



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

# **Hibridinių pavarų taikymo sunkiajame transporte tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Dovydas Masalevičius**  
Projekto autorius

**Doc. Rolandas Makaras**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2021**



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

# **Hibridinių pavarų taikymo sunkiajame transporte tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas  
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

---

**Dovydas Masalevičius**

Projekto autorius

**Doc. Rolandas Makaras**

Vadovas

**Prof. Vaidas Lukoševičius**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Dovydas Masalevičius

## **Hibridinių pavarų taikymo sunkiajame transporte tyrimai**

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.

Dovydas Masalevičius

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



## Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa – Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

# Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studentui Dovydui Masalevičiui

### 1. Baigiamojo projekto tema:

*Hibridinių pavarų taikymo sunkiajame transporte tyrimai*

*Research of Hybrid Powertrains Application in Heavy Transport*

### 2. Projekto tikslas:

*Ištirti hibridinių pavarų sunkiajame transporte efektyvumą*

### 3. Projekto uždaviniai:

*1. Išanalizuoti sunkiasvorėse hibridinėse transporto priemonėse naudojamas hibridines ir elektrines pavaras, jų teikiamus privalumus. 2. Sudaryti vilkiko energijos sąnaudų nustatymo metodiką. 3. Nustatyti hibridinės ir įprastos sunkiasvorės transporto priemonės energijos/degalų sąnaudas tam pačiam maršrutui įveikti. 4. Pagrįsti gautus rezultatus ir metodiką atliekant palyginimą su kitų autorių darbais.*

### 4. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

*1. Atlikti hibridinio sunkiojo transporto apžvalgą. 2. Atlikti mokslinių darbų analizę. 3. Atlikti hibridinių transporto priemonių jėgos įrenginių apžvalgą. 4. Sudaryti hibridinio vilkiko pavaros schemą. 5. Atlikti hibridinio vilkiko lyginamuosius skaičiavimus pagal EDC15, EUDC ciklus.*

### 5. Projekto konsultantai:

|                                   |   |            |
|-----------------------------------|---|------------|
| Baigiamojo projekto autorius      | Dovydas Masalevičius                                  | 2020-02-04 |
|                                   | <i>(vardas, pavardė, data)</i>                        |            |
| Baigiamojo projekto vadovas       | Doc. Rolandas Makaras                                 | 2020-02-04 |
|                                   | <i>(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, data)</i> |            |
| Krypties studijų programų vadovas | prof. Artūras Keršys                                  | 2020-02-04 |
|                                   | <i>(pareigų sutrumpinimas, vardas, pavardė, data)</i> |            |

Masalevičius Dovydas. Hibridinių pavarų taikymas sunkiajame transporte. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Rolandas Makaras; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: hibridinė pavana, hibridinė jėgos pavana, hibridinės pavaros efektyvumas, hibridinės jėginės pavaros efektyvumas, hibridinės pavaros energijos sąnaudos.

Kaunas, 2021. 59 p.

### **Santrauka**

Baigiamojo darbo tikslas – ištirti hibridinių pavarų taikymo sunkiajame transporte efektyvumą. Darbe atliktoje literatūros analizėje apžvelgtas hibridinis sunkusis transportas bei naudojami komponentai sudarantys hibridinę jėginę pavarą. Literatūroje išanalizuoti moksliniai tyrimai palyginantys hibridinių transporto priemonių pranašumus prieš įprastas transporto priemones. Sudaryta preliminari hibridinio vilkiko jėginių įrenginių išdėstymo schema ir aprašytas veikimo principas. Atlikus skaičiavimus pagal ECE15, EUDC ir NEDC važiavimo ciklus nustatyta, kad vilkikus su hibridinėmis pavaromis efektyviausia naudoti miesto sąlygomis, sunkvežimių efektyvumą padidina, esant 0 % įkrovos lygiui, 22,5 % energijos sunaudojamu kiekiu ir 62,5 % mažesnėmis degalų sąnaudomis, kai įkrovos lygis 50 % iki 13,6 % energijos sąnaudų atžvilgiu, o degalų sutaupoma iki 61 %. Esant transporto priemonei su 100 % įkrova, efektyvumas padidėja 9,7 % energijos sunaudojamu kiekiu ir 60,4 % mažesnėmis degalų sąnaudomis. Užmiestio sąlygomis, hibridiniai vilkikai praranda pranašumus, kai transporto priemonė be krovinio, pasižymi 3,5 % mažesnėmis energijos ir 5,1 % degalų sąnaudomis. Didėjant įkrovai iki 50 % efektyvumas mažėja ir gali sumažinti 2,2 % energijos ir 4,6 % degalų sąnaudas. Esant 100 % sunkvežimio krovos lygiui, energijos sąnaudos hibridiniu vilkiku sumažėja 1,6 %, o degalų gali sutaupyti iki 4,35 %. Miesto ir užmiestio sąlygomis hibridas su nuosava mase pasižymi 10,2 % mažesnėmis energijos ir 25,4 % degalų sąnaudomis. Kai įkrovos lygis didėja iki 50 %, energijos sąnaudos mažesnės 6,3 %, o degalų sąnaudos mažėja 24,9 %. Didėjant įkrovos lygiui iki 100 %, hibridinis vilkikas už įprastą pasižymi 4,5 % mažesnėmis energijos sąnaudomis ir 24,6 % mažesnėmis degalų sąnaudomis. Tyrimų rezultatai lyginant su kitų autorių darbais, pagal sunaudotą energijos kiekį mieste skiriasi 1,4 %, o užmiestyje 12,72 %. Pagal degalų sąnaudas užmiestyje, rezultatai skiriasi 0,65 % ir 1,67 %.

Masalevičius Dovydas. Research of Hybrid Powertrains Application in Heavy Transport. Masters's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Rolandas Makaras; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: hybrid drive, hybrid powertrain, hybrid powertrain efficiency, hybrid drive efficiency, energy consumption of a hybrid powertrain.

Kaunas, 2021. 59 p.

### **Summary**

The aim of the final work is to investigate the efficiency of hybrid drives in heavy transport. The analysis of the literature in the work reviews the hybrid heavy transport and the components used to form a hybrid power drive. Research comparing the advantages of hybrid vehicles over conventional vehicles has been analyzed in the literature. A preliminary layout diagram of the hybrid tractor power plant is made and the principle of operation is described. Calculations based on the ECE15, EUDC and NEDC driving cycles have shown that hybrid tractors are the most efficient to use in urban conditions, increasing truck efficiency at 0% load, 22.5% energy consumption and 62.5% lower fuel consumption when loading. levels of 50% to 13.6% in terms of energy consumption and fuel savings of up to 61%. With a vehicle with 100% mass, efficiency increases with 9.7% energy consumption and 60.4% lower fuel consumption. In off-road conditions, hybrid tractors lose the advantage of an unladen vehicle with 3.5% lower energy and 5.1% lower fuel consumption. As the load increases to 50%, efficiency decreases and can reduce energy consumption by 2.2% and fuel consumption by 4.6%. At a truck load level of 100%, the energy consumption of a hybrid tractor is reduced by 1.6% and fuel savings of up to 4.35%. In urban and suburban conditions, the hybrid with its own weight has 10.2% lower energy and 25.4% lower fuel consumption. When the charge level increases to 50%, energy consumption is reduced by 6.3% and fuel consumption is reduced by 24.9%. As the mass level increases to 100%, the hybrid tractor has 4.5% lower energy consumption and 24.6% lower fuel consumption than usual. Compared to the works of other authors, the results of research differ by 1.4% in terms of energy consumption in urban areas and 12.72% on the highway areas. In terms of fuel consumption on the highway, the results differ by 0.65% and 1.67%.

## Turinys

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Paveikslų sąrašas .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>Lentelių sąrašas .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>Įvadas.....</b>  | <b>12</b> |
| <b>1. Literatūros analizė.....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1. Elektrinių sunkiojo transporto pavarų vystymasis .....                           | 13        |
| 1.2. Kelių sunkiojo transporto plėtra taikant atsinaujinančius išteklius .....        | 15        |
| 1.2.1. „DAF“ kompanijos elektrinis transportas .....                                  | 16        |
| 1.2.2. „Mercedes-Benz“ kompanijos elektrinis transportas .....                        | 22        |
| 1.2.3. Hibridinio sunkiojo transporto efektyvumas .....                               | 24        |
| 1.3. Transporto jėgos agregatai .....   | 27        |
| 1.3.1. Hibridinių transporto priemonių jėgos agregatai .....                          | 27        |
| 1.3.2. Elektrinių transporto priemonių jėgos agregatai .....                          | 29        |
| <b>2. Tiriamoji dalis.....</b>  | <b>31</b> |
| 2.1. Hibridinio vilkiko pavaros schema.....   | 31        |
| 2.2. SCANIA PHEV (plug-in hybrid truck).....  | 32        |
| 2.3. Europos važiavimo ciklo tyrimas .....  | 34        |
| 2.4. Europos važiavimo ciklo sunkiajam transportui skaičiavimai Excel programoje..... | 38        |
| 2.4.1. Europos važiavimo ciklo skaičiavimas, kai įkrovos lygis 0% .....               | 38        |
| 2.4.2. Europos važiavimo ciklas, kai įkrovos lygis 50 %.....                          | 45        |
| 2.4.3. Europos važiavimo ciklas, kai įkrovos lygis 100 %.....                         | 50        |
| 2.5. Europos važiavimo ciklo rezultatai .....   | 52        |
| 2.6. Skaičiavimų palyginimas su kitų autorių darbais .....                            | 53        |
| <b>Išvados .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>Literatūros sąrašas .....</b>  | <b>56</b> |

## Paveikslų sąrašas

|  |    |
|--|----|
| <b>1 pav.</b> „Daimler AG“ Berlyno gamykla [8] .....   | 13 |
| <b>2 pav.</b> Mercedes-Benz „OE 302“ bandomasis autobusas [9].....   | 14 |
| <b>3 pav.</b> Mercedes-Benz „NeBus“ [10].....  | 15 |
| <b>4 pav.</b> „DAF LF“ elektrinis vilkikas [13] .....  | 16 |
| <b>5 pav.</b> „LF“ jėgos pavara [15].....  | 17 |
| <b>6 pav.</b> „DAF LF“ jėgos pavaros bendras vaizdas vilkike [16].....   | 17 |
| <b>7 pav.</b> „DAF CF“ elektrinis vilkikas [17] .....  | 18 |
| <b>8 pav.</b> „DAF CF“ hibridinė pavara [18].....  | 19 |
| <b>9 pav.</b> „DAF XF“ vilkikas [20] .....   | 20 |
| <b>10 pav.</b> „DAF XF“ vilkiko pavaros elementai [22] .....   | 21 |
| <b>11 pav.</b> „Mercedes-Benz EActros“ vilkikas [25].....  | 22 |
| <b>12 pav.</b> Pavaros sistema su dviem elektros varikliais [27] .....   | 23 |
| <b>13 pav.</b> „EActros“ akumuliatorių baterijos [27] .....  | 23 |
| <b>14 pav.</b> EV galios pasiskirstymas hibridiniam transporte [30] .....  | 24 |
| <b>15 pav.</b> UDDS važiavimo ciklas [30] .....  | 25 |
| <b>16 pav.</b> Važiavimo ciklas pagal eksperimentinius duomenis [33].....  | 26 |
| <b>17 pav.</b> Vilkiško elektros variklis [36] .....   | 28 |
| <b>18 pav.</b> Inverterio ir elektros variklio jungimas [37] .....   | 29 |
| <b>19 pav.</b> „Eaxle“ pavara [38].....  | 30 |
| <b>20 pav.</b> Hibridinio vilkiško pavaros schema .....  | 31 |
| <b>21 pav.</b> „SCANIA PHEV“ [41] .....  | 32 |
| <b>22 pav.</b> Europos važiavimo miesto ciklas (ECE 15) [48] .....   | 34 |
| <b>23 pav.</b> Užmiesto ciklas sunkiajam transportui iki 90km/h (EUDC) [48].....   | 34 |
| <b>24 pav.</b> Jėgainių darbo režimai.....   | 35 |
| <b>25 pav.</b> Scania P serijos priekinės projekcijos plotas [49].....   | 36 |
| <b>26 pav.</b> Sunkiojo transporto greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo važiuoto kelio mieste, kai įkrovos lygis 0 %.....      | 39 |
| <b>27 pav.</b> Sunkiojo transporto greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio užmiestyje, kai įkrovos lygis 0%..... | 39 |
| <b>28 pav.</b> Miesto ciklo režimai, kai įkrova 0% .....   | 39 |
| <b>29 pav.</b> Degalų sąnaudos mieste .....  | 40 |
| <b>30 pav.</b> CO <sub>2</sub> emisijos mieste, kai įkrova 0%.....   | 40 |
| <b>31 pav.</b> Energijos suvartojimas mieste, kai įkrova 0% .....  | 41 |
| <b>32 pav.</b> Užmiesto ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 0 %.....   | 41 |
| <b>33 pav.</b> Degalų sąnaudos užmiestyje, kai įkrovos lygis 0 % .....   | 42 |
| <b>34 pav.</b> CO <sub>2</sub> emisijos užmiestyje, kai įkrovos lygis 0 % .....  | 42 |
| <b>35 pav.</b> Energijos suvartojimas užmiestyje, kai įkrovos lygis 0 %.....   | 43 |
| <b>36 pav.</b> Mišraus ciklo rezultatai, kai įkrova 0%.....  | 43 |
| <b>37 pav.</b> Degalų sąnaudos mišriu ciklu, kai įkrova 0% .....   | 44 |
| <b>38 pav.</b> CO <sub>2</sub> emisijos mišriu ciklu, kai įkrova 0% .....  | 44 |
| <b>39 pav.</b> Energijos sąnaudos mišriu ciklu, kai įkrova 0% .....  | 45 |
| <b>40 pav.</b> Sunkiojo transporto greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo važiuoto kelio mieste, kai įkrovos lygis 50 %.....     | 45 |



|  |    |
|--|----|
| <b>41 pav.</b> Vilkiko greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio užmiestyje, kai įkrovos lygis 50% ..... | 46 |
| <b>42 pav.</b> Miesto ciklą rezultatai, kai įkrova 50% .....   | 46 |
| <b>43 pav.</b> CO <sub>2</sub> emisijos mieste, kai įkrovos lygis 50 % .....   | 47 |
| <b>44 pav.</b> Energijos sunaudojamas kiekis mieste, kai įkrovos lygis 50% .....   | 47 |
| <b>45 pav.</b> Užmiesčio ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 50 % .....  | 48 |
| <b>46 pav.</b> CO <sub>2</sub> emisijos užmiestyje, kai įkrovos lygis 50 % .....   | 48 |
| <b>47 pav.</b> Energijos sunaudojimas užmiestyje, kai įkrovos lygis 50 % .....   | 48 |
| <b>48 pav.</b> Mišraus važiavimo ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 50 % .....  | 49 |
| <b>49 pav.</b> CO <sub>2</sub> emisijos mišriu važiavimu, kai įkrovos lygis 50% .....  | 49 |
| <b>50 pav.</b> Energijos sunaudojimas mišriu važiavimu, kai įkrova 50 % .....  | 49 |
| <b>51 pav.</b> Vilkiko greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio mieste, kai įkrovos lygis 100 % .....   | 50 |
| <b>52 pav.</b> Vilkiko greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio užmieste, kai įkrovos lygis 100 % ..... | 50 |
| <b>53 pav.</b> keturių miesto ciklą rezultatai, kai įkrovos lygis 100 % .....  | 51 |
| <b>54 pav.</b> Užmiesčio ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 100 % .....   | 51 |
| <b>55 pav.</b> Mišraus ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 100 % .....   | 51 |

## Lentelių sąrašas

|  |    |
|--|----|
| <b>2.1 lentelė</b> Pagrindiniai duomenys [45] .....  | 33 |
| <b>2.2 lentelė</b> Vidaus degimo variklio duomenys [36] .....  | 33 |
| <b>2.3 lentelė</b> Eksploataciniai duomenys [47] .....   | 33 |
| <b>2.4 lentelė</b> Elektros variklio duomenys [47] .....   | 33 |
| <b>2.5 lentelė</b> Įprasto vilkiko sąnaudų palyginimas su hibridiniu, esant skirtingiems įkrovos lygiams | 52 |

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

Doc. – docentas;

EV – elektros variklis;

VDV – vidaus degimo variklis;

TP – transporto priemonė;

### Terminai:

Biodegalai – Bet koks kuras, gaunamas iš biomasės, tai yra augalinės, dumblių medžiagos ar gyvulinės atliekos. Kadangi tokią žaliavą galima lengvai papildyti, biodegalai yra laikomi atsinaujinančios energijos šaltiniu, skirtingai nei iškastinis kuras, toks kaip nafta, anglis ir gamtinės dujos [1].

Lyginamosios (specifinės) degalų sąnaudos – transporto priemonės sunaudotų degalų kiekis vienam galios vienetui [2].

Emisija – teršalų patekimas (išmetimas) į aplinką [3].

Sukimo momentas (jėgos momoentas) – tai fizikinis dydis apibūdinantis jėgos dydį sukant kūną apie kurią nors ašį [4].

Transmisija – (lot. Transmissio – persiuntimas, perdavimas), tai techniniai įtaisai ir įrenginiai mechaninei energijai perduoti ir paskirstyti darbinėms mašinoms [5].

Ciklas – (lot. Cyclus – ratas, apsisukimas), visuma kokių nors reiškinių, procesų, sudarančių uždara raidos ratą per tam tikrą laiką [6].

## Įvadas

Šiomis dienomis didėjant ekologiniams reikalavimams, vis didesnis dėmesys skiriamas lengvųjų transporto priemonių ekonomiškamui ir ekologiškumui. Siekiant šias padaryti kuo mažiau taršias ir draugiškesnes aplinkai, taikomi įvairūs sprendimai, tokie kaip: biodegalų naudojimo skatinimas ir keliami vis didesni reikalavimai biodegalams, skatinimas paramomis rinktis ekonomiškiausius ir aplinkai labiau patrauklesnius automobilius su hibridinėmis pavaromis, kurie gali būti varomi ir degalais, ir elektra. Šie gali dirbti elektros režimu, neteršdami aplinkos, nes nenaudoja iškastinio kuro, o varomi tik elektros energija, kurią galima išgauti iš atsinaujinančių šaltinių. Ne toks didelis dėmesys skiriamas sunkiajam transportui, kuris ne ką mažiau, o dar labiau taršus aplinkai, kadangi šis varomas iškastiniu kuru, o suvartoja aštuonis kartus ir daugiau degalų nei lengvasis miesto automobilis. Šiuo metu vis kuriamos ir tobulinamos sunkiosios transporto priemonės, taikant vis modernesnius sprendimus. Atsižvelgiant, jog šios būtų galingos ir turėtų didelę akumuliatorių baterijų talpą bei sparčiai įkraunamos, kad būtų kuo mažesnis prastovų laikas bei tenkintų vartotojų poreikius [1].

Projekto tikslas: ištirti hibridinių pavarų sunkiajame transporte efektyvumą.

Projekto uždaviniai:

1. Išanalizuoti sunkiasvorėse hibridinėse transporto priemonėse naudojamas hibridines ir elektrines pavaras, jų teikiamus privalumus.
2. Sudaryti vilkiko energijos sąnaudų nustatymo metodiką.
3. Nustatyti hibridinės ir įprastos sunkiasvorės transporto priemonės energijos/degalų sąnaudas tam pačiam maršrutui įveikti.
4. Pagrįsti gautus rezultatus ir metodiką atliekant palyginimą su kitų autorių darbais.

## 1. Literatūros analizė

### 1.1. Elektrinių sunkiojo transporto pavarų vystymasis

Apie 1900 m. pasirodė platus elektromobilių asortimentas iš bendrovių „Motorfahrzeug- und Motorenfabrik Berlin-Marienfelde“ (iš vokiečių kalbos - Motorinių transporto priemonių ir automobilių gamykla Berlyne Marienfelde) – „MMB“ ir „Daimler-Motoren-Gesellschaft“ (iš vokiečių kalbos – Daimlerio variklių kompanija) – „DMG“ [7].

Benzininis variklis, garo energija, elektrinė pvara – tai 1896 m. Gottliebo Daimlerio išradimai, tačiau galutinis sunkvežimio pavaros tipas pirmus du egzistavimo dešimtmečius vis dar nebuvo aiškiai apibrėžtas. Pirmieji, šiuolaikiški, tuomet dar atskirų kompanijų „Daimler“ ir „Benz“, sunkvežimiai su dyzeliniais varikliais išleisti 1923 m. Per pastaruosius dešimtmečius „Daimler AG“ ir jo pirmtakų kompanijų prekės ženklai sukūrė ir išbandė visas įmanomas elektrines pavaras [7].

Bendrovė „Motorfahrzeug- und Motorenfabrik Berlin-Marienfelde“ (MMB) pradėjo gaminti elektrines transporto priemones dar 1899 metais. „Daimler-Motoren-Gesellschaft“ (DMG) akcininkams ir stebėtojų tarybos nariams priklausanti MMB perėmė DMG 1902 m., vėliau tapo „Daimler AG“ Berlyno gamykla [8].



1 pav. „Daimler AG“ Berlyno gamykla [8]

Ji gamino elektrines transporto priemones pagal „Columbia Automobiles“ licenciją, kuri tuo metu buvo sėkminga JAV. Be lengvųjų automobilių, MMB gamino lengvuosius sunkvežimius, autobusus ir gaisrines transporto priemones su elektrinėmis pavaromis. 1901 m. MMB asortimente buvo komercinės transporto priemonės su 350 kg naudinguoju krovinium, krovininiai furgonai su 1000 kg naudinga įkrovos lygiu bei pašto automobiliai su iki 1200 kg naudinga krovinio įkrovos lygiu, taip pat ir ugniagesių ekipažai [8,9].

Kriterijai nuo 1901 m. vis dar yra labai svarbūs ir po 115 metų.

Kaip pavaros tipo atrankos kriterijus MMB 1901 m. rekomendavo: „Pirmenybė turėtų būti teikiama elektrinėms arba benzininėms transporto priemonėms. Patariame naudoti šias priemones mieste arba ten, kur per dieną nuvažiuojamas atstumas yra nuo 30 iki 40 km ir yra elektrinių įkrovimo stotelių. Pirmenybių pirmenybė turėtų būti teikiama elektrinei pavarai. Elektrinės transporto priemonės yra ne tokios sudėtingos konstrukcijos kaip automobiliai su benzininiu varikliu ir turi ypatingą pranašumą – tylūs ir bekvapiai. Be to, yra greitai reaguojantys.“ Tai buvo kriterijai, kurie po šimtmečio skamba dar aktualiau nei bet kada anksčiau [8,9].

Komercinės transporto priemonės su rato stebulės varikliais jau 1906 m.

1906 m. Austrijos DMG antrinė įmonė pradėjo naudoti „Lohner-Porsche“ patentus, gamindama elektrines ir hibridines transporto priemones su rato stebulės varikliais. Tai buvo maži furgonai ir sunkvežimiai, kurių naudingoji galia buvo iki 4000 kg. Vienu akumulatoriaus įkrovimu sunkvežimiai gali važiuoti iki 70 km, o didžiausias greitis yra nuo 18 iki 20 km/h. Vėlesniais metais DMG Berlyno gamykla taip pat gamino elektra varomas gaisro gesinimo transporto priemones, elektrinius sunkvežimius ir troleibusus [8,9].

1970 – 1990 m. – eksperimentinių transporto priemonių era.

Nuo trečiojo dešimtmečio vidurio iki šeštojo dešimtmečio troleibusuose vėl atsirado elektrinės pavaros. Orientacinė transporto priemonė buvo 1969 m. hibridinis autobusas „OE 302“. Vėlesniais metais ir dešimtmečiais miesto autobusuose radosi platus įvairių hibridinių pavarų asortimentas [7,9].



**2 pav.** Mercedes-Benz „OE 302“ bandomasis autobusas [9]

„OE 302“ autobusas buvo varomas elektros energija, kuri buvo išgaunama iš akumuliatorių baterijų – jas įkraudavo dyzelinis variklis. Šis autobusas laikomas nauja hibridinių pavarų vystymo pradžia.

