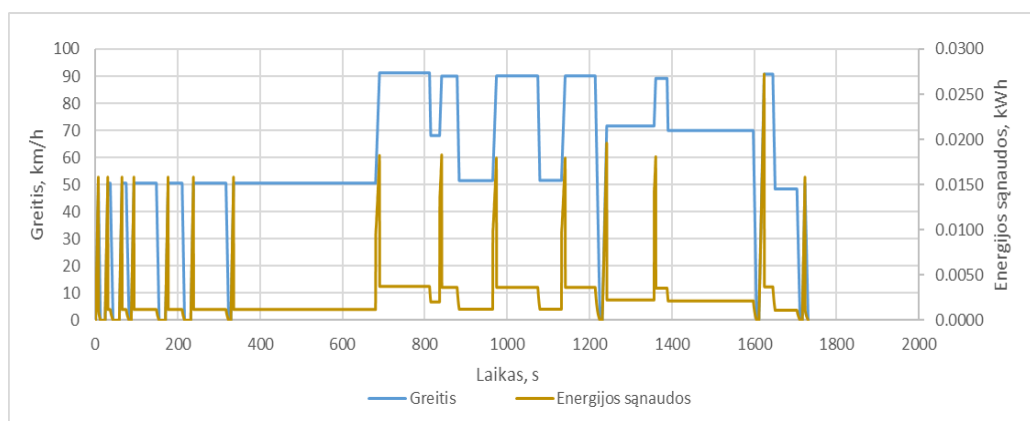


**4.4 pav.** Hibridinio automobilio, važiuojančio miesto maršrutu „Kaunas-Kaunas“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko

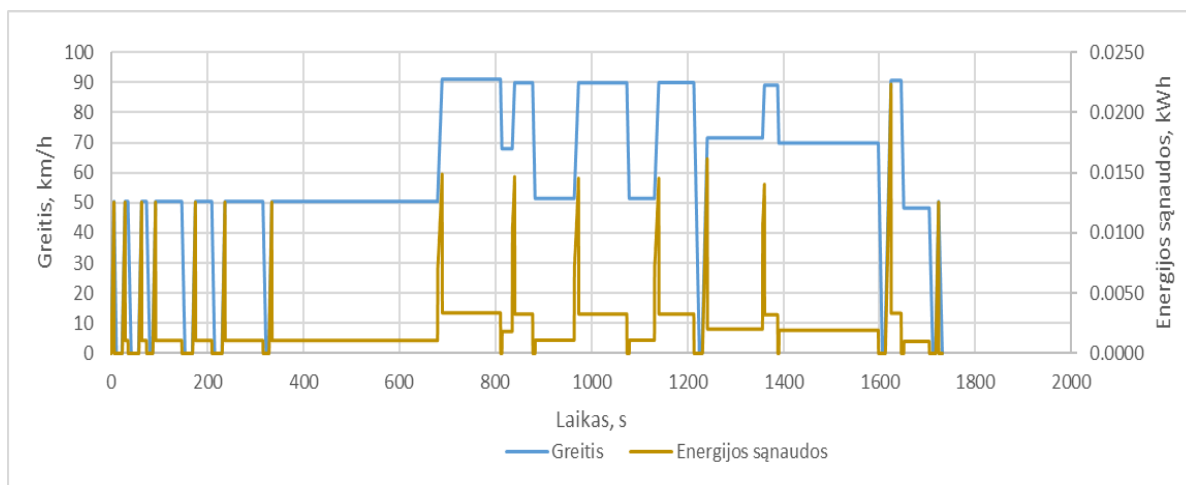
Apskaičiuota, jog nuvažiavus visą maršrutą, tradicinis automobilis sudegino 1,09 l benzino bei aplinką išmetė 2.52 kg CO<sub>2</sub> dujų. Vidutinės degalų sąnaudos bei išmetamųjų dujų kiekis atitinkamai yra 8,06 l/100 km ir 18.70 kg/100 km. Tuo tarpu hibridinis automobilis sunaudojo 0,84 l degalų ir į aplinką išmetė 1,95 kg CO<sub>2</sub> dujų. Vidutinės degalų sąnaudos bei išmetamųjų dujų kiekis atitinkamai yra 6,18 l/100 km ir 14,35 kg/100 km. Taigi, važiuojant miesto maršrutu „Kaunas-Kaunas“, apskaičiuota, jog hibridinio automobilio vidutinės degalų sąnaudos yra 1,88 l/100 km mažesnės. Taip pat įplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekis yra sumažinamas 4,35 kg/100 km.

