

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte
Spēkratu institūts

Monogrāfija
ELEKTROENERĢIJAS IZMANTOŠANA
SPĒKRATOS LATVIJĀ

D. BERJOZA, I. DUKULIS



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Monogrāfija izstrādāta projekta „Elektroenerģijas izmantošana
fizisko personu spēkratos” ietvaros

Līguma Nr.: 2010/0305/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/130

Jelgava
2013

ISBN 978-9984-849-33-1

Elektroenerģijas izmantošana spēkratos Latvijā. Zinātniskā monogrāfija.
Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2013. 426 lpp., 511 att.,
64 tab., 202 bibl. nos., 2 pielikumi.

Zinātniskie redaktori:

Dr.sc.ing. Dainis Berjoza

Dr.sc.ing. Ilmārs Dukulis

Monogrāfijas līdzautori:

Dr.oec. I. Jurgena

Dr.sc.ing. G. Birzietis

Dr.sc.ing. V. Pīrs

Dr.sc.ing. A. Galiņš

Dr.sc.ing. V. Osadčuks

Dr.sc.ing. K. Vārtukapteinis

Dr.sc.ing. G. Vērdiņš

Mg.sc.ing. J. Mistris

Mg.sc.ing. A. Birkavs

Mg.sc.ing. U. Putnieks

Mg.sc.ing. J. Lāceklis-Bertmanis

Mg.sc.ing. L. Kanceviča

Mg.sc.ing. A. Pecka

Mg.sc.ing. Ž. Jesko

Mg.sc.ing. M. Gailis

Zinātniskās terminoloģijas redaktors: Dr.sc.ing. G. Vērdiņš

Tehniskais redaktors: Dr.sc.ing. I. Dukulis

Recenzenti:

Dr.sc.ing. A. Grīslis

Dr.sc.ing. P. Rajeckis

ANOTĀCIJA

Elektroenerģijas izmantošana spēkratos Latvijā. Zinātniskā monogrāfija. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2013. 426 lpp., 511 att., 64 tab., 202 bibl. nos., 2 pielikumi.

Pētījumu mērķis ir elektropēkratu un to infrastruktūras izpēte un sabiedrības iepazīstināšana ar pētījumu rezultātiem, efektīvu elektropēkratu ieviešanas sekmēšanai.

Monogrāfijā apkopoti pētījumi, kuri veikti projekta „Elektroenerģijas izmantošana fizisko personu spēkratos” ietvaros. Monogrāfija izmantojama visiem, kuri interesējas par elektropēkratiem, kā arī dažāda līmeņa inženierzinātņu studentiem, doktorantiem un docētājiem.

Pētījumi veikti vairākās pamataaktivitātēs, galvenās no kurām ir dažādu elektropēkratu analītiskie pētījumi, elektropēkratu ekspluatācijas parametru izpēte, elektropēkratu iespējamās uzlādes iekārtu infrastruktūras pētījumi, iekšdedzes motora automobiļa pārbūve par elektromobili un alternatīvās enerģijas elektropēkratu akumulatoru uzlādes stacijas izstrāde un pētījumi. Monogrāfijā apkopoti arī pētījumi par pārbūvētu elektromobiļu reģistrācijas iespējām ceļu satiksmei un saules bateriju izmantošanas efektu uz elektromobiļa jumta Latvijas apstākļos.

Pētījumos konstatēts, ka elektropēkratu izmantošana ir ekonomiski un ekoloģiski pamatota, tos izmantojot ilgākā laika periodā. Galvenā elektropēkratu pielietojuma sfēra ir pilsētās un piepilsētā, kas būtiski samazina piesārņojumu, kā arī ekspluatācijas izmaksas. Veicot elektromobiļa pārbūvi no iekšdedzes spēkratiem, lietderīgi izmantot konkrētam lietotājam pielāgotu konstrukciju, tā būtiski samazinot pārbūves izmaksas. Straujākai elektropēkratu ieviešanai nepieciešams izveidot lētus uzlādes punktus, kuros uzlādi var veikt bez maksas, īpaši periodā, kad elektropēkratu skaits nav liels. Visiem elektropēkratiem uzlādei iespējams izmantot 220 V 16 A pieslēgumvietas, līdz ar to šādu uzlādes punktu ieviešana elektropēkratu attīstības sākumposmā ir optimāla. Alternatīvās enerģijas akumulatoru uzlādes stacijas spēkratiem plaši var izmantot vietās, kur nav elektroenerģijas pieslēgums, vai arī lietotājs vēlas izmantot paša saražotu „zaļo” elektroenerģiju.