Pradedant 1972m., ketvirtį amžiaus „Mercedes-Benz“ mažais kiekiais gamino mikroautobusus su elektra varomaisiais akumulatoriais kaip prototipines eksperimentines transporto priemones. Dešimtajame dešimtmetyje „Mercedes-Benz“ sukūrė sunkvežimių „1117“ ir „1517“ prototipus, taip pat „Vario 814 D“ didelį mikroautobusą su hibridine pvara. Dėlper didelių apribojimų, susijusių su svoriu, asortimentu ir kaina, proveržis nebuvo pasiektas [8].

Po tūkstantmečio pabaigos patobulintos akumuliatorių technologijos ir elektroniniai valdikliai suteikė naujų galimybių plėtoti elektra varomas komercines transporto priemones. Pavyzdžiui, miesto autobusai su hibridinėmis pavaromis iš Šiaurės Amerikos, Europos ir Azijos, taip pat serijinis „Vito E-Cell“ akumuliatorinis elektrinis mikroautobusas.

Per pastaruosius dešimt metų buvo vystoma ir hibridinių pavarų sunkvežimių serijinė gamyba trijų žemynų. Tai apima „Freightliner“ pritaikytą važiuoklę ir „Freightliner M2“, „Axor“ ir „Econic Hybrid“ prototipus, iš serijos gaminamą „Atego Hybrid“ ir, svarbiausia, sėkmingą „Fuso Canter Eco Hybrid“ [8,9].

2016 m. : elektrinė pavara ties proveržio riba

Transporto priemonės su kuro elemento pavara taip pat turi būti klasifikuojamos kaip elektrinės transporto priemonės. Kuro elementas generuoja elektrinę borto energiją iš vandenilio. Tai yra vystymosi sritis, kuriai „Mercedes-Benz“ davė pagrindinį impulsą. Pavyzdžiui, 1997 m. su „NeBus“ nedidelio masto „Citaro F-Cell“ ir „Citaro E-Cell Hybrid“ buvo pradėta naujos kartos serijinė gamyba. 2018 m. buvo pradėtas gaminti akumuliatorinis elektrinis „Citaro E-Cell“ ir „Citaro Compact Hybrid“. Visi dabar eksploatuojami elektriniai lengvieji sunkvežimiai turi „Fuso Canter E-Cell“ [7,10].



3 pav. Mercedes-Benz „NeBus“ [10]

„Mercedes-Benz Urban eTruck“ sunkiasvorių komercinių transporto priemonių elektrinė pavara pradėjo naują etapą. Praėjus 120 metų po to, kai sunkvežimį išrado Gottliebas Daimleris, pradėtos keisti sunkvežimių analoginės kortelės į skaitmenines, leidžiančios važiuoti trumpus atstumus [7,10].

## 1.2. Kelių sunkiojo transporto plėtra taikant atsinaujinančius išteklius

Sunkvežimiai, autobusai ir tarp miestiniai autobusai išmeta maždaug ketvirtadalį ES transporto išmetamo CO<sub>2</sub> kiekio ir sudaro maždaug 6 % visų ES išmetamų teršalų. Nepaisant kai kurių degalų vartojimo efektyvumo pagerėjimo pastaraisiais metais, šios emisijos vis dar didėja, daugiausia dėl augančių krovinių srauto keliuose. Pirmieji ES mastu sunkiųjų transporto priemonių išmetamo CO<sub>2</sub> kiekio standartai patvirtinti 2019 m. nustato tikslus sumažinti vidutinį naujų sunkvežimių išmetamų teršalų kiekį nuo 2025 iki 2030 m. Reglamentas (ES) 2019/1242, nustatantis sunkiųjų transporto

priemonių išmetamo CO<sub>2</sub> kiekį, įsigaliojo 2019 m. rugpjūčio 14 d. Į reglamentą taip pat įtrauktas mechanizmas, skatinantis nulinės ir mažai teršalų išmetančios transporto priemonės įsisavinimą technologiškai neutraliu būdu [11].

Sunkiasvorių transporto priemonių rinkoje klientai reikalauja mažesnių degalų sąnaudų, nes tai yra vienas iš pagrindinių transporto priemonės nuosavybės išlaidų veiksnių. Be to, kad Europos Komisija nustatė ribas, susijusias su sunkiųjų transporto priemonių išmetamu CO<sub>2</sub> kiekiu 2025-2030 m., didėjant oro taršai ir kylant reikalavimams dėl oro užterštumo, didžiosios korporacijos pradėjo vystyti elektrines ir hibridines sunkiojo transporto priemones, varomas atsinaujinančiais ištekliais. Šias transporto priemones modifikuojant ir pritaikant inovatyvius sprendimus, buvo sukurti elektriniai bei hibridiniai vilkikai-sunkvežimiai, pagal klientų poreikius ir mieste, ir užmiestyje. Šiuos vilkikus siūlo konkuruojančios kompanijos: „DAF“, „VOLVO“, „RENAULT“, „MAN“, „MERCEDES-BENZ“ („Daimler“ kompanijos) ir kitos [7,11].

Toliau apžvelgiamas kelių gamintojų išleistas sunkusis transportas pritaikytas kelių eismui.

### 1.2.1. „DAF“ kompanijos elektrinis transportas

Olandijos sunkvežimių gamintojas „DAF“ demonstruoja sunkvežimius „LF Electric“, „CF Electric“ ir „CF Hybrid“. Tai – profesionalams skirtų gaminių asortimentas, pasižymintis kokybe, mažomis eksploataavimo išlaidomis ir geromis automobilio eksploatacinėmis savybėmis. „DAF LF“ serija skirta paskirstomajam krovinį transportui, o universalus „CF“ – įvairioms reikmėms. „DAF XF“ automobilis skirtas sunkiems svoriams ir tolimiems krovinį pervežimams [12].



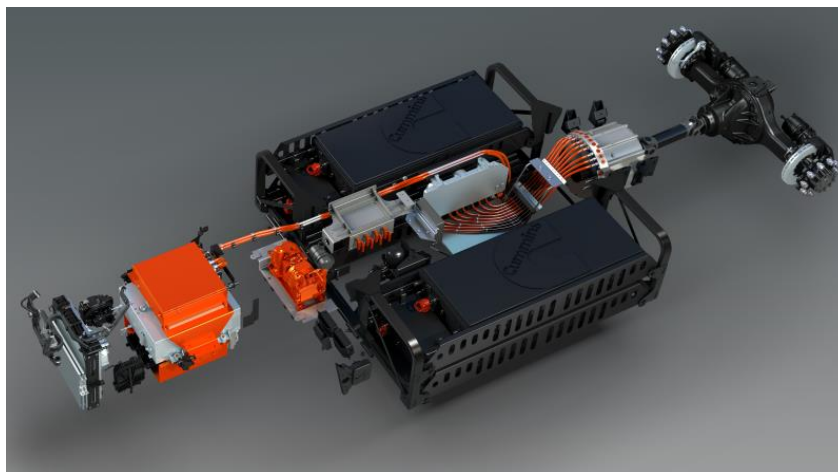
4 pav. „DAF LF“ elektrinis vilkikas [13]

„DAF LF“ Elektrinis vilkikas

„LF Electric“ ir „CF Electric“ yra skirti vidutinės ir sunkios apkrovos miestams; „CF Hybrid“ tikslas yra įsitvirtinti tarp vidutinės klasės automobilių, kurie neteršia miesto ir pasižymi geriausiais bendru efektyvumu [14].



„LF Electric“ el. variklis suteikia 250 kW galios (maksimali iki 370 kW) ir 1200 Nm (maksimaliai 3700 Nm) sukimo momentą. Maitinimas gaunamas iš ličio akumuliatorių bloko, kurio bendras energijos kiekis yra 282 kWh (efektyvūs 254 kWh). Tai suteikia „LF Electric“ ne mažesnę kaip 280 km itin tylų ir „be išmetamųjų teršalų“ veikimą – tai daugiau nei pakankamai paskirstymams mieste ir kitiems transporto operatorių poreikiams. Kadangi akumulatorius yra modulinis, jo talpa gali būti padidinta iki klientų pageidaujamo diapazono [12].



**5 pav.** „LF“ jėgos pavara [15]

Kaip galima pastebėti penktame paveiksle, akumuliatorių baterijos gali būti modulinės ir sumontuojamos papildomai, atitinkamose vietose.



**6 pav.** „DAF LF“ jėgos pavaros bendras vaizdas vilkike [16]

„DAF CF“ elektrinis inovacijų sunkvežimis. „DAF CF Electric“ yra netaršus sprendimas paskirstymui mieste, reikalaujantis didesnės apkrovos ir apimties. Pavyzdžiui, standartinės yra vienos ar dviejų ašių puspriekabės tinkamos krovinių pristatymui į prekybos centrus [12].

„CF Electric“ yra 4x2 vilkikas, skirtas naudoti iki 37 tonų „Gross Combination Weight“ (iš anglų kalbos – bendrasis kombinuotasis svoris) „GCW“. Sunkvežimiui naudojama pažangioji „VDL“ „E-Power“ technologija, norint visiškai valdyti elektrą. Pažangios jėgos pavaros centras yra 210 kW / 286 AG (maksimaliai iki 240 kW / 326 AG) elektrinis variklis, kuris energiją gauna iš 170 kWh ličio jonų akumuliatorių baterijų [12].



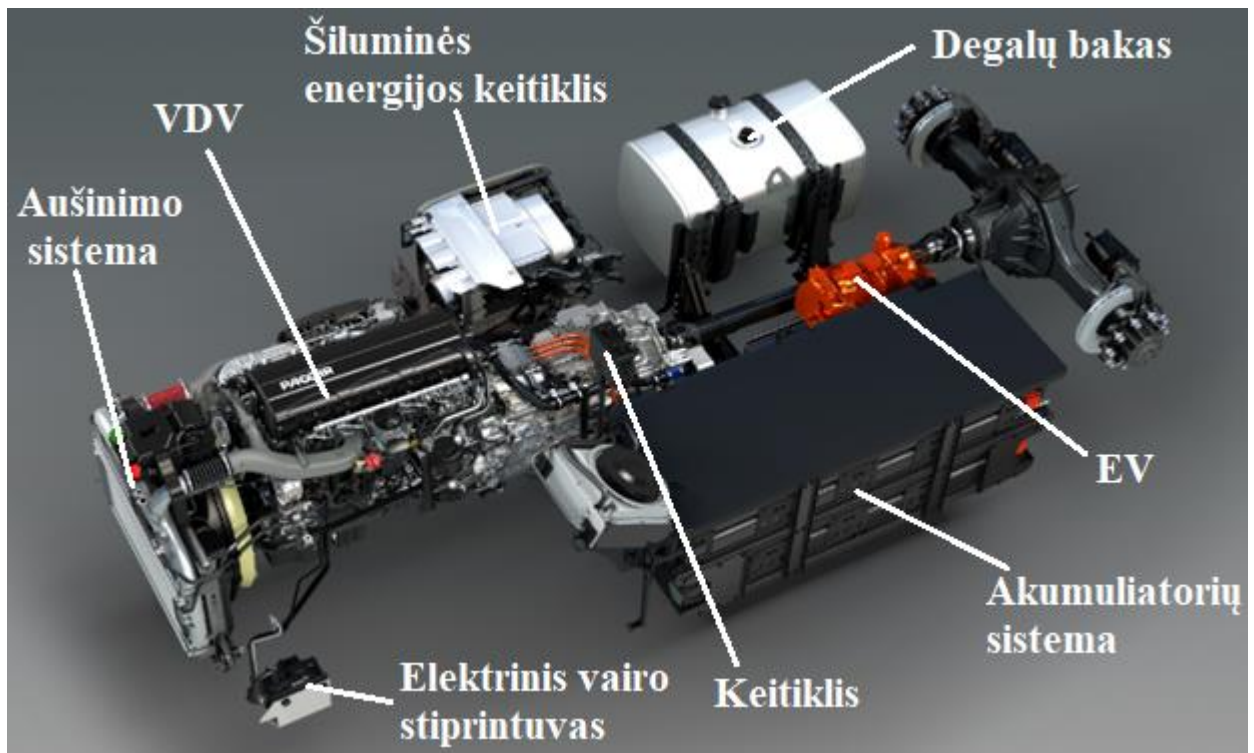
7 pav. „DAF CF“ elektrinis vilkikas [17]

„DAF CF vilkikas“.

„CF Electric“ vilkikas yra skirtas maždaug 100 kilometrų nuotolio krovinių paskirstymui, kuris tinkamas didelėms miesto dalims aptarnauti. Greitasis akumuliatoriaus įkrovimas trunka 30 minučių, o pilnas – vos 1,5 valandos. Krovinio pakrovimo ir iškrovimo laikas gali būti naudojamas akumuliatoriaus krovimui [12].

„DAF CF“ hibridinis inovacijų sunkvežimis. „DAF CF Hybrid“ buvo sukurtas važiuoti elektra be išmetamųjų teršalų miestuose, o naujausios, ypač švaraus dyzelino technologijos dėka siūlomas daug ilgesnis atstumas, skirtas eksploatuoti ne tik mieste [14].

„DAF CF Hybrid“ turi labai efektyvų 10,8 litro „PACCAR MX-11“ variklį (330 kW / 450 AG) bei ZF elektrinį variklį (75 kW / 100 AG, maksimali galia iki 130 kW / 175 AG) kartu su tam skirta „ZF TraXon“ hibridinių transmisijų pavarų dėžė [12].



8 pav. „DAF CF“ hibridinė pavara [18]

Elektrinis variklis maitinamas iš 85 kWh akumuliatorių baterijos, kuri, atsižvelgiant į bendrą automobilio svorį, leidžia elektriškai įveikti nuo 30 iki 50 kilometrų atstumą. Akumuliatorius gali įkrauti dyzelinis variklis, eksploatuojant vilkiką arba naudojant nuolatinės srovės įkroviklį įkrovimo vietoje. Transporto priemonė suprojektuota taip, kad būtų galima greitai įkrauti – visiškam įkrovimui reikia 30 minučių, o iki 80 % įkrovimo lygio – tik 20 minučių [12].

Už miesto ribų „CF Hybrid“ yra švarus ir efektyvus „PACCAR MX-11“ dyzelinis variklis, kurio hibridinė technologija suteikia papildomą energijos taupymą dėl sumanaus energijos valdymo. Regeneracinė energija sukaupiama stabdant ir naudojama greitėjant. Akumuliatorių baterijų energiją elektros variklis gali naudoti dirbdamas kartu su dyzeliniu varikliu, kad dar labiau sumažėtų degalų sąnaudos [19].

Hibridinės sistemos akumuliatorius maitina elektrinę transmisiją, elektrinį oro kompresorių, taip pat pasirenkamąjį išmanųjį „E-PTO“. „E-PTO“ gali būti naudojamas šaldymo įrenginiams valdyti puspriekabėse, kontroliuoti temperatūrą, taip pat mažinant triukšmo lygį miestuose numatant veikimo laikus [19].

„DAF XF vilkikas“

„DAF XF“ – didžiųjų krovinių vilkikas, skirtas transportuoti krovinius dideliais atstumais. Vilkikas sukurtas taip, kad dirbtų kuo ekonomiškiau režimu, pritaikius atitinkamus agregatus. Išgaunamas didesnis sukimo momentas esant mažesniems apsisukimams kartu su optimizuotomis transmisijomis, naujomis didelio efektyvumo galinėmis ašimis, patobulintomis elektronikos charakteristikomis ir aerodinaminiais patobulinimais padidina degalų efektyvumą iki 7% tolimų kelionių metu [20].



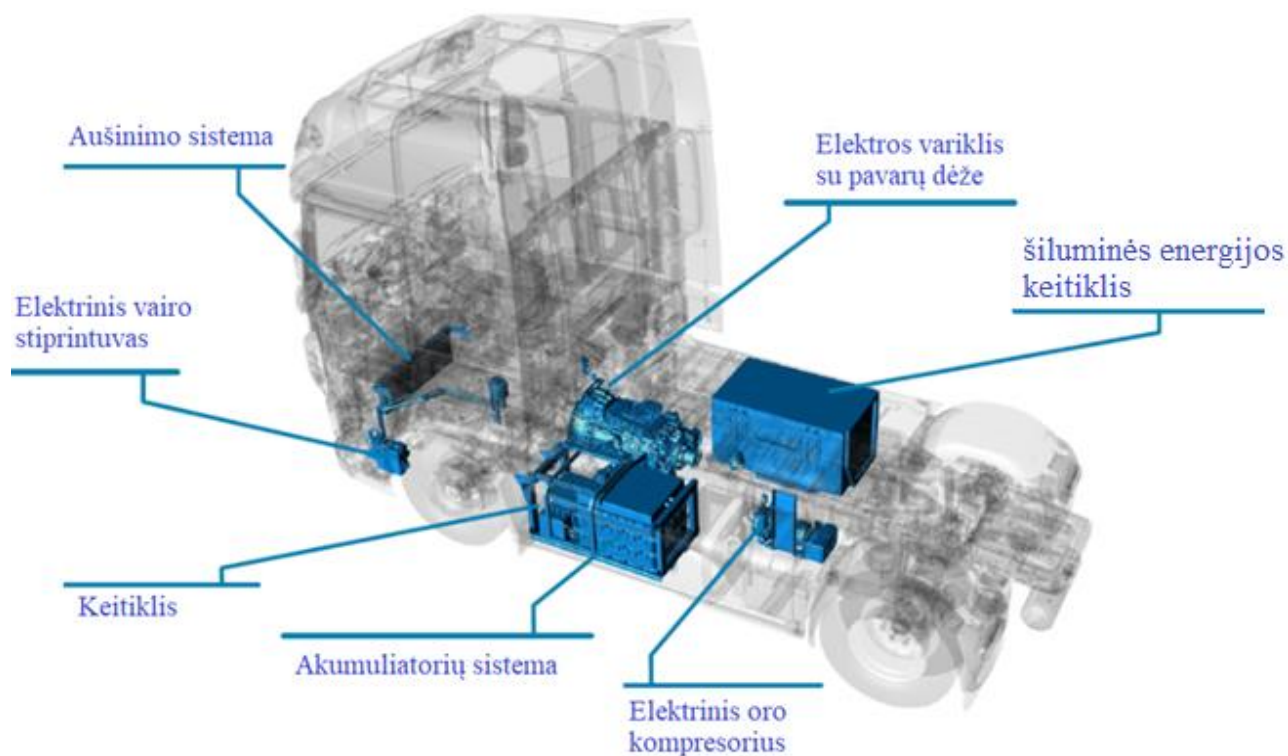
**9 pav.** „DAF XF“ vilkikas [20]

„DAF XF“ gali būti varomas įvairių sukimo momentų, priklausomai nuo variklio tipo ir „PACCAR MX-11“ bei „MX-13“ varikliais, kurie gali išvystyti 390 kW / 530 AG galią. Daugybė naujovių sukuria dar didesnę sukimo momentą esant žemesniems apsisukimams, kad būtų užtikrintas didžiausias degalų efektyvumas. Dabar transporto priemonės gali važiuoti tik 1 000 aps./min., todėl aukščiausios klasės prabangių automobilių keliamas triukšmas yra menkas. Dėl puikios važiavimo galimybės pasiekiamas papildomas sukimo momentas aukščiausioje pavaroje. Naujasis MX variklio stabdis užtikrina aukščiausios klasės stabdymo jėgą esant mažesniems apsisukimams [19].

Norint padidinti degalų ekonomiją, sumažinti išmetamų teršalų kiekį ir sumažinti eksploatacinių išlaidas, „DAF XF“ siūlo išplėstą ekologinio režimo variantų rinkinį. Ekologinio efektyvumo režimas užtikrina optimalią pusiausvyrą tarp didelių atstumų ir geriausio degalų naudojimo efektyvumo. Kai degalų efektyvumas yra didžiausias, geriausias pasirinkimas yra ekologinio kuro režimas, pavyzdžiui, pavarų perjungimas esant mažesniems apsisukimams [19].

„DAF XF“ yra su naujausios kartos „TraXon“ automatinėmis pavarų dėžėmis (12 ir 16 pavarų). Mažesni trinties nuostoliai, dar greitesnis greitėjimas ir ilgesnis laisvo riedėjimo naudojimas lemia mažiausias degalų sąnaudas, vairuotojo patogumui - tylus ir sklandus variklio darbas bei tikslus sankabos įjungimas. Automatizuota „TraXon“ transmisija taip pat leidžia sumažinti pavaras, kuriomis įgyvendinamos greitesnės pavaros linijos [21].

Aukšto efektyvumo galinė ašis su mažos trinties ratų guoliais. Be to, greitesnių santykių diapazonas, pradedant nuo 2.05, leidžia pasiekti mažesnę variklio sūkių skaičių, kad būtų užtikrintas didžiausias degalų efektyvumas. Tai padeda sumažinti trinties nuostolius, sukurti diferencialinių pavarų rinkinius ir galinėje ašyje [19].



**10 pav.** „DAF XF“ vilkiko pavaros elementai [22]

„DAF XF“ vilkikas turi lygiagrečią hibridinę pavarą. Varomoji energija optimizuojama naudojant hibridinius transmisijos komponentus, šiluminę energiją panaudojant ir paverčiant elektra, elektrifikuotus pagalbinus įrenginius ir optimizuotą energijos kompiuterį.

Akumuliatorių sistema susideda iš kelių modulių ir gali būti lengvai praplėsta. Rinkinį sudaro 28 Ah talpos LiPF6 baterijų elementai. Akumuliatorių baterija gali tiekti 16 kWh energiją, kai vardinis įtampos lygis yra 300 V (įtampos diapozonas tarp 250 ir 350 V). Akumuliatorius gali tiekti energiją elektriniams komponentams tik tuo atveju, jei jie yra akumuliatoriaus įtampos diapazone. Kai buvo suprojektuota ir integruota aukštos įtampos sistema, įtampos lygiai iš dalies buvo už šio diapazono ribų. Taigi akumuliatorių paketas buvo sureguliuotas taip, kad visi komponentai galėtų veikti šiame įtampos diapazone [23].

Elektros variklis sukurtas, kad atitiktų bendruosius tikslus, naudojant standartizuotus lengvųjų automobilių pramonės komponentus. Elektrinis variklis, kurio maksimali galia siekia 100 kW, didžiausias sukimo momentas yra 250 Nm, su integruota redukcijos pavarą, gali užtikrinti didžiausią sukimo momentą esant 750 Nm. El. variklis yra pakankamai stiprus, kad būtų galima visiškai vairuoti sunkiasvorį sunkvežimį be vidaus degimo variklio. Kadangi el. variklis buvo sukurtas lengviesiems automobiliams, inverterio maksimalios išėjimo srovės yra per mažos, kad sunkiasvorė transporto priemonė galėtų pajudėti iš vietos, o tam reikia vidaus degimo variklio. Naudojant keliais, transporto priemonė gali sustabdyti vidaus degimo variklį ir visiškai važiuoti naudojant tik EV ir taip sutaupant papildomų degalų [23].

Be to, esant didelei sunkiųjų sunkvežimių masei reikia, kad jiems yra galimybė elektros variklio pagalba regeneruoti didelį kiekį kinetinės energijos, leidžiant TP greičiui kisti gana siauru intervalu. Transporto priemonės kinetinė energija gali būti naudojama kaip efektyvi energijos kaupimo priemonė. Siūloma didinti greitį važiuojant nuokalnėse, kad regeneruoti didesnę dalį stabdymo

energijos į akumuliatorių baterijas ir mažinti TP dėvejimąsi bei nuostolius baterijoje ir elektros variklyje [23].

Z. Zhang, J. Chen ir B. Wu atliktais simuliaciniais tyrimais nustatė, jog naudojant hibridinę transporto priemonę galima susigrąžinti iki 42,7 % stabdymo energijos, o stabdant įprasta TP, išsekvojama ne tik 41,6 % galimos traukos energijos, tačiau ir smarkiai dėvisi stabdžių elementai [24].