### 4.3. Tradicinio ir hibridinio automobilio sąnaudų, važiuojant mišriu maršrutu, skaičiavimų rezultatai

Atlikus automobilio energijos sąnaudų skaičiavimus, gauta, jog važiuojant mišriu maršrutu „Kaunas-Prienai“ vidaus degimo variklio energijos sąnaudos, kai maršrutu važiuojama tradiciniu automobiliu, yra 8,64 kWh, tuo tarpu hibridinio automobilio – 7,61 kWh. Hibridinio automobilio energijos sąnaudos yra 1,03 kWh mažesnės nei tradicinio automobilio, kadangi hibridinės pavaros transmisija yra efektyvesnė ir patiriami mažesni galios nuostoliai, taip pat neikvojama energija automobiliui lėtėjant bei stovint vietoje. Papildomai hibridinės pavaros kompensuotas energijos kiekis automobilio įsibėgėjimo metu yra 0,42 kWh, todėl hibridinio automobilio vidaus degimo variklio energijos sąnaudos yra 7,23 kWh. Tradicinio ir hibridinio automobilių greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko pateikiama 4.5-4.6 paveiksluose.



**4.5 pav.** Tradicinio automobilio, važiuojančio mišriu maršrutu „Kaunas-Prienai“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko



**4.6 pav.** Hibridinio automobilio, važiuojančio mišriu maršrutu „Kaunas-Prienai“, greičio ir energijos sąnaudų priklausomybė nuo laiko

Apskaičiuota, jog visam maršrutui įveikti, tradiciniam automobiliui reikia sudeginti 2,25 l benzino, o hibridiniam automobiliui – 1,88 l. Taigi, vidutinės degalų sąnaudos, važiuojant užmiesčio maršrutu, atitinkamai yra 7,84 l/100 km. ir 6,57l/100 km. Taip pat nustatyta, jog nuvažiavus maršrutą, tradicinio automobilio į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekis yra 5,21 kg, o hibridinio – 4,36 kg. Vidutiniškai į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekis atitinkamai yra 18,18 kg/100 km ir 15,23 kg/100 km. Taigi, važiuojant mišriu maršrutu, apskaičiuota, jog hibridinė pavara sutaupo 1,27 l/100 km degalų, bei 2,95 kg/100 km sumažina į aplinką išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekį.

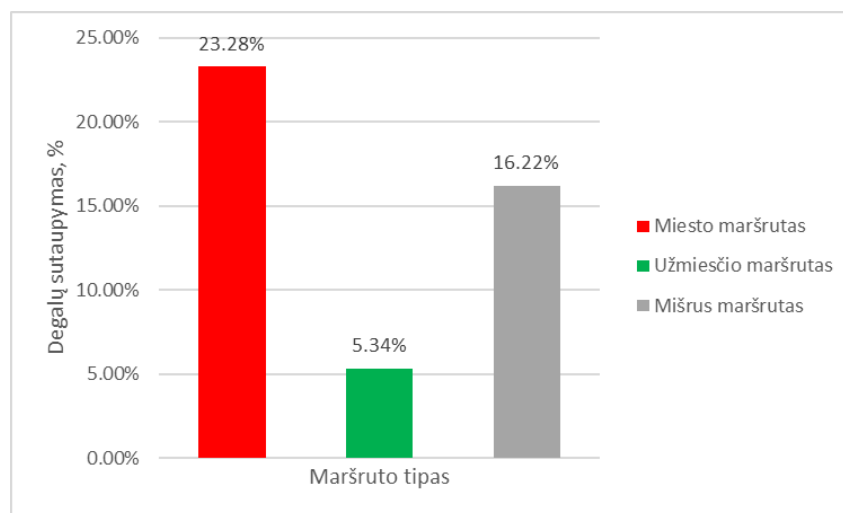
#### 4.4. Rezultatų palyginimas ir apibendrinimas

Siekiant įvertinti hibridinio automobilio efektyvumą, 4.1 lentelėje surašomi tradicinio ir hibridinio automobilių efektyvumo rodiklių, važiuojant skirtingais maršrutais, skaičiavimo rezultatai.

