



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Gediminas Narbutas**

**HIBRIDINIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ VARIKLIŲ**  
**VALDYMO SISTEMOS KŪRIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. dr. Mindaugas Vaitkūnas

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKO FAKULTETAS**  
**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**HIBRIDINIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ VARIKLIŲ  
VALDYMO SISTEMOS KŪRIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Valdymo technologijos (621H66001)

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Mindaugas Vaitkūnas  
(data)

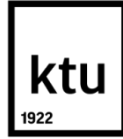
**Recenzentas**

(parašas)  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Gediminas Narbutas  
(data)

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Gediminas Narbutas

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos (621H66001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto

„Hibridinių transporto priemonių variklių valdymo sistemos kūrimas ir tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Gedimino Narbuto**, baigiamasis projektas tema „Hibridinių transporto priemonių variklių valdymo sistemos kūrimas ir tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Narbutas, G. Hibridinių transporto priemonių variklių valdymo sistemos kūrimas ir tyrimas. Magistro laipsnio baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Mindaugas Vaitkūnas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2015. 54 psl.

## SANTRAUKA

Šio darbo tikslas – sukurti ir ištirti prijungiamų hibridinių elektrinių transporto priemonių variklių valdymo sistemą. Sistema orientuota į komercinius lengvuosius krovininius sunkvežimius.

Variklių valdymo sistemos algoritmas buvo kuriamas taip, kad elektros ir vidaus degimo variklių sukuriama energija būtų kuo efektyviau perduodama į varančiuosius ratus. Sistema gali veikti 3 hibridiniais režimais, kombinuojant vidaus degimo ir elektros variklių darbą – taupymo, krovimo ir hibridiniu, bei elektriniu režimu – veikiant vien tik elektros varikliui, arba sistemą galima išjungti – lieka veikti tik vidaus degimo variklis.

Sistemos realizavimui parinktas Microchip PIC18F4680 mikrovaldiklis, turintis CAN sąsają, reikalingą duomenų apsikeitimui tarp sistemos ir originalių transporto priemonės komponentų. Mikrovaldikliui programuoti buvo naudota „MPLAB X“ aplinka, programos kodą realizuojant C kalba. Sukurtoji sistema įdiegta Iveco „Daily“ sunkvežimyje ir išbandyta realiomis sąlygomis, važiuojant miesto ir užmiesčio sąlygomis. Išanalizuoti gauti rezultatai ir pateikiamos išvados.

*Reikšminiai žodžiai: prijungiama hibridinė elektrinė transporto priemonė, valdymo sistemos algoritmas.*

Narbutas, Gediminas. Development and research on drivetrain control system for hybrid vehicles. Final project of master's degree / supervisor Assoc. Dr. Mindaugas Vaitkūnas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electric Power Systems.

Kaunas, 2015. 54 p.

## **SUMMARY**

The aim of this work is to develop and research drivetrain control system for plug-in hybrid electric vehicle. System is oriented for lightweight commercial trucks.

Engines management system's algorithm was developed to achieve the most efficient transfer of electric motor and internal combustion engine's created power to drivetrain. Combining operation of internal combustion engine and electric motor, system can operate in 3 hybrid modes: save, charge and hybrid, while in electric mode, only electric motor is operational, or system can be deactivated – only internal combustion engine is operational.

Microchip's PIC18F4680 microcontroller, with embedded CAN bus, that is used for data exchange between system's and vehicle's original components, is selected for system implementation. Microcontroller is programmed by using C language's code compiled in "MPLAB X" environment. The developed system was installed on Iveco "Daily" truck and tested under realistic urban and sub-urban conditions. The results obtained are analyzed and conclusions presented.

*Keywords: Plug-in Hybrid Electric Vehicle, system's management algorithm.*

## TURINYS

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS .....	8
ĮVADAS .....	9
1. HETP VALDYMO SISTEMŲ APŽVALGA.....	11
1.1 Atsinaujinantis transportavimas .....	11
1.2 Hibridinių elektrinių transporto priemonių tipai .....	12
1.2.1 Nuoseklios struktūros HETP veikimo režimai .....	13
1.2.2 Lygiagrečios struktūros HETP veikimo režimai .....	14
1.2.3 Prijungiama HETP.....	15
1.3 PHETP sistemų apžvalga .....	16
1.3.1 Brusa sistema .....	17
1.3.2 Odyne sistema .....	18
1.3.3 EDI-Drive ir kitos sistemos .....	19
1.4 Reikalavimai kuriamai sistemai .....	19
2. SISTEMOS VALDYMO ALGORITMO KŪRIMAS.....	22
2.1 Sistemos koncepcija.....	22
2.2 Sistemos darbo režimų algoritmai.....	24
2.2.1 Elektrinis režimas .....	24
2.2.2 Hibridinis režimas .....	25
2.2.3 Taupymo režimas.....	27
2.2.4 Krovimo režimas .....	29
2.2.5 Sistema išjungta.....	30
2.3 Sistemos komponentų parinkimas .....	31
3. SISTEMOS TYRIMAI .....	32
3.1 NEDC tyrimo metodika .....	32
3.1.1 Važiavimas mieste .....	32
3.1.2 Važiavimas užmiestyje.....	33
3.1.3 Kombinuotas važiavimas.....	33
3.2 Sistemos tyrimas pagal NEDC.....	34
3.3 Elektros energijos sąnaudų ir regeneracijos tyrimas važiuojant elektriniu režimu .....	39
3.4 Dyzelinio kuro suvartojimo ir sistemos efektyvumo tyrimas .....	41
3.4.1 Dyzelinio ir elektros variklių galios perdavimo efektyvumo palyginimas.....	43
3.4.2 Išmetamųjų dujų emisijos pokytis.....	44
3.5 Ekonominis atsiperkamumas.....	44
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI .....	47
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SARAŠAS.....	49
PRIEDAI .....	51

<i>Priedas 1. Akumuliatorių specifikacija .....</i>	<i>51</i>
<i>Priedas 2. Elektros variklio specifikacija.....</i>	<i>52</i>
<i>Priedas 3. EDS-90 elektros variklio valdiklio specifikacija.....</i>	<i>53</i>
<i>Priedas 4. iPHEV sistemoje naudojamo įkroviklio specifikacija.....</i>	<i>54</i>

## SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

PHETP (angl. *PHEV*) – prijungiama hibridinė elektrinė transporto priemonė (angl. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*).

HETP (angl. *HEV*) – hibridinė elektrinė transporto priemonė (angl. *Hybrid Electric Vehicle*).

VDV – vidaus degimo variklis.

AĮL (angl. *SOC*) – akumuliatorių įkrovos lygis (angl. *State Of Charge*).

CAN (angl. *Controlled Area Network*) – automobilio valdiklių ir elektronikos komponentų tarpusavio komunikacijos standartas.

NEDC (angl. *New European Driving Cycle*) – naujasis Europinis vairavimo ciklas.



## IVADAS

Priklausomybė nuo kitų šalių naftos ar dujų išteklių, kylančios kuro kainos, užterštumas, klimato pokyčių poveikis ir padidėjęs žmonijos susidomėjimas energijos taupymo svarba skatina vyriausybės visame pasaulyje daugiau dėmesio skirti energijos iš atsinaujinančių šaltinių įsisavinimui. Didėjančiam energijos poreikiui, užterštumui ir su juo susijusioms problemoms didelę įtaką turi automobiliai. Dėl to, didelis dėmesys buvo skirtas inovatyvioms sistemoms ir technologijoms, kurios pakeistų iškastinį kurą švaresniu, pavyzdžiui elektra.

Hibridinių transporto priemonių paklausos didėjimą sukėlė ne vien aplinkosauginiai įstatymai ar reglamentai, mažinantys kenksmingų išmetamųjų dujų kiekius transporto priemonėse, bet ir didėjantis energijos poreikis ir gamtinių išteklių mažėjimas, sąlygojantis didėjančias transportavimo kainas. Per pastarąjį dešimtmetį susidomėjimas prijungiamomis hibridinėmis elektrinėmis transporto priemonėmis (PHETP) žymiai išaugo dėl jų energinio efektyvumo, patogumo naudoti, nebrangių pakrovimo kaštų ir mažesnių degalų sąnaudų.

PHETP skiriasi nuo hibridinių elektrinių transporto priemonių (HETP) tuo, kad ją galima prijungti prie vietinio elektros tinklo ir pakrauti joje esančias baterijas. Pagrindinis HETP minusas yra tas, kad jas valdančios sistemos pirmiausiai stengiasi išnaudoti kuo daugiau baterijose sukauptos energijos, nepriklausomai nuo vairavimo stiliaus ar geografinės padėties.

Svarbiausia PHETP sudėtinė dalis yra energijos valdymo sistema ir kaip ji atsiliepia bendram transporto priemonės veikimui. Lyginant su paprastomis HETP, PHETP valdymo sistemos realizavimą apsunkina tai, jog į ją turi įeiti galimybė važiuoti naudojant vien tik elektros energiją ir baterijų pakrovimas iš išorinių šaltinių ar įrenginių.

Šio darbo metu bus kuriama krovininės PHETP varikliams perduodamos energijos valdymo sistema, kuri efektyviai išnaudotų visą transporto priemonėje esančią energiją ir sumažintų taršą tokiose vietose, kur automobilių srautai yra didžiausi, kaip, pavyzdžiui, miestų centrai.

Darbo tikslas – sukurti ir iširti prijungiamos hibridinės elektrinės transporto priemonės variklių valdymo sistemą.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti literatūrą apie egzistuojančių hibridinių transporto priemonių tipus ir jų vystymosi tendencijas.

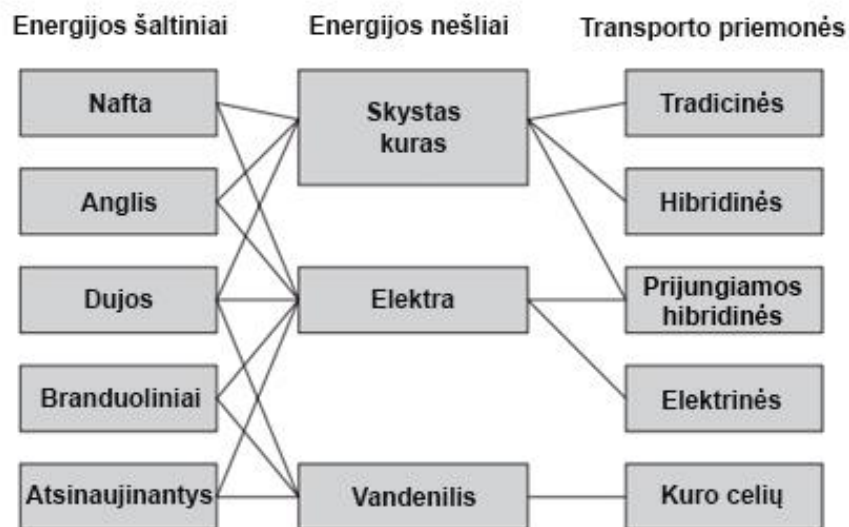
2. Išanalizuoti šiuo metu egzistuojančias krovinių hibridinių transporto priemonių traukos ir valdymo sistemas.
3. Suformuluoti tolimesnių tyrimų uždavinius ir pasiūlyti kuriamos valdymo sistemos struktūrą.
4. Sukurti valdymo sistemos (programos) algoritmą ir jį realizuoti mikroprocesoriuje.
5. Iširti sistemos efektyvumą kuro ir elektros energijos sąnaudoms.

# 1. HETP VALDYMO SISTEMŲ APŽVALGA

Dabartinis privataus transportavimo sistemos modelis yra pasmerktas žlugti, nes Žemė turi ribotus iškastinio kuro kiekius, kurie šiuo metu aprūpina 97% energijos, reikalingos transportavimui [1]. Siekiant suprasti, kaip atsinaujinantis transportavimas gali būti įgyvendintas, būtina suprasti, kaip energija gali būti išgauta ir kokia energija varomos transporto priemonės.

## 1.1 Atsinaujinantis transportavimas

Žmonijai prieinami energijos šaltiniai gali būti suskirstyti į 3 kategorijas: atsinaujinantys energijos šaltiniai, iškastinio kuro neatsinaujinantys, ir branduolinės energijos šaltiniai. Atsinaujinančią energiją sudaro iš vandens, saulės, vėjo, geoterminių, biomasės ir pan. Šaltinių gaunama energija. Neatsinaujanti energija gaunama iš anglies, naftos ir natūralių dujų. Branduolinė energija, nors jos ir yra daug, tačiau ši energija nėra atsinaujinanti, nes urano ir kitų radioaktyvių medžiagų resursai Žemėje yra taip pat riboti. Taip pat reikėtų pridėti branduolinės energijos gavybai reikalinga ypatingai didelė sauga ir atsargumas, o branduolinių atliekų perdirbimas užima labai ilgą laiko tarpą.



1.1 pav. Transporto priemonių kuro naudojimas

1.1 paveiksle pateikta kaip energija iš skirtingų šaltinių, patenka į transporto priemones, naudojantis skirtingais jos perdavimo būdais. Tradicinės benzinu / dyzelinu varomos transporto priemonės yra priklausomos nuo skysto kuro, kuris gali būti gaunamas tiktais iš iškastinio kuro. HETP, nors ir yra efektyvesnės ir suvartoja palyginti mažiau degalų nei įprasti automobiliai, taipogi priklauso nuo iškastinio kuro, kaip pagrindinio energijos šaltinio. Todėl įprastiniai automobiliai ir HETP negali priklausyti atsinaujinančiam transportui. Elektromobiliai ir kuro celiams varomos transporto priemonės pasikliauja atitinkamai elektra ir vandeniliu sukuriama

energija. Tiek elektra, tiek vandenilis gali būti išgaunami iš atsinaujinančių energijos šaltinių, todėl jais varomas transporto priemonės galima priskirti atsinaujinančiam transportui, savaime suprantama, jeigu energija gauta iš jų. Nors PHETP, negalima visiškai pavadinti atsinaujinančiu transportu, tačiau jos vienu metu apjungia įprastų automobilių bei elektromobilių geriausias savybes. PHETP gali pakeisti iškastinį kurą tiesiog elektros energija iš tinklo. Nors jie ir nėra geriausias sprendimas dėl atsinaujinimo, tačiau PHETP tiesia tvirtą kelią ateičiai.

## **1.2 Hibridinių elektrinių transporto priemonių tipai**

HETP yra įprastos vidaus degimo varikliu (VDV) varomos transporto priemonės ir elektromobilio hibridas. HETP naudoja varomąją jėgą sukuriama VDV ir elektros variklio/generatoriaus. Abu energijos šaltiniai gali būti sujungti nuosekliai arba lygiagrečiai, vertinant galios generavimo prasme. Kai VDV ir elektros variklis sujungiami nuosekliai, HETP yra nuoseklus hibridas, kadangi ratus varo mechaninė galia, sukurta tik elektros variklio. Kai VDV ir elektros variklis yra sujungti lygiagrečiai, transporto priemonės yra lygiagretus hibridas, kuriame tiek elektros variklis, tiek VDV gali sukurti mechaninę galią, varančią ratus.

HETP, skystas kuras yra energijos šaltinis. VDV yra pagrindinis galios keitiklis, aprūpinantis transporto priemonę energija. Elektros variklis padidina sistemos efektyvumą, sumažina kuro sąnaudas, susigražindamas kinetinę energiją, sukuriama stabdymo metu, bei optimizuoja VDV veikimą, reguliuodamas variklio sukimo momentą ir greitį, esant įprastam važiavimui. VDV suteikia transporto priemonei papildomo nuvažiuojamo atstumo, taip įveikdamas elektromobilių trūkumus.

PHETP, be įprastinio skysto kuro bako, transporto priemonėje taip pat yra akumuliatoriuose laikoma/esanti elektros energija, kuri gali būti papildyti iš elektros tinklo. Todėl degalų suvartojimas gali būti dar labiau sumažintas.

Nuosekloje HETP ar PHETP, VDV suka generatorių. VDV paverčia energiją esančią skystame kure į mechaninę energiją ir generatorius paverčia variklio sukurtą mechaninę energiją į elektros energiją. Naudodamas šią elektros energiją, elektros variklis varo transporto priemonę. Tas pats elektros variklis naudojamas ir stabdymo metu sukurtos kinetinės energijos įsisavinimui. Tarp VDV sukamo generatoriaus ir elektros variklio, turi būti akumuliatorius, kuris kaupia perteklinę ir perduoda reikalingą elektros varikliui pasukti elektrinę energiją.

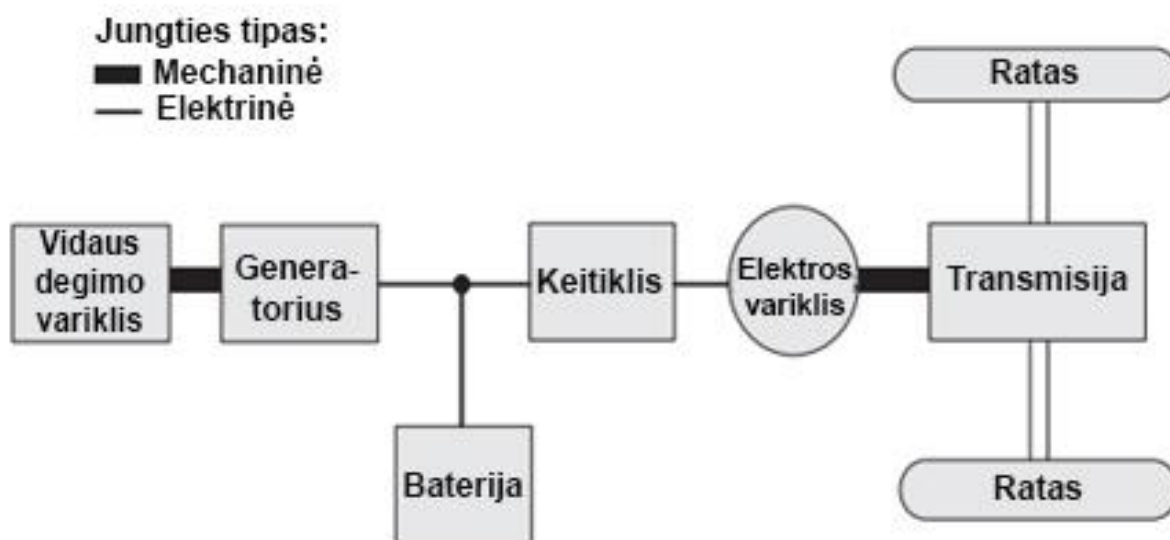
Lygiagrečioje HETP ar PHETP, galinį pavaros veleną suka sankaba, pavaromis, diržais ar skriemuliais apjungti VDV ir elektros variklis. Ši lygiagreti konstrukcija leidžia VDV ir elektros varikliui transporto priemonę varyti vienu metu arba atskirai. Elektros variklis taip pat naudojamas

elektros energiją generuojančiam stabdymui, bei perteklinės energijos iš VDV, gaunamos transporto priemonei riedant.