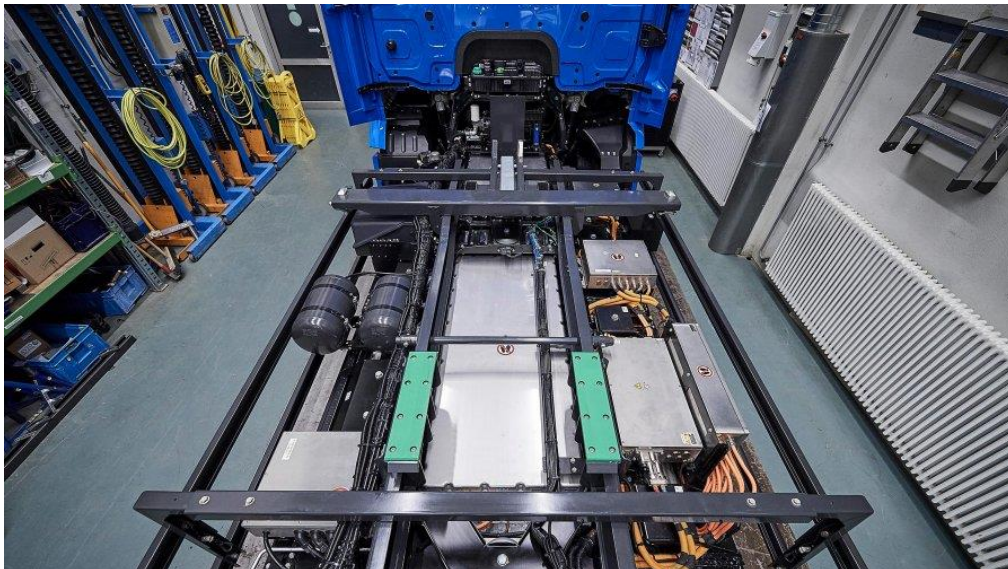
Šiluminės energijos regeneravimo sistema paverčia transporto priemonės išmetimo sistemos šilumą į elektros energiją taip dar padidindama efektyvumą. Sistema remiasi Renkeno ciklu ir naudoja garintuvą skysčiui kaitinti su transporto priemonės išmetamųjų dujų šiluma. Tada pašildytas skystis tiekiamas į plėstuvo bloką, kur generatorius šiluminę energiją paverčia kintamąja elektros energija. Inverteris paverčia kintamą srovę į nuolatinę, po ši kaupiama akumuliatorių sistemoje. Tada energija gali būti naudojama maitinant EV arba oro kompresorių [23].

### 1.2.2. „Mercedes-Benz“ kompanijos elektrinis transportas



11 pav. „Mercedes-Benz EActros“ vilkikas [25]

„EActros“ kurtas remiantis „Mercedes-Benz Actros“ rėmu. Tačiau transporto priemonės architektūra buvo suprojektuota atsižvelgiant į elektrinę pavarų sistemą, todėl ją sudaro daug transporto priemonės būdingų komponentų. Kadangi rėmas panašus į „Actros“ rėmą, tai „EActros“ komponuotę galima daug kur pritaikyti ant porėmio sumontuojant reikalingus agregatus ir ši montuojant ant rėmo. Tai praplečia galimybes ir padaro „EActros“ rėmą universalų. [26]



**12 pav.** Pavaros sistema su dviem elektros varikliais [27]

Du elektriniai varikliai šalia galinės ašies ratų stebulių užtikrina pavaros efektyvumą, kiekvienas iš jų veikia 126 kW galia ir maksimaliu 485 Nm sukimu. Reduktoriai padidina visus elektros variklio išvystomą sukimo momentus iki 11 kNm kiekvienam ratui. Taigi varančioji galia yra lygi įprastiniam sunkvežimiui. Ličio jonų akumuliatoriai, kurių galia yra 240 kWh, aprūpina „eActros“ reikiama energija [28].



**13 pav.** „EActros“ akumuliatorių baterijos [27]

Iš viso baterijos talpinamos vienuolikoje pakuočių: trys iš jų yra rėmo srityje, kitos aštuonios yra apačioje. Saugumo sumetimais akumuliatorių blokai yra apsaugoti plieniniais korpusais. Susidūrimo atveju tvirtinimo elementai pasiduoda ir deformuojasi, todėl nukreipia energiją už akumuliatorių jų nepažeisdami. Aukštos įtampos akumuliatoriai tiekia energiją ne tik pavaros sistemai, bet ir visai transporto priemonei. Pagalbiniai komponentai, tokie kaip stabdžių sistemos oro kompresorius, vairo stiprintuvo siurblys, kabinos oro kondicionavimo sistemos kompresorius ir, kai reikiama, šaldytuvas taip pat yra maitinami elektra [27].

Išsikrovusias baterijas galima visiškai įkrauti per tris – vienuolika valandų, darant prielaidą, kad realus įkrovimo pajėgumas nuo 20 iki 80 kW iš mobiliojo įkrovimo įrenginio esančio automobilių parko depe. Įkrovimui paprastai yra naudojama kombinuota krovimo sistema „Combined charging system“ CCS. Tinklas, sudarytas iš dviejų įprastų 12 voltų akumuliatorių, įkraunamas iš aukštos įtampos akumuliatorių per nuolatinės srovės keitiklį. Tai užtikrina, kad visos susijusios transporto priemonės funkcijos, tokios kaip žibintai, indikatoriai, stabdžiai, pneumatinės pakabos sistemos, kabinos sistemos, ir toliau veiktų, jei sugenda aukštos įtampos tinklas arba jis būtų išjungtas. Aukštosios įtampos tinklą galima įjungti tik tada, kai yra įkrautos abi baterijos [28].

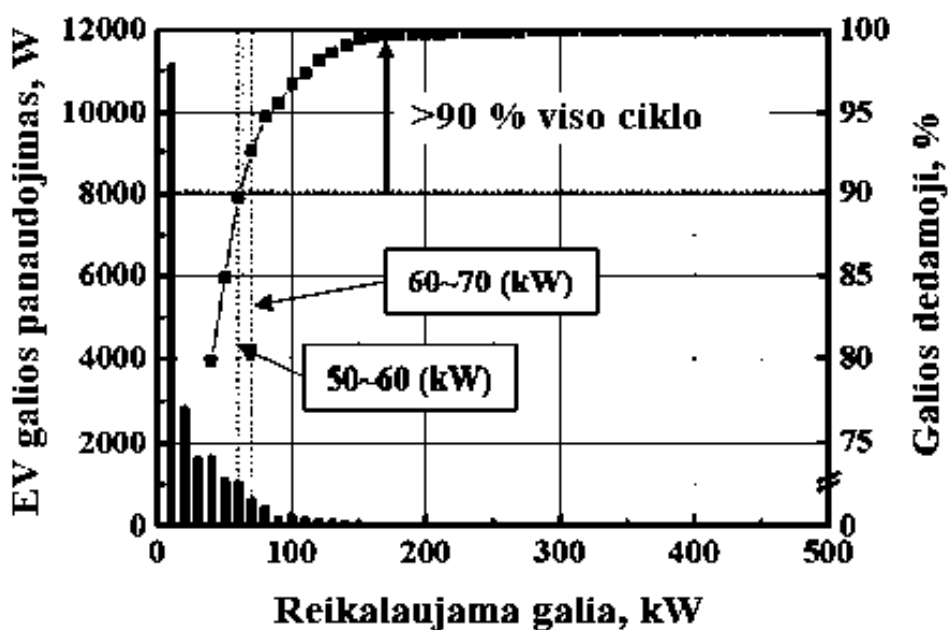
### 1.2.3. Hibridinio sunkiojo transporto efektyvumas

Elektrinio transporto valdymo technologijų srityje pastebima, kad Kinija yra dominuojanti šalis šių technologijų patentavimo veiklos srityje. Šioje technologinėje erdvėje matoma, kad mokslo leidiniuose labiau dominuoja Europos erdvė [29].

Visgi, kaip bežvelgiama, sunkiojo transporto energijos suvartojimas, iškastinio kuro sunaudojimas bei aplinkos tarša aktuali visame pasaulyje. Įvairius mokslinius tyrimus atlieka mokslininkai iš skirtingų šalių. Toliau apžveliami atlikti moksliniai tyrimai.

P. Benoliel, D. Kim, T. H. Lee, J. W. Park ir J. Hong, darbe pateikia hibridinės jėgos pavaros konstrukciją, skirta sunkiosioms daugiavfunkcinėms transporto priemonėms, atsižvelgiant į vairavimo sąlygas. Hibridizacijos tikslui buvo pritaikyta įprasta dyzelinu varoma transporto priemonė, o kaip tinkama hibridizacijos topologija buvo pasiūlyta hibridinė sistema su ratų varikliais [30].

Variklio generatoriui keliamus reikalavimus nulemia važiavimo ciklas. Variklis-generatorius suprojektuotas veikti kaip pagrindinis maitinimo šaltinis ir nustatyta, kad jo konstrukcijos specifikacija atitinka 90% važiavimo ciklo reikalavimų. Tai reiškia, kad variklis-generatorius gali apimti didžiąją dalį važiavimo ciklo [30].

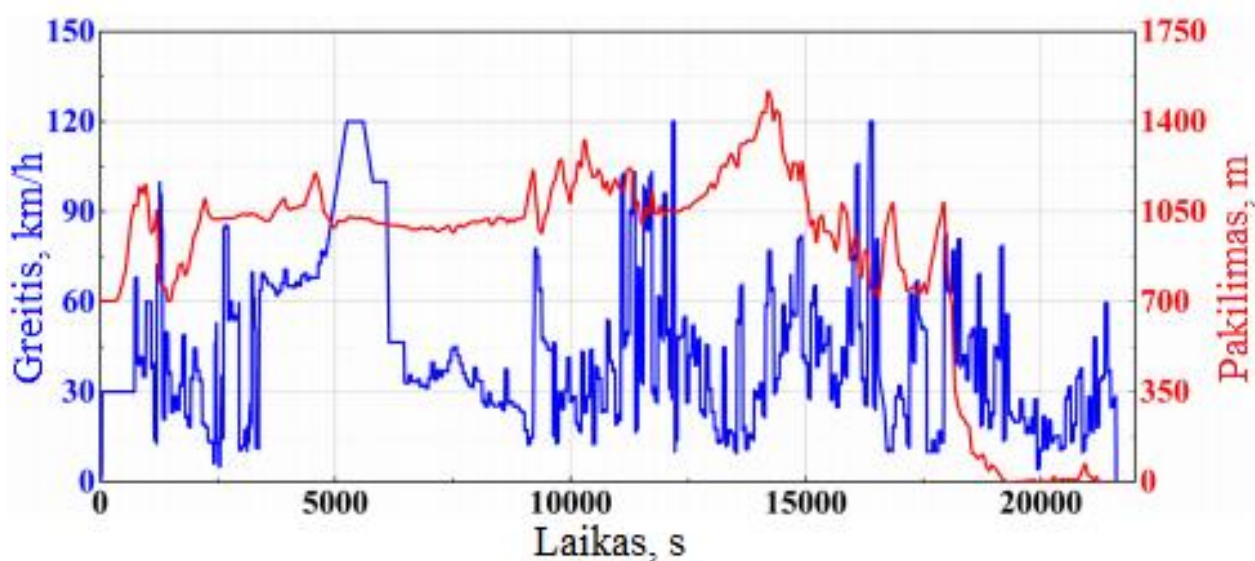


14 pav. EV galios pasiskirstymas hibridiniam transporte [30]



14 paveiksle parodytas reikalaujamos galios pasiskirstymas, o galios dedamoji rodo reikalaujamos akumuluojamos galios procentinę dalį. Remiantis šiuo paveikslu buvo nustatyta, kad didžiausia variklio-generatoriaus išėjimo galia turėtų būti nuo 60 kW iki 70 kW, todėl buvo suprojektuotas 65 kW. Kaip variklis, variklis-generatorius skirtas tik elektros generatoriui (o ne tiesiogiai varyti transporto priemonę) – nėra jokios priežasties varikliui turėti didelį sukimo momentą. Benzininis variklis labiausiai tinka šiam važiavimui, nes jis veikia gana aukštais apsisukimais ir mažo sukimo momento sąlygomis esant mažam svoriui, lyginant su dyzeliniu varikliu. Be to, elektros generatoriaus svoris yra proporcingas vardiniam išėjimo sukimo momentui. Dėl šios priežasties benzininių variklių pasirinkimas yra naudingesnis mažinant svorį [30].

Skaičiavimai atliekami remiantis UDDS (Urban Dynamometer Drivig Schedule) važiavimo ciklu.



15 pav. UDDS važiavimo ciklas [30]

Apskaičiuojant važiavimo ciklus, transporto priemonė vidutiniškai 53 % viršijo įprastos transporto priemonės degalų ekonomiją, o važiavimo ciklas pagerėjo iki 108 %. Šie skaičiai rodo, kad hibridinis transportas gali suteikti daug naudos nei tik dėl išmetamų teršalų bei efektyvumo, bet ir dėl didesnių atstumų ir triukšmo [30].

Zhiming Gao, Zhenhong Lin ir Oscar Franzese darbe vertino akumuliatorinių elektrinių transporto priemonių ir hibridinių elektrinių transporto priemonių pritaikymą 7 klasės vietiniams pristatymo sunkvežimiams ir 8 klasės tolimiesiems pristatymams skirtus hibridinius sunkvežimius su įprasto sunkiojo transporto vairavimo duomenis. Siekiant įvertinti sunkvežimių energijos suvartojimą ir eksploatacines savybes, sukurtas modeliavimas, pagrįstas transporto priemonės traukos energijos metodika ir komponentų efektyvumu, siekiant įvertinti komponentų ir sistemos veikimą. Atliekant šią analizę, buvo tiriami įvairūs akumuliatorių dydžiai kartu su skirtingomis el. sunkvežimių įkrovimo galiomis vietiniam pristatymui. Rezultatai rodo, kad „E-Truck“ programos ne tik sumažina energijos suvartojimą, bet ir leidžia žymiai sutaupyti energijos sąnaudų [31].

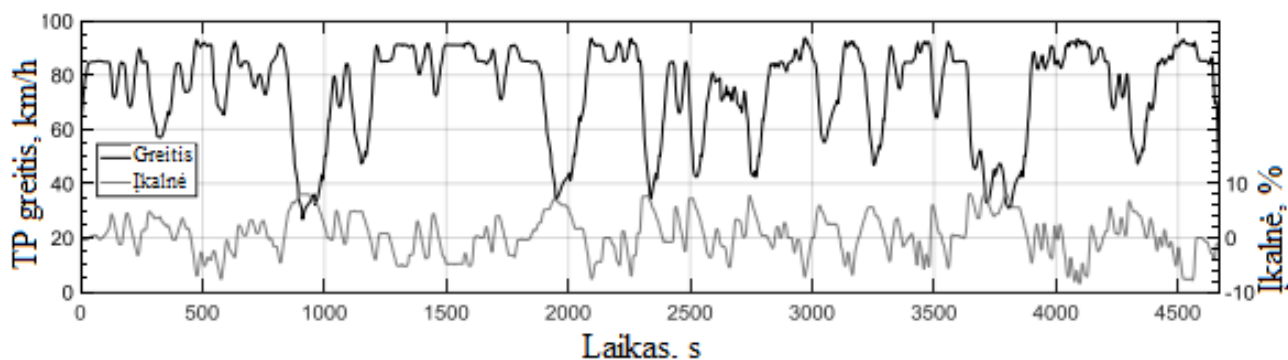
Skaičiavimus atliko naudodami realius surinktus duomenis iš krovinių vežimo paskirstant mieste ir užmiestyje. Taip buvo sukurtas skaičiavimo modelis [31].

Zhiming Gao, Zhenhong Lin ir Oscar Franzese kompiuterinėje simuliacijoje nustatytė, kad mieste numatomos sunkiojo transporto akumuliatoriaus energijos sąnaudos yra 1,89 kWh/mylia (3,02

kWh/km (tai yra mažiau 2,02 kWh/mylia (3,23 kWh/km) už įprastą sunkvežimį) varomo variklio mechanine energija, kuris sunaudoja 5,24 kWh/mylia (8,38 kWh/km) įprastos sunkvežimio degalų energijos. Akivaizdu, kad pristatoma sunkvežimių elektrifikacija pagerina sunkvežimių energijos taupymą. Ši energijos taupymą daugiausia lemia elektrinių transporto priemonių stabdžių energijos regeneracija. Modeliuojamame elektriniame sunkvežimyje atgauta stabdymo energija yra beveik 0,28 kWh/mylia (0,45 kWh/km), o tai yra apie 15% sunaudotos energijos myliai/kilometrui [31,32].

Zhiming Gao, Zhenhong Lin ir Oscar Franzese atlikdami tyrimą užmiesčio važiavimo režimais nustatė, kad pilnai elektrifikuoti vilkikai suvartota akumulatoriaus baterijos ir variklio mechaninė energija yra 3,0 kWh/mi (4,8 kWh/km), lyginant su 4,1 kWh/mi (6,56 kWh/km) variklio mechaninės energijos, sunaudotos hibridiniame sunkvežimyje. Jei atsižvelgiama į variklio degalų energiją, akumulatoriaus ir degalų energijos sąnaudos hibridiniame yra 4,3 kWh/mi (6,88 kWh/km), lyginti su 11,1 kWh/mi (17,76 kWh/km) degalų energijos tradiciniame sunkvežimyje. Imituojama hibridinės transporto priemonės stabdymo energija yra beveik 0,57 kWh/mi, tai yra apie 19% visos variklio mechaninės ir akumulatoriaus elektros energijos. Tačiau skaičiavimai atliekami tik iki to laiko, kol akumuliatorių baterijos išsikrauna, tai yra iki 50 mylių ir nevertinama, kokios šios sąnaudos bus, jei važiuos didesnę atstumą [31,32].

Vokietijos mokslininkai: M. Rupp, S Schulze ir I. Kuperjans, 2018 metais išleistame moksliniame straipsnyje: „Comparative Life Cycle Analysis of Conventional and Hybrid Heavy-Duty Trucks“ (iš anglų kalbos – įprastų ir hibridinių sunkiųjų sunkvežimių/vilkikų lyginamoji važiavimo ciklo analizė), lygino hibridinių ir įprastų sunkiųjų TP išmetamąsias emisijas pagal realų važiavimo ciklą. Pagal važiavimo duomenis sudarytas atitinkamas kalvotas greitkelio važiavimo ciklas su daug greitėjimo ir lėtėjimo ruožų. Atliekant išmetamųjų teršalų skaičiavimus atsižvelgiama, jog transporto priemonės eksploatavimo laikotarpis – 8 metai ir 1.040.000 km [33].



**16 pav.** Važiavimo ciklas pagal eksperimentinius duomenis [33]

Priešingai nei standartizuoti važiavimo ciklai, kaip sunkiųjų dyzelinių sunkvežimių, sudarytas važiavimo ciklas apima ir kelio įkalnę bei nuokalnę. Ypač svarbu hibridiniam transportui, nes akumuliatorių baterijas galima įkrauti tik stabdant ar riedant nuokalnėmis, jei nėra galimybės šių pakrauti krovimo stotelėje [33].

Skaičiavimai atliekami tiek su įpastais vilkikais, tiek su hibridiniais, kai pakrauti su krovniais. TP su krovniais bendros masės sudaro 40 tonų [33].

Lyginamieji ciklų skaičiavimų rezultatai rodo, kad hibridiniai „sunkvežimiai“ turi reikšmingą indėlį mažinant energijos ir CO<sub>2</sub> emisijas. Hibridinių TP degalų sąnaudos 47,2 l/100km, yra 6,2% mažesnės

už sunkiojo automobilio su VDV, kurios sudaro 50,3 l/100km. Hibridinis vilkikas gali sutaupyti apie 4,34 g CO<sub>2</sub> vienai krovinio tonai, lyginant su vidaus degimo variklį naudojančia transporto priemone, per visą vilkiko naudojimo laikotarpį. Hibridinių pavaros komponentų poveikis aplinkai yra labai mažas, kai 0,07 CO<sub>2</sub> g/tkm, lyginant su naudojimo ciklu, kai bendrai sunaudojama 4,41 CO<sub>2</sub> g/tkm per visą eksploatacavimo laikotarpį [33].

Švedijos mokslininkai L. Johannesson, N. Murgovski, E. Jonasson, J. Hellgren ir B. Egardt atliko tyrimą, tolimųjų reisų, sunkiųjų transporto priemonių, energijos valdymo su įprastais ir hibridiniais vilkikais, kurių bendra masė su krovinium, 40 tonų [34].

Tyrimo metu remtasi kelio ruožu tarp Frankfurto ir Koblenzo miestų (Vokietija). Pagal šį ruožą sudarytas simuliacinis kelio modelis, kurio atstumas 3 km, o aukščių skirtumas, skirtingose atkarpose, svyruojantis iki 25 m [34].

Mokslininkai lygindami įprastą ir hibridinį vilkiką, nustatė, kad tolimuosiuose reisuose, naudojant hibridines pavaras, dėl VDV išsijungimo ir įsijungimo degalų sąnaudos padidėja iki 0,5 %, tačiau dėl stabymo metu sukauptos regeneruotos kinetinės energijos, simuliacinio važiavimo metu, bendrai galima sutaupyti iki 5 % degalų sąnaudų [34].

### **1.3. Transporto jėgos agregatai**

Kaip jau žinoma, visose transporto priemonėse yra jėgos agregatai. Šiomis dienomis senos kartos „tradicinėse“ transporto priemonėse visiems gerai žinoma, kad naudojama VDV su atitinkamomis perdavomis. Dažniausiai naudojamos perdavos yra laipsninės pavarų dėžės su reduktoriais, kad būtų išgautas didesnis sukimo momentas pradžioje ir didesni apsisukimai, keičiant pavaras ties išėjimu (perdavimu į ratus). Perdavos optimizuoja variklio darbą, variklis gali dirbti siauriam darbo režimo diapozone, taip optimizuojant degalų sąnaudas bei išgaunant didesnius sukimo momentus bei greičius, esant tam pačiam darbo režimui.

#### **1.3.1. Hibridinių transporto priemonių jėgos agregatai**

Hibridinėse transporto priemonėse, be jau išvardintų, prie „senos kartos“ technikos įrenginių papildomai naudojami elektriniai traukos varikliai su priedais. Į šiuos priedus įeina akumuliatorių baterijos, tiekiančios energiją elektros varikliui ir inverteriai, nuolatinę akumuliatorių baterijų srovę konvertuojantys į kintamą bei įvairūs elektros valdikliai, kompiuteriai.

Elektriniai varikliai yra mechaniškai paprasti ir gali pasiekti 90 % energijos konvertavimo efektyvumą plačiu greičio ir galios diapazonu. Jie sukuria aukštą sukimo momentą, esant mažam greičiui, ir gali būti tiksliai kontroliuojami. Varikliai taip pat gali veikti generatoriaus režimu. Tai reiškia, kad jie gali mechaninę stabdžių absorbcijos energiją paversti elektros energija. Beveik visi vidaus degimo varikliai naudoja traukos variklį (-ius), kad atgautų prarastą energiją regeneracinio stabdymo metu, ir kinetinę (transporto priemonės priekinės traukos) energiją paverčia elektra, kad ją galėtų kaupti regeneracinio energijos kaupimo sistemoje, dažniausiu atveju, akumuliatorių baterijose. Regeneracinis stabdymas be akumuliatorių ir (arba) kondensatorių įkrovimo sumažina transporto priemonės stabdžių sistemos apkrovą. Ši dvipusė energijos lygtis yra ypač efektyvi miesto tranzitinėms transporto priemonėms su stotelėmis. Kintamosios srovės traukos varikliai gali būti valdomi tiksliai ir, skirtingai nei vidaus degimo varikliai, jie gali beveik iškart išgauti didelį sukimo momentą iš pradinių apsisukimų. Tai reiškia, kad jiems nereikia daugiapakopių pavarų [35].