**4.1 lentelė.** Tradicinio ir hibridinio automobilių sąnaudos važiuojant skirtingais maršrutais

		Energijos sąnaudos, kWh	Įsibėgėjimo metu kompensuotas energijos kiekis, kWh	Degalų sąnaudos, l/100 km	CO <sub>2</sub> emisijos kg/100 km
<b>Užmiesčio maršrutas</b>	Tradicinis automobilis	7,18	-	8,00	18,56
	Hibridinis automobilis	6,81	0,2572	7,57	17,57
<b>Miesto maršrutas</b>	Tradicinis automobilis	4,17	-	8,06	18,70
	Hibridinis automobilis	3,24	0,4159	6,18	14,35
<b>Mišrus maršrutas</b>	Tradicinis automobilis	8,64	-	7,84	18,18
	Hibridinis automobilis	7,23	0,3854	6,57	15,23

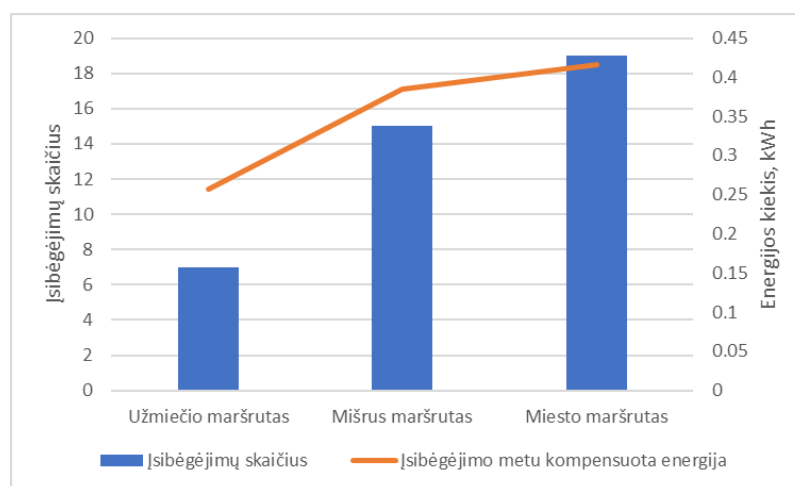
Iš 4.1 lentelėje pateiktų duomenų matoma, jog tradicinis automobilis daugiausiai degalų suvartoja važiuojant miesto režimu, o mažiausiai – mišriu režimu. Tuo tarpu automobilis su hibridine pavara daugiausiai degalų suvartoja užmiesčio maršrute, o mažiausiai – miesto maršrute. 4.7 paveiksle pateikiamas automobilis su hibridine pavara degalų sutaupymas tradicinio automobilio atžvilgiu.



**4.7 pav.** Hibridinės pavaros degalų sutaupymas važiuojant skirtingais režimais

Pagal 4.7 paveikslo duomenis, matoma, jog hibridinis automobilis suvartoja 23,28 % mažiau degalų važiuojant miesto maršrutu, 5,34 % važiuojant užmiesčio maršrutu ir 16,22 % važiuojant mišriu maršrutu. Automobilio išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekis tiesiogiai priklauso nuo degalų sąnaudų, todėl CO<sub>2</sub> emisijos yra sumažinamos tokia pačia procentine dalimi kaip ir degalų sąnaudos. Kadangi degalų sąnaudos ir CO<sub>2</sub> nusako automobilio efektyvumą, todėl galima daryti išvadą, jog tyrime nagrinėjama hibridinis automobilis, lyginant su tradiciniu automobiliu, yra 23,28 % efektyvesnis kai važiuojama miesto režimu, 16,22 % efektyvesnis kai važiuojama mišriu režimu ir 5,34 % - važiuojant užmiesčio režimu.

Iš 4.8 paveiksle pateikto grafiko matoma, jog kuo didesnis įsibėgėjimų skaičius, tuo didesnė įsibėgėjimo metu kompensuojama energija. Kadangi užmiesčio maršrute įsibėgėjimų skaičius yra mažiausias, o miesto maršrute didžiausias, todėl hibridinė pavara įsibėgėjimo metu daugiausiai energijos kompensuoja važiuojant miesto režimu, o mažiausiai – užmiesčio režimu.