HETP ir PHETP struktūra gali būti ir žymiai sudėtingesnė, nei nuoseklių ar lygiagrečių hibridų, panaudojant daugiau nei vieną elektrinį variklį. Tokios konstrukcijos dažniausiai tik padidina efektyvumą bei sumažina kuro sąnaudas, tačiau tokios transporto priemonės būna ženkliai brangesnės dėl papildomų komponentų kiekio.

### 1.2.1 Nuoseklios struktūros HETP veikimo režimai

1.2 paveiksle parodyta nuoseklaus tipo HETP struktūra. Kaip jau minėta, šioje HETP, VDV yra pagrindinis energijos šaltinis.



1.2 pav. Nuoseklios struktūros HETP schema

Kadangi tokios struktūros transporto priemonės turi ne 1 variklį, būtina tinkamai valdyti jų sukuriamą energiją. Nuoseklios struktūros HETP veikimas:

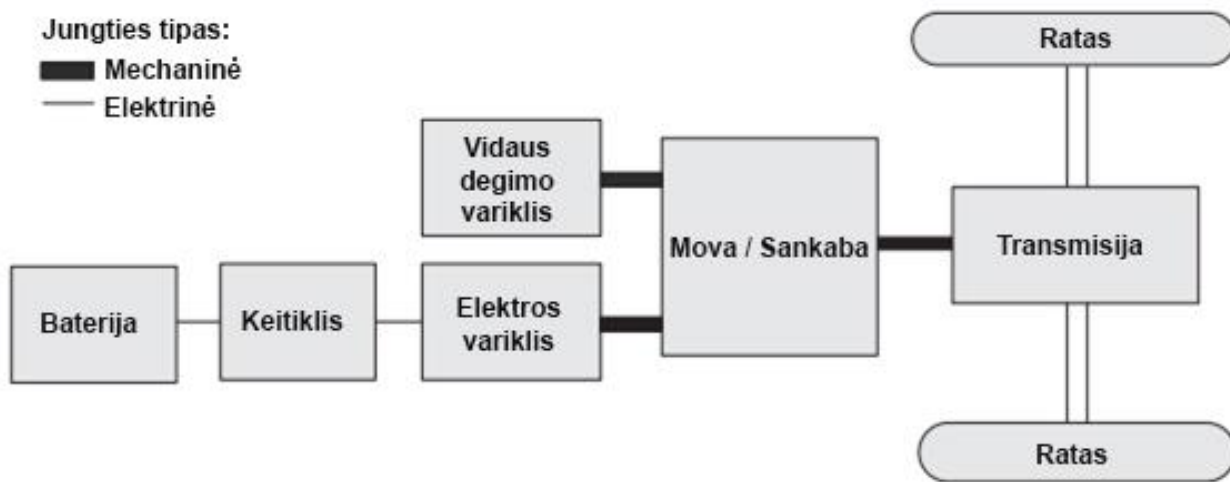
- **Naudojant vien tik baterijose esančią energiją:** kai baterijose yra pakankamai energijos ir transporto priemonės galios suvartojimas yra žemas, VDV yra išjungiamas ir ratas varo tik baterijose sukauptą elektros energiją.
- **Kombinuota galia:** kai transporto priemonei reikalinga didelė galia, VDV yra įjungiamas ir ratas varo jo sukuriama galia kartu su energija esančia baterijose.
- **Naudojant vien tik variklį:** važiuojant greitkeliais pastoviu greičiu ir esant vidutiniam galios poreikiui įjungiamas VDV. Baterijose esanti energija nenaudojama – jos nei įkraunamos, nei

iškraunamos. Taip dažniausiai yra dėl to, jog AĮL yra gana aukštas, tačiau dėl didesnio transporto priemonės galios poreikio, automobilis neleidžia išjungti variklio, nes tai būtų neefektyvu.

- **Galios dalinimas:** esant įjungtam VDV, kai transporto priemonės galios poreikis yra mažesnis už optimalią VDV galią, o AĮL yra žemas, dalis VDV sukuriamos energijos yra naudojama pakrauti baterijas.
- **Krovimas stovint:** baterijos kraunamos naudojant VDV sukuriamą galią, automobiliui stovint vietoje.
- **Elektros energiją generuojantis stabdymas:** elektros variklis naudojamas kaip generatorius, paversti transporto priemonės sukurtai kinetinei energijai į elektrinę ir pakrauti baterijas.

### 1.2.2 Lygiagrečios struktūros HETP veikimo režimai

1.3 paveiksle pateikta lygiagretaus tipo HETP struktūra. Naudojant tokią architektūrą VDV ir elektros variklio sukuriamos galios gali lygiagrečiai varyti ratus.

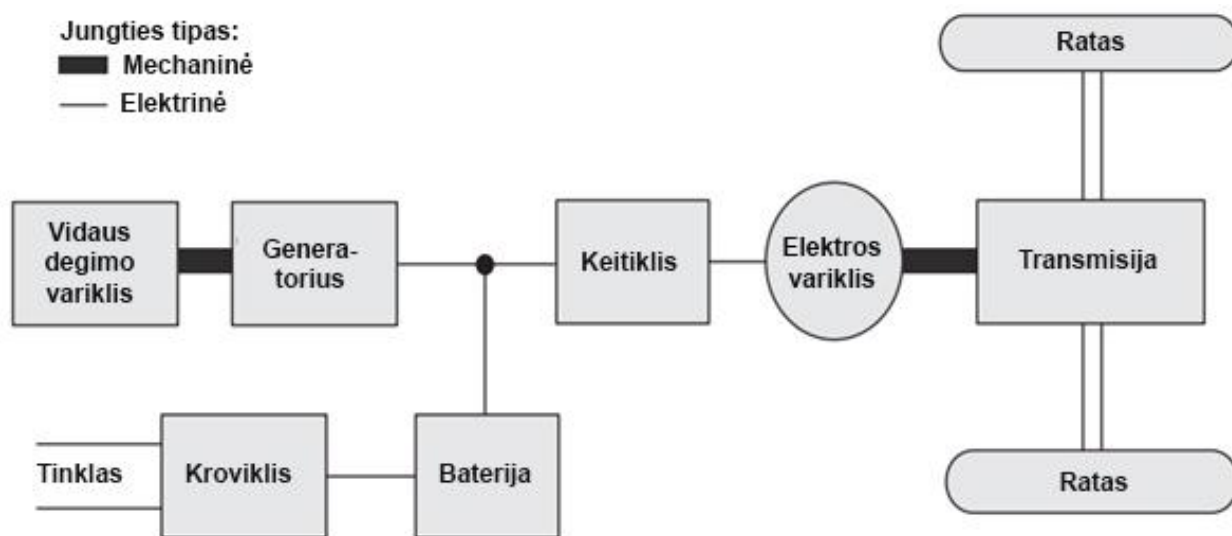


1.3 pav. Lygiagrečios struktūros HETP schema

Tokiai HETP užtenka šių 2 varomosios jėgos prietaisų, kurie gali būti naudojami tokiais pat režimais kaip ir lygiagrečios HETP, tačiau su vienu esminiu skirtumu – atsisakoma papildomo generatoriaus, kurio funkcijas perima elektros variklis.

### 1.2.3 Prijungiama HETP

Nors ir būdamos hibridinėmis, ankščiau aptartos transporto priemonės yra visiškai priklausomos nuo iškastinio kuro ir negali būti priskirtos atsinaujinančiam transportui. Kaip pats PHETP pavadinimas sufleruoja, šios transporto priemonės skiriasi nuo HETP vienu esminiu dalyku – juose esančias baterijas galima pakrauti naudojant kabelį, įkištą į elektros tinklą. Siekiant padidinti sistemos lankstumą ir funkcionalumą, galima sukurti net atvirkštinį efektą – panaudoti PHETP sukurti kintamos srovės galią ir perduoti ją atgal į tinklą. PHETP dažniausiai naudojamos didesnės talpos baterijos, nei HETP, dėl galimybės greičiau ir efektyviau jas pakrauti, taip sumažinant transporto priemonės važiavimui reikalingą iškastinio kuro kiekį bei VDV užvedimų skaičių. Baterijų talpa nebūtinai turi būti žymiai didesnė už esančių HETP – ji dažniausiai priklauso nuo transporto priemonėje esančios laisvos vietos. Tačiau esant labai didelei baterijų talpai jų įkrovimo laikas žymiai išaugtų. Taip yra dėl to, jog dauguma namų apyvokoje naudojamų sistemų turi limituotą atiduodamos srovės kiekį. Kadangi šiuo metu elektros energijos efektyvumo kaina yra žymiai mažesnė už degalų, yra logiška, kur įmanoma, panaudoti PHETP technologiją (1.4 pav.).



1.4 pav. Nuoseklios struktūros PHETP schema

Iš esmės HETP ir PHETP skiriasi, tik pastarosios galimybe pasikrauti iš elektros tinklo, baterijų sistemos dydžiu, bei viso krovimo proceso ir bendrai sukuriamos galios valdymo sistemų sudėtingumu.

### 1.3 PHETP sistemų apžvalga

Didžioji dalis kuriamų HETP ir PHETP sistemų yra skirtos lengviesiems automobiliams. Juo labiau, šias sistemas dažniausiai vysto didieji autotransporto priemonių gamintojai, tokie kaip Mitsubishi, Audi, General Motors, Honda ir t.t. Vadinasi, norint įsigyti hibridinę transporto priemonę, tenka senąjį automobilį pakeisti nauju. Individualių vartotojų atveju tai neatrodytų kaip didelė problema, tačiau jeigu pakeisti transporto priemonių parką reiktų kompanijai, užsiimančiai siuntų ar krovinių pervežimu, kuri gali turėti nuo 100 iki 1000 ar dar daugiau sunkvežimių, kurių dalis gali būti 1-2 metų senumo, t.y. neseniai nupirkti, tai susidarytų gana didelė išlaidų suma.

Sprendimas, leidžiantis pasilikti turimą transporto priemonę, nesvarbu ar tai būtų lengvoji ar krovininė, yra perdarymo rinkinys (angl. *conversion kit*). Jo esmė yra ta, kad nereikia nieko išmesti iš esamos transporto priemonės komplektacijos, tereikia įmontuoti elektrinį variklį, baterijų sistemą ir prijungti sistemos valdiklį. Iš pirmo žvilgsnio tai skamba gana paprastai, tačiau taip nėra.

Kaip jau minėta pirmajame skyriuje, šio darbo tema yra orientuota į atsinaujinantį transportavimą, t.y. krovinių, siuntų pervežimą, nes krovininės transporto priemonės degalų suvartoja daugiausiai ir tuo pačiu išmeta daugiausiai  $CO_2$  dujų.

Visų pirma, sunkiausia užduotis yra sukurti tokios sistemos valdiklį, kuris užtikrintų optimalų ir efektyvų energijos panaudojimą, bei valdytų baterijų krovimą.

Antra, tokių sistemų (rinkinių) gamyba ir pardavimais užsiimančių įmonių pasaulyje yra vienetai įmonių, neskaičiuojant mėgėjų sukurtų vienkartinį projektų, kurių galima rasti internete.

Trečia, dauguma PHETP sistemų perdarymo rinkinių yra tiesiog esamos sistemos atnaujinimas, baterijų talpos padidinimas bei pakrovimo galimybės įdiegimas, jau gamyklose pagamintiems hibridiniams automobiliams, tokiems kaip Toyota „Prius“.

Įvertinus visus šiuos kriterijus ir atmetus patobulinimo rinkinius, lieka labai nedaug tokias sistemas gaminančių įmonių, kurių gaminamą produkciją būtina išanalizuoti.



### 1.3.1 Brusa sistema

Ši vokiečių firma gamina 400 V ir 750 V variklio bei jo valdiklio sistemas, kurių galios svyruoja nuo 50 iki 200kW. Palyginimui, žemiau esančiose 1.1 ir 1.2 lentelėse, yra pateiktos dviejų 150 kW sistemų – variklių, su atitinkamais valdikliais, parametrai. Skaičiai 400 ir 750 nurodo sistemos įtampą.

1.1 lentelė. Brusa valdiklių parametrai

Valdiklis	DMC534 - 400V	DMC537 - 750V
Maks. galia	157 kW	157 kW
Nuolatinė galia	118 kW	118 kW
Maks. srovė	450 A	225 A
Nuolatinė srovė	337 A	168 A
Baterijų įtampa	120 – 450 V	300 – 750 V
Darbinė temperatūra	-40 iki 85°C	-40 iki 85°C
Efektyvumas	97%	97%
Svoris	12,5 kg	12,5 kg

1.2 lentelė. Brusa variklių parametrai

Variklis	SSM1-6.17.10 - 400V	HSM1-10.18.13-HV - 750V
Nominalus greitis	6000 aps./min.	4900 aps./min
Maks. greitis	12000 aps./min	13000 aps./min
Sukimo momentas	100 Nm	165 Nm
Maks. sukimo momentas	290 Nm	305 Nm
Nuolatinė galia	60 kW	86 kW
Maks. galia	160 kW	146 kW
Efektyvumas	95%	95%
Svoris	49 kg	51 kg

Kartu su šiomis sistemomis galima pasirinkti 14-16 kWh talpos ličio jonų tipo baterijas, sveriančias apie 130-140 kg, 400 V sistemai bei 26,6 kWh, sveriančias apie 260 kg – 750 V sistemai. Automobilio elektrinės sistemos darbą per CAN [2] sąsają valdo jų gaminamas valdiklis VCU60. Nors Brusa gamina gana galingas sistemas, tačiau akivaizdu, jog jų gaminamos sistemos skirtos visiškai elektrinėms transporto priemonėms, o ne PHETP. Tą įrodo ir jų internetiniame puslapyje pateikti sistemų pritaikymo projektai, atlikti darbai.

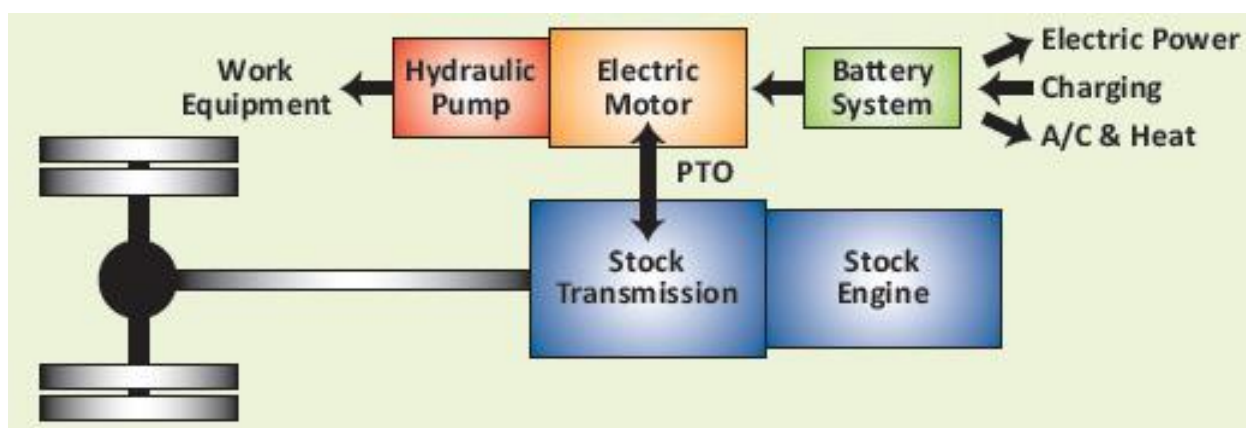
### 1.3.2 Odyne sistema

Šios firmos parduodama produkcija yra skirta dideliame krovininiame transportui sumažinti degalų suvartojimą bei pagerinti bendrą efektyvumą. Tačiau ši sistema nepasižymi itin didele galia. Jos parametrai yra pateikti 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. Odyne PHETP sistemos parametrai

Parametras	Vertė
Maks. galia	80 kW
Nuolatinė galia	51 kW
Nominalus greitis	1600 aps./min
Maks. greitis	2250 aps./min
Baterijų įtampa	320 V
Baterijų talpa	14 / 28,4 kWh
Baterijų svoris	158 / 316 kg

Su šia sistema galima papildomai maitinti oro kondicionieriaus ar šildytuvo sistemas, bei tiekti papildomą energiją galima kitiems įrenginiams. Kitas šios sistemos privalumas yra tas, kad nereikia modifikuoti gamyklinės transporto priemonės transmisijos ar variklio. Sistemos schema pateikta žemiau esančiame 1.5. paveiksle.