**17 pav.** Vilkiko elektros variklis [36]

Ankstesnės kartos elektra varomi EV buvo naudojami serijiniai suvynioti nuolatinės srovės elektros varikliai, tačiau šiandien kintamosios srovės pavaros varikliai yra dažnesni. Serijiniu būdu suvyniota nuolatinė srovė sukuria didžiausią sukimo momentą esant didžiausiam greičiui, tačiau šiuolaikiniai sinchroniniai kintamosios srovės varikliai gali tai suderinti, tuo pačiu efektyviau atlikdami didesnę apsisukimų per minutę diapazoną. Be to, kintamosios srovės varikliai yra žymiai geresni nei nuolatinės srovės varikliai. Transporto priemonės elektrinio variklio galia įvertinta kilovatais (kW). 100 kW galios specifikacija atitinka 134 arklio galių. Pagrindinis kintamos srovės elektrinio variklio pranašumas, palyginti su vidinio degimo varikliais, yra galimybė pasiekti platų apsisukimų diapazoną sukant beveik maksimaliu sukimo momentu. Kaip ir atliekant bet kurį energijos konvertavimą, kai energija virsta mechanine energija variklyje, dalis energijos prarandama. Šis energijos nuostolis yra tik apie 10 % dabartiniame elektriniame variklyje, palyginti su daugiau nei 50 %, kurį praranda vidaus degimo varikliai. Reikėtų pažymėti, kad energijos nuostoliai yra šiek tiek didesni, kai traukos variklis turi varyti varomosios jėgos komponentus, tokius kaip pavarų dėžė ar transmisija [35].

Inverteriai – energijos keitliai. Inverteris keičia DC (nuolatinę srovę) į 3 fazių kintamąją, kurios reikia elektriniam traukos varikliui, naudojant komponentus, veikiančius kartu su transformatoriumi. Be nuolatinės srovės keitimo į kintamąją, keitiklio grandinės taip pat naudojamos kintamos srovės energijai keisti į nuolatinę srovę [35].



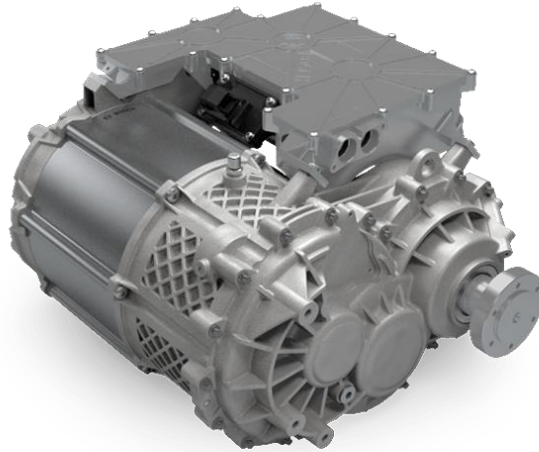
**18 pav.** Inverterio ir elektros variklio jungimas [37]

Inverterio veikimo principas – baterijos maitinamas nuolatinės srovės grandinėje, srovė teka tik viena kryptimi. Jei į grandinę reiktų įtraukti jungiklį, o srovė būtų greitai įjungtama ir išjungtama, rezultatas būtų – elektros impulsai. Tačiau jei grandinę būtų galima nustatyti taip, kad akumuliatoriaus srovės srautas grandinėje galėtų būti atvirkštinis, rezultatas būtų – kintama. Jei jungiklis galėtų tai padaryti 120 kartų per sekundę, kintamosios srovės dažnis būtų 60 Hz (ciklą per sekundę), tas pats, kaip buitinės elektros energijos atveju. Inverteryje perjungimo grandinė yra prijungta prie transformatoriaus. Transformatoriai naudojami dviem suvyniotomis ritėmis (pirminėmis ir antrinėmis ritėmis), kurių elektromagnetiniai laukai jungiasi, bet kurie neturi bendros grandinės. Senesniame mechaniniame keitiklyje elektrinis variklis buvo naudojamas grandinei automatiškai „perjungti“, apkeičiant įeinančią nuolatinę srovę pirmyn ir atgal pirminėje ritėje ir važiuojant atbuline eiga atvirkščiai [35].

### **1.3.2. Elektrinių transporto priemonių jėgos agregatai**

Pilnai elektrifikuotos transporto priemonės nuo hibridinių mažai kuo skiriasi. Pilnai elektriniame sunkiajame transpore nėra VDV – kadangi nėra VDV, tai nereikalingas ir degalų bakas. Šiuos komponentus galima pakeisti daugybe akumuliatorių baterijų, išdėstytų visoje transporto priemonės rėminėje konstrukcijoje ir taip šiek tiek kompensuoti pridedamą papildomą svorį. Taip pat reikalingi ir papildomi elementai, be kurių neapsieinama, kaip, pavyzdžiui, elektros variklis arba jėgainė valdyti transporto priemonės komponentams (vairo stiprintuvas, oro kondicionierius ir kiti prietaisai). Be abejo kaip ir „tradicinėse“ transporto priemonėse reikalinga ir aušinimo sistema.

Dažname lengvajame komerciniame transporte naudojama „EAXle“ jėgos pavara.



**19 pav.** „Eaxle“ pavara [38]

„EAxle“ konstrukcija yra kintanti: turint nuo 50 iki 300 kilovatų galios variklį, jį galima montuoti mažuose lengvuosiuose automobiliuose, visureigiuose ar net lengvosiose komercinėse transporto priemonėse. Aukšto efektyvumo laipsnį lemia nuolatinės pastangos optimizuoti elektros variklius ir galios elektroniką bei sumažinti sąsajas ir komponentus, tokius kaip aukštos įtampos laidai, jungtys ir aušinimo komponentai. Didelio efektyvumo dėka galima pasiekti didesnę galios diapazoną arba mažesnius akumuliatoriaus talpos reikalavimus [38].

„eAxle“ yra kompaktiškas, ekonomiškai patrauklus elektros pavaros sprendimas, skirtas elektriniams TP su akumuliatorių baterijomis ar hibridinėms pavaroms. Elektros variklis, galios elektronika ir transmisija yra sujungti į kompaktišką įrenginį, tiesiogiai varantį transporto priemonės ašį. Tai padeda padaryti elektrines pavaras mažiau sudėtingas, bet paprastesnes. Be to, jėgainė tampa pigesnė, kompaktiškesnė ir efektyvesnė [38].

Norint išgauti didelį sukimo momentą sunkiasvorėms TP, reikalinga pavarų dėžė, transmisija, jog EV perduodamą sukimo momentą padidinti.

## 2. Tiriamoji dalis

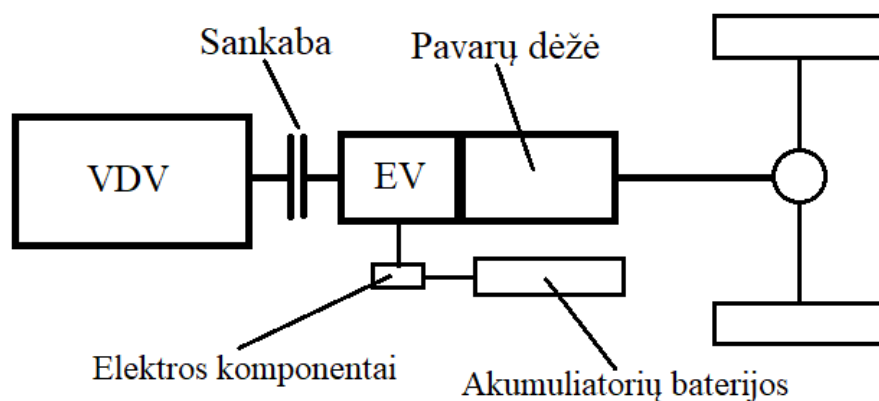
Net 80 proc. oro taršos sudaro automobilių transporto tarša. Turint galvoje, kad užterštu oru ne tik nemalonu kvėpuoti – jis sukelia įvairiausių sveikatos sutrikimus ir ligas. Akivaizdus problemos sprendimas – mažiau aplinką teršiantis alternatyvus kuras ir sunkusis transportas, varomas elektra ar hibridine pavarą, iškastiniu kuru [39]

Negana to, kad tradicinis kuras teršia aplinką ir kenkia sveikatai, jo išteklių pasaulyje kasdien mažėja. Tai dar viena priežastis, kodėl būtina kuo aktyviau skatinti alternatyvaus kuro plitimą, naudojimą ir ieškoti alternatyvesnių automobilių.

Šioje dalyje bus bandoma išsiaiškinti ar hibridinis vilkikas yra pranašesnis už įprastą vidaus degimo variklio varomą vilkiką energijos sunaudojimu, degalų suvartojimu, bei išmetamųjų dujų kiekiu. Remiamasi naujojo Europos važiavimo ciklo schema miesto ir užmiesčio zonose, lyginama hibridiniai vilkikai, su įprastu vidaus degimo variklio vilkiku.

### 2.1. Hibridinio vilkiko pavaros schema

Šiomis dienomis VDV skirti sukiosioms transporto priemonėms yra nepaprastai efektyvūs įvairiais darbo režimais. Visgi degalų sąnaudos tampa ženkliai didesnės esant mažoms apkrovoms, tiek stabdant, tiek bandant įsibėgėti. Stabdant prarandama energija, kuri gali būti panaudojama regeneraciniu būdu ir kaupiama akumuliatorių baterijose. Įsibėgėjant esant mažoms apkrovoms, atliekamas ir neefektyvus darbas, ir variklis dirba ne didžiausiu galingumu, todėl patiriamos didesnės degalų sąnaudos, (tolimesnėje dalyje tai bus aptarta). Šių padarinių galima išvengti naudojant hibridines pavaras sunkiajame transporte.



20 pav. Hibridinio vilkiko pavaros schema

Darbe nagrinėjamo hibridinio vilkiko schemą galima matyti 19-tame paveiksle. Tai lygiavertė hibridinės transmisijos schema, naudojama šių dienų vilkikuose. Šiuo atveju, tarp VDV ir pavarų dėžės (automatinė pakopinė pavarų dėžė) yra sumontuotas EV, šį nuo VDV skiria automatinė sankaba. Prie elektros variklio per elektros komponentus (inverterį, transformatorių) prijungta energijos kaupimo sistema (akumuliatorių baterijos) bei energijos paskirstymo įrenginys [40].

Veikimo principas labai paprastas, galimi du darbo režimai.

- 1 režimas, kai sankaba atjungta. Elektros varikliui energiją tiekia akumuliatorių baterijos, EV suka laipsninę pavarų dėžę, ši mechaninį judesį per kardaninį veleną ir reduktorių perduoda į varomuosius ratus. Stabdymo atveju atvirkščiai – mechaninis judesys iš ratų perduodamas į

EV, šis persijungia į generatoriaus režimą ir stabdymo energija kaupiama atgal į akumuliatorių baterijas.

- 2 režimas, kai sankaba sujungta. Nepakanka energijos akumuliatorių baterijose arba vykdyti tolimesnių veiksmų nebeįmanoma pagal užduotas operatoriaus komandas (trūksta galios). Dirba VDV, mechaninis judesys tiesiogiai perduodamas į EV, pavarų dėžę, iš šios per kardaninį veleną ir reduktorių į ratus. Kadangi dirba VDV, ir suka EV, šis šiame etape gali veikti darbo arba generatoriaus režimu. Jei darbo režimu, EV dirba tik pagalbinio režimu ir sumažina VDV apkrovą, todėl patiriamos mažesnės degalų sąnaudos. Jei dirbama generatoriaus režimu, vidaus degimo variklis ne tik suteikia pagrindinį judesį transporto priemonei, tačiau taip pat krauna ir akumuliatorių baterijas.

Esant visiškai išsikrovusioms akumuliatorių baterijoms, šias galima pakrauti išoriškai, naudojant pigią elektros energiją iš tinklo.

## 2.2. SCANIA PHEV (plug-in hybrid truck)

Hibridiniai vilkikai gaminami panašių komponuočių, o vilkikų konstrukcijos mažai skiriasi, darbe lyginamiesiems skaičiavimams priimama naudoti „SCANIA PHEV“ hibridinė tranporoto priemonė. Įvairių vilkikų pagal paskirtį ir galimą vežti krovinių maksimalų svorį, masė svyruoja nuo 7,5 tonų iki 13 tonų. Darbe nagrinėjamo vilkiko masė – 11,6 tonos.



21 pav. „SCANIA PHEV“ [41]

„SCANIA PHEV“ varomas 9 litrų dyzeliniu, nuo 280 iki 360 AG pajėgumo varikliu su turbokompresoriumi, sumontuotas su 130 kW elektros varikliu, leidžia vilkikui nuvažiuoti nenaudojant vidaus degimo variklio iki 60 km. Galima važiuoti visiškai neteršiant aplinkos ir nenaudojant degalų, tik su elektros varikliu. Šis modelis gaminamas su P ir L tipo kabinomis. Su P serijos vilkikais gaunama mažo svorio kabina su puikiu matomumu ir važiavimu, kuri yra gerai subalansuota pagal poreikius. „P“ serija yra universaliosios kabinos asortimentas, idealiai tinkamas naudoti mieste ir regione. „Scania L“ serija sukurta perpildytoms miesto sąlygoms, kur reikalaujama daug kartų sustoti ir išlipti. Darbe toliau nagrinėjamas „P“ serijos vilkikas. Toliau 1.1., 1.2., 1.3. lentelėsi pateikiami: pagrindiniai, vidaus degimo variklio bei elektros variklio duomenys [42,43,44].



**2.1 lentelė** Pagrindiniai duomenys [45]

|                  |                                |
|------------------|--------------------------------|
| Gamintojas       | SCANIA                         |
| Modelis          | PHEV                           |
| Variklis         | 9 litrų vienaeilis, 5 cilindrų |
| Kėbulo tipas     | Vilkikas                       |
| Durų skaičius    | 2                              |
| Vietų skaičius   | 2                              |
| Pagaminimo metai | 2020 - ....                    |
| Varantieji ratai | 4x2, 6x2, 6x2*4                |
| Transmisija      | Automatinė                     |

**2.2 lentelė** Vidaus degimo variklio duomenys [36]

| Parametras              | Reikšmė | Matavimo vienetai      |
|-------------------------|---------|------------------------|
| Darbinis tūris          | 9.3     | l                      |
| Galia                   | 330     | AG prie 1500 aps/min.  |
| Galia                   | 243     | kW prie 1500 aps/min.  |
| Sukimo momentas         | 1547    | Nm prie 1500 aps/min.  |
| Cilindrų skaičius       | 5       | -                      |
| Stūmoklio greitis       | 7       | m/s prie 1500 aps/min. |
| Cilindro skersmuo       | 140     | mm                     |
| Vožtuvų skaičius 1 cil. | 4       | -                      |
| Tipas                   | DC01    | -                      |
| Suspaudimo laipsnis     | 17:1    | -                      |

**2.3 lentelė** Eksplautaciniai duomenys [47]

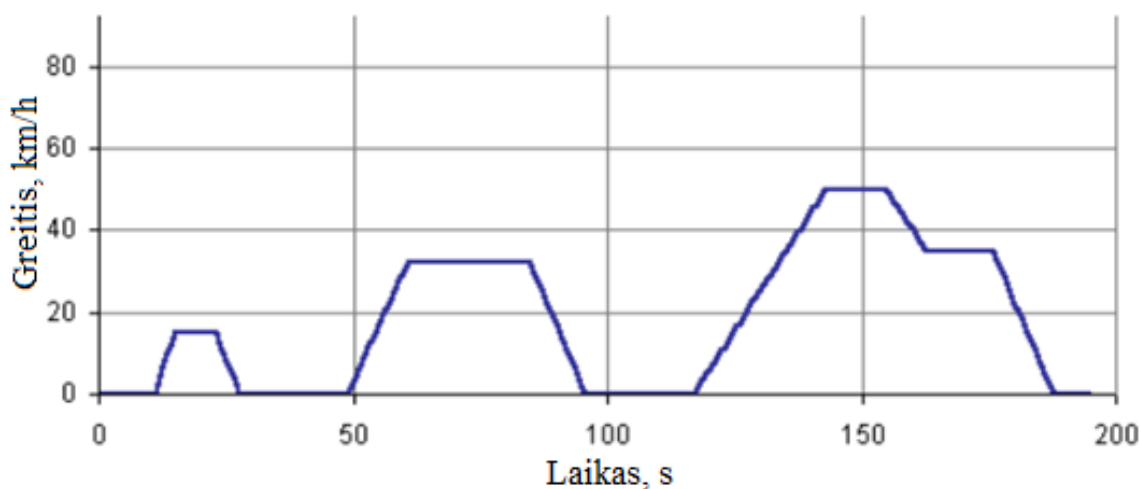
| Parametras                 | Reikšmė       | Matavimo vienetai |
|----------------------------|---------------|-------------------|
| Maksimalus greitis         | 90            | Km/h              |
| Ratų bazė                  | 4,350 – 6,350 | m                 |
| Maksimali masė su junginiu | 29000         | kg                |

**2.4 lentelė** Elektros variklio duomenys [47]

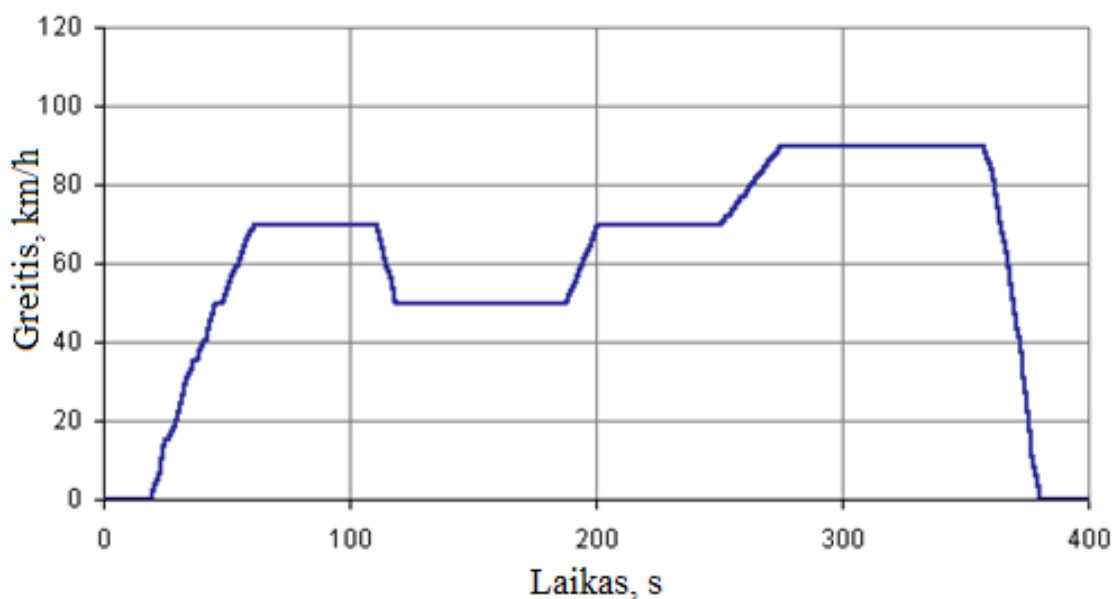
| Parametras      | Reikšmė    | Matavimo vienetai |
|-----------------|------------|-------------------|
| Galia           | ~174,3     | AG                |
| Galia           | ~130       | kW                |
| Sukimo momentas | 2200       | Nm                |
| Baterijos tipas | Ličio jonų | -                 |
| Baterija        | 90         | kWh               |

### 2.3. Europos važiavimo ciklo tyrimas

Naudojant *AutoCAD* programą, pagal grafiko mastelį apskaičiuojami greičiai kiekvienai ciklo sekundei.



22 pav. Europos važiavimo miesto ciklas (ECE 15) [48]



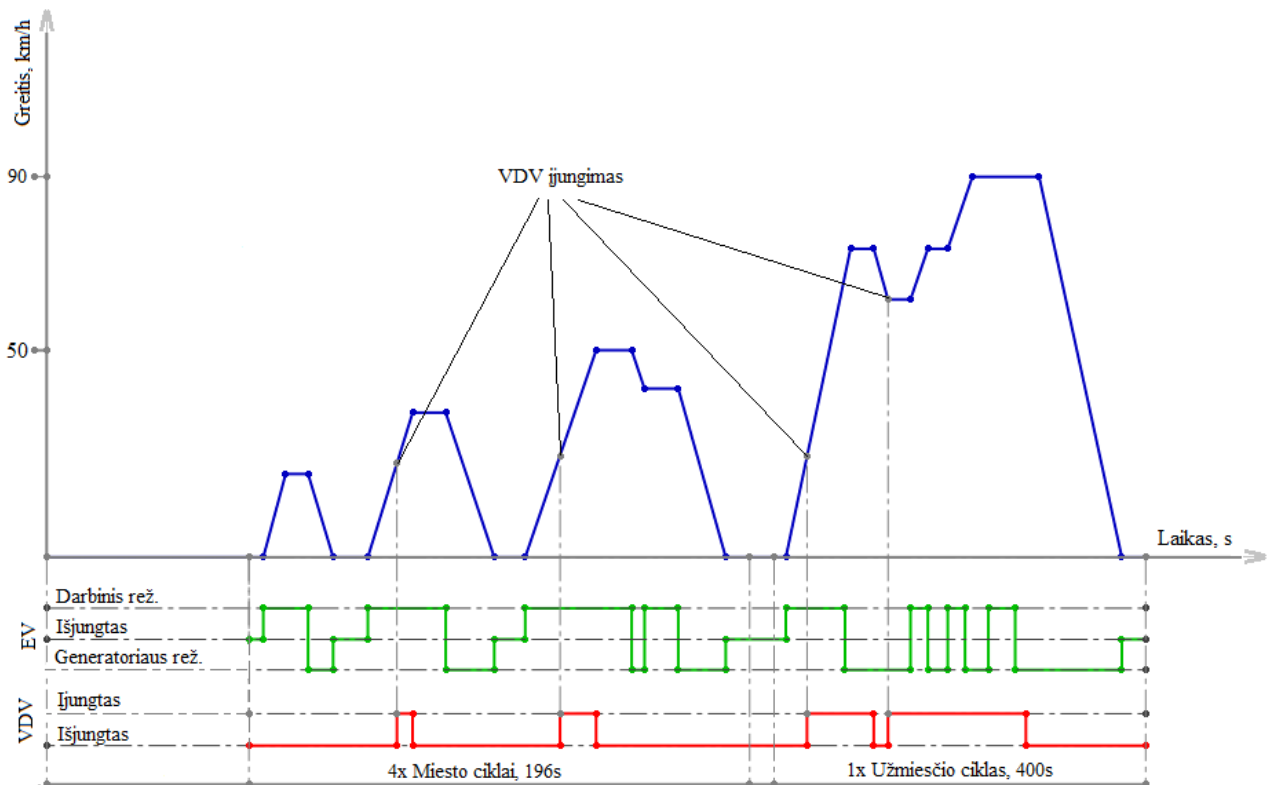
23 pav. Užmiesčio ciklas sunkiajam transportui iki 90km/h (EUDC) [48]

Iš 21 bei 22 paveikslų grafikų surinkti duomenys iš *AutoCAD* programos perkeliama į *Excel* programą, pagal kuriuos vėliau bus atliekami skaičiavimai.

Miesto važiavimo ciklą sudaro keturi ECE15 ciklai, kiekvienas ciklas – 195 s ir sudaro 0,99 km. Nagrinėjant kaip vieną bendrą, gaunamas 780 s ir 3,96 km važiavimo ruožas [48].

Užmiesčio važiavimo ciklą sudaro vienas EUDC ciklas, kuris trunka 400 s ir sudaro 6,95 km ruožą [48].

Mišrų (NEDC) važiavimo ciklą sudaro keturi miesto (ECE15) ciklai ir vienas užmiesčio (EUDC), gaunama, kad ciklo ruožas trunka 1180 s ir sudaro 10,93 km [48].



24 pav. Jėginių darbo režimai

Pagal 23 paveikslą sudaromas skaičiavimo algoritmas. Transporto priemonei pradėjus judėti, EV persijungia į darbinį režimą ir perduoda mechaninį judesį į varančiuosius ratus. Esant galios trūkumui, padidėjus greičiui ar esant per dideliems pagreičiams automatiškai paleidžiamas VDV. Sumažėjus apkrovai, kuomet nereikalaujama papildomos varomosios energijos, EV automatiškai perjungiamas į generatoriaus režimą ir įkraudinėja akumuliatorių baterijas. Stabdant ar riedant laisva eiga EV persijungia į generatoriaus režimą bei taip akumuliuoja energiją.