Atslēgvārdi: elektropēkrati, elektromobiļi, elektrovelosipēdi, lēngaitas elektromobiļi, eksperimentālie pētījumi, uzlādes infrastruktūra, akumulatoru uzlādes stacija.

ANNOTATION

Application of electric energy in motor vehicles in Latvia. Scientific monograph. Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2013. 426 p., 511 fig., 64 tab., 202 bibl. sources, 2 appendices.

The aim of the research is investigation of electric motor vehicles and their infrastructure, and acquainting of society with the research results to promote effective introduction of electric vehicles.

The monograph summarises the research performed within the project "Usage of Electric Energy in Motor Vehicles of Physical Persons". The monograph is aimed for usage among people interested in electric motor vehicles as well as different level engineering students, post-graduate students and teachers.

The research has been carried out in several basic activities the main of which are electric motor vehicle analytical investigations, research in electric vehicle exploitation parameters, research in possible electric vehicle charging equipment infrastructure, converting of internal combustion engine vehicles into electromobiles, design and research in alternative energy electric vehicle battery charging stations.

The monograph summarises also research in the possibilities of rebuilt electromobile registration for road traffic and the effect of solar battery application on the roof of electromobiles in the conditions of Latvia.

The research states that application of electric motor vehicles is economically and ecologically approved using them in a longer period of time.

The main sphere of electric motor vehicle application is in cities and suburbs that essentially reduce pollution as well as exploitation costs. Converting electromobiles from internal combustion motor vehicles it is useful to use a construction adapted for a definite user so reducing the rebuilding costs essentially. For faster introduction of electric vehicles it is necessary to establish cheaper units where they can be charged without payment, especially in the period when the number of electric motor vehicles is not large. For all electric motor vehicles it is possible to use 220 V 16 A connection, so introduction of such charging units at the beginning of introduction of electric vehicles is optimal. The battery alternative energy charging stations for motor vehicles can be used in places where there are not electric connections or the used wishes to use own "green" electric energy.

Key words: electric vehicles, electromobiles, electric bicycles, low speed electromobiles, experimental research, charging infrastructure, battery charging station.

SATURS

levads.....	9
1. Elektrospēkrati, to konstrukcija un attīstības tendences	10
1.1. Elektrospēkratu attīstības vēsture	10
1.2. Lēngaitas iepirkšanās elektrospēkrati	13
1.2.1. Lēngaitas iepirkšanās elektrospēkratu vēsturiskais apskats	13
1.2.2. Lēngaitas iepirkšanās elektrospēkratu klasifikācija	14
1.2.3. Lēngaitas iepirkšanās elektrospēkratu izmantošanas iespējas	16
1.2.4. Lēngaitas iepirkšanās elektrospēkratu tehniskie parametri, raksturojums un lietošanas īpatnības	17
1.2.5. Iepirkšanās elektrospēkratu izplatītāji Latvijā un Eiropā....	24
1.2.6. Trīsriteņu iepirkšanās elektrospēkrati ar slēgtu virsbūvi	25
1.2.7. Trīsriteņu slēgtu iepirkšanās elektromobiļu tehniskie parametri	26
1.2.8. Rekomendācijas un ieteikumi lēngaitas iepirkšanās elektromobiļu iegādei un izmantošanai	28
1.3. Lēngaitas elektroautomobiļi	29
1.3.1. Lēngaitas elektroautomobiļu veidi	29
1.3.2. Elektroautomobiļu tehniskie parametri	33
1.3.3. Uzbūve, darbība	33
1.3.4. Lēngaitas elektromobiļu pielietojuma sfēras.....	37
1.3.5. Dažādu ražotāju lēngaitas elektroautomobiļi	37
1.3.6. Ekonomiskais un ekoloģiskais novērtējums	41
1.3.7. Rekomendācijas lēngaitas elektroautomobiļu iegādei un ekspluatācijai	42
1.4. Divriteņu elektrospēkrati	43
1.4.1. Elektrovelosipēdu attīstības vēsture.....	45
1.4.2. Elektromotociklu attīstības vēsture.....	46
1.4.3. Divriteņu elektrospēkratu uzbūve.....	47
1.4.4. Elektromotors	48
1.4.5. Kontrolleris	52
1.4.6. Akumulatori	53
1.4.7. Reģeneratīvā bremzēšana	60
1.4.8. Divriteņu elektrospēkratu izmantošana	60
1.4.9. Elektrovelosipēdu veidi	61
1.4.10. Elektrovelosipēdu ražotāji	63
1.4.11. Izplatītāji un pieejamie elektrovelosipēdu modeļi Latvijā.....	64
1.4.12. Tirgū pieejamie elektromotocikli	65
1.4.13. Latvijā nopērkamie elektromopēdi	67
1.5. Individuāli pārbūvētie elektroautomobiļi	68
1.5.1. Automobiļa pārbūves koncepcija.....	68
1.5.2. Pārbūvējamā automobiļa pamatelementi.....	72
1.6. Rūpnieciski ražotie un pārbūvētie elektromobiļi.....	86
1.6.1. Elektromobiļu izmantošanas iespējas un izplatība Latvijā.....	88
1.6.2. Elektromobilis Volvo C 30	89