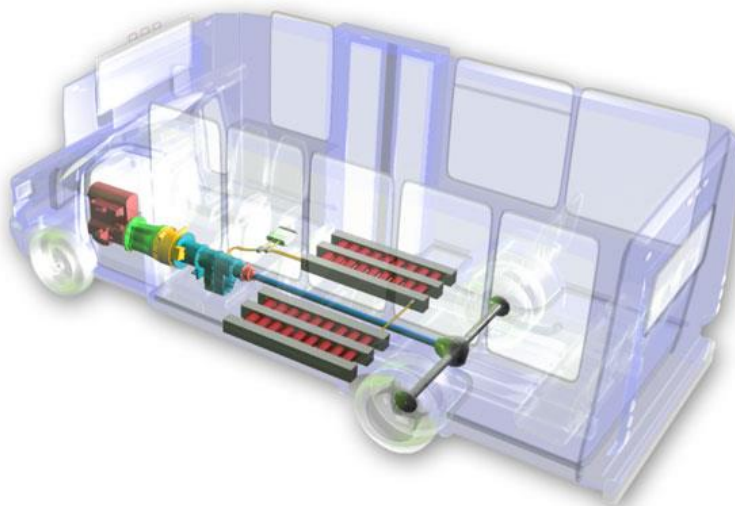


1.5 pav. Odyne sistemos schema (paveikslėlis paimtas iš gamintojo puslapio [5])

Nepaisant gana neblogų sistemos parametrų, reikia paminėti, jog šios firmos sistemą sudaro ne jų pačių gaminti komponentai bei valdikliai, o tiesiog surinkti ir sukomplektuoti iš kitų gamintojų produkcijos, todėl nepasižymi itin efektyviu energijos valdymu, nes tegali važiuoti esant vienam režimui, t.y. naudojant tik bendrai elektros variklio ir įprastinio variklio vienu metu sukuriama galia. Reikia paminėti ir tai, jog ši sistema yra pritaikyta tik amerikietiškiems sunkvežimiams ir nėra patentuota.

### 1.3.3 EDI-Drive ir kitos sistemos

Efficient Drivetrains kompanijos EDI-Drive PHETP sistema (1.6 pav.) yra skirta tiek lengvosioms, tiek sunkesnėms transporto priemonėms. Išmanios valdančiosios sistemos dėka, transporto priemonė su šia sistema gali važiuoti 4 pasirinktiniais režimais: 2 elektriniais ir 2 hibridiniais, kurių pagalba ratus varančioji energija išnaudojama gana efektyviai.



1.6 pav. EDI-Drive sistemos pavyzdys (paveikslėlis paimtas iš gamintojų puslapio [6])

Nors ši sistema ir yra žymiai efektyvesnė už prieš tai aptartas, tačiau norint ją įdiegti į transporto priemonę, reikia keisti jau esančią, originalią transmisiją bei pavarų sistemą. Be to, šios sistemos gamintojai nėra pateikę konkrečių sistemos parametrų bei nėra pradėję serijinės gamybos – pateikiami tik vienetiniai pritaikymo pavyzdžiai.

Yra ir begalė kitų sistemų, kaip pavyzdžiui [7, 8, 9, 10], bet dauguma jų orientuotos į vien tik elektra varomas lengvasias transporto priemones ar keleivinius miesto autobusus arba tiesiog nėra galutinai išbaigta ir gamintojas pateikia tik abstrakčią informaciją apie sistemą, įmontuotą vienetinėse transporto priemonėse.

### 1.4 Reikalavimai kuriamai sistemai

Šio darbo metu bus siekiama sukurti energijos sąnaudas optimizuojantį PHETP iPHEV [11] sistemos, sumontuotos įmonės UAB „Elinta“ modifikuotame Iveco „Daily“ sunkvežimyje (1.7 pav.), valdymo algoritmą. Šią sistemą sudaro papildomai įmontuotos baterijos, aušinimo sistema, elektros variklis, jo galios valdiklis bei bendras sistemos ir variklių darbo valdymo prietaisas – HCU (angl. *Hybrid Control Unit*).

Be aukščiau paminėtų komponentų, sistemos komplektaciją sudaro kroviklio jungtis, skirta pakrauti transporto priemonę iš elektros lizdo, bei elektros energiją generuojančių stabdžių sistema.

Pagrindinė numatoma kuriamos sistemos taikymo sritis – krovinių transporto priemonių, 3,5-5,5 t svorio, kuro sąnaudų mažinimas bei bendro jų vairavimo kokybės ir efektyvumo didinimas.

Šios sistemos privalumas yra tas, kad norint ją įdiegti į transporto priemonę, tereikia išpjauti dalį kardaninio veleno, ir jo vietoje įstatyti elektros variklį.

Pagrindiniai sistemos parametrai pateikti 1.4 lentelėje.



1.7 pav. Įmonės UAB „Elinta“ iPHEV sistema modifikuotame Iveco „Daily“ sunkvežimyje

1.4 lentelė. iPHEV sistemos parametrai

Parametras	Vertė
Maks. valdiklio galia	90 kW
Nuolatinė valdiklio galia	55 kW
Maks. greitis	8000 aps./min
Sukimo momentas	450 Nm
Maks. sukimo momentas	850 Nm
Baterijų įtampa	145-150 V
Baterijų talpa	15 / 30 kWh
Visos sistemos svoris	295 / 445 kg

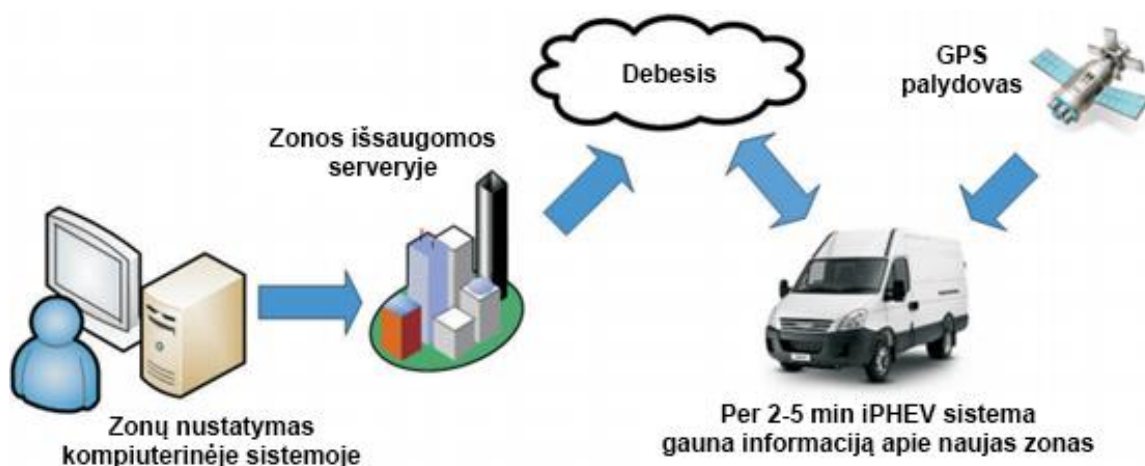
Sistemos valdymo algoritmą sudarys keli skirtingi VDV ir elektros variklio režimai, kurių veikimą bus galima kontroliuoti tiek automatiškai, tiek rankiniu būdu. Režimai bus paremti

tradiciniai HETP valdymo metodais, t.y. bus vien tik elektros variklio režimas, bei keli hibridiniai režimai skirti efektyviai ir reikiamu metu pakrauti ir iškrauti baterijas. Siekiant sumažinti taršą miestų centruose, sistema bus sujungta su GPS moduliu, kuris perduos sistemai, kai transporto priemonė yra „žaliojoje zonoje“, kad būtų išjungiamas VDV ir ratai varomi tik elektros variklio sukuriama galia iš baterijose esančios energijos. „Žaliosias zonas“ (1.8 pav.) galima nustatyti naudojant automobilių parko valdymo sistemą, kurios išsaugomos internetiniame debesyje ir siunčiamos į transporto priemonėje esantį GPS modulį. Vienos iš galimų žaliosios zonos nustatymo pavyzdžių pavaizduotas 1.9 paveiksle.



1.8 pav. Kauno mieste nustatytos „žaliosios zonos“ ribos

Be valdymo režimų, bus kuriamas informacijos atvaizdavimo ir sistemos valdymo modulis, atvaizduosiantis sistemos informaciją skystųjų kristalų ekrane, bei kuriuo bus galima perjungti sistemos darbo režimus. Taip pat būtina įdiegti apsaugas: baterijų lygio iškrovimo / įkrovimo apsaugą, kad šios nebūtų sugandintos per daug jas iškraunant; krovimo iš tinklo apsaugą, kad vairuotojas nepajudėtų su transporto priemone, prijungta prie elektros tinklo ir pan.



1.9 pav. iPHEV „žaliosios zonos“ nustatymo veikimo principas

## 2. SISTEMOS VALDYMO ALGORITMO KŪRIMAS

### 2.1 Sistemos koncepcija

Siekiant sistemą padaryti kaip įmanoma efektyvesnę reikia, kad ji galėtų dirbti įvairiomis sąlygomis ir naudingai išnaudotų turimą elektros energiją baterijose. Tam įgyvendinti šio darbo metu buvo nuspręsta kurti sistemą, kuri galėtų dirbti 5 režimais:

1. Elektriniu (EV) – veikia tik elektros variklis, dyzelinis variklis užgesintas.
2. Hibridiniu (HEV) – vienu metu pilnu pajėgumu veikia abu varikliai – ir dyzelinis ir elektros.
3. Taupymo režimas (SAVE) – dyzelinis variklis dirba pilnu pajėgumu, o elektros – 50-70%.
4. Krovimo režimas (CHARGE) – dyzelinis variklis dirba pilnu pajėgumu, o elektros variklis naudojamas kaip generatorius.
5. Išjungta sistema (iPHEV OFF) – veikia tik dyzelinis variklis, elektros variklis nei suka ratus, nei generuoja energiją.

Režimams perjungti bus naudojami 4 mygtukai – 1-4 režimams po vieną, o norint išjungti / įjungti sistemą bus panaudojamas hibridinio režimo mygtukas, nuspaudus jį palaikant 3 sekundes.

Norint sukurti optimalią sistemą, suderintą su originalios transporto priemonės darbu reikalinga vienu metu valdyti ir stebėti daugybę modulių bei parametrų. Tam įgyvendinti reikalingas mikrovaldiklis turintis nemažai išvesties / įvesties prievadų (preliminarus jų sąrašas yra pateiktas 2.1 lentelėje), analogas – kodas keitiklį, bei CAN sąsają, kad sistemos darbą būtų galima suderinti su originaliais transporto priemonės komponentais.

**2.1 lentelė.** Sistemos išėjimai / įėjimai

Įėjimai	Išėjimai
Degimas	Dyzelinio variklio paleidimas
12 V akumuliatorius	Dyzelinio variklio stabdymas
Automobilio atbulinė pavara	Elektros variklio valdiklio paleidimas / stabdymas
Stabdžiai	Elektros variklio sukimosi krypties valdymas
Sankaba	Aušinimo pompos valdymas
Akseleratorius	Oro aušintuvo valdymas
Neutrali pavara	CAN sąsaja
145 V akumuliatorių kontaktorius	
„Žalios zonos“ signalas	
Įkrovimo kabelis	
CAN sąsaja	

Dar keletas parametrų tokių kaip dyzelio variklio sūkliai, transporto priemonės greitis, rankinio stovėjimo stabdžio padėtis, atvirų durų signalas bus gautami iš transporto priemonės borto kompiuterio, o elektros variklio valdiklio ir akumuliatorių bloko parametrai bus stebimi nuskaitant jų siunčiamus duomenis per CAN sąsają. Šių parametrų sąrašai yra pateikti 2.2 ir 2.3 lentelėse.

**2.2 lentelė.** CAN sąsaja iš elektros variklio valdiklio ir akumuliatorių valdymo sistemos gaunami duomenys

Parametras	Būsena
Elektros variklio sūkliai	0 – 10000 <i>aps./min</i>
Įtampa	0 – 1024 V
Srovė	-640 – 640 A
Elektros variklio temperatūra	-61 – 127 °C
Elektros variklio valdiklio temperatūra	-61 – 127 °C
Sistemos būsenos pakeitimo mygtukai	Nuspaustas bet kuris būsenos keitimo mygtukas
Krovimo būsena	Krovimas nevyksta; krovimas vyksta; krovimas baigtas
Vidutinė celių temperatūra	-61 – 127 °C
Baterijų įkrovimo lygis	0 – 100%

**2.3 lentelė.** CAN sąsaja iš automobilio borto kompiuterio gaunami duomenys

Parametras	Būsena
Dyzelinio variklio sūčiai	0 – 5000 <i>aps./min</i>
Greitis	0 – 160 <i>km/val.</i>
Rankinis stovėjimo stabdis	Ijungtas / išjungtas
Vairuotojo durys	Atidarytos / uždarytos
Oro kondicionierius	Ijungtas / išjungtas
ASR būsena	Aktyvus / neaktyvus / išjungtas

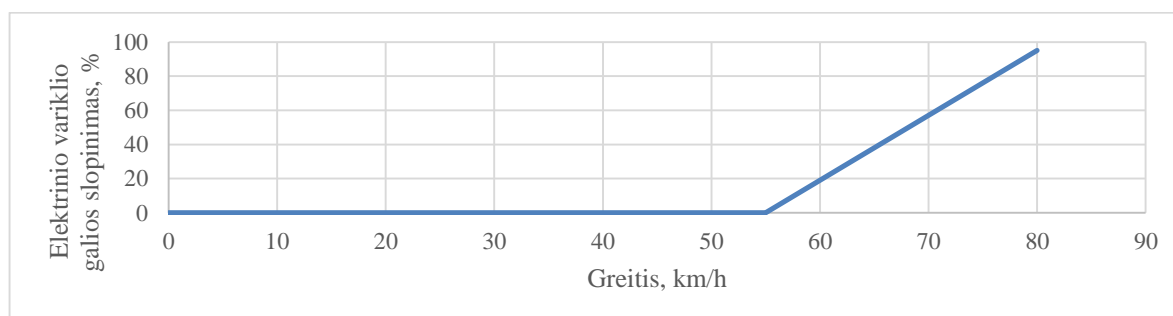
## 2.2 Sistemos darbo režimų algoritmai

Išanalizavus turimus visos sistemos parametrus, buvo sudaryti variklių valdymo sistemos veikimo algoritmai. Kuriant algoritmą, reikėjo atsižvelgti į ekonomiškumą, todėl įjungus transporto priemonės degimą ir sistemai gavus maitinimą, turėtų įsijungti elektrinis režimas, neįjungiant elektros variklio valdiklio ir patikrinti modulių įėjimus per CAN sąsają gaunamus duomenis. Jeigu viskas tvarkoje ir neįkištas įkrovimo kabelis – nuspaudus stabdį, išduoti leidimą įjungti el. variklio valdiklį.

### 2.2.1 Elektrinis režimas

Prieš leidžiant sistemai pereiti į šį režimą turi būti patikrintos tokios sąlygos: turi būti įjungta neutrali pavarą; atleista sankaba; užgesintas dyzelinis variklis; transporto priemonės greitis neviršyti 50 *km/val*; baterijų įkrovimo lygis turi būti bent 10%; elektros variklio ir jo valdiklio temperatūros turi neviršyti tam tikrų nustatytų lygių.

Transporto priemonei važiuojant šiuo režimu leisti naudoti pilną elektros variklio galią iki 55 *km/val* ir apriboti ją viršijus taip, kad transporto priemonė nepasiektų greičio didesnio nei 65 *km/val* (2.1 pav.).

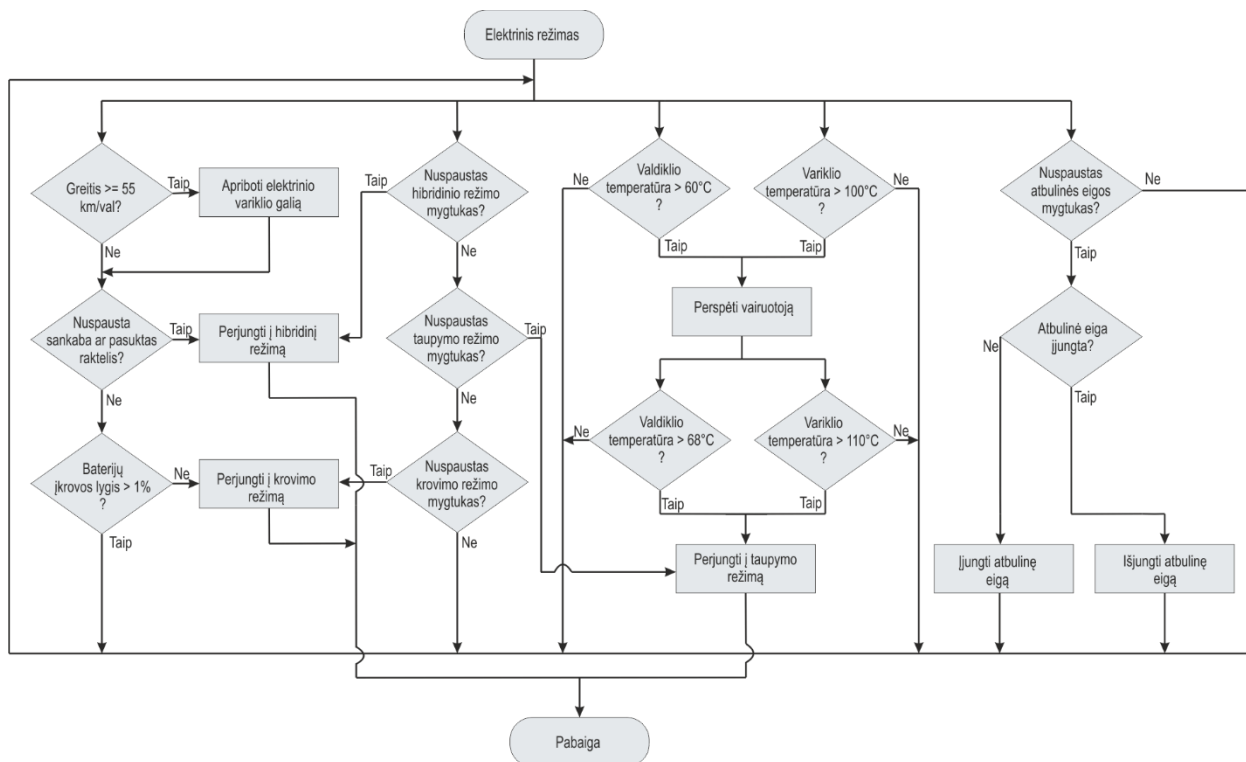


**2.1 pav.** Elektros variklio galios ribojimas elektriniame režime

Taip pat sistema turi nuolatos tikrinti akumuliatorių įkrovos lygį ir šiam nukritus iki 1% užvesti dyzelinį variklį bei perjungti sistemą į krovimo režimą. Būtina stebėti ir el. variklio ir jo



valdiklio temperatūras, kad šie komponentai būtų apsaugoti nuo perkaitimo, jeigu sugestų jų aušinimo sistemos – temperatūroms pasiekus pavojingą ribą išduoti vairuotojui perspėjimą apie kylančią temperatūrą, o pasiekus kritinę ribą – automatiškai perjungti sistemą į hibridinį režimą, kad būtų sumažinta elektrinės pavaros apkrova ir jos komponentai galėtų atvėsti. Bendras režimo algoritmas pateiktas 2.2 pav.