Imant pradinį bei galinį greitį bei laiką, per kurį jis tiek pakito, apskaičiuojamas pagreitis.

$$a = \frac{v-v_0}{t} \quad (1)$$

Čia:  $v$  – galinis greitis;

$v_0$  – pradinis greitis;

$t$  – laikas

Apskaičiuojamas nuvažiuotas kelias, kiekviena ciklo sekundę.

$$s = v \cdot t \quad (2)$$

Iš automobilio priekinės projekcijos apskaičiuojami plotai, reikalingi tolimesniems skaičiavimams.



**25 pav.** Scania P serijos priekinės projekcijos plotas [49]

Iš 24 paveikslo išskaičiuotos plotų sumos, kaip galima matyti paveiksle, pirmu atveju gauta 457.0813 ploto vienetai, antru – 571.8323 ploto vienetai. Skaičiavimuose netaikytas mastelis, kadangi reikalingas tik koeficientas, midelio plotui apskaičiuoti.

Apskaičiuojamas vilkiko midelio plotas:

$$A = \Delta \cdot B_a \cdot H_a \quad (3)$$

Čia:  $\Delta$  - midelio ploto koeficientas;

$B_a$  – automobilio plotis;

$H_a$  – automobilio aukštis;

Midelio plotui apskaičiuoti, apskaičiuojamas midelio ploto koeficientas.

$$\Delta = \frac{S_{aut}}{S_{kvadr}} \quad (4)$$

$$\Delta = \frac{457,0813}{571,8323} = 0,79$$

$$A = 0,78 \cdot 2,49 \cdot 3,28 = 6,52 \text{ m}^2$$

Apskaičiuojamos riedėjimo pasipriešinimo jėgos kiekvienai ciklo sekunde:

$$F_{ried}(i) = m \cdot g \cdot f_a(i) \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

Čia:  $m$  – masė;

$g$  – laisvo kritimo pagreitis – 9,81 m/s<sup>2</sup>;

$f_a(i)$  – riedėjimo pasipriešinimas nuo greičio, kiekvieną sekundę;

$\alpha$  – įkalnės kampas, laipsniais;

$r_{st}$  – rato statinis spindulys, skaičiavimams priimama, jog naudojamos padangos 285/70R19,5. Šio rato statinis spindulys – 0,46 m.

$$f_a(i) = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v^2}{1800}\right) \quad (6)$$

Čia  $f_0$  – riedėjimo pasipriešinimo koeficientas – sunkiajam transportui naudojama – 0,04;

Apskaičiuojama oro pasipriešinimo jėga kiekvienai ciklo sekunde.

$$F_{oro} = \frac{\rho_{air} \cdot C_x \cdot A \cdot v_i^2}{2} \quad (7)$$

čia:  $\rho_{air}$  – oro tankis esant 20 lapsnių temperatūrai, šis – 1.2041 kg/m<sup>3</sup>;

$C_x$  – automobilio aerodinaminis koeficientas;

$A$  – midelio plotas.

Bei apskaičiuojama inercijos jėga.

$$F_{in} = m \cdot a \quad (8)$$

Čia:  $m$  – vilkiko masė.

Toliau apskaičiuojama bendra suminė pasipriešinimo jėga veikianti vilkiką, kiekvieną ciklo sekundę.

$$F_{sum} = F_{ried} + F_{oro} + F_{in} \quad (9)$$

Iš čia apskaičiuojama momentinė galia naudojama kiekvieno ciklo sekundę.

$$N = F_{sum} \cdot v \quad (10)$$

Pagal važiavimo ciklo laikus sudaromos funkcijos, kai transporto priemonė stovi, bėgėjasi bei tolygiai važiuoja, pagal šias toliau apskaičiuojamos degalų ir energijos sąnaudos.

Pagal momentinę galią apskaičiuojamos degalų sąnaudos g, kai TP juda, bei kai stovi.

a) Kai TP juda/bėgėjasi:

$$m_d = g_{oe} \cdot N \quad (11)$$

Čia:  $g_{oe}$  – lyginamosios degalų sąnaudos, dyzeliniui varikliui yra tarp 200 - 240 g/kWh, skaičiavimuose naudojama 220 g/kWh [50].

b) Kai TP stovi, tačiau VDV veikia:

$$Q_{te} = 0,35 \cdot V_{VDV} + 0,33 \quad (12)$$

Čia:  $V_{VDV}$  – VDV, degimo kamerų tūris;

Iš čia gaunama momentinės degalų sąnaudos, ml:

$$V_f = m_f \cdot \rho_f \quad (13)$$

Čia:  $\rho_f$  – dyzelino tankis – 840 kg/m<sup>3</sup>

Vėliau apskaičiuojamos sunaudotos energijos kiekis kiekvienai ciklo sekunde:

$$E = \frac{N}{3600} \quad (14)$$

Bei apskaičiuojamos CO<sub>2</sub> emisijos kiekvienai sekunde pagal:

Federalinių nuostatų kodekse (40 CFR 600.113) pateikiamos anglies kiekio benzino ir dyzelino galone vertės, kurias EPA naudoja apskaičiuodama transporto priemonių degalų sąnaudas [51].

CO<sub>2</sub> kiekis iš vieno galono benzino – 2421 gramas arba 2,32 kg/l [43];

CO<sub>2</sub> kiekis iš vieno galono dyzelino – 2778 gramai arba 2,66 kg/l [43];

$$CO_2 = V_f \cdot 2,66 \quad (15)$$

Hibridinio vilkiko degalų sąnaudų, sunaudotos energijos ir regeneruojamos energijos skaičiavimams sudarytos funkcijos pagal laiką, kada kurios jėgainės ir koku režimu dirba.

Skaičiavimuose priimama, jog elektros variklis dirbdamas generatoriaus režimu, generuoja 90 % elektros variklio galingumo, dėl elektros variklio nuostolių.

Taigi gaunama, kad EV per valandą gali sugeneruoti 81 kWh arba 22,5 W per sekundę.

Analogiškai, kaip ir įprastam vilkikui, taip ir hibridiniam skaičiuojamos momentinės, tiek degalų, tiek energijos sąnaudos bei emisijos.

Skaičiavimų rezultatai apibendrinti ir pateikti standartinėse išraiškose.

## **2.4. Europos važiavimo ciklo sunkiajam transportui skaičiavimai Excel programoje**

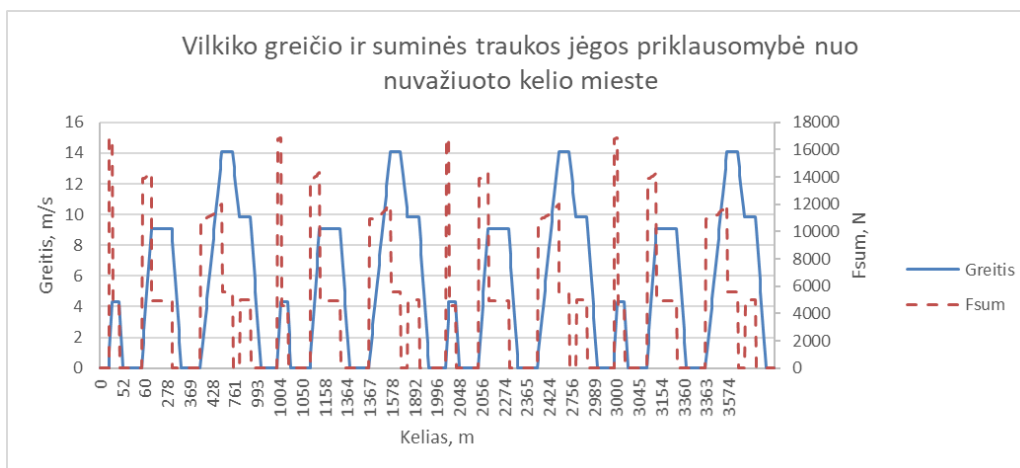
Skaičiavimai lyginamajam važiavimui atliekami tiek dyzeliniam, tiek hibridiniam vilkikui važiuojant, pirmu atveju su 0 % krovinio įkrovos lygiu, antruoju atveju – 50 % įkrovos lygiu bei trečiuoju, kai įkrovos lygis – 100 %. Pirmu atveju gaunama 11,6 tonų masė, antruoju – 20,3 tonų masė, trečiuoju – maksimali transporto priemonės masė su kroviniu – 29 tonos.

Skaičiavimuose priimama, jog hibridinio ir įprasto vilkiko masės be krovinio ir su kroviniu – vienodos, dėl tikslesnių skaičiavimo palyginimų.

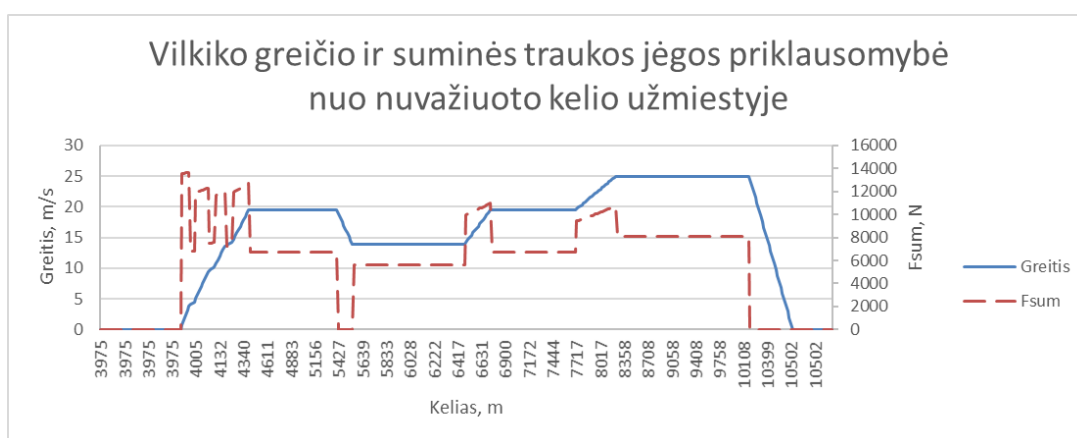
### **2.4.1. Europos važiavimo ciklo skaičiavimas, kai įkrovos lygis 0%**

Pirmuoju atveju atliekami skaičiavimai, kai vilkikas važiuoja be krovinio. Be junginio, įkrovos lygis 0 %.

Atlikus skaičiavimus 4-iems miesto ciklams gauta greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybės nuo nuvažiuoto kelio mieste bei užmiestyje grafikai.



26 pav. Sunkiojo transporto greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo važiuoto kelio mieste, kai įkrovos lygis 0 %



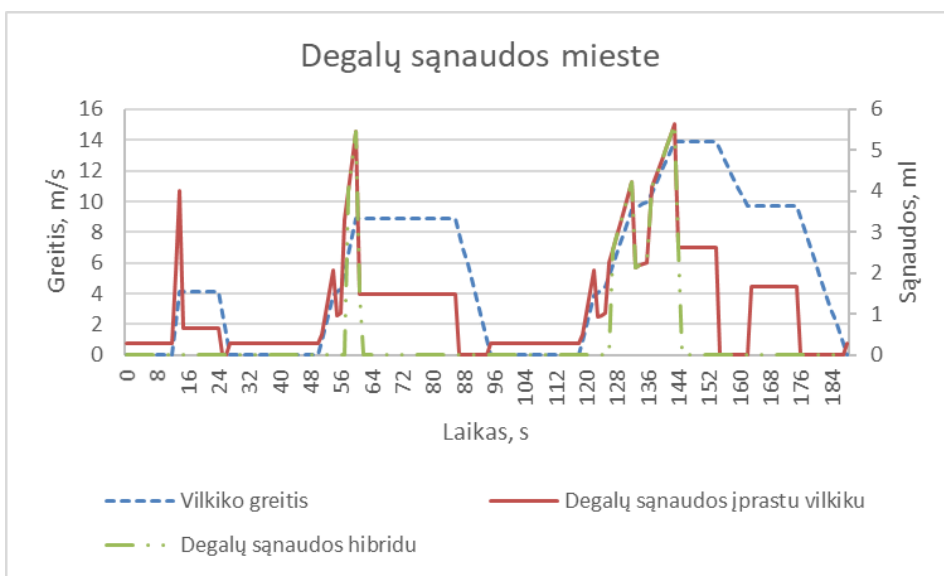
27 pav. Sunkiojo transporto greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio užmiestyje, kai įkrovos lygis 0%

Pasižiūrėjus į sunkiojo transporto greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybes nuo nuvažiuoto atstumo mieste, pastebima, kad automobilio greitis didėja, kai didėja traukos jėga, o greitis mažėja, kai mažėja traukos jėga bei kai greitis pastovus – tuomet jėga pastovi. Tokią pačią kreivių tendenciją galima pastebėti ir užmiesčio važiavimo ciklo. Pagal šias sumines traukos jėgas skaičiuojamos ir degalų, ir energijos sąnaudos.

| 4 Miesto ciklai                |          |           |             |
|--------------------------------|----------|-----------|-------------|
| Įprastas vilkikas              |          |           |             |
| Sąnaudos                       | 21,90    | l/100km   |             |
| CO2                            | 58263,6  | g/100km   | 582,64 g/km |
| Energija                       | 83,63    | kWh/100km |             |
| Hibridinis vilkikas            |          |           |             |
| Sąnaudos                       | 8,20     | l/100km   |             |
| CO2                            | 21808,96 | g/100km   | 218,09 g/km |
| Energija                       | 64,76    | kWh/100km |             |
| Degalų sąnaudų skirtumas, %    |          |           | 62,57       |
| Energijos sąnaudų skirtumas, % |          |           | 22,56       |

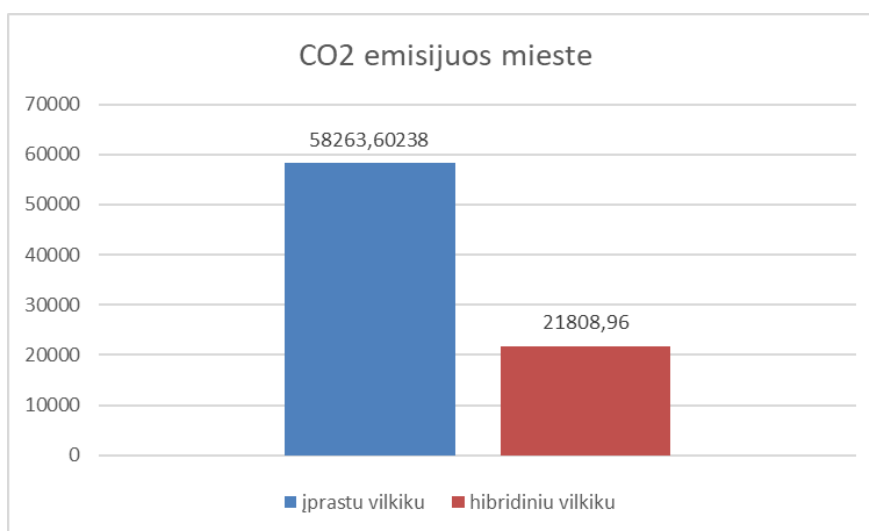
28 pav. Miesto ciklo režimai, kai įkrova 0%

Viršuje pateikti duomenys gauti apskaičiuavus keturių miesto ciklų duomenis sunkiasvoriui vilkikui. Matoma, kad vilkikui veikiant hibridiniu režimu sumažėja ir degalų sąnaudos, ir energijos sąnaudos bei CO<sub>2</sub> emisijos. Duomenų skirtumai dideli, nes visiems gerai žinoma, kad hibridinis transportas skirtas važiuoti miesto salygomis. Taigi galima daryti prielaidą, kad duomenys teisingi. Visgi tai tik teorija, kadangi sunku įvertinti išorės veiksnius. Pagal skaičiavimus degalų sąnaudos naudojant hibridinį vilkiką sumažėja 62,57 %. Atitinkamai CO<sub>2</sub> emisijos sumažėja ~60 %. Dėl tos pačios priežasties vidaus degimo variklis dirba žymiai trumpiau, nes mieste važiuojant nedideliu greičiu pakanka didžiąją laiko dalį naudoti elektros variklį. Lyginant energijos sąnaudas, šios sumažėja 22,56 %, kadangi EV dirbdamas generatoriaus režimu dalį kinetinės stabdymo energijos regeneruoja.



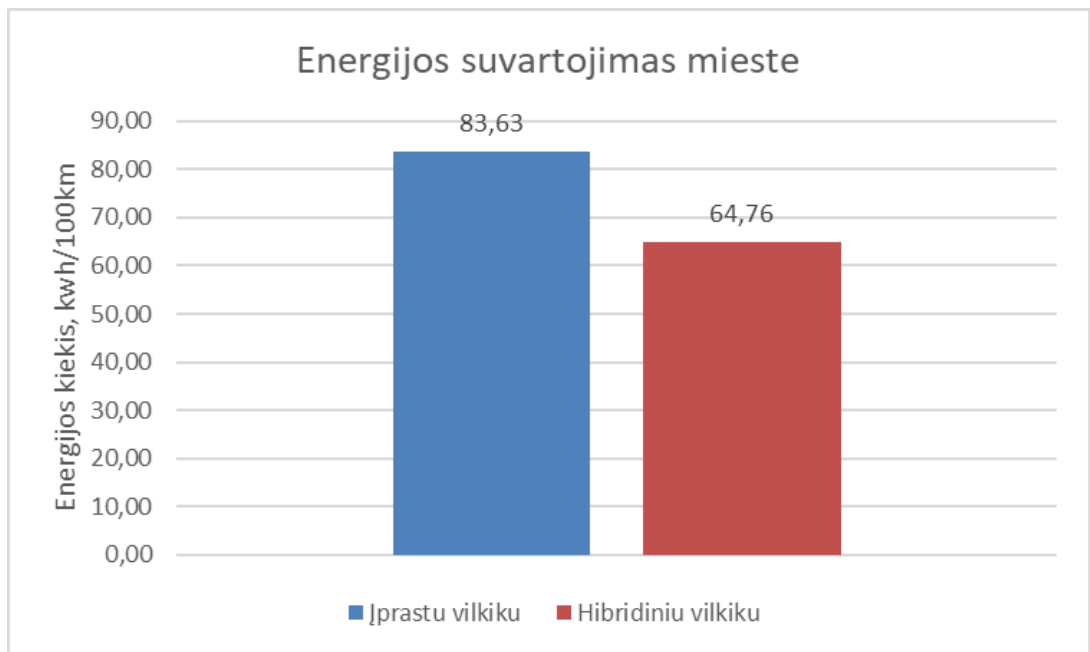
29 pav. Degalų sąnaudos mieste

Grafike pavaizduotas vienas miesto degalų suvartojimo per tam tikrą laiką ciklas, kad aiškiau matytųsi lyginamos degalų sąnaudos. Galima pastebėti, hibridinis vilkikas pasižymi mažomis degalų sąnaudomis, nes didžiąją laiko dalį dirba elektros variklis, o, kai pagreitis pradeda ženkliai didėti, įsijungia ir VDV.



30 pav. CO<sub>2</sub> emisijos mieste, kai įkrova 0%





**31 pav.** Energijos suvartojimas mieste, kai įkrova 0%

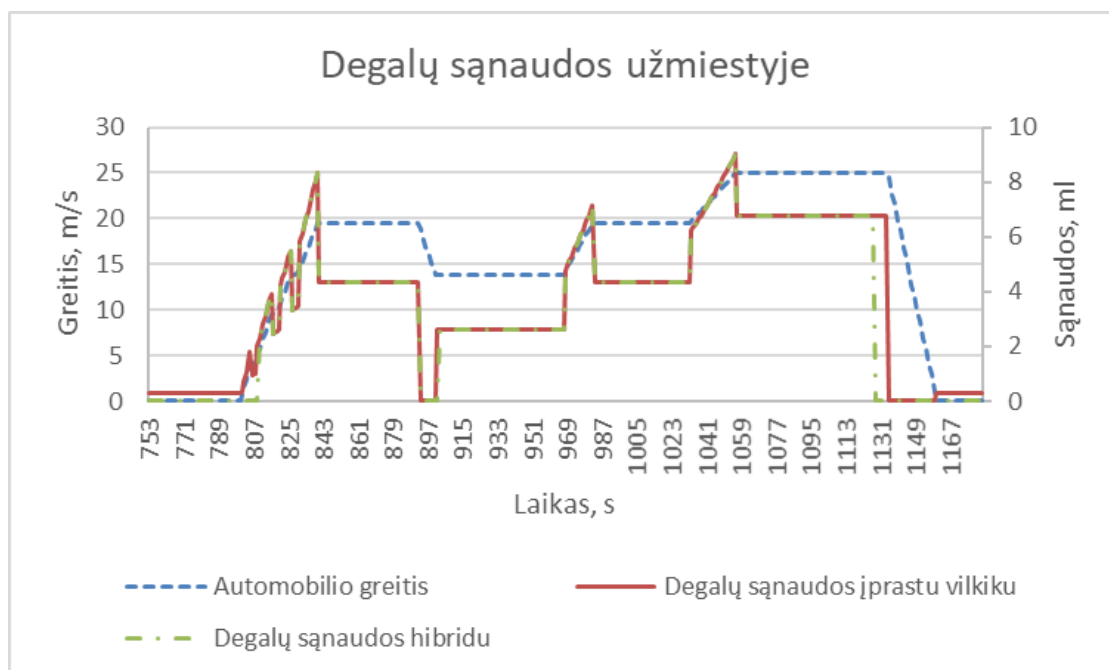
Grafikuose palygintos energijos sąnaudos bei CO<sub>2</sub> emisijos įprasto vilkiko ir hibrido. Kadangi jų kitimo priklausomybės per laiką yra panašios į degalų sąnaudų, čia vaizduojami tik galutiniai rezultatai šimtui kilometrų. Gauta, jog įprastu vilkiku per 100 km į atmosferą išmetama 58263 g anglies dvideginio arba 582 g/km. Hibridinis vilkikas per 100 km išmeta tik 21808 g arba 218 g/km. Žvelgiant į energijos sąnaudas mieste, čia pirmauja hibridinis vilkikas, nes dalį sunaudotos energijos susigrąžina dėl stabdymo metu atgaunamos kinetinės energijos (per 4 miesto ciklus sunaudoja 64 kWh). „Tradicinis“ vilkikas sunaudoja daugiau kaip 83 kWh energijos.

| Užmiesto ciklas                |          |           |             |
|--------------------------------|----------|-----------|-------------|
| Įprastas vilkikas              |          |           |             |
| Sąnaudos                       | 24,43    | l/100km   |             |
| CO <sub>2</sub>                | 64991,25 | g/100km   | 649,91 g/km |
| Energija                       | 93,29    | kWh/100km |             |
| Hibridinis vilkikas            |          |           |             |
| Sąnaudos                       | 23,18    | l/100km   |             |
| CO <sub>2</sub>                | 61665,23 | g/100km   | 616,65 g/km |
| Energija                       | 90,03    | kWh/100km |             |
| Degalų sąnaudų skirtumas, %    |          |           | 5,12        |
| Energijos sąnaudų skirtumas, % |          |           | 3,49        |

**32 pav.** Užmiesto ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 0 %

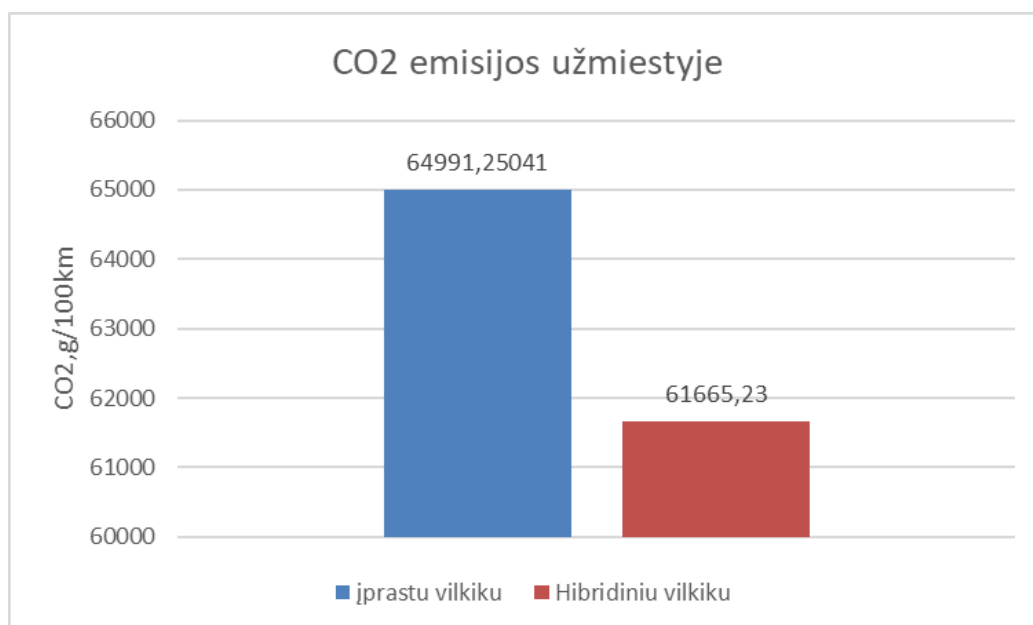
Viršuje pateikti duomenys – sunkiasvoriui vilkikui užmiesto cikle. Pastebėtina, hibridų pranašumas užmiestyje labai sumažėja, lyginant su miesto ciklu, kadangi užmiestyje važiuojama didesniu greičiu – elektros variklis gali padėti tik išibėgėjant arba dirbant generatoriaus režimu stabdant. Vidaus degimo variklis dirba nuolatos, beveik kaip įprastuose vilkikuose. Kadangi nevertinami išoriniai veiksniai, degalų sąnaudos mažesnės gaunamos hibridiniuose automobiliuose, tačiau tik dėl to, kad

jis dirba šiek tiek trumpiau. Daugiausia nuo to priklauso ir CO<sub>2</sub> emisijų bei energijos sąnaudų skirtumai. Įvertinus įvairius išorės veiksnius įmanoma gauti netgi didesnes degalų sąnaudas, važiuojant hibridiniu vilkiku. Užmiėsčio ciklo tyrimo metu gauta, jog hibridinio vilkiko degalų sąnaudos mažesnės už įprastą vilkiką tik 5,12 %.