**4.8 pav.** Įsibėgėjimo metu kompensuotos energijos kiekio priklausomybė nuo įsibėgėjimų skaičiaus

Apibendrinant tyrimą galima teigti, jog kuo daugiau kartų automobilis sustoja ir vėl įsibėgėja, tuo efektyviau yra išnaudojama hibridinė pavara, kuri stabdymo metu regeneruotą energiją panaudoja įsibėgėjimui tokiu būdu sumažinant reikalingas energijos sąnaudas iš vidaus degimo variklio. Miesto ar mišriuose maršrutuose automobiliui reikalingas įsibėgėjimų skaičius yra didesnis nei užmiesčio ar mišriuose maršrutuose, todėl hibridinė pavara efektyviausiai yra išnaudojama važiuojant miesto režimu ar mišriu režimu, kur dėl eismo sąlygų reikalinga dažnai sustoti ir vėl įsibėgėti. Kadangi reikalingas sustojimų ir įsibėgėjimų skaičius priklauso nuo individualaus maršruto, todėl kiekvienu atveju hibridinės pavaros efektyvumas gali skirtis, tačiau naudojant šio tyrimo metodiką galima preliminariai nustatyti hibridinio automobilio efektyvumą, važiuojant tam tikru maršrutu.

## Išvados

1. Atlikti natūriniai eksperimentai su hibridiniu automobiliu „Toyota Prius“ (XW50), kurių metu išmatuoti automobilio dinaminiai parametrai bei hibridinės pavaros elektros srovės stiprio kitimas laiko atžvilgiu. Pagal išmatuotas elektros srovės pokytį buvo apskaičiuota, kad su automobiliu atlikus 2 bandomuosius važiavimus ir 18 įsibėgėjimo-sustojimų ciklą, įsibėgėjimui panaudotas elektros energijos kiekis yra 0,933 kWh, o stabdymo metu regeneruotas energijos kiekis yra 0,861 kWh.
2. Remiantis eksperimentinių bandymų metu išmatuotais duomenimis bei automobilio techniniais parametrais, apskaičiuotas vidaus degimo ir elektros variklių galios pasiskirstymas automobilio įsibėgėjimo metu. Nustatyta, jog pirmojo bandomojo važiavimo metu 22,2 % automobilio įsibėgėjimui užtikrinti reikalingos galios buvo sugeneruota iš elektros variklio ir 77,8 % iš vidaus degimo variklio, o antrojo bandomojo važiavimo metu – atitinkamai 25,7 % ir 74,3 %.
3. Sudaryta hibridinio ir įprastinio automobilio energijos bei sąnaudų skaičiavimo metodika bei sumodeliuoti 3 skirtingi maršrutai: užmiesčio maršrutas „Ivoniškės-Punia“, miesto maršrutas „Kaunas-Kaunas“ ir mišrus maršrutas „Kaunas-Prienai“. Pagal sudarytą metodiką apskaičiuota, jog panašaus galingumo įprastinio ir hibridinio automobilio vidutinės degalų sąnaudos atitinkamai yra 8,00 l/100 km ir 7,57 l/100 km važiuojant užmiesčio maršrutu, 8,06 l/100 km ir 6,18 l/100 km važiuojant miesto maršrutu bei 7,84 l/100 km ir 6,57 l/100 km važiuojant mišriu maršrutu.
4. Apskaičiuota, jog hibridinis automobilis, lyginant su įprastiniu automobiliu, yra 5,34 % ekonomiškesnis, kai važiuojama užmiesčio režimu, 16,22 %, kai važiuojama mišriu režimu ir 23,28 % kai važiuojama miesto režimu. Taip pat, remiantis apskaičiuotomis įprastinio ir hibridinio automobilių energijos bei degalų sąnaudomis realiuose maršrutuose, nustatyta, kad kuo daugiau maršrute yra įsibėgėjimų-sustojimų, tuo efektyviau yra išnaudojama hibridinė pvara, todėl hibridinį automobilį tikslingiausia yra eksploatuoti miestuose arba užmiesčiuose, kur reikalinga dažnai sustoti ir vėl įsibėgėti.