2.2 pav. Elektrinio režimo veikimo algoritmas

### 2.2.2 Hibridinis režimas

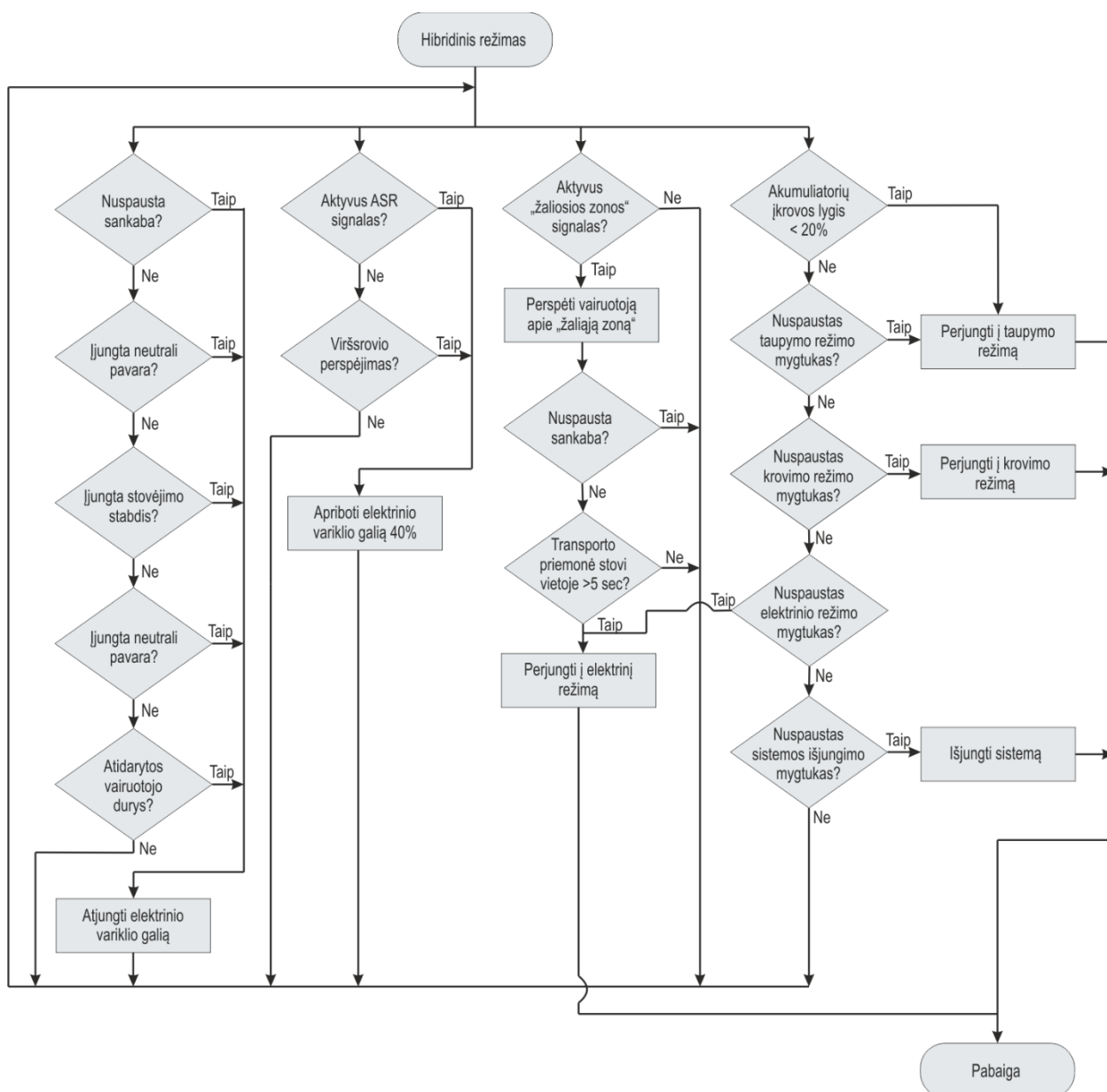
Sistemą perjungti į šį režimą galima kaip ir bet kurią kitą transporto priemonę – pasukus užvedimo raktelį. Be šio būdo, hibridinį režimą galima aktyvuoti, esant įjungtam transporto priemonės degimui, nuspaudus sankabos pedalą arba nuspaudus šalia indikacinio ekranėlio (2.8 pav.) esantį „HEV MODE“ mygtuką.

Šiame režime elektros variklis dirba pilnu pajėgumu jeigu nėra įjungta atbulinė ar neutrali pavara, nuspaustas sankabos pedalas, įjungtas rankinis stovėjimo stabdis ar atidarytos vairuotojo durys – esant paminėtoms sąlygoms, elektros variklis atjungiamas. Elektros variklio darbas taip pat bus ribojamas 40% nuo momentinės akseleratoriaus padėties jei bus gautas ratų praslydimo (ASR) signalas iš automobilio borto kompiuterio arba viršsrovio perspėjimo pranešimas iš akumuliatorių valdymo bloko.

Sistemai dirbant hibridiniame režime bus nuolatos tikrinamas „žaliosios zonos“ įėjimo signalas. Atsiradus šiam signalui, vairuotojas bus informuojamas pranešimu informaciniame

skydelyje, jog transporto priemonė yra „žaliojoje zonoje“. Transporto priemonei sustojus „žaliojoje zonoje“ ir stovint joje ilgiau nei 5 sekundes, sistema bus automatiškai perjungiamą į elektrinį režimą. Šią funkciją galima išjungti laikant nuspauštą sankabos pedalą, jeigu pavyzdžiui transporto priemonė trumpam stabtelėjo prie pėsčiųjų perėjos ir vairuotojas nenori užgesinti dyzelinio variklio.

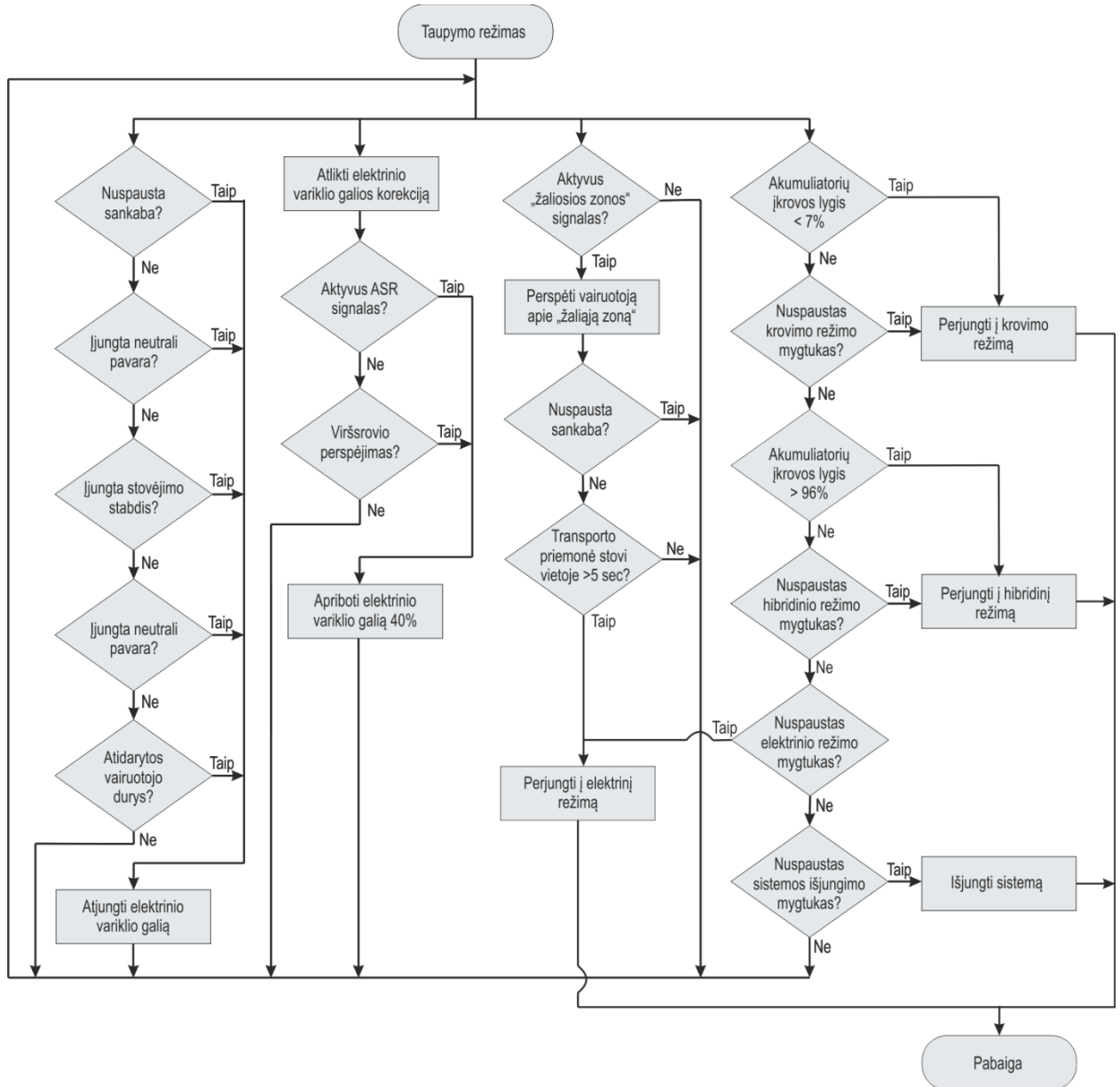
Hibridinis režimas yra skirtas iškrauti akumulatoriams ir veikia kol akumuliatorių įkrovos lygis nukrenta žemiau 20% ir tada įjungiamas taupymo režimas, kuriame elektros variklio galia yra ribojama. Hibridinio režimo veikimo algoritmas yra pateiktas 2.3 pav.



2.3 pav. Hibridinio režimo veikimo algoritmas

### 2.2.3 Taupymo režimas

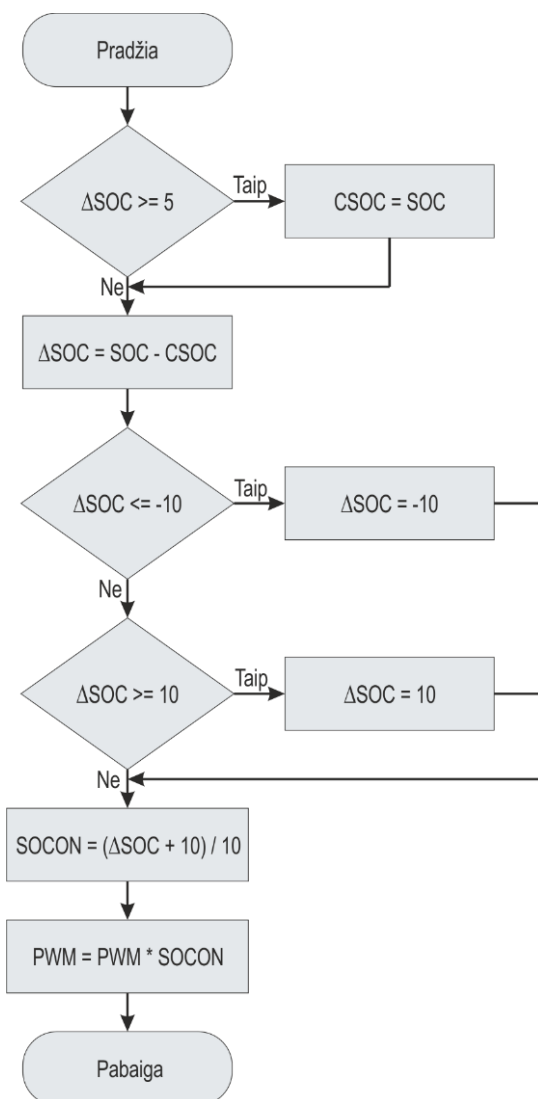
Perjungti sistemą į taupymo režimą galima nuspaudus „SAVE MODE“ mygtuką, esantį žemiau hibridinio režimo mygtuko (2.8 pav.) arba, kaip minėta 2.2.2 poskyryje, jeigu baterijų įkrovos lygis nukrenta žemiau 20% sistemai veikiant hibridiniame režime.



2.4 pav. Taupymo režimo veikimo algoritmas

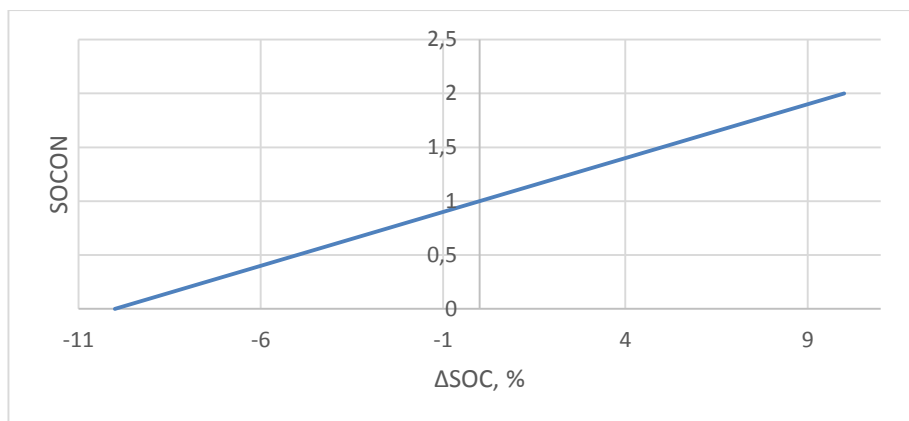
Šio režimo veikimas yra pavaizduotas 2.4 paveiksle ir yra beveik identiškas hibridiniam, jame taip pat bus tikrinama transporto priemonės padėtis dėl „žaliosios zonos“, tačiau, kaip jau minėta, elektros variklio galia taupymo režime yra ribojama, nors jo valdymo logika ir nesikeičia, išskyrus tai, kad šiame režime papildomai veikia algoritmas skirtas palaikyti tuo metu esantį akumuliatorių bloko įkrovos lygį. Algoritmas veikia atsižvelgiant į įkrovos lygio kitimą ir pagal tai koreguoja elektros variklio galią, t.y. jeigu įkrovos lygis mažėja, elektros variklio galia

mažinama, kad būtų suvartojama mažiau energijos, ir priešingai – kylant baterijų įkrovos lygiui – didinti elektros variklio galią. Šio algoritmo schema pateikiama 2.5 pav.



2.5 pav. Akumuliatorių įkrovos lygio palaikymo algoritmas

Prieš perjungiant sistemą į taupymo režimą, yra išsaugomas tuo metu esantis akumuliatorių įkrovos lygis – *CSOC*. Vėliau šio kintamojo vertė lyginama su realiu įkrovos lygiu ir pagal tai paskaičiuojamas koeficientas, *SOCON*, skirtas pakoreguoti elektros variklio galiai. Kaip matyti iš 2.6 pav. esančio grafiko skirtumui  $\Delta SOC$  esant teigiamam, vykdomas akumuliatorių energijos iškrovimas ir krovimas, esant neigiamai  $\Delta SOC$  reikšmei.



**2.6 pav.** Elektros variklio galios korekcijos koeficientas *SOCON*

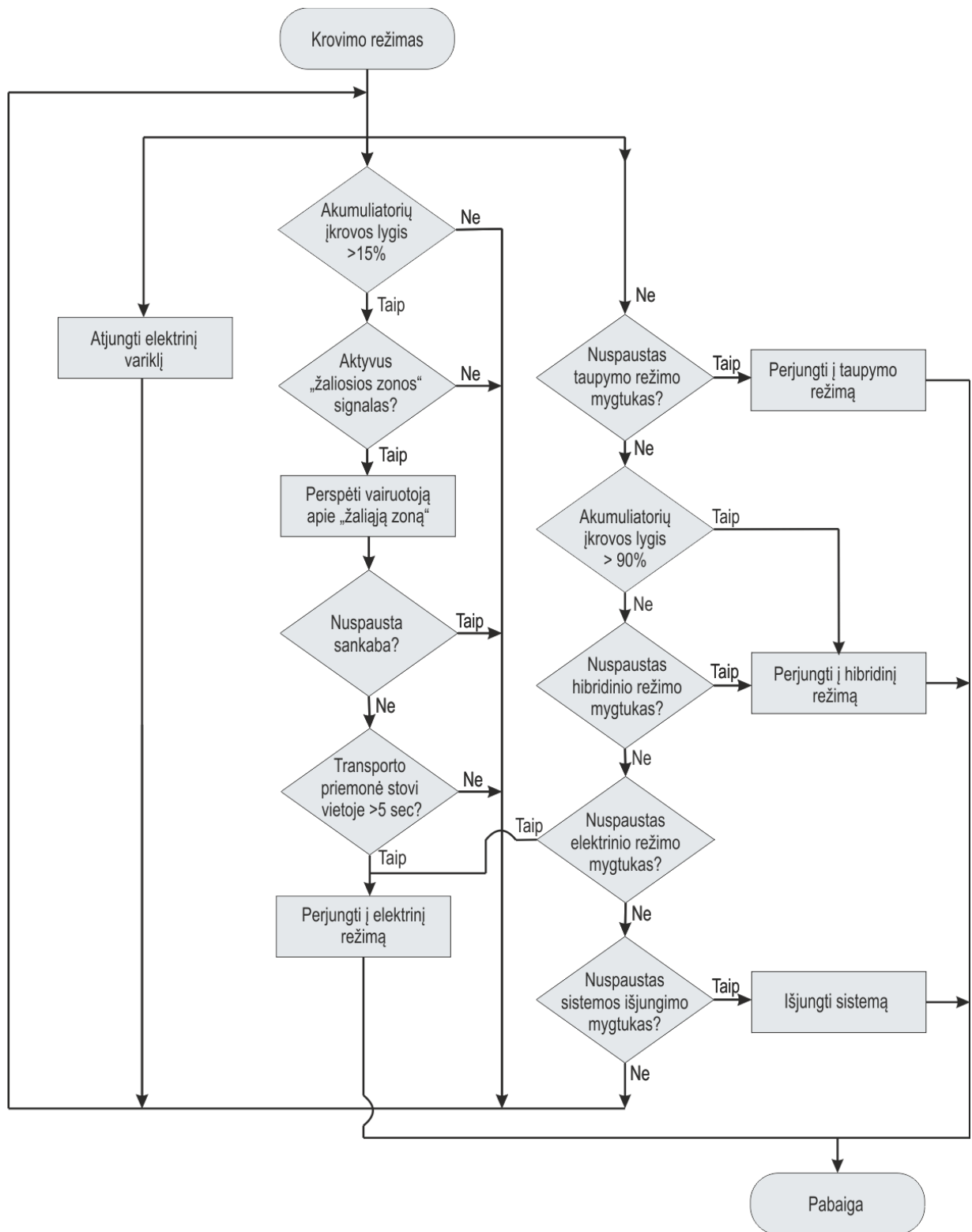
Optimalus ribojamos galios kiekis bus bandomas nustatyti atliekant veikiančios sistemos testavimą. Be to, akumuliatorių įkrovos lygiui viršijus 96% sistema bus automatiškai perjungiamą į hibridinį režimą, kad akumulatoriai būtų apsaugoti nuo perkrovimo, bei įkrovos lygiui nukritus žemiau 7% sistema bus perjungiamą į krovimo režimą.