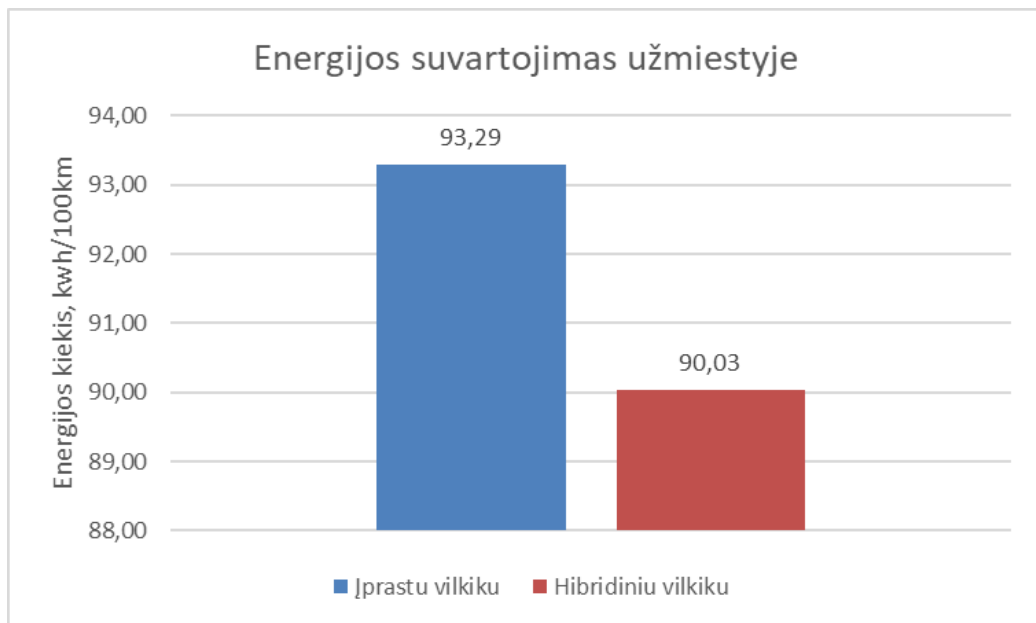


33 pav. Degalų sąnaudos užmiestyje, kai įkrovos lygis 0 %

Iš degalų sąnaudų pagal laiką grafike galima pastebėti, kad ir hibridinis, ir įprastas vilkikas dirba varomas vidaus degimo variklio.



34 pav. CO<sub>2</sub> emisijos užmiestyje, kai įkrovos lygis 0 %



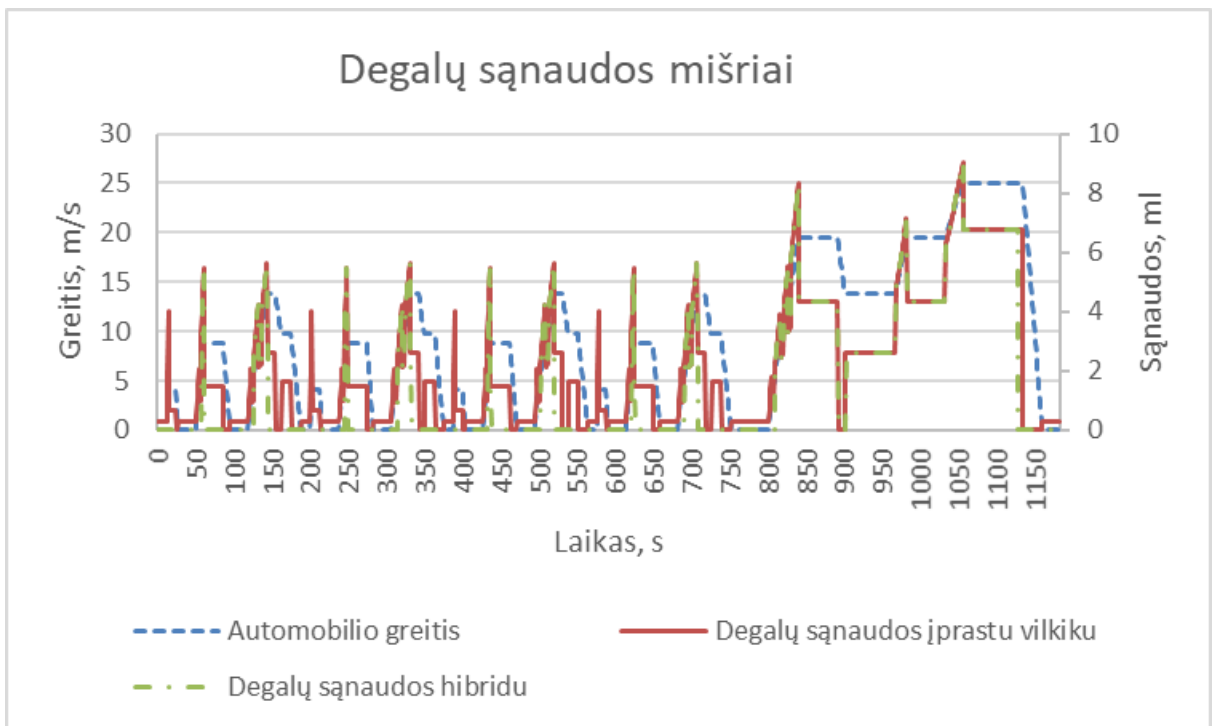
**35 pav.** Energijos suvartojimas užmiestyje, kai įkrovos lygis 0 %

Grafikuose palygintos energijos sąnaudos bei CO<sub>2</sub> emisijos įprastu vilkiku bei hibridiniu. Jų kitimo priklausomybės bėgant laikui supanašėja į degalų sąnaudų – čia vaizduojami tik galutiniai rezultatai šimtui kilometrų. Gauta, jog įprastas vilkikas nuvažiuodamas 100 km sunaudoja beveik 93,3 kWh energijos bei išmeta 64991 g anglies dvideginio arba 604 g/km, o hibridinė transporto priemonė sunaudoja 90 kWh bei išmeta 61665 g anglies dvideginio arba 616 g/km.

| Mišrus ciklas                  |          |           |             |
|--------------------------------|----------|-----------|-------------|
| Įprastas vilkikas              |          |           |             |
| Sąnaudos                       | 23,48    | l/100km   |             |
| CO <sub>2</sub>                | 62444,83 | g/100km   | 624,45 g/km |
| Energija                       | 89,63    | kWh/100km |             |
| Hibridinis vilkikas            |          |           |             |
| Sąnaudos                       | 17,51    | l/100km   |             |
| CO <sub>2</sub>                | 46579,6  | g/100km   | 465,80 g/km |
| Energija                       | 80,47    | kWh/100km |             |
| Degalų sąnaudų skirtumas, %    |          |           | 25,41       |
| Energijos sąnaudų skirtumas, % |          |           | 10,22       |

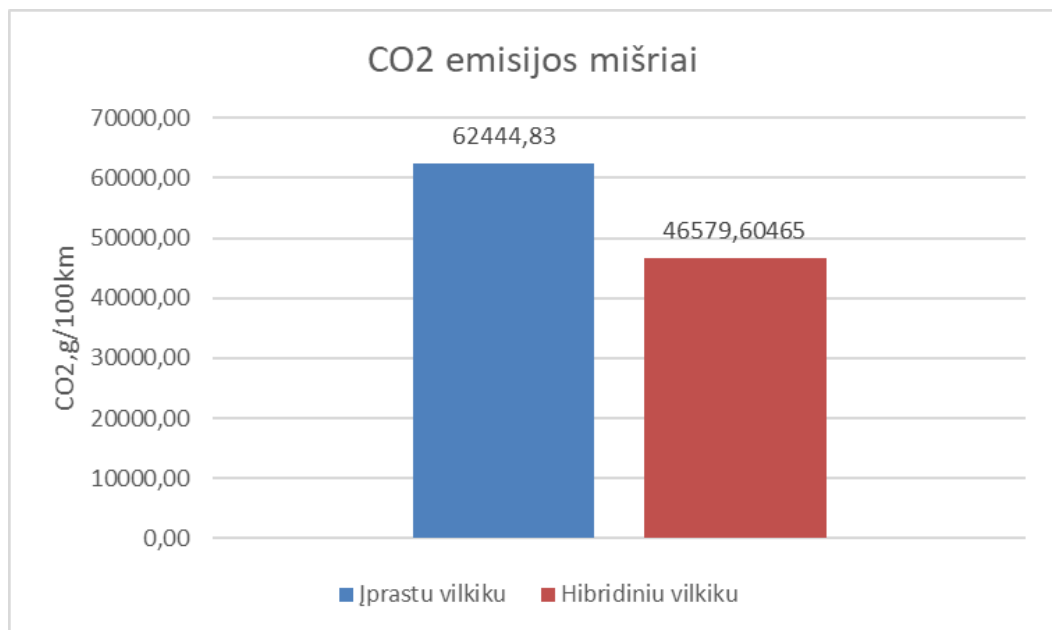
**36 pav.** Mišraus ciklo rezultatai, kai įkrova 0%

Aukščiau pateikti duomenys apskaičiuoti automobiliui važiuojant mišriu ciklu, keturiais miesto ciklais ir vienu užmiėsčio ciklu. Važiuojant mišriu ciklu galima pastebėti, jog degalų sąnaudos, lyginant vilkikus, gautos gerokai mažesnės hibridiniam vilkikui – šios siekia iki 26,1 l šimtui kilometrų, o įprastas vilkikas sunaudoja 34,4 l šimtui kilometrų. Taigi hibridinis vilkikas važiuojant mišriu ciklu gali sutaupyti iki 24 % degalų bei sunaudoti beveik 5 % mažiau energijos.

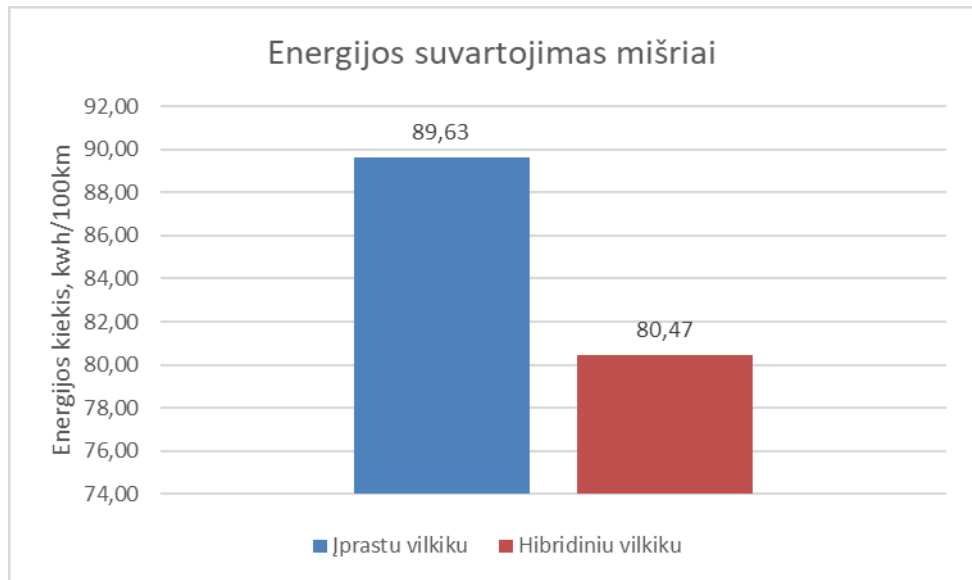


**37 pav.** Degalų sąnaudos mišriu ciklu, kai įkrova 0%

Degalų sąnaudų pagal laiką važiuojant mišriu ciklu tendencija išlieka ta pati kaip miesto ir užmiesto ciklais. Iš pradžių, mieste, hibridinis vilkikas yra varomas EV pagalba, o užmiestyje, kaip matoma pagal degalų sąnaudas, varomas VDV.



**38 pav.** CO<sub>2</sub> emisijos mišriu ciklu, kai įkrova 0%



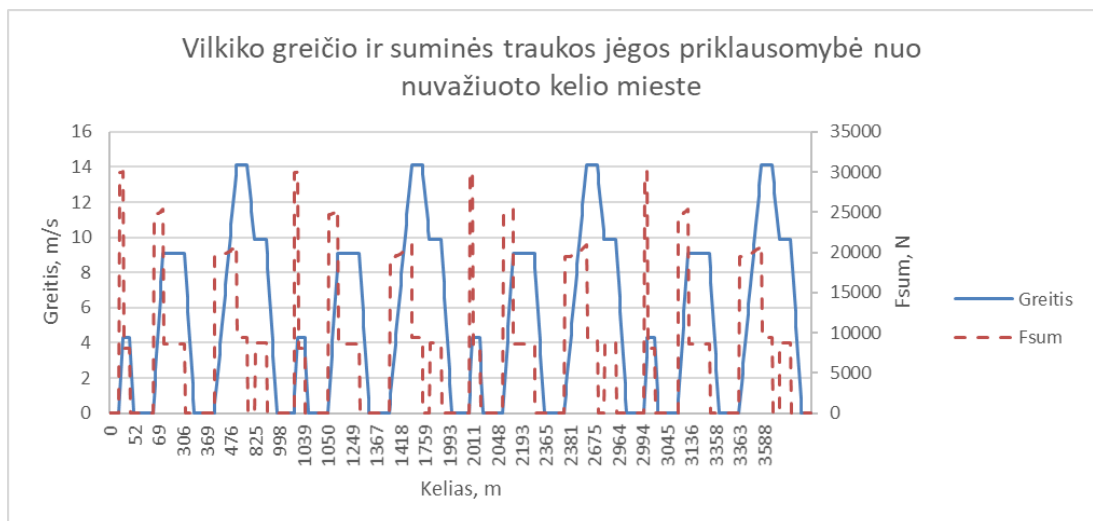
**39 pav.** Energijos sąnaudos mišriu ciklu, kai įkrova 0%

Eksplaučiuojant hibridinį vilkiką mišriu ciklu galima pastebėti, kad ir CO<sub>2</sub> emisijos, ir energijos sunaudojamas kiekis yra mažesnis. Pabrėžiant oro taršą, hibridinis vilkas tendencingai juda švaresnės ateities link. Šio hibridinio vilkiko mišriame cikle anglies dvideginio emisijos 25 % mažesnės.

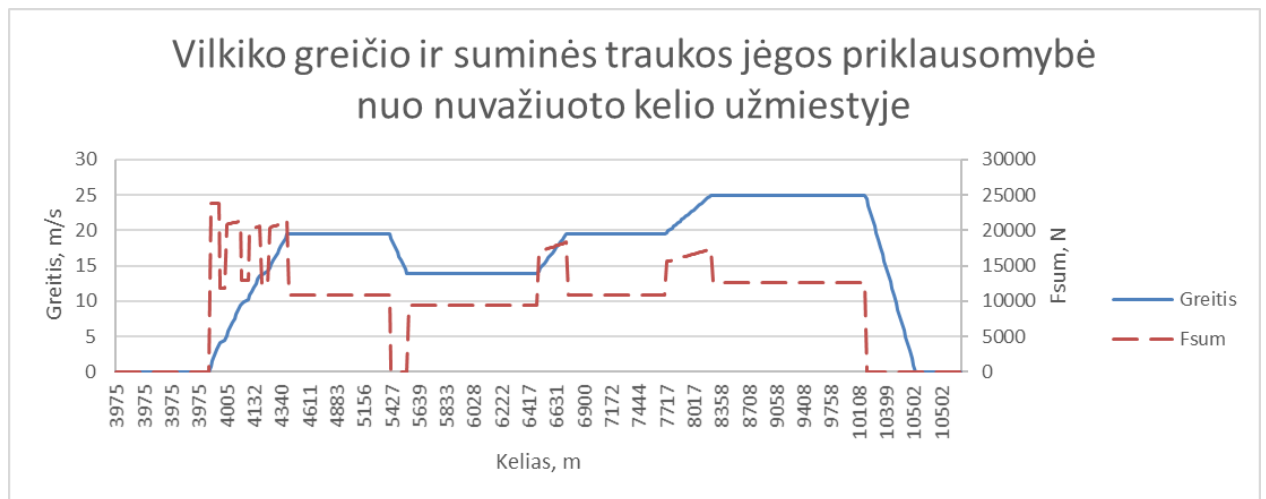
#### 2.4.2. Europos važiavimo ciklas, kai įkrovos lygis 50 %

Antruoju atveju skaičiavimai atliekami, kai vilkikas juda ir mieste, ir užmiestyje, ir mišriai, yra dalinai pakrautas (šis atvejis dažniausias, kai transporto priemonė dirba krovinių paskirstymo terminale). Tokiu atveju vilkiko masė su junginiu gaunama ~20300 kg.

Atlikus skaičiavimus, gauta, kad greičio bei suminės traukos jėgos priklauso nuo nuvažiuoto kelio mieste ar užmiestyje.



**40 pav.** Sunkiojo transporto greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo važiuoto kelio mieste, kai įkrovos lygis 50 %



**41 pav.** Vilkiko greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio užmiestyje, kai įkrovos lygis 50%

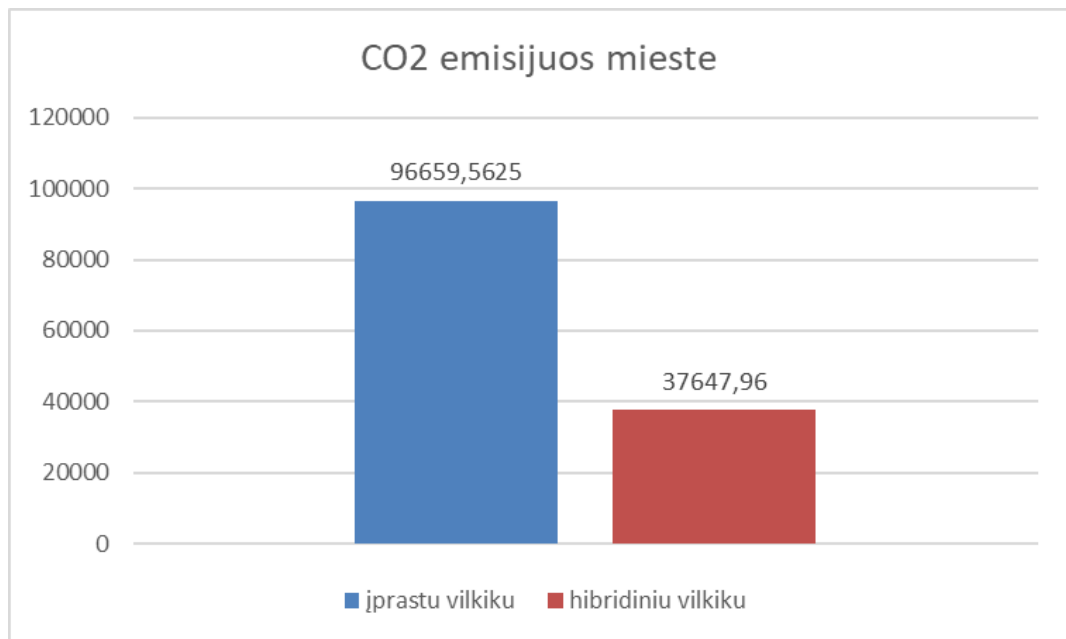
Iš grafikų galima pastebėti, jog suminės traukos jėgos daug didesnės, todėl ir degalų sąnaudos bus didesnės.

Degalų sąnaudų, priklausomai nuo laiko, kreivių tendencija išlieka tokia pati, todėl šios nebus nagrinėjamos.

| 4 Miesto ciklai                |          |           |             |
|--------------------------------|----------|-----------|-------------|
| Įprastas vilkikas              |          |           |             |
| Sąnaudos                       | 36,34    | l/100km   |             |
| CO2                            | 96659,56 | g/100km   | 966,60 g/km |
| Energija                       | 138,75   | kWh/100km |             |
| Hibridinis vilkikas            |          |           |             |
| Sąnaudos                       | 14,15    | l/100km   |             |
| CO2                            | 37647,96 | g/100km   | 376,48 g/km |
| Energija                       | 119,88   | kWh/100km |             |
| Degalų sąnaudų skirtumas, %    |          |           | 61,05       |
| Energijos sąnaudų skirtumas, % |          |           | 13,60       |

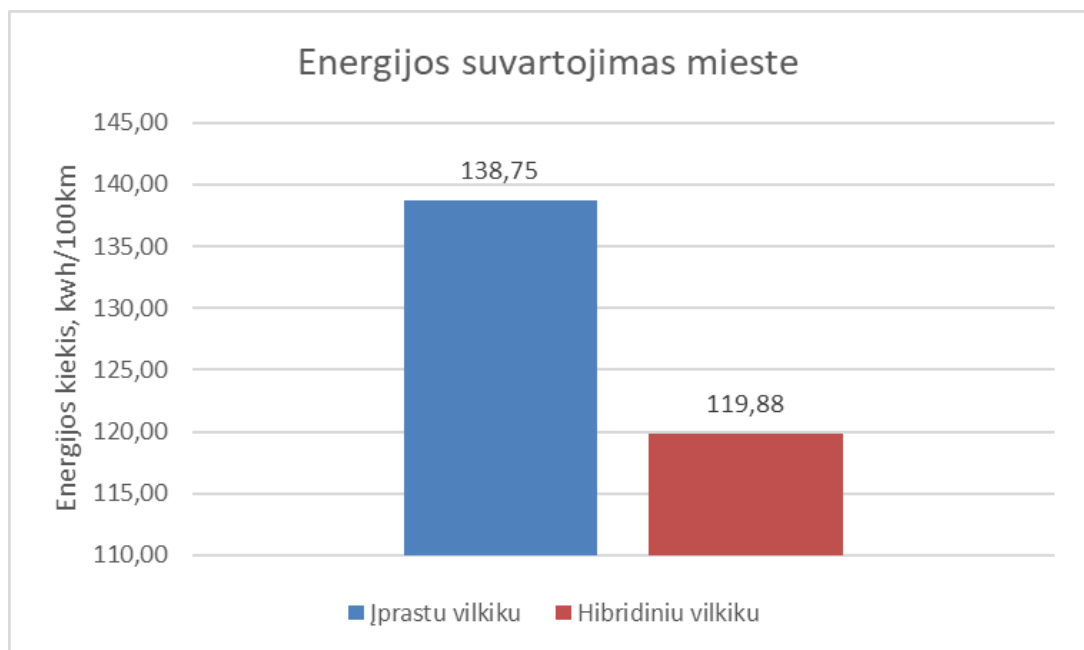
**42 pav.** Miesto ciklų rezultatai, kai įkrova 50%

Atlikus skaičiavimus miesto ciklams, gauta, kad „tradicinis“ vilkikas su 50% įkrova mieste sunaudoja 63 l degalų šimtui kilometrų, o hibridinis tik ~25,2 l šimtui kilometrų. Tai reiškia, kad hibridiniu vilkiku galima sutaupyti iki 60,08 % išlaidų degalams, važiuojant mieste.