## Literatūros sąrašas

1. *Understanding micro, mild, full and plug-in hybrid electric vehicles* [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2021 06 12]. Prieiga per: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/vehicle/hybrid/micro-mild-full-hybrid-electric-vehicle/>
2. DEDEBYRAKTAR Kerem ir kt. Engineering a hybrid system. *RESEARCH GATE*. [interaktyvus]. Jungtinė Karalystė, 2014, 5-7, [žiūrėta 2022 04 16]. Prieiga per: doi: 10.13140/2.1.2474.3043
3. *Global Start-Stop Technology Market 2020* [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2021 06 12]. Prieiga per: <https://www.mccourier.com/global-start-stop-technology-market-2020-continental-valveo-bosch-denso/>
4. *HYBRID CARS* [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2022 05 16]. Prieiga per: <https://www.buyacar.co.uk/cars/economical-cars/hybrid-cars/1053/what-is-a-mild-hybrid-car>
5. *PSA's future Mild-hybrid technology* [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2021 06 12]. Prieiga per: <https://www.car-engineer.com/psas-future-mild-hybrid-technology/>
6. *What is a mild hybrid system?* [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2021 06 13]. Prieiga per: <https://www.whichcar.com.au/car-advice/what-is-a-mild-hybrid>
7. Lalit Kumar ir kt. Architecture and configuration of electrified vehicles: A review. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. Taipei, Taiwan, 2013, 3, [žiūrėta 2022 05 15]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6563825>
8. *Hybrid Geek* [interaktyvus]. 2019. [žiūrėta 2022 05 16]. Prieiga per: <https://www.thehybridgeek.com/3-types-of-hybrid-batteries/>
9. *Hybrid and Electric Vehicle's Batteries* [interaktyvus]. 2014. [žiūrėta 2022 05 16]. Prieiga per: <https://www.upsbatterycenter.com/blog/vehicle-batteries/>
10. BABU Ajay ir SAS Ashokir. Comparison of Battery Technologies for Hybrid Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles. *ResearchGate*. [interaktyvus]. Calicut, India, 2012, 10, [žiūrėta 2022 05 10]. ISSN: 2249-4774. Prieiga per: [https://www.researchgate.net/publication/275585190\\_Comparison\\_of\\_Battery\\_Technologies\\_for\\_Hybrid\\_Electric\\_and\\_Plug-in\\_Hybrid\\_Electric\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/275585190_Comparison_of_Battery_Technologies_for_Hybrid_Electric_and_Plug-in_Hybrid_Electric_Vehicles)
11. *Types of Electric Motors Used in Hybrid Cars* [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2022 05 15]. Prieiga per: <https://itstillruns.com/types-motors-used-hybrid-cars-5583523.html>
12. *PERMANENT MAGNET VS. INDUCTION MOTOR EFFICIENCY: DESIGN & MATERIALS* [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2022 05 01]. Prieiga per: <https://www.horizontechnology.biz/blog/induction-vs-permanent-magnet-motor-efficiency-auto-electrification>
13. *Motors in Hybrid Cars* [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2022 05 14]. Prieiga per: <https://www.dubizzle.com/blog/cars/motors-hybrid-cars/>
14. *THREE PHASE INDUCTION MOTOR* [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2022 05 08]. Prieiga per: <https://slidetodoc.com/three-phase-induction-motor-introduction-3-phase-induction/>
15. POŁOK Dariusz ir kt. Performance analysis of a PMSM drive with torque and speed control. *ResearchGate*. [interaktyvus]. Torun, Poland, 2018, [žiūrėta 2022 05 08]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1109/MIXDES.2015.7208586>
16. *Toyota Power Split device* [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <https://hybridautopart.com/blog-en/toyota-prius-power-split-device/>