#### **2.2.4 Krovimo režimas**

Kaip jau minėta, šis režimas aktyvuojamas skirtinguose režimuose nukritus baterijų įkrovos lygiui iki tam tikros vertės arba rankiniu būdu, nuspaudus „CHG MODE“ mygtuką (2.8 pav.).

Šiame režime energija ratams perduodama tik iš dyzelinio variklio, o elektros variklis naudojamas kaip generatorius, pakrauti akumulatorius.

Esant didesniam nei 15% akumuliatorių įkrovos lygiui, šiame režime taip pat aktyvuojamas „žaliosios zonos“ tikrinimas. Taip pat akumuliatorių įkrovos lygiui viršijus 90%, sistema automatiškai perjungiamą į hibridinį režimą, kad būtų padidinama suvartojamo kuro ekonomija. Režimo veikimo algoritmas pateiktas 2.7 paveiksle.



2.7 pav. Krovimo režimo veikimo algoritmas

### 2.2.5 Sistema išjungta

Vairuotojui nusprendus išjungti sistemą ar atsiradus netikėtam sistemos gedimui, tai galima atlikti sistemai esant bet kuriame iš režimų su užvestu dyzeliniu varikliu, t. y. hibridiniame, taupymo ar krovimo palaikius nuspaustą „HEV MODE“ (2.8 pav.) mygtuką 3 sekundes. Norint vėl įjungti sistemą reikia tą patį mygtuką vėl palaikyti 3 sekundes.

Išjungus sistemą elektros variklis, tiksliau jo valdiklis, yra visiškai atjungiamas – jis nenaudojamas nei galios perdavimui į ratus, nei kaip generatorius krauti akumulatoriams.

### 2.3 Sistemos komponentų parinkimas

Sistemos realizavimui nuspręsta pasirinkti mikroprocesorių PIC18F4680 [18], programuojamą Microchip „MPLAB X“ aplinkoje C kalba, turintį integruotą CAN sąsają, kuri reikalinga ne tik visiems sistemos elementams komunikuoti tarpusavyje, bet ir komunikacijai su transporto priemonės moduliais, protokolo valdymo modulį, pakankamą skaičių (44) išėjimo / įėjimo prievadų, turintį 10 – ies bitų analoginį skaitmeninį keitiklį, energetiškai nepriklausomą pastoviąją atmintį ir suvartojantį mažai galios.

Sistemos veikimo kontroliavimui ir indikacijai bus naudojamas 2.8 paveiksle pavaizduotas prietaisas – skystųjų kristalų ekranėlis [13] su valdymo mygtukais, įmontuotas transporto priemonėje. Jo pagalba galima lengvai perjungti režimus, įjungti atbulinę eigą elektriniame režime, stebėti akumuliatorių įkrovos lygį, suvartojamą (ar stabdymo metu sugeneruojamą) elektros variklio galią bei svarbiausių sistemos bloků temperatūras.

Patogumo dėlei, ekranėlio valdymui bus naudojamas toks pat mikroprocesorius kaip ir visai sistemai, kadangi jis turi ir sinchroninę nuosekliają sąsają (angl. *SPI*), reikalingą ekranėlio valdymui, bei, CAN sąsają ryšio su pagrindine sistema palaikymui.



2.8 pav. Sistemos būsenos atvaizdavimo, režimų valdymo prietaisas

### 3. SISTEMOS TYRIMAI

2 skyriuje pasiūlyta ir realiai įdiegta Iveco „Daily“ sunkvežimyje variklių valdymo sistema, susidedanti iš šio darbo metu sukurto variklių darbo režimų valdymo prietaiso bei ekranėlio, kurių veikimas realizuotas PIC18F4680 mikrovaldikliuose, buvo tiriama realiomis sąlygomis, siekiant iširti sistemos efektyvumą.

#### 3.1 NEDC tyrimo metodika

Tyrimai buvo atliekami taikant specialią tarptautinių institucijų patvirtintą tyrimo metodiką – NEDC (angl. *New European Driving Cycle*), skirtą įvertinti transporto priemonių, įskaitant ir elektrinių bei hibridinių, emisijos kiekį ir kuro ekonomiją. Tai yra standartizuota transporto priemonių tyrimo metodologija, atliekama esant šaltam transporto priemonės varikliui ir susidedanti iš kelių etapų: važiavimo mieste ir važiavimo užmiestyje.

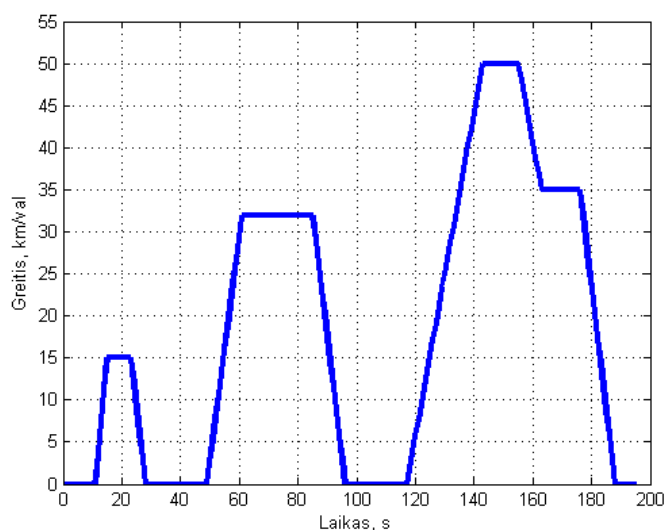
##### 3.1.1 Važiavimas mieste

Šis ciklas (3.1 pav.) yra skirtas imituoti važiavimą judriame Europos mieste, neviršijant  $50 \text{ km/val}$  greičio. Jis vykdomas pagal žemiau aprašytą procedūrą.

Užvedamas variklis ir stovima 11 s, tada per 4 s įsibėgėjama iki  $15 \text{ km/val}$  ir 8 s važiuojama pastoviu greičiu, tada per 5 s visiškai sustojama ir transporto priemonė stovi 21 s.

Nuo 49 s automobilis per 12 s įsibėgėja iki  $32 \text{ km/val}$  greičio ir 24 s važiuoja pastoviu greičiu ir po to per 11 s visiškai sustoja ir vėl stovi 21 s.

Nuo 117 s per 26 s automobilis įsibėgėja iki  $50 \text{ km/val}$  ir važiuoja tokiu greičiu 12 s, vėliau per 8 s greitis sumažinimas iki  $35 \text{ km/val}$  ir palaikomas dar 13 s ir galiausiai per 12 s visiškai sustoja ir stovi 7 s.



3.1 pav. Važiavimo mieste ciklas



Bandymo ciklas baigiamas po 195 s, teoriškai nuvažiavus 994,03 metrus. Šis bandymas kartojamas 4 kartus iš eilės ir trunka 780 s (13 minučių) ir jo metu nuvažiuojamas 3976,1 metras su 18,35 km/val vidutiniu greičiu.

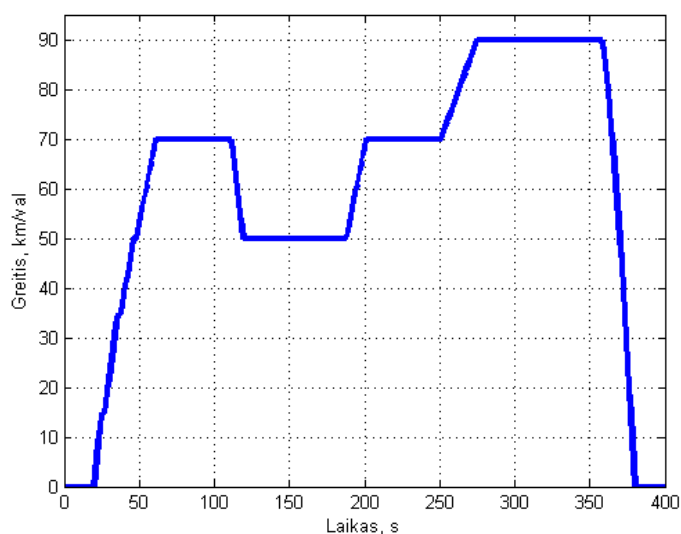
### 3.1.2 Važiavimas užmiestyje

Šis ciklas (3.2 pav.) yra skirtas atvaizduoti labiau agresyvią, didelio greičio važiavimą. Maksimalus greitis šiame cikle yra 120 km/val, tačiau šio darbo atveju tiriamoji transporto priemonė yra hibridinė, maksimalus greitis yra apribojamas iki 90 km/val.

Pastovėjus su užvestu varikliu 20 s, lėtai, per 41 s, įsibėgėjama iki 70 km/val greičio ir važiuojama pastoviu greičiu 50 s, tada per 8 s pristabdoma iki 50 km/val, kuriuo važiuojama 69 s ir greitis vėl padidinamas iki 70 km/val per 13 s.

Nuo 201 s automobilis važiuoja pastoviu 70 km/val greičiu 50 s ir tada per 35 s padidina greitį iki 90 km/val, kuriuo važiuoja 60 s.

Galiausiai transporto priemonė per 34 s visiškai sustabdoma ir stovi 20 s.

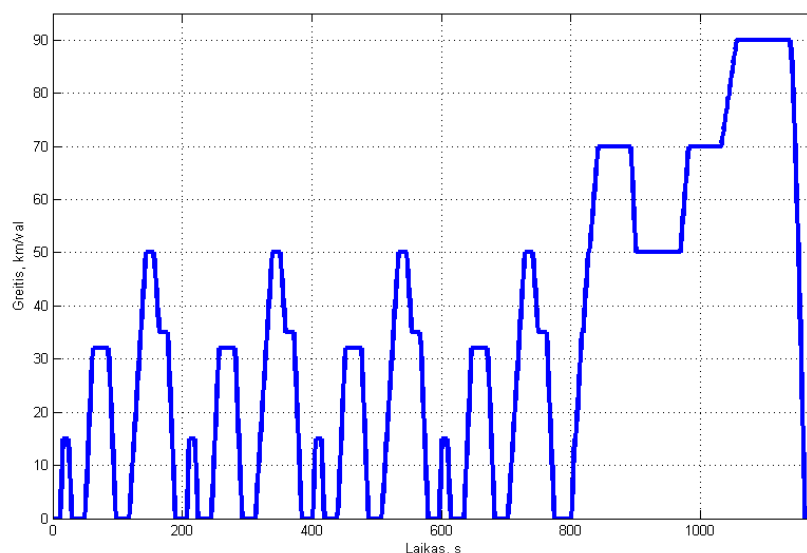


3.2 pav. Važiavimo užmiestyje ciklas

Bendra bandymo trukmė yra 400 s (6 minutės ir 40 s), per kurią teorinis nuvažiuojamas atstumas yra 6956 m su 62,6 km/val vidutiniu greičiu.

### 3.1.3 Kombinuotas važiavimas

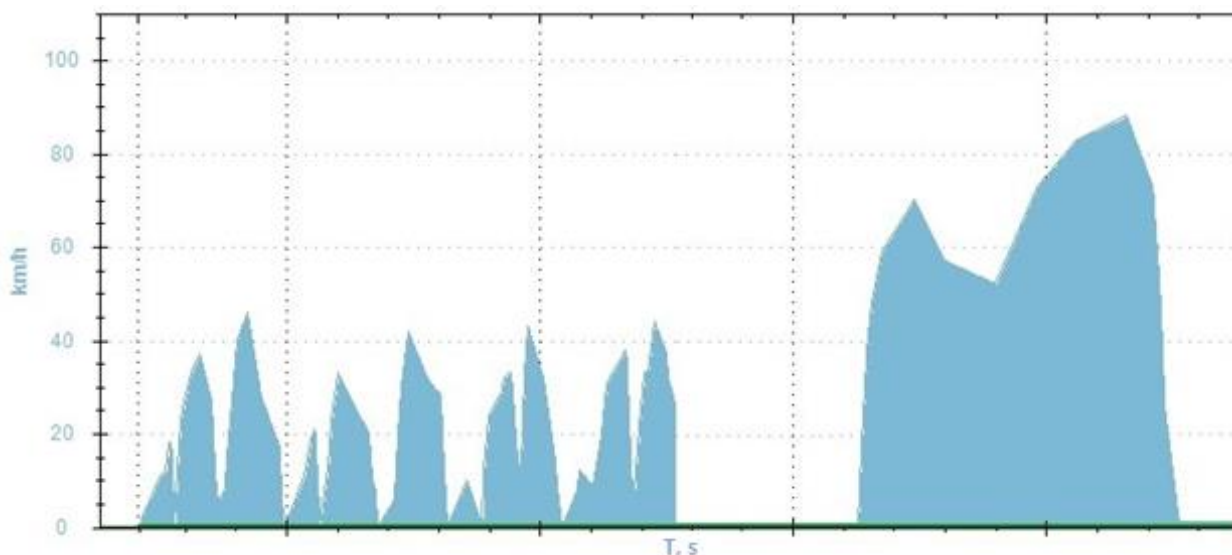
Bendra kuro ekonomija yra skaičiuojama visam 4 miesto ciklų ir 1 užmiesto ciklo (3.3 pav.) nuvažiuotam atstumui, kuris teoriškai yra 10932,1 m. Pilnas bandymas trunka 1180 s, kurio metu pasiekiamas 33,6 km/val vidutinis greitis.



**3.3 pav.** Naujasis Europinis vairavimo ciklas

### 3.2 Sistemos tyrimas pagal NEDC

Tyrimo metu buvo mėginta kuo tiksliau atkartoti 3.1 skyriuje aprašytą bandymą. Kadangi tyrimas buvo atliekamas realiuose keliuose, gautasis važiavimo ciklo grafikas šiek skiriasi nuo teorinio, tačiau principai išlieka nepakitę. Žemiau esančiame paveiksle yra pateikiamas vienas iš važiavimo grafikų, užfiksuotų su prie sistemos prijungta transporto priemonių parko valdymo sistema. Grafiko neatitikimai atsirado taip pat dėl to, jog sistemos duomenys buvo atnaujinami tik kas 30 s.



**3.4 pav.** Su realia sistema atlikto NEDC važiavimo grafikas (vertikalojoje ašyje – transporto priemonės greitis, km/val, o horizontalioje ašyje – laikas, s)

Bandymo metu buvo skaičiuojama elektros variklio suvartota iš akumuliatorių bloko ir atgal į jį sugeneruota energija, išvedant skaičiavimų rezultatus indikaciniame ekranėlyje. Energija buvo skaičiuojama kas sekundę, atsižvelgiant į variklio valdiklio srovę pagal (3.1) formulę:

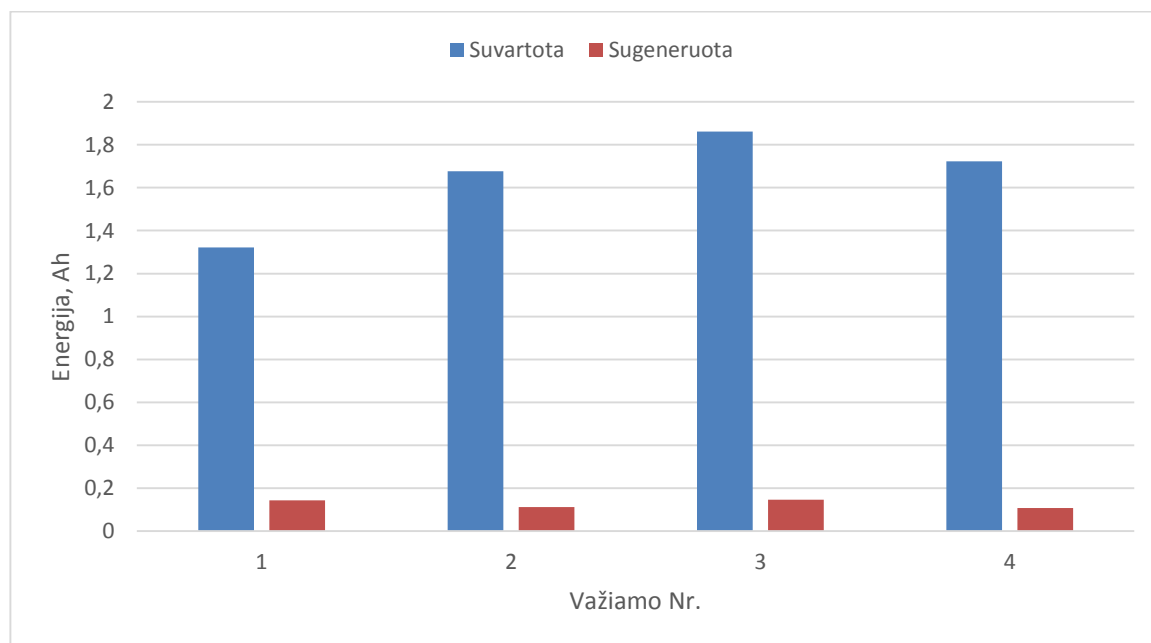
$$E_n = (I_n/3600) \cdot 0,95, \quad (3.1)$$

čia  $E_n$  – energija, Ah;  $I_n$  – srovė, A; o 0,95 – koeficientas skirtas įvertinti neidealias elektros energijos perdavimo sąlygas.