**43 pav.** CO<sub>2</sub> emisijos mieste, kai įkrovos lygis 50 %

Iš pateiktų grafikų galima pastebėti, kad hibridinis vilkikas įprastą vilkiką smarkiai lenkia aplinkos tausojimo klausimu – šis į aplinką miesto cikluose išmeta tik 376 g/km anglies dvideginio, o įprastas vilkikas per tą patį atstumą išmeta į aplinką 966 g/km. Tam įtaką daro ženkliai mažesnis degalų sunaudojimas.



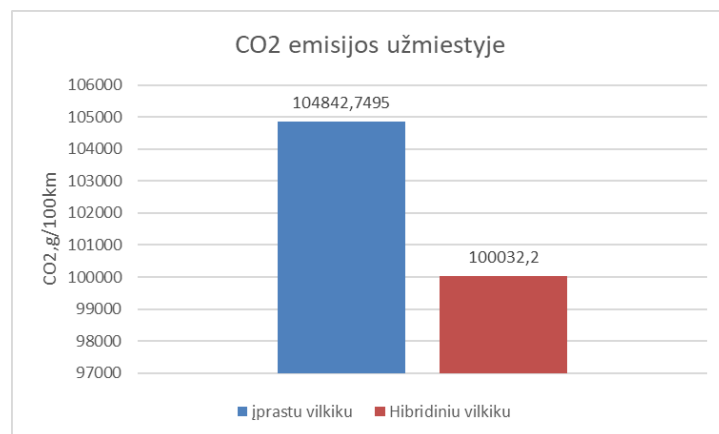
**44 pav.** Energijos sunaudojamas kiekis mieste, kai įkrovos lygis 50%

Ta pati energijos sunaudojimo tendencija vyrauja su 0 % įkrovos lygiu ir su 50 % įkrovos lygiu. Hibridinė transporto priemonė sugeneruoja iki 13,6 % sunaudotos energijos.

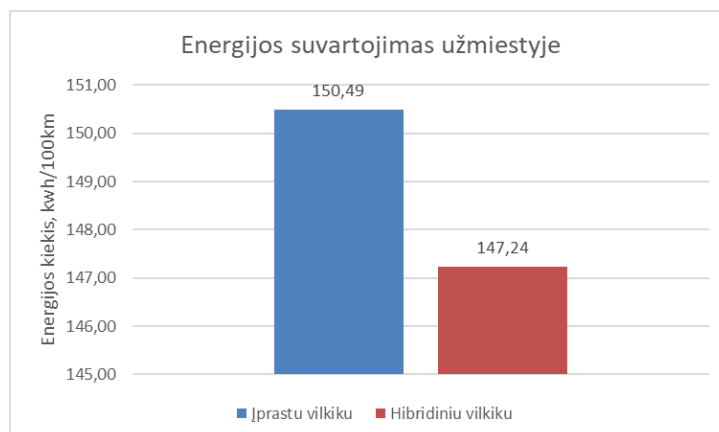
| Užmiestio ciklas               |          |           |              |
|--------------------------------|----------|-----------|--------------|
| Įprastas vilkikas              |          |           |              |
| Sąnaudos                       | 39,41    | l/100km   |              |
| CO2                            | 104842,7 | g/100km   | 1048,43 g/km |
| Energija                       | 150,49   | kWh/100km |              |
| Hibridinis vilkikas            |          |           |              |
| Sąnaudos                       | 37,61    | l/100km   |              |
| CO2                            | 100032,2 | g/100km   | 1000,32 g/km |
| Energija                       | 147,24   | kWh/100km |              |
| Degalų sąnaudų skirtumas, %    |          |           | 4,59         |
| Energijos sąnaudų skirtumas, % |          |           | 2,16         |

**45 pav.** Užmiestio ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 50 %

Apskaičiavus užmiestio važiavimus, pastebima, kad hibridinis vilkikas praranda savo savybes bei sunaudoja ne ką mažesnę dalį degalų, kurie sudaro 37,61 l/100km. Įprastas vilkikas sunaudoja 39,41 l/100km. Užmiestio ciklo atveju hibridu galima sutaupyti tik iki 4,6 % išlaidų degalams.



**46 pav.** CO<sub>2</sub> emisijos užmiestyje, kai įkrovos lygis 50 %



**47 pav.** Energijos sunaudojimas užmiestyje, kai įkrovos lygis 50 %

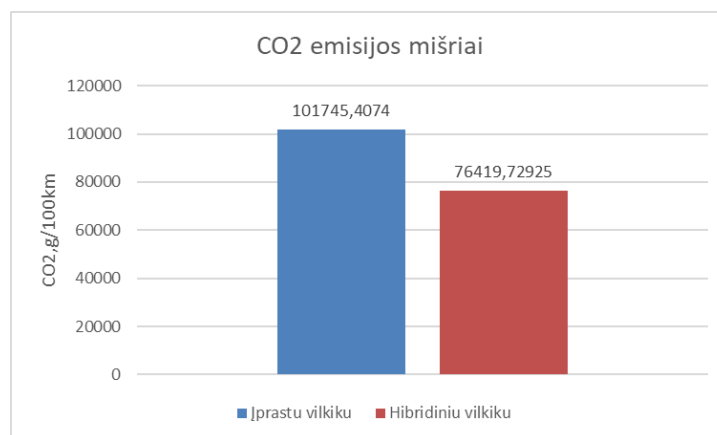
Kaip galima pastebėti iš pateiktų grafikų, emisijų ir energijos sunaudojamu kiekiu užmiestyje abu vilkikai pasirodo panašiai – hibridinis į aplinką išmeta tik 4,6 % mažiau teršalų bei sunaudoja iki 2,2 % mažiau energijos.



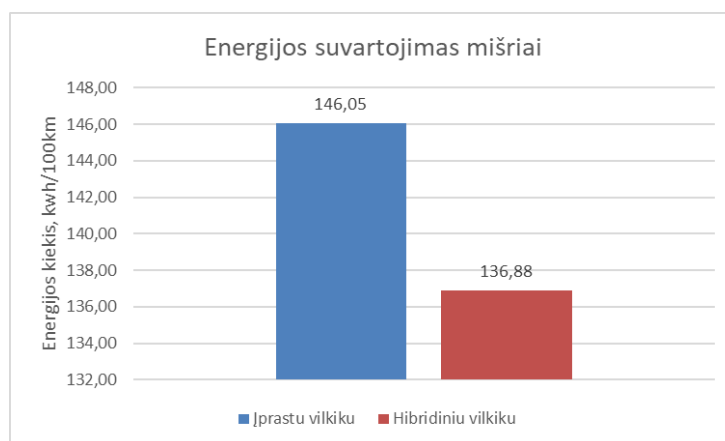
| Mišrus ciklas                  |          |           |              |
|--------------------------------|----------|-----------|--------------|
| Įprastas vilkikas              |          |           |              |
| Sąnaudos                       | 38,25    | l/100km   |              |
| CO2                            | 101745,4 | g/100km   | 1017,45 g/km |
| Energija                       | 146,05   | kWh/100km |              |
| Hibridinis vilkikas            |          |           |              |
| Sąnaudos                       | 28,73    | l/100km   |              |
| CO2                            | 76419,73 | g/100km   | 764,20 g/km  |
| Energija                       | 136,88   | kWh/100km |              |
| Degalų sąnaudų skirtumas, %    |          |           | 24,89        |
| Energijos sąnaudų skirtumas, % |          |           | 6,28         |

**48 pav.** Mišraus važiavimo ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 50 %

Mišraus ciklo važiavimo metu hibridinis vilkikas pasižymi 24,89% mažesnėmis degalų sąnaudomis, šios gaunamos 28,73 l/100km. Paprastas vilkikas sunaudoja 38,25 l/100km.



**49 pav.** CO<sub>2</sub> emisijos mišriu važiavimu, kai įkrovos lygis 50%



**50 pav.** Energijos sunaudojimas mišriu važiavimu, kai įkrova 50 %

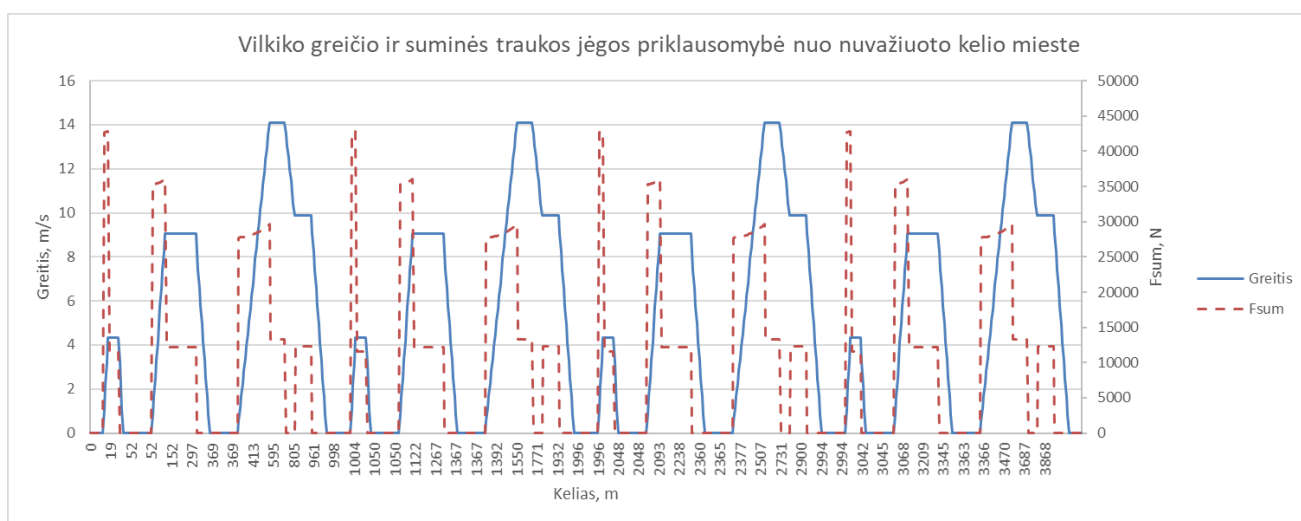
Mišriu važiavimo ciklu – ir mieste, ir užmiestyje eksplautuojant vilkikus – matomi hibridinio vilkiko pranašumai. Šis į aplinką išmeta 1355 g/km anglies dioksido bei sunaudoja 275 kWh/100km. Įprastas vilkikas išmeta 1784 g/km ir sunaudoja 281 kWh/100km energijos.

### 2.4.3. Europos važiavimo ciklas, kai įkrovos lygis 100 %

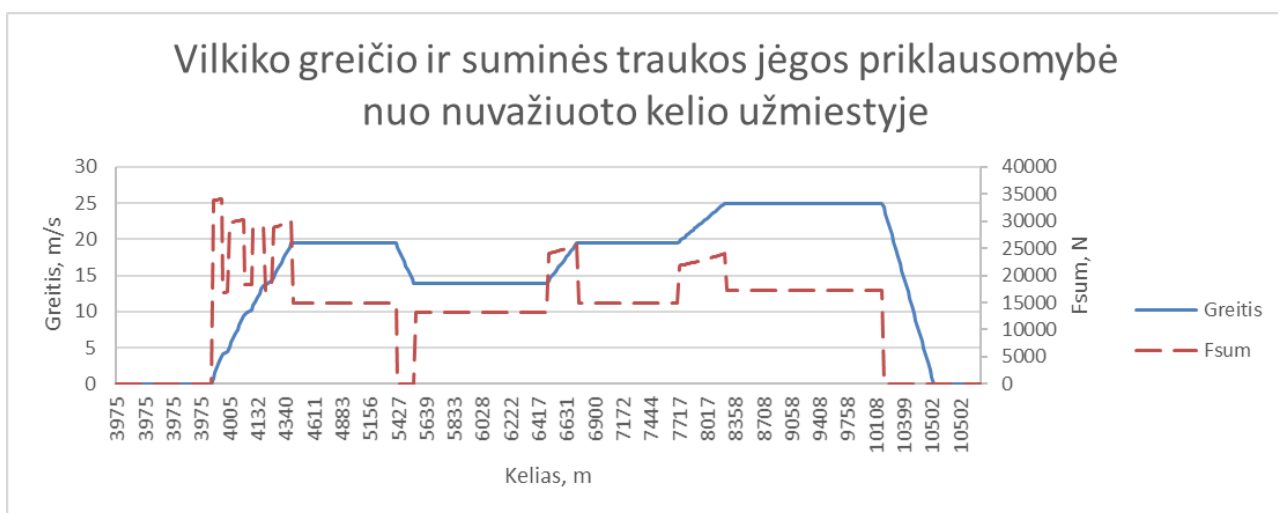
Trečiuoju atveju atliekami skaičiavimai vilkikams, kai transporto priemonės įkrovos lygis – 100 % ir važiuojama mieste, užmiestyje bei mišriai. Gauta bendra masė su junginiu sudaro 29000 kg.

Šis atvejis nagrinėjamas mažiau, nes toks įkrovos lygis (transporto priemonės užpildymas) retas. Didžioji logistikos transporto priemonių dalis važiuoja pakrautos tik dalinai (pustuštės), dažniausias įkrovos lygis – tik iki 50 %.

Atlikus skaičiavimus, gauta greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio mieste bei užmiestyje. Vėliau pagal priklausomybes atlikti skaičiavimai degalų sąnaudoms, CO<sub>2</sub> emisijoms ir energijos sąnaudoms gauti.



51 pav. Vilkiko greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio mieste, kai įkrovos lygis 100 %



52 pav. Vilkiko greičio ir suminės traukos jėgos priklausomybė nuo nuvažiuoto kelio užmiestyje, kai įkrovos lygis 100 %

Iš grafikų galima pastebėti, jog pagal Europos važiavimo ciklus tokiam transporto priemonės judėjimui mieste reikalinga ~44 kN traukos jėga, priklausomai nuo išibėgėjimo pagreičio. Kaip iš

užmiesčio ciklo skaičiavimų kreivijų matoma, įsibėgėjimo pagreičiai mažesni, reikiama traukos jėga iki ~28 kN.

| 4 Miesto ciklai                |          |           |         |      |
|--------------------------------|----------|-----------|---------|------|
| Įprastas vilkikas              |          |           |         |      |
| Sąnaudos                       | 50,77    | l/100km   |         |      |
| CO2                            | 135055,5 | g/100km   | 1350,56 | g/km |
| Energija                       | 193,86   | kWh/100km |         |      |
| Hibridinis vilkikas            |          |           |         |      |
| Sąnaudos                       | 20,11    | l/100km   |         |      |
| CO2                            | 53486,96 | g/100km   | 534,87  | g/km |
| Energija                       | 174,99   | kWh/100km |         |      |
| Degalų sąnaudų skirtumas, %    |          |           | 60,40   |      |
| Energijos sąnaudų skirtumas, % |          |           | 9,73    |      |

53 pav. keturių miesto ciklų rezultatai, kai įkrovos lygis 100 %

Atlikus vilkikų, kurių bendra masė su junginiu ir kroviniu sudaro 29 tonas, skaičiavimus miesto cikluose gauta, jog, įprastas vilkikas, varomas VDV sunaudoja 50,77 l dyzelino bei išmeta į aplinką 1350 g/km anglies dioksido, o hibridinis vilkikas sunaudoja tik 20,11 l dyzelino ir išmeta 534 g/km anglies dioksido. Hibridas sunaudoja net 60,4 % mažiau degalų ir išmeta į aplinką mažiau kaip 60 % teršalų. Hibridinė transporto priemonė, esant stabdymo regeneravimui, elektros variklio dėka gali atgauti iki 9,73 % sunaudotos energijos.

| Užmiesčio ciklas               |          |           |         |      |
|--------------------------------|----------|-----------|---------|------|
| Įprastas vilkikas              |          |           |         |      |
| Sąnaudos                       | 54,40    | l/100km   |         |      |
| CO2                            | 144694,2 | g/100km   | 1446,94 | g/km |
| Energija                       | 207,70   | kWh/100km |         |      |
| Hibridinis vilkikas            |          |           |         |      |
| Sąnaudos                       | 52,03    | l/100km   |         |      |
| CO2                            | 138399,2 | g/100km   | 1383,99 | g/km |
| Energija                       | 204,44   | kWh/100km |         |      |
| Degalų sąnaudų skirtumas, %    |          |           | 4,35    |      |
| Energijos sąnaudų skirtumas, % |          |           | 1,57    |      |

54 pav. Užmiesčio ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 100 %

| Mišrus ciklas                  |          |           |          |      |
|--------------------------------|----------|-----------|----------|------|
| Įprastas vilkikas              |          |           |          |      |
| Sąnaudos                       | 53,02    | l/100km   |          |      |
| CO2                            | 141046   | g/100km   | 1410,46  | g/km |
| Energija                       | 202,46   | kWh/100km |          |      |
| Hibridinis vilkikas            |          |           |          |      |
| Sąnaudos                       | 39,95    | l/100km   |          |      |
| CO2                            | 106259,9 | g/100km   | 1062,599 | g/km |
| Energija                       | 193,29   | kWh/100km |          |      |
| Degalų sąnaudų skirtumas, %    |          |           | 24,66    |      |
| Energijos sąnaudų skirtumas, % |          |           | 4,53     |      |

55 pav. Mišraus ciklo rezultatai, kai įkrovos lygis 100 %

Iš mišraus ciklo rezultatų galima matyti, kad ir čia hibridinis vilkikas pranašesnis už vilkiką varomą VDV. Hibridinė transporto priemonė pasižymi 24,66 % mažesnėmis emisijomis ir mažesnėmis degalų sąnaudomis, suvartoja 4,53 % mažiau energijos.

## 2.5. Europos važiavimo ciklo rezultatai

Tiriamąjame dalyje palygintos eurociklo važiavimo charakteristikos sunkiajam transportui su Scania P serijos vilkiku varomu hibridine pavara. Apskaičiuotos ir palygintos degalų bei energijos sąnaudos ir CO<sub>2</sub> emisijos važiuojant VDV pavara ir hibridine pavara. Skaičiuojant buvo sunku atsizvelgti į daugumą išorės veiksnių, todėl šie skaičiavimai yra teoriniai ir vietomis gali prasilenkti su praktinėmis charakteristikomis.

2.5 lentelė Įprasto vilkiko sąnaudų palyginimas su hibridiniu, esant skirtingiems įkrovos lygiams

|                                       | 4 miesto ciklai |              |             | Užmiėsčio ciklas |             |             | Mišrus ciklas |              |              |
|---------------------------------------|-----------------|--------------|-------------|------------------|-------------|-------------|---------------|--------------|--------------|
|                                       | 0%              | 50%          | 100%        | 0%               | 50%         | 100%        | 0%            | 50%          | 100%         |
| <b>Įprastas vilkikas</b>              |                 |              |             |                  |             |             |               |              |              |
| <b>Degalų sąnaudos, l/100km</b>       | 21,9            | 36,34        | 50,77       | 24,4             | 39,41       | 54,4        | 23,5          | 38,3         | 53           |
| <b>CO<sub>2</sub> emisijos, g/km</b>  | 582             | 966          | 1350        | 649,9            | 1048        | 1447        | 624           | 1017         | 1410         |
| <b>Energijos sąnaudos kWh/100km</b>   | 83,6            | 138,8        | 193,9       | 93,3             | 150,5       | 207,7       | 89,6          | 146          | 202          |
| <b>Hibridinis vilkikas</b>            |                 |              |             |                  |             |             |               |              |              |
| <b>Degalų sąnaudos, l/100km</b>       | 8,2             | 14,2         | 20,11       | 23,2             | 37,6        | 52          | 17,5          | 28,7         | 39,9         |
| <b>CO<sub>2</sub> emisijos, g/km</b>  | 218,1           | 376,5        | 534         | 616              | 1000        | 1383        | 465,8         | 764          | 1063         |
| <b>Energijos sąnaudos kWh/100km</b>   | 64,8            | 119,9        | 175         | 90               | 147,2       | 204,4       | 80,5          | 137          | 193          |
| <b>Degalų sąnaudų skirtumas, %</b>    | <b>62,57</b>    | <b>61,05</b> | <b>60,4</b> | <b>5,12</b>      | <b>4,59</b> | <b>4,35</b> | <b>25,41</b>  | <b>24,89</b> | <b>24,66</b> |
| <b>Energijos sąnaudų skirtumas, %</b> | <b>22,56</b>    | <b>13,6</b>  | <b>9,73</b> | <b>3,49</b>      | <b>2,16</b> | <b>1,57</b> | <b>10,22</b>  | <b>6,28</b>  | <b>4,53</b>  |

Atlikus skaičiavimus miesto ciklais gauta, jog hibridinis vilkikas, kai įkrovos lygis 0 % (važiuoja tuščias, be krovinių) sunaudoja 62,57 % mažiau degalų ir sumažina emisijas nuo 582 g/km iki 218 g/km bei stabdymo metu gali regeneruoti iki 22,5 % sunaudotos energijos. Kai transporto priemonės įkrovos lygis 50 %, hibridinis vilkikas pasižymi 61,05 % mažesnėmis emisijomis ir degalų sąnaudomis bei 13,6 % regeneruojama energija. Kai įkrovos lygis 100 %, hibridinis vilkikas pasižymi 60,4 % mažesnėmis degalų sąnaudomis ir mažesnėmis emisijomis. Taigi gaunama, kad, kai vilkiko įkrova pastoviai svyruojanti, hibridinis vilkikas gali pasižymėti 61,33 % mažesnėmis degalų sąnaudomis ir mažesnėmis emisijomis bei regeneracinio stabdymo metu atgauti 15,11 % energijos važiuojant mieste.

Užmiėsčio ciklais hibridinis transportas praranda savo pranašumus – čia šis, kai įkrovos lygis 0 %, gali sumažinti tik 5,12 % degalų sąnaudų ir emisijų, o stabdant gali atgauti iki 3,49 % sunaudotos energijos. Atitinkamai, įkrovai didėjant iki 50 %, didėja ir degalų suvartojimas, ir emisijų išmetamas kiekis. Vis dėl to, užmiestyje galima sutaupyti iki 4,59 % išlaidų degalams bei atgauti 2,16 % sunaudotos energijos kiekio. Esant pilnai pakrautam sunkiajam transportui galima sumažinti ir degalų sąnaudas, ir emisijas iki 4,35 % bei atgauti iki 1,57 % stabdymo energijos. Važiuojant užmiėsčio keliais ir esant įvairiems įkrovos lygiams, įmanomas emisijų ir degalų sunaudojimo sumažinimas iki 4,68 % bei įmanoma sugeneruoti iki 2,4 % sunaudotos energijos.

Važiuojant ir miesto, ir užmiesčio keliais t.y. mišriu ciklu bei esant įvairiems įkrovos lygiams, hibridiniu vilkiku galima sumažinti degalų sąnaudas, aplinkos taršą iki 24,99 %. Regeneracinio stabdymo metu atgauti iki 7 % išnaudotos energijos.

Vis dėlto, skaičiavimai parodė, kad hibridinis transportas pranašesnis miesto režimu. Lyginant su įprasto vilkiko važiavimo režimu, hibridinis suvaratoja mažiau degalų bei išskiria mažiau CO<sub>2</sub> emisijų. Taip yra dėl to, kad miesto režimu vidaus degimo variklis dirba trumpiau. Mieste hibridiniai vilkikai yra varomi elektros varikliu ilgiau, o vidaus degimo variklis įsijungia tik įsibėgėjant didesniu greičiu. Hibridiniai vilkikai taip pat taupesni ir energiniu atžvilgiu. Važiavimas mieste dažnai stabdoma, todėl elektros variklis veikia generatoriaus režimu ir padeda regeneruoti dalį kinetinės stabdymo energijos.