17. *Toyota Prius - Power Split Device (PSD)* [interaktyvus]. 2022. [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <http://eahart.com/prius/psd/>
18. *What is Atkinson Cycle* [interaktyvus]. 2019. [žiūrėta 2022 05 15]. Prieiga per: <https://www.thermal-engineering.org/what-is-atkinson-cycle-atkinson-engine-definition/>
19. *What Is the Atkinson Combustion Cycle, and What Are Its Benefits?* [interaktyvus]. 2016. [žiūrėta 2021 06 15]. Prieiga per: <https://www.caranddriver.com/news/a15345875/what-is-the-atkinson-combustion-cycle-and-what-are-its-benefits/>
20. *Ford Mondeo* [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2021 06 15]. Prieiga per: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ford\\_Mondeo](https://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Mondeo)
21. *Ford Mondeo Hybrid Sedan* [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2021 06 15]. Prieiga per: <http://www.carwallpapers.cc/cars/ford/mondeo/ford-mondeo-hybrid-sedan-2014.shtml>
22. Adit Joshi. *Hardware-in-the-Loop (HIL) Implementation and Validation of SAE Level 2 Autonomous Vehicle with Subsystem Fault Tolerant Fallback Performance for Takeover Scenarios.* [interaktyvus] 2017 [žiūrėta 2021 06 17]. Prieiga per: [https://www.researchgate.net/publication/320036802\\_Hardware-in-the-Loop\\_HIL\\_Implementation\\_and\\_Validation\\_of\\_SAE\\_Level\\_2\\_Autonomous\\_Vehicle\\_with\\_Subsystem\\_Fault\\_Tolerant\\_Fallback\\_Performance\\_for\\_Takeover\\_Scenarios/figures?lo=1&utm\\_source=google&utm\\_medium=organic](https://www.researchgate.net/publication/320036802_Hardware-in-the-Loop_HIL_Implementation_and_Validation_of_SAE_Level_2_Autonomous_Vehicle_with_Subsystem_Fault_Tolerant_Fallback_Performance_for_Takeover_Scenarios/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic)
23. *Ford Fusion PHEV and HEV 2013-2018* [interaktyvus] 2018 [žiūrėta 2021 06 17]. Prieiga per: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/Training/AFV/Emergency-Response-Guides/Ford/Ford-Fusion-PHEV-and-HEV-2013-2018-ERG.ashx>
24. *A short history of hybrid* [interaktyvus] 2013 [žiūrėta 2022 05 14]. Prieiga per: <https://mag.toyota.co.uk/a-short-history-of-hybrid/>
25. *Ultimate specs* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2021 06 17]. Prieiga per: <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Ford/70330/Ford-Mondeo-5-Sedan-HEV-20-Hybrid-187HP-Titanium.html>
26. *Toyota Prius XW30* [interaktyvus] 2014 [žiūrėta 2022 05 14]. Prieiga per: <https://www.car.info/en-se/toyota/prius/prius-xw30-15888/specs>
27. *HONDA AUTO NEWS* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022 05 14]. Prieiga per: <https://hondanews.com/en-US/honda-automobiles/releases/release-2cfa87fb4cc34bdf9f49e2a633372a2f-2012-honda-civic-hybrid-specifications-and-features>
28. *Honda Civic Co2 emissions* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2022 05 14]. Prieiga per: <https://www.cars-data.com/en/honda-civic/co2-emissions>
29. *2014 Volkswagen Golf VII* [interaktyvus] 2012 [žiūrėta 2022 05 14]. Prieiga per: <https://www.auto-data.net/en/volkswagen-golf-vii-5-door-gte-1.4-tsi-204hp-plug-in-hybrid-dsg-20418>
30. *Toyota Prius (XW50)* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2021 12 21]. Prieiga per: [https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota\\_Prius\\_\(XW50\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius_(XW50)).
31. *Toyota Prius (XW50) 1.8 Hybrid Specs* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2021 12 21]. Prieiga per: [https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Toyota/111218/Toyota-Prius-\(XW50\)-1.8-Hybrid.html](https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Toyota/111218/Toyota-Prius-(XW50)-1.8-Hybrid.html)
32. *Race Technology* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <https://www.race-technology.com/us/racing/products/data-loggers/dl1-sport>

33. *BRL TEST* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: [https://www.brctest.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=4922](https://www.brctest.com/index.php?main_page=product_info&products_id=4922)
34. *Equipment* [interaktyvus] 2019 [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <https://www.equipment.net/Pico/TA019/Probes/#tech-specs>
35. *PicoScope 3000 Automotive* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: [https://www.picoauto.com/download/documents/manuals/PicoScope\\_3223\\_3423\\_automotive\\_oscilloscope\\_users\\_guide.pdf](https://www.picoauto.com/download/documents/manuals/PicoScope_3223_3423_automotive_oscilloscope_users_guide.pdf)
36. MAKARAS R. ir kt. *Theory of Road Vehicles. Methodological Guidelines for Individual Projects* [interaktyvus]. Kaunas: Technologija, 2019, [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/1508/theory-of-road-vehicles-methodological-guidelines-for-individual-projects/>
37. *Aerodynamics* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <http://tech-racingcars.wikidot.com/aerodynamics>
38. *Oro tankis priklausomai nuo temperatūros* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <https://www.de2.lt/naudinga-informacija/lentel%C4%97s/2668-oro-tankis-priklausomai-nuo-temperat%C5%ABros>
39. MAO Yuan ir kt. Differential Evolution Based Multi-Objective Optimization of the Electrical Continuously Variable Transmission System. *IEEE Xplore*. [interaktyvus]. Jungtinės Amerikos Valstijos, 2018, 6, [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2733458>
40. *Indormacija vairuotojams* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <https://eismas.eu/index.php/keliu-eismo-taisykles-ket>
41. *Emission Test Cycles* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: [https://dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)
42. *Kg CO2 per litre of petrol vehicles* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022 05 09]. Prieiga per: <https://comcar.co.uk/emissions/co2litre/>