Jei srovė yra teigiama, vadinasi ji naudojama elektros varikliui sukuti ir priskiriama prie suvartotos energijos. Jei srovė neigiama – elektros variklis generuoja energiją ir ši priskiriama prie sugeneruotos energijos.

Kadangi važiavimo miesto ciklo metu maksimalus greitis neviršija 50 km/val, tikslingiausia bandymą būtų atlikti transporto priemonei važiuojant veikiant vien elektriniam režimui, juolab kad jis yra skirtas būtent važiavimui mieste bei jo centre.

Pagal NEDC nurodymus, pakartojus bandymą 4 kartus buvo gauti žemiau esančiame grafike pateikti suvartotos ir sugeneruotos energijos rezultatai.



**3.5 pav.** Suvartota ir sugeneruota energija elektriniu režimu nuvažiavus 4 miesto ciklus pagal NEDC

Iš rezultatų paskaičiuota, jog vidutiniškai, vieno ciklo metu buvo suvartota 1,646 Ah bei sugeneruota 0,128 Ah energijos. Kadangi vienu ciklu nuvažiuotas atstumas yra 994,03 m, galima apskaičiuoti vidutinį sistemos suvartojamą energijos kiekį vienam kilometrui:

$$E_{1km} = (E \cdot U_{BB\bar{I}})/0,994, \quad (3.2)$$

čia  $E_{1km}$  – energija reikalinga nuvažiuoti vienam kilometrui,  $Wh/km$ ;  $E$  – viso važiavimo metu suvartota energija, pagal (3.1) formulę,  $Ah$ ;  $U_{BBI}$  – baterijų bloko įtampa,  $V$ .

Laikant, jog vidutinė baterijų bloko įtampa yra  $145 V$  ir įstačius suvartotos energijos kiekį į (3.2) formulę, gaunama, jog sistema suvartoja  $240,04 Wh$  vienam kilometrui. Tačiau šis skaičius nėra visiškai tikslus, nes sistema taip pat sugeneruoja dalį energijos atgal į baterijų bloką, kuri po to taip pat panaudojama. Taigi patikslinta formulė būtų tokia:

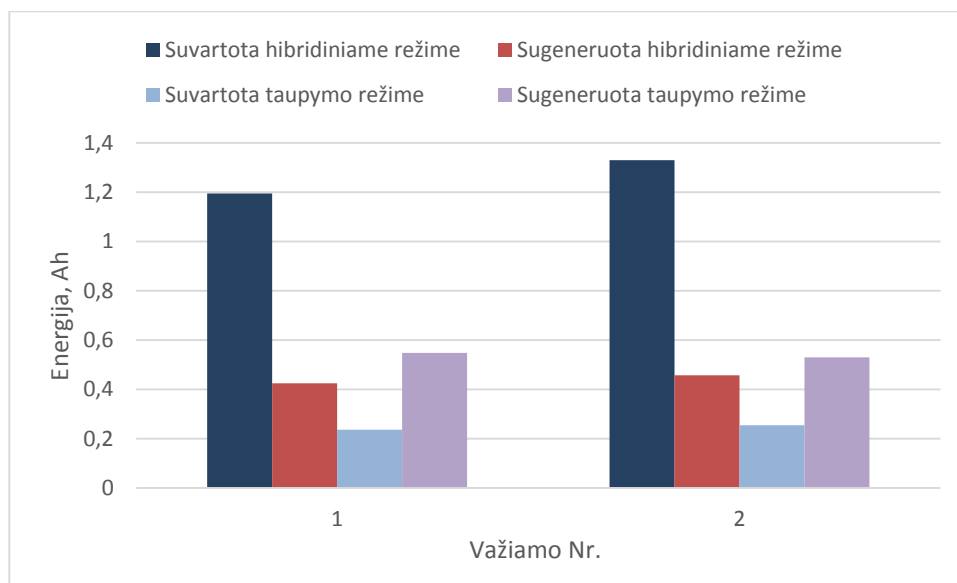
$$E_{1km} = \left( (E_S - E_R) \cdot U_{BBI} \right) / 0,994, \quad (3.3)$$

čia  $E_S$  – suvartota energija,  $Ah$ ;  $E_R$  – sugeneruota energija,  $Ah$ .

Atlikus skaičiavimus pagal patikslintą formulę, gaunama, jog transporto priemonė vidutiniškai sunaudoja  $221,44 Wh$  vienam kilometrui įveikti. Vadinasi,  $100 km$  įveikti automobilis sunaudotų  $22,14 kWh$ . Kadangi  $1 kWh$  atitinka  $3,6 MJ$  energiją, transporto priemonė sunaudotų  $79,72 MJ$  energijos. Remiantis, jog  $1 L$  dyzelinio kuro atitinka  $38,6 MJ$  [15], galima suskaičiuoti, kad transporto priemonė sunaudoja vos  $2,07 L/100km$ .

Užmiesto važiavimo cikle buvo tiriami hibridinis ir taupymo režimai, kadangi krovimo režime elektros variklis naudojamas tik kaip generatorius. Siekiant duomenų tikslumo abiem režimais bandymai buvo atliekami po 2 kartus, važiuojant tuo pačiu maršrutu – po vieną kartą į priekį ir atgal.

Gauti suvartotos ir sugeneruotos energijos rezultatai pateikiami žemiau esančiame grafike.



**3.6 pav.** Suvartota ir sugeneruota energija hibridiniu ir taupymo režimais nuvažiavus 2 užmiesto ciklus pagal NEDC

Iš gautųjų rezultatų apskaičiuojama, jog vieno ciklo metu, važiuojant hibridiniu režimu vidutiniškai suvartojama ir sugeneruojama atitinkamai 1,262 ir 0,441 *Ah* energijos, o važiuojant taupymo režimu atitinkamai – 0,245 ir 0,539 *Ah*.

Taigi gauta, jog važiuojant vien elektra, transporto priemonė suvartoja 221,44 *Wh/km*. Per 1 NEDC tyrimą miesto ciklu nuvažiuojama 4 kartus po 0,994 *km*, viso – 3,976 *km*. Taigi šiam važiavimui automobilis suvartojo 880,45 *Wh* energijos. Apibendrinus hibridinių režimų metu sugeneruotą energiją, matyti, jog nuvažiavus 1 *km* transporto priemonė sugeneruoja apie 10 *Wh*. O vieno užmiesčio ciklo metu, nuvažiavus 6,956 *km* – 69,56 *Wh*. Jeigu norima įvertinti tikslų vidurkį sunaudojamo kuro ir energijos 100 *km* atstumui, testus būtina kartoti, kol pasiekiamas toks atstumas. Šio tyrimo metu bus remiamasi realių bandymų rezultatais ir teoriškai apskaičiuojami rezultatai, kurie turėtų būti gaunami, nuvažiavus 100 *km*, kartojant pilnus NEDC ciklus. Kadangi pilno NEDC ciklo metu nuvažiuojama tik 10,932 *km*, būtina apskaičiuoti reikalingų atlikti ciklų kiekį:

$$n_{ciklų} = 100/10,932 = 9,15. \quad (3.4)$$

Turint ciklų skaičių, galima apskaičiuoti, jog vien elektra būtų nuvažiuota:

$$S_{EV} = n_{ciklų} \cdot 3,976 = 9,15 \cdot 3,976 = 36,38 \text{ km}. \quad (3.5)$$

Pridedant ir sugeneruotą energiją, šis atstumas dar išaugtų, nes įveikus 100 *km* būtų sugeneruota 636,47 *Wh* energijos. Taigi, dėl regeneracijos metu sukauptos energijos atstumas išaugtų per:

$$S_{REG} = E_{REG}/E_{EV} = 636,47/221,44 = 2,87 \text{ km}. \quad (3.6)$$

Bendras atstumas nuvažiuotas naudojant vien elektros energiją išaugtų iki:

$$S_{EV\_CHARGE} = S_{EV} + S_{REG} = 36,39 + 2,87 = 39,25 \text{ km} \quad (3.7)$$

iš viso 100 *km* atstumo. Taigi lieka, kad iš nuvažiuojamo 100 *km* atstumo, dyzelinis VDV būtų naudojamas įveikti tik 60,75 *km*. Tačiau toks atstumas būtų tik važiuojant vien krovimo režimu, kuriame elektros variklis naudojamas tik kaip generatorius.

Jeigu laikantis prielaidos, jog transporto priemone, važiuojama taupymo režimu, elektros variklis taip pat sunaudoja 5,1 *Wh/km* arba 35,48 *Wh* vieno ciklo metu. Dyzeliniu VDV nuvažiuotas atstumas dar šiek tiek sumažėtų, nes atliekant 9,15 NEDC ciklų, būtų sunaudota 324,64 *Wh*, kurios būtų lygios atstumui:

$$S_{SAVE} = E_{SAVE}/E_{EV} = 324,64/221,44 = 1,47 \text{ km}. \quad (3.8)$$

Transporto priemonei važiuojant užmiesčio cikle vien hibridiniu režimu, būtų suvartojama 26,3 *Wh/km* arba 182,84 vieno ciklo metu. Per 9,15 ciklo būtų sugeneruota – 1672,99 *Wh* energijos. Tokiu atveju elektros variklio nuvažiuojamas atstumas išaugtų:

$$S_{HYBRID} = E_{HYBRID}/E_{EV} = 1672,99/221,44 = 7,56 \text{ km.} \quad (3.9)$$

Įvertinus taupymo ir hibridinio režimų metu elektros variklio sunaudotą energiją, gaunama, jog naudojant vien taupymo režimą, vien elektros energija nuvažiuotas atstumas būtų:

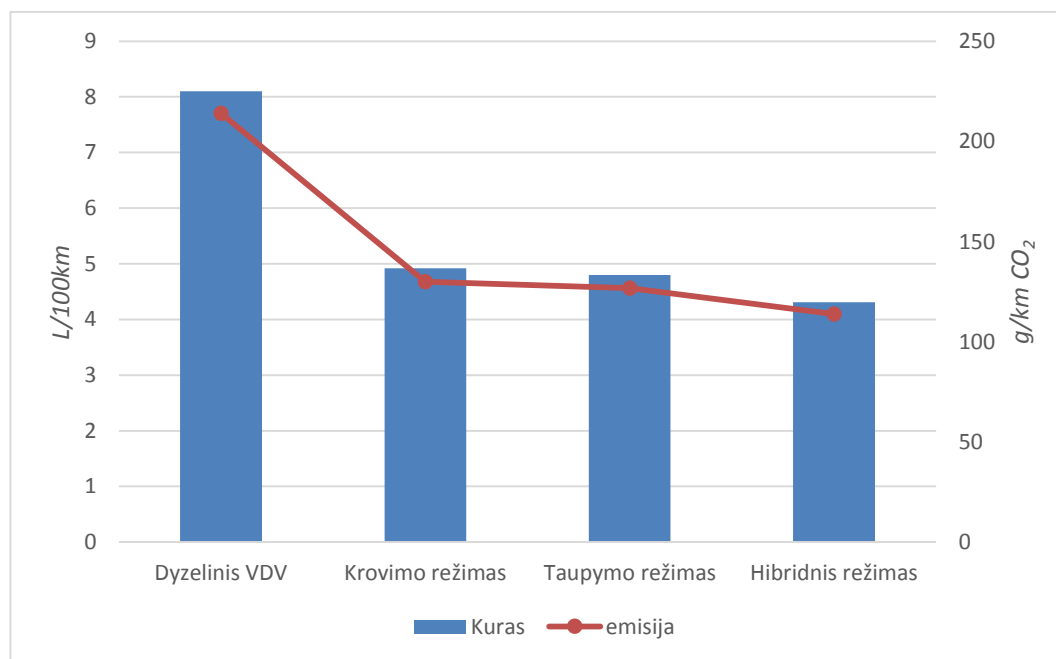
$$S_{EV\_SAVE} = S_{EV\_CHARGE} + S_{SAVE} = 39,25 + 1,47 = 40,72 \text{ km,} \quad (3.10)$$

ir vien dyzeliniu VDV būtų nuvažiuojama tik 59,28 *km*. Naudojant vien hibridinį režimą:

$$S_{EV\_HYBRID} = S_{EV\_CHARGE} + S_{HYBRID} = 39,25 + 7,56 = 46,81 \text{ km,} \quad (3.11)$$

ir dyzeliniam VDV liktų įveikti tik 53,19 *km*.

Remiantis transporto priemonės gamintojo (Iveco) pateiktais duomenimis [16], tokio galingumo variklis (3,0 *L* darbinio tūrio, 170 *AG*) su mechanine pavarų dėže atliekant NEDC bandymus 100 *km* suvartoja 8,1 *L* dyzelino ir išmeta 214 *g/km CO<sub>2</sub>* dujų. Į transporto priemonę sumontavus iPHEV sistemą, su šio darbo metu sukurtu sistemos darbo valdikliu, variklio degalų sąnaudos sumažėtų iki 4,92 *L/100km* važiuojant krovimo režimu, o *CO<sub>2</sub>* dujų emisija sumažėtų iki 129,99 *g/km*. Važiuojant taupymo režimu transporto priemonės dyzelino sąnaudos būtų 4,80 *L/100km*, o *CO<sub>2</sub>* dujų emisija – 126,82 *g/km*. Sistemai veikiant vien hibridiniu režimu, dyzelino būtų suvartojama tik 4,31 *L/100km* ir išmesta 113,87 *g/km CO<sub>2</sub>* dujų. Rezultatai pateikiami 3.7 pav.



3.7 pav. iPHEV sistemos įtaka kuro sąnaudoms ir CO<sub>2</sub> dujų emisijai pagal NEDC tyrimų standartus

### 3.3 Elektros energijos sąnaudų ir regeneracijos tyrimas važiuojant elektriniu režimu

Šie tyrimai buvo atliekami 2015 m. kovo mėn. Bandymų metu vidutinė temperatūra lauke buvo apie 3 °C. Bandymo pradžioje akumuliatorių blokas buvo pilnai įkraunamas ir važiuojant miesto sąlygomis vien tik elektriniu režimu pilnai iškraunamas.

Bandymas buvo atliekamas 3 kartus. Kiekvieno bandymo metu, sunkvežimis atitinkamai nuvažiavo 34,3, 37,9 ir 36,2 km. Visi 3 važiavimai užtruko 4 valandas ir 25 minutes. Vidutinis greitis tyrimo metu buvo 24,5 km/val.

Kartu su nuvažiuojamo atstumo tyrimu, buvo atliekamas ir sistemos stabdžių, generuojančių elektros energiją, tyrimas, fiksuojant sugeneruotos energijos kiekį. Visų bandymų rezultatai pateikiami 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Bandymų rezultatai

Bandymo Nr.	Nuvažiutas atstumas, km	Sugeneruota energija, Ah
1	34,3	9,82
2	37,9	9,29
3	36,2	9,49

Gautas vidutinis nuvažiuojamas atstumas – 36,13 km. Nuvažiavus tokį atstumą vidutiniškai yra sugeneruojama 9,51 Ah arba 1,38 kWh energijos. Atlikus nesudėtingus skaičiavimus, gaunama, jog vidutiniškai 100 km sugeneruojama 26,45 Ah energijos. Reikėtų atkreipti dėmesį ir į tai, jog bandymų metu sunkvežimis nebuvo pilnai pakrautas, nes tokiu atveju padidėtų rezultatai, gauti iš elektros energiją generuojančių stabdžių sistemos. Tai gali būti lengvai paaiškinama antruoju Niutono dėsnio – inercinėje atskaitos sistemoje kūno judesio kiekio kitimo sparta yra proporcinga veikiančiai jėgai –  $F = ma$ .

Kaip jau minėta prieš tai, nustatyta, jog sistema 100 km vidutiniškai sugeneruoja 26,45 Ah. Pasitelkus (3.12), galima apskaičiuoti kiek energijos yra gražinama į akumuliatorių bloką:

$$E_{AB} = (E_R \cdot U_{BB1})/1000, \quad (3.12)$$

čia  $E_{AB}$  – į akumuliatorių bloką gražinta energija, kWh;  $E_R$  – sugeneruota energija, Ah.

Įstačius į formulę skaitines (laikant, kad baterijų bloko įtampa yra 145 V) reikšmes gaunama 3,84 kWh, o tai yra ketvirtadalis visos talpos (imant, kad akumuliatorių bloko talpa yra 15 kWh).

Siekiant tiksliai įvertinti sugeneruotos energijos kiekį buvo pasinaudota skaičiavimais [17]:

$$P_{el36,2km} = \frac{A}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I; \quad (3.13)$$

čia  $P_{el36,2km} = 36,2 \text{ km}$  atstumui įveikti reikalinga galia,  $W$ ;  $A$  – srovės darbas,  $J$ ;  $U$  – bendra įtampa,  $V$ ;  $I$  – bendra srovė,  $A$ .

Akumuliatorių blokas susideda iš 48 nuosekliai sujungtų celių, tad siekiant tiksliai įvertinti jo talpą, reikia įvertinti visų celių įtampas:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n. \quad (3.14)$$

čia  $U_1, U_2, U_3, U_n$  – atitinkamai pirmos, antros, trečiosios ir  $n$ -tosios celių įtampos,  $V$ .

Pagal gamintojų specifikaciją (1 priedas), vienos celės nominali įtampa yra  $3,2 \text{ V}$ , tad baterijų įtampa turėtų būti  $U = 48 \cdot 3,2 = 153,6 \text{ V}$ . Nominali talpa yra  $100 \text{ Ah}$ . Nominali galia gali būti apskaičiuojama naudojant galios formulę, aprašytą (3.13).