Lyginant rezultatus su užmiesčio ciklu matoma, kad kuo daugiau hibridinis vilkikas juda užmiestyje, tuo daugiau mažėja jo pranašumas prieš „tradicinį“ degalais varomą sunkųjį transportą. Užmiestyje dyzelinio ir hibridinio vilkiko charakteristikos supanašėja, o, įvertinus išorės veiksnius, gali ir pralenkti įprastą vilkiką degalų sąnaudomis.

## 2.6. Skaičiavimų palyginimas su kitų autorių darbais

P. Benoliel, D. Kim, T. H. Lee, J. W. Park ir J. Hong, moksliniame darbe analizuota daugiafunkcinė transporto priemonė, kurios simuliacinis važiavimo (UDDS) ciklas yra iki 130 km/h įveikiant įkalnes ir nuokalnes. Tyrimo metu atlikti ir įprastos ir hibridinės TP simuliaciniai važiavimai, kai abiejų TP masės (4500 kg) vienodos, rezultatų palyginimui. Simuliacinių bandymo metu gauta, jog hibridinė TP pagal važiavimo ciklą – pranašesnė 53 % degalų sunaudojimo atžvilgiu, tokiais pačiais važiavimo parametrais [30].

Lyginti atliktus tyrimus yra netikslinga, kadangi ir važiavimo ciklai ir TP paskirtys – skirtingos, o tiriamųjų TP masės skiriasi 2,5 karto. Tačiau, galima įžvelgti, kad hibridinės už „senos“ kartos TP yra pranašesnės 1,5 karto.

Z. Gao, Z. Lin ir O. Franzese moksliniame darbe tirtas hibridinis transportas skirtas paskirstyti krovinius miesto ir užmiesčio teritorijose. Moksliniai tyrimai atlikti remiantis 1 metų surinktais krovinių vežimo duomenimis iš JAV, Knoxvilio, Tennesio valstijos, kai TP įkrovos (krovinio masės) lygis 50 %. Skaičiavimai atlikti remiantis traukos galios reikalaujama galia, kuri apskaičiuota pagal riedėjimo pasipriešinimo, aerodinaminies, inercijos jėgas ir pavarų naudingumus. Tyrimuose gauta, kad hibridinis vilkikas važiuodamas miesto sąlygomis sunaudoja 1,89 kWh/mylią (3,02 kWh/km) energijos, o tai yra 15 % mažiau už įprastą vilkiką. Miesto ir užmiesčio važiavimo sąlygomis hibridas gali sutaupyti regeneracinio stabdymo metu iki 19 % visos sunaudotos energijos [31]

Lyginant atliktus tyrimus galima pastebėti, jog tiek atliktame šiame tyrime, tiek Gao, Lin ir Franzese tyrimuose, skaičiavimo metodikos – vienodos, tačiau pasirinkti skirtingi važiavimo duomenys. Mokslininkų tyrimuose nenurodyta, koks kelias, kokios įkalnės, nuokalnės, kiek laiko užtrunkama greitėjant, lėtėjant ar stovint. Tačiau galima įžvelgti, kad abejuose tyrimuose hibridinis transportas mieste – pranašesnis, čia tiek mokslininkų tyrimuose šis pasižymi 15% mažesnėmis energijos sąnaudomis, tiek šiame tyrime pasižymi 13,6 % mažesnėmis sąnaudomis. O mišriu ciklu, mokslininkų tyrimuose 19 %, šiame 6,28 % mažesnėmis energijos sąnaudomis. Tyrimų rezultatai pagal sunaudotą energijos kiekį skiriasi 1,4 % mieste ir 12,72 %.

Kaip galima pastebėti, miesto sąlygomis hibridinių vilkikų rezultatai – labai panašūs, o mišriu važiavimo ciklu, gauti rezultatai skiriasi beveik 13 %, kaip jau buvo minėta, nenurodyta koks – naudojamas kelio ruožas, tačiau galima pastebėti, kad tiek kitų autorių darbe, tiek šiame, hibridinis transportas rodo savo privalumus.

Vokietijos mokslininkai: M. Rupp, S. Schulze ir I. Kuperjans atliko hibridinių vilkikų palyginimą su įprastais vilkikais užmiesčio važiavimo režimu pagal sudarytą realaus važiavimo ciklą. Skaičiavimo metodika tokia pati kaip ir pas kitus mokslininkus, rėmėsi reikalaujama traukos jėga, o naudojimo laikotarpį išlaiko 8 metus arba 1.040.000 km. Nustatė, jog 40 tonų vilkikas važiuodamas užmiesčiu pagal sudarytą ciklą, gali sutaupyti iki 6,2 % degalų sąnaudų [32].

Lyginant atliktus tyrimus, tiek vokietijos mokslininkų, tiek šiame darbe atliktus (29 tonų hibridinis vilkikas gali sutaupyti iki 4,53 % degalų sąnaudų), tyrimus galima pastebėti, jog užmiesčio sąlygomis pagal apskaičiuotus duomenis gaunami apylygiai rezultatai, dėl vokietijos mokslininkų tyrime taikytų skirtingų važiavimo kelių (kelias su įkalnėmis ir nuokalnėmis). Tyrimų rezultatai skiriasi 1,67 %

Švedijos mokslininkai L. Johannesson, N. Murgovski, E. Jonasson, J. Hellgren ir B. Egardt atliko tolimųjų reisų, sunkiųjų transporto priemonių, energijos sąnaudų tyrimą su hibridiniais vilkikais, kurių bendra masė su kroviniu, 40 tonų. Tyrimo metu remtasi realaus kelio ruožu esančiu tarp Frankfurto ir Koblenzo miestu. Sudarytas važiavimo ciklas apima 2,5 km ruožą su įkalnėmis ir nuokalnėmis. Skaičiavimai atlikti remiantis reikalinga sumine traukos jėga įveikti maršrutui. Tyrimo metu nustatyta, kad hibridinis vilkikas užmiesčio sąlygomis pasižymi 5 % mažesnėmis degalų sąnaudomis už įprastą vilkiką.

Lyginant švedijos mokslininkų tyrimą su šiame darbe atliktu EUDC ciklo tyrimu. Pastebima, kad užmiesčio važiavimo rezultatai atitinka abejuose darbuose (čia gauta 4,35 % mažesnes degalų sąnaudas, kai įkrovos lygis 100 %. Tyrimų rezultatai skiriasi tik 0,65 %.

Jei vilkikuose, kaip „Scania“ „PHEV“ naudojamos 90 kWh akumuliatorių baterijos, su 0 % transporto priemonės krovinio įkrovos lygiu mieste galima nuvažiuoti iki 138 km, užmiestyje iki 99,7 km, o, važiuojant ir mieste, ir užmiestyje – iki 111 km atstumą. Vilkikui esant pilnai pakrautam, mieste galima nuvažiuoti 51,4 km, užmiestyje 44,5 km, o mišriai 46,5 km atstumą. Visgi vilkikai retai būna pilnai pakrauti iki maksimalios leidžiamos masės ir retai važiuoja tušti, todėl, atlikus skaičiavimus, kai transporto priemonės įkrovos lygis vidutinis, gauta, kad miesto ciklu, vilkikas gali nuvažiuoti iki 75,1 km, užmiesčio ciklu iki 61,1 km, o ir miestu, ir užmiesčiu iki 65,75 km atstumą. Privalu pastebėti, kad skaičiavimai atliekami, kai transporto priemonė keliais juda be įkalnių ir nuoklanių ir neatsižvelgiant į naudojamas padangas, transmisijos naudingumą, kelio dangą bei kitus veiksnius.

Daroma išvada, kad hibridinės jėgainės labiau tinka miesto teritorijose t.y. važiuojant trumpus atstumus. Tokiu atveju galima sutaupyti beveik dvigubai daugiau degalų ir sumažinti emisijas.

„Scania“ oficialiuose pranešimuose teigiama, kad „PHEV“ vilkikas, veikdamas vien elektros režimu, gali nuvažiuoti iki 60 km atstumą, tačiau nenurodoma kokiomis sąlygomis šis atstumas gali būti įveiktas - važiuojant tiesiu keliu, vidutiniu greičiu ar miesto ciklu greitėjant, stabdant bei kurį laiką eismui stovint.

## Išvados

1. Išanalizavus sunkiasvorių hibridinių transporto priemonių, hibridines pavaras, nustatyta, kad elektrinė jėginė pavara turi apimti ~ 90 % viso miesto važiavimo ciklo, o esant dideliems greičiams (užmiesčio važiavimo cikle) ir įsibėgėjimams (pagreičiams), elektros variklio darbą turi perimti VDV. Vilkikuose taikant hibridines pavaras, važiavimams mieste, galima sutaupyti iki 62 % degalų sąnaudų.
2. Energijos sąnaudų nustatymo metodika sudaryta remiantis vilkiko reikalaujama traukos jėga važiavimo maršrutui įveikti. Traukos jėga randama kiekvieną važiavimo sekundę, pagal greitį ir pagreitį, iš apskaičiuotų oro pasipriešinimo, riedėjimo pasipriešinimo ir inercijos jėgų sumų.
3. Atlikus skaičiavimus pagal ECE15, EUDC ir NEDC važiavimo ciklus nustatyta, kad vilkikus su hibridinėmis pavaromis efektyviausia naudoti miesto sąlygomis, sunkvežimių efektyvumą padidina, esant 0 % įkrovos lygiui, 22,5 % energijos sunaudojamu kiekiu ir 62,5 % mažesnėmis degalų sąnaudomis, kai įkrovos lygis 50 % iki 13,6 % energijos sąnaudų atžvilgiu, o degalų sutaupoma iki 61 %. Esant transporto priemonei su 100 % įkrova, efektyvumas padidėja 9,7 % energijos sunaudojamu kiekiu ir 60,4 % mažesnėmis degalų sąnaudomis.

Užmiesčio sąlygomis, hibridiniai vilkikai praranda pranašumus, kai transporto priemonė be krovinio, pasižymi 3,5 % mažesnėmis energijos ir 5,1 % degalų sąnaudomis. Didėjant įkrovai iki 50 % efektyvumas mažėja ir gali sumažinti 2,2 % energijos ir 4,6 % degalų sąnaudas. Esant 100 % sunkvežimio krovos lygiui, energijos sąnaudos hibridiniu vilkiku sumažėja 1,6 %, o degalų gali sutaupyti iki 4,35 %.

Miesto ir užmiesčio sąlygomis hibridas su nuosava mase pasižymi 10,2 % mažesnėmis energijos ir 25,4 % degalų sąnaudomis. Kai įkrovos lygis didėja iki 50 %, energijos sąnaudos mažesnės 6,3 %, o degalų sąnaudos mažėja 24,9 %. Didėjant įkrovos lygiui iki 100 %, hibridinis vilkikas už įprastą pasižymi 4,5 % mažesnėmis energijos sąnaudomis ir 24,6 % mažesnėmis degalų sąnaudomis.

4. Atlikus tiriamųjų darbų palyginimus, nustatyta, kad visuose darbuose skaičiavimo metodikos – vienodos, remtasi važiavimo ciklu ir reikalaujama sumine traukos jėga (suminę traukos jėgą sudaro: riedėjimo pasipriešinimo, oro pasipriešinimo ir inercijos jėgos) tam maršrutui įveikti. Tačiau visuose darbuose taikyti skirtingi važiavimo ciklai bei įvedant skirtingus kintamuosius (įkalnes, nuokalnes, traukos jėginių darbo režimus) ir kai kur atsižvelgiant į traukos elementų naudingumo koeficientus. Atlikus skaičiavimo rezultatų palyginimus, nustatyta, kad hibridinis transportas, su maksimalia leidžiama mase, mieste, esant skirtingiems maršrutams, yra 13,6 – 15 % pranašesnis mažesnėmis energijos sąnaudomis už įprastus vilkikus. Užmiesčio važiavimo ciklais pilnai pakrautas hibridinis vilkikas gali sutaupyti tarp 4,5 ir 6,2 % degalų sąnaudų. O mišriu (miestu ir užmiesčiu) ciklu gali sutaupyti tarp 6,3 ir 19 % energijos sąnaudų esant skirtingiems maršrutams. Tyrimų rezultatai pagal sunaudotą energijos kiekį mieste skiriasi 1,4 %, o užmiestyje 12,72 %. Degalų sąnaudų užmiestyje rezultatai skiriasi tik 0,65 ir 1,67 %.

## Literatūros sąrašas

1. *Biodegalai* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-06-13]. Prieiga per: <https://www.britannica.com/technology/biofuel> [Žiūrėta 2020 06 13].
2. *Specifinės degalų sąnaudos* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-04-12]. Prieiga per: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/specific-fuel-consumption>
3. *Emisija* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-04-14]. Prieiga per: <http://www.vlkk.lt/konsultacijos/834-emisija>
4. *Sukimo momentas* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-05-02]. Prieiga per: <https://www.britannica.com/science/torque>
5. *Transmisija* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-05-03]. Prieiga per: <https://www.lietuviuzodynas.lt/terminai/Transmisija>
6. *Ciklas* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-05-06]. Prieiga per: <https://www.lietuviuzodynas.lt/terminai/Ciklas>
7. *Energija sunkvežimiui – elektra varomų komercinių transporto priemonių istorija* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-02-14]. Prieiga per: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Power-to-the-truck--the-history-of-electrically-driven-commercial-vehicles.xhtml?oid=13034029>
8. „Daimler AG“ gamykla Berlyne [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-16]. Prieiga per: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/picture.xhtml?oid=7572241>
9. Mercedes-Benz „OE 302“ bandomasis autobusas [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-16]. Prieiga per: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/picture.xhtml?rs=1&ls=L2VuL2luc3Rhb mNIL2tvLnhodG1sP29pZD05MjcyMDk4JnJlbElkPTEwMDEmZnJvbU9pZD05MjcyMDk4Jm JvcmlcnM9dHJlZSZyZXN1bHRJbmZvVHlwZUlKPTE3MiZ2aWV3VHlwZT10aHVtYnMm c29ydERlZmluaXRpb249UFVCTEITSEVEX0FULTImdGh1bWJTY2FsZUluZGV4PTAmcm9 3Q291bnRzSW5kZXg9NSZmcm9tSW5mb1R5cGVJZD00MDYyNw!!&oid=7421326>
10. Mercedes-Benz „NeBus“ [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-11-12]. Prieiga per: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/picture.xhtml?oid=7429882>.
11. EUROPOS KOMISIJA. *Sunkiųjų transporto priemonių išmetamo CO<sub>2</sub> kiekio mažinimas* [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-04-29]. Prieiga per: [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en).
12. *DAF hibridinių ir elektrinių sunkvežimių pristatymas* [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-06-17]. Prieiga per: <https://www.greencarcongress.com/2018/09/20180927-daf.html>.
13. „DAF LF“ elektrinis vilkikas [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-17]. Prieiga per: <https://bioage.typepad.com/.a/6a00d8341c4fbe53ef022ad3946ac4200d-popup>.
14. *DAF elektriniai ir hibridiniai vilkikai* [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-06-18]. Prieiga per: <https://www.daf.com/en/about-daf/innovation/electric-and-hybrid-trucks>.
15. *DAF elektrinio vilkiko pavaros schema* [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-18]. Prieiga per: <https://bioage.typepad.com/.a/6a00d8341c4fbe53ef022ad3b407a3200b-popup>.
16. „DAF LF“ jėgos pavaros bendras vaizdas vilkike [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-19]. Prieiga per: <https://www.daf.com/-/media/images/press-releases/exhibitions-and-events/2018/05-daf-lf-electric-ghostview>.
17. „DAF CF“ elektrinis vilkikas [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-19]. Prieiga per: <https://bioage.typepad.com/.a/6a00d8341c4fbe53ef022ad36e4107200c-popup>.



18. „DAF CF“ hibridinė pavara [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-19]. Prieiga per: <https://www.daf.global/-/media/images/press-releases/exhibitions-and-events/2018/13-daf-cf-hybrid-driveline>.
19. DAF vilkikų techniniai duomenys [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020—06-20]. Prieiga per: <https://www.daf.global/en-us/trucks/daf-xf#downloads>.
20. DAF XF metų vilkikas [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-06-20]. Prieiga per: <https://www.daf.com/en/news-and-media/news-articles/global/2018/q2/01-06-2018-daf-xf-awarded-polish-truck-of-the-year-2018>.
21. „Traxon“ automatinės pavarų dėžės [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-04-22]. Prieiga per: [http://centrako.lt/images/pdf/13\\_DAF\\_TraXon\\_EN.pdf](http://centrako.lt/images/pdf/13_DAF_TraXon_EN.pdf)
22. DAF XF hibridinis vilkikas [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-03-12]. Prieiga per: <https://ecochamps.eu/heavy-tractor-demonstrator-daf-xf/>
23. DAF XF hibridinė pavara [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-06-16]. Prieiga per: <https://ecochamps.eu/heavy-tractor-daf-xf/>.
24. Zhang, Zhongliang & Chen, Jie & Wu, Bofu. (2012). The control strategy of optimal brake energy recovery for a parallel hydraulic hybrid vehicle. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 226. 1445-1453. 10.1177/0954407012445977.
25. „Mercedes-Benz EActros“ vilkikas [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-21]. Prieiga per: [https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/trucks/mercedes-benz-eactros-sustainable-fully-electric-and-quiet/\\_jcr\\_content/root/slider\\_6/sliderchilditems/slideritem\\_0/image/MQ7-0-image-20190114122113/04-mercedes-benz-trucks-eactros-3400x1440](https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/trucks/mercedes-benz-eactros-sustainable-fully-electric-and-quiet/_jcr_content/root/slider_6/sliderchilditems/slideritem_0/image/MQ7-0-image-20190114122113/04-mercedes-benz-trucks-eactros-3400x1440).
26. „Mercedes-Benz“ elektrinis vilkikas [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-06-21]. Prieiga per: <https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/trucks/eactros-heavy-duty-electric-truck/>.
27. „Mercedes-Benz“ elektrinis vilkikas [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-06-22]. Prieiga per: <https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/trucks/mercedes-benz-eactros-sustainable-fully-electric-and-quiet/>
28. „Mercedes-Benz“ progresas [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-06-23]. Prieiga per: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Progress-report-from-Mercedes-Benz-Trucks-eActros-electric-truck-successfully-tested-by-customers-for-over-a-year.xhtml?oid=44842543>.
29. M. Naumanen, T. Uusitalo, E. Huttunen-Saarivirta, R. van der Have, Development strategies for heavy duty electric battery vehicles: Comparison between China, EU, Japan and USA, Resources, Conservation and Recycling, Volume 151, 2019, 104413, ISSN 0921-3449
30. D. Kim, P. Benoliel, D. Kim, T. H. Lee, J. W. Park and J. Hong, "Framework Development of Series Hybrid Powertrain Design for Heavy-Duty Vehicle Considering Driving Conditions," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 7, pp. 6468-6480, July 2019, doi: 10.1109/TVT.2019.2914868.
31. Gao, Zhiming & Lin, Zhenhong & Franzese, Oscar. (2017). Energy Consumption and Cost Savings of Truck Electrification for Heavy-Duty Vehicle Applications. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2628. 99-109. 10.3141/2628-11.
32. Gao, Zhiming & Lin, Zhenhong & Laclair, Tim & Liu, Changzhen & Li, Jan-Mou & Birky, Alicia & Ward, Jacob. (2017). Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. Energy. 122. 588-600. 10.1016/j.energy.2017.01.101.

33. Rupp, Matthias & Schulze, Sven & Kuperjans, Isabel. (2018). Comparative Life Cycle Analysis of Conventional and Hybrid Heavy-Duty Trucks. *World Electric Vehicle Journal*. 9. 33. 10.3390/wevj9020033
34. Johannesson Mardh, Lars & Murgovski, Nikolce & Jonasson, Erik & Hellgren, Jonas & Egardt, Bo. (2015). Predictive energy management of hybrid long-haul trucks. *Control Engineering Practice*. 41. 10.1016/j.conengprac.2015.04.014.
35. Sean Bennett. *Medium/Heavy Duty Truck Engines, Fuel & Computerized Management Systems, 6th Edition*. CENGAGE, 2020, pp. 1184. ISBN 9780357358542.
36. „Volvo“ vilkiko elektrinis variklis [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-25] Prieiga per: [https://www.volvotrucks.lt/lt-lt/trucks/trucks/volvo-fe/volvo-fe-electric/\\_jcr\\_content/root/responsivegrid/columncontrol/parsys1/image.coreimg.jpeg/1580924211734/volvo-trucks-fe-two-electric-engines](https://www.volvotrucks.lt/lt-lt/trucks/trucks/volvo-fe/volvo-fe-electric/_jcr_content/root/responsivegrid/columncontrol/parsys1/image.coreimg.jpeg/1580924211734/volvo-trucks-fe-two-electric-engines).
37. Inverterio ir elektros variklio jungimas [Paveikslas]. [Žiūrėta 2020-06-25]. Prieiga per: [https://468y981o84o43v2wo2600a0gcj-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/10/UQM-Powerphase-HD2\\_System\\_2017-Jun-28\\_02-18-31PM-000\\_CustomizedView16578484138\\_scooched-copy](https://468y981o84o43v2wo2600a0gcj-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/10/UQM-Powerphase-HD2_System_2017-Jun-28_02-18-31PM-000_CustomizedView16578484138_scooched-copy).
38. „Bosch“ „Eaxle“ pavara [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-05-12]. Prieiga per: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/electric-motors/eaxle/>.
39. EUROPOS AUDITO RŪMAI. Socialioji ataskaita. *Oro tarša. Mūsų sveikata vis dar nepakankamai apsaugota* [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-04-21] Prieiga per: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/lt/>.
40. Kulikov I, Kozlov A, Terenchenko A, Karpukhin K. Comparative Study of Powertrain Hybridization for Heavy-Duty Vehicles Equipped with Diesel and Gas Engines. *Energies*. 2020; 13(8):2072. <https://doi.org/10.3390/en13082072>
41. „Scania PHEV“ vilkikas [Paveikslas]. [Žiūrėta 2021-01-16]. Prieiga per: <https://www.electrive.com/wp-content/uploads/2020/11/scania-25-p-e-lkw-electric-truck-2020-01-min.png>
42. „Scania“ hibridinio vilkiko specifikacija [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-01-16]. Prieiga per: <https://mb.cision.com/Main/209/3193678/1306412.pdf> ziureta 2021-01-16
43. „Scania“ P serijos vilkikai [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-01-16]. Prieiga per: <https://www.scania.com/group/en/home/products-and-services/trucks/p-series.html>.
44. „Scania“ L serijos vilkikai [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-01-16]. Prieiga per: <https://www.scania.com/group/en/home/products-and-services/trucks/l-series.html>
45. „Scania PHEV“ hibridinis vilkikas [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-01-16]. Prieiga per: <https://www.scania.com/group/en/home/products-and-services/trucks/plug-in-hybrid-truck.html>.
46. „SCANIA“ vidaus degimo variklių specifikacijos [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-01-16]. Prieiga per: [https://www.scania.com/content/dam/scanianoe/market/master/products-and-services/engines/pdf/specs/industry/DC985A\\_243kW\\_SCR](https://www.scania.com/content/dam/scanianoe/market/master/products-and-services/engines/pdf/specs/industry/DC985A_243kW_SCR).
47. „SCANIA“ elektrinių sunkvežimių nuvažiuojami atstumai [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-01-16]. Prieiga per: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/press-releases/press-release-detail-page.html/3768719-milestone-in-scania-s-electrification---introduces-first-commercial-electric-truck-range>.
48. *Europos važiavimo ciklai* [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-01-18]. Prieiga per: [https://dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)

49. <https://media.sandhills.com/img.axd?id=4038749617&wid=0&rw1=False&p=&ext=.jpg&w=0&h=0&t=&lp=&c=True&wt=False&sz=Max&rt=0&checksum=CPFSEyBPE9sVzp7qf9nIX%2B5i3al1c281> žiūrėta 2021-01-17
50. John B. Heywood. Internal Combustion Engine Fundamentals, Second Edition (McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2018) ISBN: 9781260116106. Prieiga per: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260116106>
51. Jungtinių valstijų aplinkos apsaugos agentūra. *Vidutinis anglies dioksido išmetamas kiekis iš benzino ir dyzelimo* [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2021-04-02]. Prieiga per: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1001YTF.PDF?Dockey=P1001YTF.PDF>