Reiškia, kad akumuliatorių blokas gali sukaupti  $15,36 \text{ kWh}$ . Tačiau bloke yra palikta 10% iškrovimo atsarga, t.y., pasiekus kritinį 10% akumuliatorių bloko įtampos lygį, jis yra atjungiamas. Atėmus 10% atsargą iš apskaičiuotos talpos lieka, jog  $P_{el36,2km} = 13,82 \text{ kWh}$ . Šis skaičius parodo bandymo pradžioje turimos energijos kiekį. Tačiau bandymo metu buvo sugeneruotos energijos, kuri taip pat buvo sunaudota, todėl ji turi būti atitinkamai įvertinta:

$$E_{el100km} = \frac{E_{bat36,2km}}{S_1} \cdot S_2 + E_{reg100km} = \frac{13,82}{36,2} \cdot 100 + 3,84 = 42,02 \text{ kWh}, \quad (3.15)$$

čia  $E_{el100km}$  – sunaudotas energijos kiekis šimtui  $km$ ,  $kWh$ ;  $E_{bat36,2km}$  – energijos kiekis akumuliatorių bloke, neįvertinant regeneracijos,  $kWh$ ;  $S_1$  – vienu įkrovimu nuvažiuotas atstumas,  $km$ ;  $S_2$  – standartinis matavimo atstumas,  $km$ ;  $E_{reg100km}$  – sugeneruotas energijos kiekis šimtui  $km$ ,  $kWh$ ;

$100 \text{ km}$  sugeneruota energija rodo tik akumuliatorių bloke laikomą energijos kiekį. Norint iširti naudingą energiją, kuri yra suvartojama sukurti transporto priemonę varančiajai jėgai, reikia įvertinti sistemos nuostolius dėl naudojamų komponentų netobulumo. Visų sistemos komponentų naudingumo koeficientai yra paimti iš jų aprašymų:

- $LiFePO_4$  akumuliatorių bloko energijos perdavimo naudingumo koeficientas  $\eta_1 = 0,96$  (1 priedas).
- Variklio valdiklio (EDS 90) naudingumo koeficientas  $\eta_2 = 0,98$  (3 priedas).
- Elektros variklio (LCM-160-6-100) naudingumo koeficientas  $\eta_3 = 0,93$  (2 priedas).
- Elektros instaliacijos laidų naudingumo koeficientas  $\eta_4 = 0,97$ .

Taigi, naudingos energijos kiekis, suvartojamas nuvažiuoti  $100 \text{ km}$ :

$$E_{useful100km} = E_{el100km} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 =$$



$$= 42.02 \cdot 0.96 \cdot 0.98 \cdot 0.93 \cdot 0.97 = 35,66 \text{ kWh} \quad (3.16)$$

Pavertus gautąjį energijos kiekį į dyzelio kuro sukuriama energiją, gauname, jog sistemos suvartotas energijos kiekis atitinka 3,33 L.

### 3.4 Dyzelinio kuro suvartojimo ir sistemos efektyvumo tyrimas

Sumontuotos sistemos veikimas buvo tiriamas vieną mėnesį. Iveco „Daily“ sunkvežimis su 3.0 L darbinio tūrio dyzeliniu varikliu buvo tiriamas trimis skirtingais būdais:

1. Naudojant vien tik dyzelinį vidaus degimo variklį.
2. Naudojant dyzelinį VDV kartu su iPHEV sistema ir elektros varikliu.
3. Kaip ir 2 punkte, tik kartu dar naudojant ir „Start & Stop“ sistemą.

Visų testų metu buvo nuvažiuota 829 km. Įdiegta automobilių parko valdymo sistema, naudodamasi GPS palydovų parodomais, apskaičiavo, jog vidutinis greitis buvo 25,1 km/val, o VDV buvo įjungtas (dirbo) 33 valandas. Didžiausias sistemos nustatytas greitis – 75 km/val.

Bandymai buvo atliekami Kauno mieste ir jo apylinkėse 2014 m. vasario mėnesį. Kelionių maršrutai, paimti iš automobilių parko valdymo sistemos, yra pateikti 3.8 pav.. Mėlynos linijos indikuoja sistemos darbą su užvestu varikliu (tiek su hibridiniu režimu, tiek išjungus sistemą), o žalios – rodo maršrutus, kur buvo važiuota vien tik elektriniu režimu.



3.8 pav. Bandymo metu nuvažiuoto kelio žemėlapis

Pirmiausia bandymai buvo atliekami išjungus sistemą, t.y. naudojant vien tik VDV. Kuro sąnaudų matavimai buvo atliekami pilnai pripilant kuro baką bandymo pradžioje ir pabaigoje. Transporto priemonė nuvažiavo 249,2 km Kauno mieste. Vidutinė lauko temperatūra buvo apie 6 °C. Vidutinis transporto priemonės greitis buvo 24,7 km/val. Bandymas truko 10 valandų ir 6 minutes. Iš viso, sunkvežimis sunaudojo 29,9 L dyzelino. Atlikus nesudėtingus skaičiavimus, galima teigti, jog vidutinės kuro sąnaudos buvo 12 L/100km, kurios yra žymiai didesnės nei gamintojų nurodomos 8,1 L/100km, kaip buvo minėta 3.2 poskyryje.

**3.2 lentelė.** Bandymų rezultatai važiuojant su išjungta sistema

Vien tik dyzelinis variklis (iPHEV sistema išjungta)		
Vietovė	Kaunas	
Vidutinis greitis	24,7	km/val
Aplinkos temp. Min.	5	°C
Aplinkos temp. Maks.	7	°C
Vidutinės degalų sąnaudos	12	L/100km
Degalų sąnaudų pokytis	0	L/100km
Didžiausias greitis	75	km/val
Nuvažiuotas atstumas	249,2	Km
Sugeneruota energija	0	Ah

Toliau bandymai buvo atliekami su įjungta iPHEV sistema. Vidutinė lauko temperatūra buvo apie 4 °C. Su transporto priemone buvo nuvažiauta 251,3 km naudojant vien tik hibridinį režimą. Vidutinis greitis buvo 25,9 km/val. Bandymas truko 9 valandas ir 42 minutes. Bandymo pabaigoje, buvo nustatyta, jog sunkvežimis sunaudojo 24,2 litrus dyzelino. Apskaičiavus vidutinės kuro sąnaudas, gaunama 9,63 L/100km.

**3.3 lentelė.** Bandymų rezultatai važiuojant su įjungta iPHEV sistema

iPHEV sistema įjungta		
Vietovė	Kaunas	
Vidutinis greitis	25,9	km/val
Aplinkos temp. Min.	3	°C
Aplinkos temp. Maks.	6	°C
Vidutinės degalų sąnaudos	9,63	L/100km
Degalų sąnaudų pokytis	2,37	L/100km
Didžiausias greitis	72	km/val
Nuvažiuotas atstumas	251,3	Km
Sugeneruota energija	64,54	Ah

Toliau bandymai buvo kartojami su įjungtomis iPHEV ir „Start & Stop“ sistemomis. Vidutinė lauko temperatūra buvo apie 3 °C. Bandymas truko 8 valandas ir 45 minutes. Iš viso buvo nuvažiauta 219,8 km, važiuojant vidutiniu 25,1 km/val greičiu. Bandymo pabaigoje išmatuota, jog

buvo sunaudota 18,02 L dyzelino ir tai reiškia, kad buvo pasiektas 8,20 L/100km kuro sąnaudų vidurkis.

**3.4 lentelė.** Bandymų rezultatai važiuojant su įjungtomis iPHEV ir „Start & Stop“ sistemomis

iPHEV ir „Start & Stop“ sistemos įjungtos		
Vietovė	Kaunas	
Vidutinis greitis	25,1	km/val
Aplinkos temp. Min.	2	°C
Aplinkos temp. Maks.	5	°C
Vidutinės degalų sąnaudos	8,2	L/100km
Degalų sąnaudų pokytis	3,8	L/100km
Didžiausias greitis	68	km/val
Nuvažiutas atstumas	219,8	Km
Sugeneruota energija	56,95	Ah

2 ir 3 bandymų metu, taip pat, kaip ir prieš tai (3.3 skyriuje) aprašytuose bandymuose, buvo skaičiuojama elektros energiją generuojančios stabdžių sistemos sukaupta energija, kuri taip pat pateikiama rezultatų lentelėse. Paskaičiavus sugeneruotą energiją 100 km, gaunamas 25,8 Ah vidurkis, kuris yra tik 0,65 Ah mažesnis nei gautasis 3.3 poskyryje.

Iš atliktų bandymų rezultatų matyti, jog sunkvežimiais nenaudojant iPHEV sistemos sunaudoja 12 L/100km. Aktyvavus sistemą matomas aiškus kuro sąnaudų pokytis – jos sumažėjo iki 9,63 L/100km. Sąnaudų pokytis – 2,37 L/100km arba – 19,75%. Įjungus sunkvežimyje esančią „Start & Stop“ sistemą, sąnaudų sumažėjimas 3,8 L/100km arba 31,67%.

### 3.4.1 Dyzelinio ir elektros variklių galios perdavimo efektyvumo palyginimas

Realiomis sąlygomis nemažas skystojo kuro energijos kiekis yra iššvaistomas paprasčiausiai eksploatuojant transporto priemonę netinkama pavara, dėl ko VDV nedirba optimaliais sūkiomis ar tiesiog dirba tuščiai eiga, t.y. transporto priemonei stovint vietoje ir panašiai. Idealiomis sąlygomis gauti gamintojo pateikiami kuro sąnaudų skaičiai gali būti gaunami tik važiuojant tam tikrą laiką ir tik idealiomis sąlygomis, o važiavimo judriame mieste sąlygos yra visiškai nepanašios į tokias.

Turint energijos kiekį reikalingą nuvažiuoti 100 km naudojant elektrinį variklį, transporto priemonės, veikusios vien tik su VDV, kuro sąnaudas 100 km, galima apskaičiuoti koeficientą, kuris palygintų jų efektyvumą.

$$\eta_5 = \frac{E_{useful100km}}{E_{diesel100km}}, \quad (3.17)$$

čia  $E_{useful100km}$  – naudingos energijos kiekis, suvartojamas nuvažiuoti 100 km elektriniu režimu, kWh;  $E_{diesel100km}$  – energijos kiekis, suvartojamas nuvažiuoti 100 km naudojant vien tik VDV,

$kWh$ ;  $\eta_5$ - koeficientas, nusakantis efektyvumą tarp dyzelinio VDV ir elektrinės sistemos sukuriamos energijos.

$\eta_5$  koeficientas apima dyzelinio kuro šiluminės energijos efektyvumą, transmisijos efektyvumą, tuščios eigos VDV sąnaudų efektyvumą. Imant 3.2 lentelėje pateiktus kuro sąnaudų rezultatus, galima apskaičiuoti  $\eta_5$ :

$$\eta_5 = \frac{35,66}{10,72 \cdot 12} = 0,28. \quad (3.18)$$

Palyginimui elektrinės sistemos efektyvumas gali būti apskaičiuojamas naudojantis 3.3 poskyryje aprašytais  $\eta_1$ ,  $\eta_2$ ,  $\eta_3$ , ir  $\eta_4$  koeficientais:

$$\eta_6 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 0,85. \quad (3.19)$$

Taigi gautas teorinis elektros variklio energijos perdavimo sistemos efektyvumas yra 85%, kai tuo tarpu dyzelinio VDV efektyvumas yra tik 28%. Vadinasi dyzelinio VDV sukuriamos energijos perdavimo sistema yra net 57% mažiau efektyvi lyginant su elektros variklio.

### 3.4.2 Išmetamųjų dujų emisijos pokytis

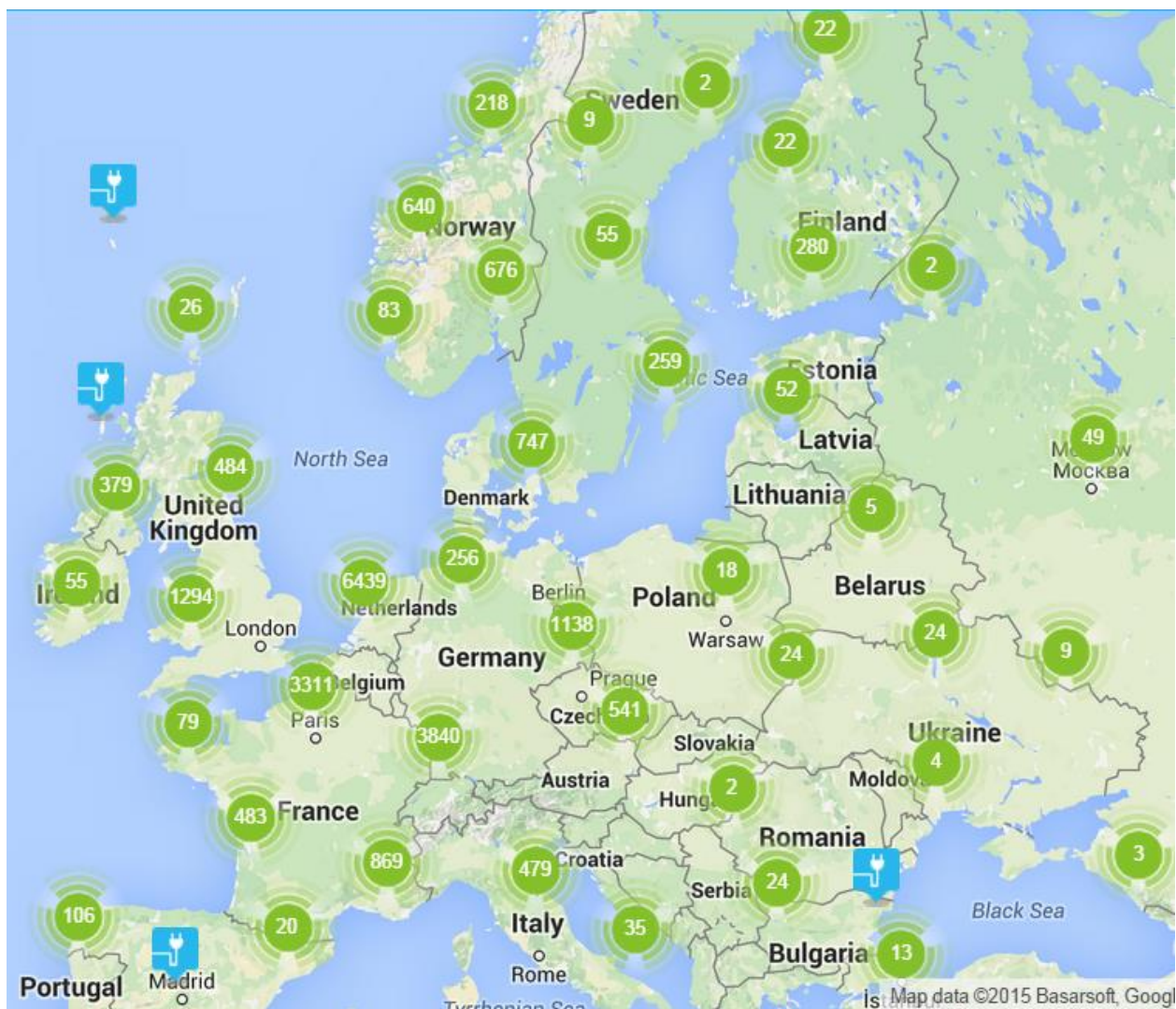
Remiantis 3.2 poskyryje pateiktais duomenimis 1 L dyzelinio kuro sukuria 26,42 g/km CO<sub>2</sub> dujų. Taigi įprastas Iveco „Daily“ sunkvežimis, be įdiegtos šiame darbe sukurtos sistemos, suvartojęs 12 L/100km į atmosferą išmestų 317,04 g/km CO<sub>2</sub>. Sunkvežimis su iPHEV sistema išmestų 62,62 g/km CO<sub>2</sub> mažiau – 254,42 g/km CO<sub>2</sub>. Transporto priemonė su įjungtomis iPHEV bei „Start & Stop“ sistemomis išmestų net 100,40 g/km CO<sub>2</sub> mažiau – tik 216,64 g/km CO<sub>2</sub>.

Akivaizdu, kad tokios sistemos įdiegimas sunkvežimiuose ženkliai sumažintų bendrą užterštumą miestuose, keliantį pavojų ne tik gamtai bet ir žmonių sveikatai, ypatingai jų centruose, kur transporto priemonė važiuotų naudodama vien tik elektrinį režimą ir CO<sub>2</sub> emisija tuo metu būtų lygi 0 g/km.

### 3.5 Ekonominis atsiperkamumas

Imant, jog akumuliatorių blokas yra 15 kWh talpos, sistemos įkroviklio naudingumo koeficientas 95% (4 priedas), laidų perdavimo koeficientas 97% ir elektros energijos sąnaudų skaitliuko skaičiavimo tikslumas 99%, galima nustatyti, jog pilnai pakrauti akumuliatorių bloką suvartojama 16,44 kWh energijos iš elektros tinklo. Remiantis Lesto internetiniame puslapyje pateikiamais tarifais – 0,125 euro už 1 dieninės energijos kWh, pilnai pakrauti sistemą kainuotų 2,055 euro.

Remiantis [19] duomenimis, pavyzdžiui Europoje yra labai daug transporto priemonių įkrovimo stotelių, kuriose įkrovimas nieko nekainuoja (3.9 pav.).

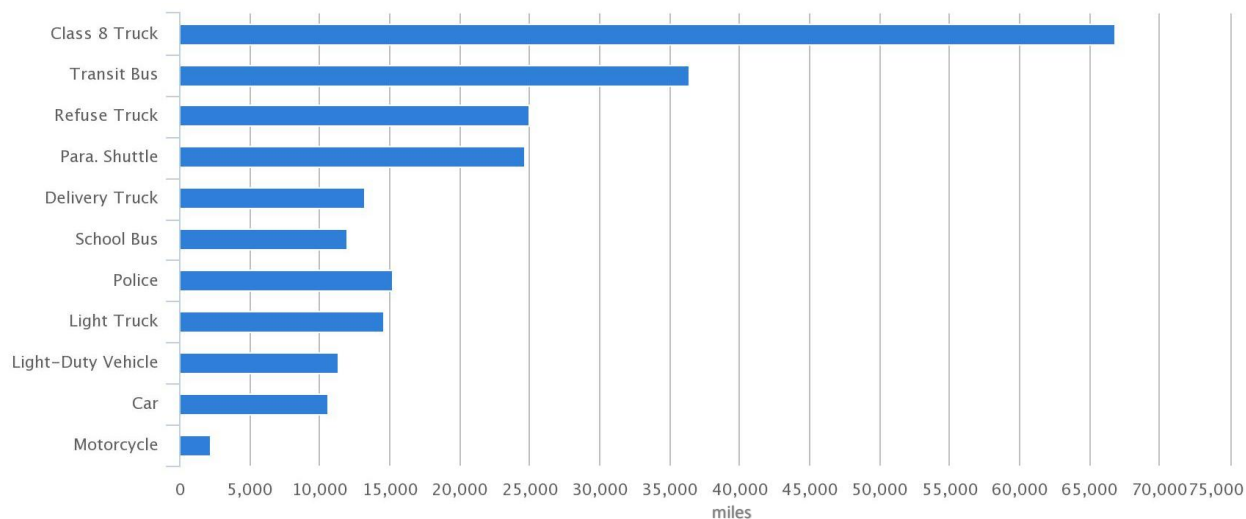


3.9 pav. Įkrovimo stotelių Europoje žemėlapis [19]

Naudojant sistemą kelionėms, kuriose be sustojimo nuvažiuojama 200 ir daugiau *km*, iš 3.4 skyriuje atliktų bandymų rezultatų matyti, jog sistemos efektyvumas yra 20 – 30%, t.y. praktiškai tiek, kiek sutaupoma energijos iš energiją generuojančių stabdžių sistemos. Imant sistemos efektyvumo vidurkį – 25%, gaunama, jog vidutiniškai sutaupoma apie 3 *L* dyzelino 100 *km*. Jeigu vidutinė 1 *L* dyzelino kaina yra 1,1 euro, vadinasi sutaupoma 3,3 euro. Įvertinant pakrovimo kainą, galima apskaičiuoti, jog naudojant sistemą sutaupoma 1,245 euro 100 *km*. Savaime suprantama, tai nėra labai įspūdingi skaičiai.

Tačiau taikant iPHEV sistemą siuntų tarnybos sunkvežimiuose, kurie JAV energetikos departamento statistiniais duomenimis [20] (3.10 pav. – angl. „*Delivery Truck*“) per metus nuvažiuoja apie 13 000 mylių arba 20 920 *km* atstumą. Padalinus šį atstumą iš 250 darbo dienų, gaunama, jog per dieną vienas sunkvežimis vidutiniškai nuvažiuoja 83,64, suapvalinus – 84 *km*. Kadangi tokiais sunkvežimiais dažniausiai važinėjama miestuose, būtų tikslinga kiek įmanoma didesnę atstumą stengtis nuvažiuoti naudojant vien tik elektrinį režimą. Remiantis 3.3 skyriaus rezultatais, vien elektriniu režimu galima vidutiniškai nuvažiuoti 36 *km*. Taigi, naudojant dyzelinį

VDV, lieka nuvažiuoti tik 48 km, kuriuos įveikus, sugeneruojama 1795,2 Wh (37,4 Wh/km) energijos. Elektros variklio sistemai sunaudojant 356,6 Wh/km, gaunami papildomi 5 km, kuriuos galima nuvažiuoti naudojant tik vien elektros energiją. Dizeliniam varikliui lieka įveikti 43 km, kuriems remiantis 3.4 skyriaus rezultatais, sunaudojamas 12 L/100km, prireiks 5,16 L.



**3.10 pav.** JAV energetikos departamento duomenys apie per metus įvairių transporto priemonių nuvažiuojamus atstumus, myliomis (paveikslėlis paimtas iš [20])

Dizeliniam VDV suvartojus 5,16 L vietoj 12 L, sutaupoma 6,84 L dizelinio kuro, kuris atitinka 7,524 euro. Iš šios sumos atėmus sistemos pilno įkrovimo kainą – 2,055 euro, gaunama, jog per dieną viena transporto priemonė sutaupo 5,469 euro. Dirbant, kaip jau priimta prieš tai, 250 dienų per metus, viena transporto priemonė su šia variklių valdymo sistema sutaupytų 1367,25 eurus. Skaičiuojant, jog tokios paskirties transporto priemonė nuvažiuoja bent 200 000 km (pagal šiame darbe naudojamus skaičius, tai atitiktų 9,56 metų), tai per visą jos tarnavimo laikotarpį būtų sutaupoma 13 070,91 eurų, o nuvažiuojant 200 ir daugiau km – tik 2490 eurų.

Šiais skaičiais negalima visiškai akiai remtis, nes visų pirma įmonės sunaudojančios didesnius elektros energijos kiekius, perka ją pigesniu tarifu, o jeigu dar ta energija yra paimama iš atsinaujinančių šaltinių, jos kaina dažnai būna dar mažesnė arba už ją visai nereikia mokėti, kraunant sistemą nemokamose viešojo įkrovimo stotelėse. Taip pat daugumoje valstybių transporto priemonėms yra taikomi gana mokesčiai už CO<sub>2</sub> emisijos kiekį ar net draudžiama įvažiuoti į miesto centrą transporto priemone, turinčioms VDV. Įvertinus šiuos papildomus faktorius, sutaupomų pinigų kaina ženkliai išaugtų.

## IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Išanalizavus rinkoje esančią prijungiamų hibridinių elektrinių transporto priemonių valdymo sistemų pasiūlą, nustatyta, jog serijiniu būdu gaminamų ar diegiamų sistemų kroviniams, iki 3,5 t, sunkvežimiams praktiškai nėra.
2. Variklių valdymo sistemos algoritmas buvo kuriamas remiantis tradiciniu PHETP veikimo principu – sistema privalo turėti kelis pagrindinius režimus – akumuliatoriuose esančio energijos palaikymo / taupymo režimą; energijos iškrovimo režimą, padidinant elektros variklio sukuriamą galią; bei akumuliatorių įkrovimo režimą, kai elektros variklis naudojamas kaip generatorius. Prie šių režimų buvo pridėtas dar vienas – sistemos veikimo, naudojant vien tik elektros variklį, režimas, skirtas važiuoti miestuose ir jų centruose, kur oro tarša dažnai būna didžiausia.
3. Sukurtajam sistemos algoritmui beveik nereikia žmogaus intervencijos – sistema, sekdamą visos sistemos būklę, automatiškai persijungia į reikiamą režimą. Tuo pačiu – vairuotojas gali pats laisvai pasirinkti norimą režimą, jei tik tenkinamos ribinės akumuliatorių įkrovos lygio sąlygos.
4. Siekiant sistemą padaryti išmaniają, jos veikimas buvo suderintas su transporto priemonių parko valdymo sistema, kurios pagalba galima ne tik stebėti kelionės maršrutus ar degalų sąnaudas, tačiau ir pažymėti „žaliąsias“ zonas, kurios dažniausiai būna miestų centrai, į kurias įvažiavusi transporto priemonė, esant pakankamam akumuliatorių įkrovos lygiui, užgesintų dyzelinį VDV ir pereitų į elektrinį režimą.
5. Tiriant sukurtos sistemos veikimą pagal NEDC metodiką, buvo nustatyta, jog kuro sąnaudos sumažėja 40 – 47%, priklausomai nuo pasirinkto režimo, lyginant su teoriniais, transporto priemonės gamintojo pateikiamais, duomenimis.
6. Ištyrus sistemos veikimą elektriniame režime, nustatyta, jog pilnai įkrauta sistema, su 15 kWh talpos akumuliatorių bloku vidutiniškai nuvažiuoja 36,13 km, suvartodama 35,66 kWh/100km, iš kurių 3,84 kWh yra sugeneruojama stabdžių sistemos.
7. Ištyrus sistemą realiomis sąlygomis, važiuojant taupymo režimu, gautas 20 – 30% kuro sąnaudų efektyvumas. Priklausomai nuo kuro sąnaudų sumažėjimo atitinkamai mažėja ir CO<sub>2</sub> dujų emisija – 26,42 g/km nuo 1 L dyzelino.
8. Iš realiomis sąlygomis gautų rezultatų, nustatyta, jog elektrinė energijos perdavimo sistema yra 57% efektyvesnė už dyzelinio VDV, atitinkamai 85% ir 28%.

9. Remiantis gautais rezultatais, apskaičiuota, jog naudojant transporto priemonę, su joje įdiegta sukurtąja sistema, komerciniais tikslais, nuvažiavus 200 000 *km*, būtų sutaupoma 13 tūkst. eurų, neskaičiuojant, jog Europos miestuose yra daug nemokamų įkrovimo stotelių, taip pat neįskaitant mažesnių taršos mokesčių ir panašių mokesčių sumažėjimo naudos. Siekiant sutaupyti dar daugiau bei tuo pačiu transporto priemonės *CO<sub>2</sub>* dujų emisiją, dėl sumontuoto 50 *kW* elektros variklio, galima rinktis automobilį su mažesnio galingumo varikliu, nes mažesnio darbinio tūrio varikliai yra pigesni. Tuo pačiu elektros variklis gali atstoti ir retarderį, taip dar labiau atpiginant automobilio komplektacijos kainą.



## INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. JAV energijos išteklių ataskaita. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-05-25]. Prieiga per internetą: <http://www.window.state.tx.us/specialrpt/energy/exec/fuel.html>
2. CAN sąsaja. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-05-20]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](http://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)
3. MI, Chris. MASRUR, M. Abul. WENZHONG GAO, David. Hybrid Electric Vehicles Principles and Applications with Practical Perspectives. Wiley, 2011, 470 p.
4. Brusa sistema. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-06-10]. Prieiga per internetą: <http://www.brusa.eu/>
5. Odyne hibridinė sistema. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-06-11]. Prieiga per internetą: <http://www.odyne.com/>
6. Efficient Drivetrains Inc. įmonės gaminama EDI-Drive sistema. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-06-11]. Prieiga per internetą: [http://www.efficientdrivetrains.com/edi-drive\\_drivetrain\\_line.html](http://www.efficientdrivetrains.com/edi-drive_drivetrain_line.html)
7. EV Drive pavaros technologijos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-06-11]. Prieiga per internetą: <http://www.evdrive.com/design-technology/evdrive-train-architecture/>
8. Ebus elektrinių autobusų ir troleibusų sistemos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-06-11]. Prieiga per internetą: <http://www.ebus.com/>
9. Eaton firmos gaminama HETP sistema. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-06-11]. Prieiga per internetą: <http://www.eaton.com/Eaton/ProductsServices/Truck/HybridPower/hev-system-overview/index.htm>
10. HPEV Inc. įmonės gaminama HETP sistema. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-06-11]. Prieiga per internetą: <http://hpevinc.com/hybrid-conversion/the-conversion-process/>
11. iPHEV sistema. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-05-03]. Prieiga per internetą: <http://www.iphev.com/>
12. WANG Ximing, HE Hongwen, SUN Fengchun, SUN Xiaokun, TANG Henglu. Comparative Study on Different Energy Management Strategies for Plug-In Hybrid Electric Vehicles. ISSN 1996-1073. Energies 2013, 6, p. 5656-5675.
13. LCD ekrano dokumentacija. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-05-05]. Prieiga per internetą: <http://www.lcd-module.com/eng/pdf/grafik/dog1128-6e.pdf>

14. Naujasis Europinis vairavimo ciklas (NEDC). [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-05-05]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/New\\_European\\_Driving\\_Cycle](http://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle)
15. Kuro efektyvumas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-05-10]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_efficiency](http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_efficiency)
16. Iveco sunkvežimių specifikacijos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-05-10]. Prieiga per internetą: <http://www.iveco.com/New-Daily/Documents/Cat-Daily-Van-EN.pdf>
17. BOSCH, Robert. Automotive Handbook. Plochingen, 2011, 1265 p.
18. Mikrovaldiklio PIC18F4680 dokumentacija. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-15]. Prieiga per internetą: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39625c.pdf>
19. Transporto priemonių įkrovimo stotelių žemėlapis. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-05-19]. Prieiga per internetą: <http://chargemap.com/>
20. JAV Energetikos departamento statistiniai duomenys. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-05-20]. Prieiga per internetą: <http://www.afdc.energy.gov/data/10309>

## PRIEDAI

### Priedas 1. Akumuliatorių specifikacija



#### Technical Parameters

No	Item		Parameter Specification
1	Nominal Capacity		100Ah@ 0.3C Discharging
2	Minimum Capacity		100Ah@ 0.3C Discharging
3	Nominal Voltage		3.2 V
4	Internal Resistance		≤0.9mΩ
5	Charging(CC-CV)	Maximum Charging Current	1C
		Charging Upper Limit Voltage	3.65V
6	Discharging	Maximum Discharging Current	2C
		Discharging Cut-off Voltage	2.5V
7	Charging Time	Standard Charging	4h
		Quick-acting Charging	1h
8	Recommended SOC Usage Window	SOC : 10%~90%	
9	Operation Thermal Ambient	Charging	0°C ~ 45°C
		Discharging	-20°C ~ 55°C
10	Storage Thermal Ambient	Short-term (within 1 month)	-20°C ~ 45°C
		Long term (within 1 year)	-20°C ~ 20°C
11	Storage Humidity		<70 %
12	Battery Weight		Around 3.4kg
13	Shell Material		Plastic

## Priedas 2. Elektros variklio specifikacija

**iPHEV**

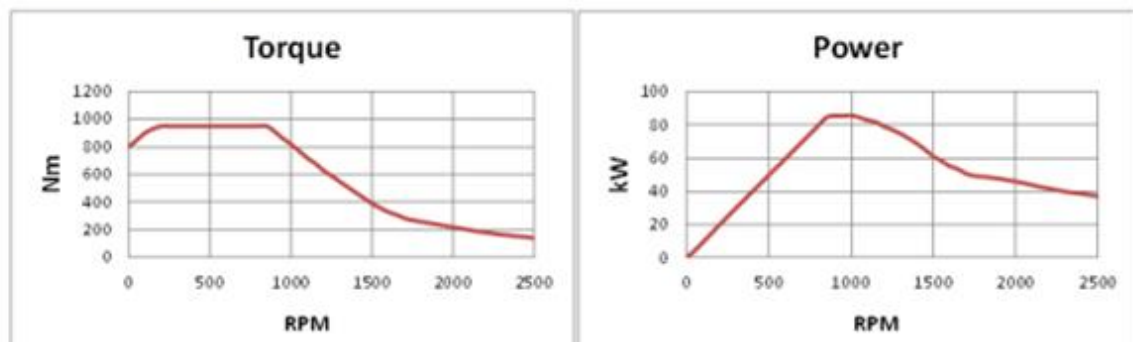
LCM-160-6 Asynchronous motor unit

**ELINTA MOTORS**



### LCM-160-6 AC Motor

Continuous power	50 kW
Peak power	>100 kW
Continuous phase current	420 A
Continuous torque	570 Nm
Peak torque	950 Nm
Efficiency	93%
Operational temperatures	-40...+65°C



\* Power graphs measured with IDS-70 controller

### Priedas 3. EDS-90 elektros variklio valdiklio specifikacija

## EDS-90

Induction motor controller



#### Features:

- High efficiency
- CAN v2.0 BUS
- Built-in contactor
- Liquid cooling
- Robust IP67 case
- Simple user software

EDS-90 is powerful and efficient mosfet driven motor controller. With only 150 VDC supply voltage it is capable of producing up to 90kW peak power.

EDS-90 can be used in hybrid or pure EV vehicles, boats or other battery driven machinery.

#### General

Continious power	55 kW
Peak power	90 kW
Battery voltage	144 VDC
Electrical safety	ISO6494 and EC60664
Protection class	IP67
Efficiency	98%
Operational temperatures	-40...+65°C

#### Power

Boost phase current 2s	900 A
Max. phase current 30s	800 A
Continious phase current	500 A
Max DC battery input current	630 A

#### Size

Size	260 x 405 x 93 (mm)
Weight	11 kg



## EV Power Charger

### 3 kW Traction Battery Charger Module

Compact and high efficiency charger for electrical vehicles

The new charger design from Eltek Valere has an industry leading efficiency up to 96% and it is extremely compact. Design can be adapted to different battery technologies and ensures fast charging while still maintaining optimal battery life. Its compact design will fit in to any free space in an electrical or plug-in hybrid vehicle.

#### Applications

##### For Pure Electrical or Plug-in Hybrid Vehicles

The charger is designed for maximal utilization of a 16A wall socket. It provides an output power in excess of 3 kW with a very high efficiency up to 96%.

#### Product Features and Advantages

##### Flexibility

Through the built-in CAN bus connection the unit can be fully controlled from a master unit, and all major values can be read back.

To match optimal charging for various batteries types and technologies, different charging modes can be used:

- o Constant voltage
- o Constant current
- o Constant power
- o Max available power (AC)

In order to meet other special requirements on functions or form factors, Eltek Valere is open for discussions. Please, contact your local Eltek Valere sales office.

##### Mechanical Design

The charger is designed in a very compact box, measuring only 50x280x120mm (IP20 version) with an output of 3 kW; this represents 30W pr Inch<sup>3</sup> or 1800W per liter. In addition, the high efficiency gives little excess heat which again reduces cooling requirements.

The mechanical design ensures good thermal coupling of all major heat generating components against a solid aluminum outer wall (base plate). The charger is intended to be mounted against a cold-plate, water or air cooled, with a sufficient heat transfer capacity for the environmental specification applicable.

##### Cost Effectiveness

Rectifiers and power modules in the range from 1 to 10 kW are the core of Eltek Valere business. Effective design combined with component market knowledge, buying power and efficient manufacturing enables us to offer very cost effective products.

##### Basic Specification

- Input voltage: ..... 85-275 VAC
- Input current: ..... Max 14A (electronically limited)
- Output voltage: ... See product matrix
- Output Power: ..... Max 3000W
- Efficiency: ..... 96% at 50% load, 95% at 100% load
- Power density: ..... >30W inch<sup>3</sup>
- Ambient temp<sup>1)</sup>: ..... -40 to 60 °C
- Control: ..... CAN bus

<sup>1)</sup> On cooling plate

Data subject to change without notice

Designed according to all norms and standards required for installation in vehicles carrying CE and UL marks.

For additional information, please contact us on:  
[automotive@eltekvalere.com](mailto:automotive@eltekvalere.com)