1.6.3.	Tesla elektromobiļi.....	97
1.6.4.	Elektromobilis Tazzari	99
1.6.5.	Elektromobilis Buddy.....	100
1.6.6.	Elektromobilis Nissan LEAF	101
1.6.7.	Elektromobilis Mitchubishi i-MiEV	110
1.6.8.	Renault elektropēkrati.....	118
1.6.9.	Elektroautomobilis Think City	124
2.	Elektropēkratu uzlādes punktu izveidošanas iespējas Latvijā.....	128
2.1.	Uzlādes punktu klasifikācija	128
2.2.	Lēnās uzlādes punkti	129
2.2.1.	Uzlādes punkti glabāšanas vietā.....	129
2.2.2.	Publiskie uzlādes punkti	134
2.3.	Ātrās uzlādes punkti.....	145
2.4.	Akumulatoru apmaiņas sistēmas.....	154
2.5.	Uzlādes enerģijas izmaksas un norēķinu sistēmu varianti	161
2.6.	Uzlādes kontroles sistēmas, kontrole no attāluma	169
2.7.	Uzlādes punktu parametri, kabeļi un izstrādātās konstrukcijas	174
3.	Elektropēkratu uzlāde, izmantojot alternatīvo enerģiju Latvijā.....	181
3.1.	Alternatīvās enerģijas veidu klasifikācija elektropēkratu uzlādei Latvijā	181
3.2.	Vēja enerģija	183
3.3.	Saules enerģija	187
3.4.	Hidroenerģija.....	194
3.4.1.	Ūdens enerģijas pielietojuma teorētiskie pamati	196
3.4.2.	Hidroelektrostacija.....	199
3.4.3.	Turbīnu un ūdensratu veidi	200
3.5.	Citi zaļās enerģijas veidi un to potenciālā izmantošana Latvijas spēkratos	209
3.6.	Saules un vēja alternatīvā elektropēkratu uzlādes stacija un tās parametru pētījumi	222
3.6.1.	Stacijas vietas izvēle.....	222
3.6.2.	Stacijas rāmja konstruktīvie risinājumi	227
3.6.3.	Akumulatoru bateriju slēgumi un elektroenerģijas parametru pārveidošana.....	236
3.6.4.	Automatizācijas iespējas un to risinājumi	238
3.6.5.	Uzlādes vietas organizācija	240
3.6.6.	Uzlādes iekārta nelielas jaudas elektropēkratiem ar noņemamiem akumulatoriem.....	243
3.7.	Kombinētās alternatīvās enerģijas elektropēkratu akumulatoru uzlādēšanas stacijas eksperimentālie pētījumi	248
3.7.1.	Uzlādes stacijas konstruktīvā uzbūve un elektroslēgumi ..	249
3.7.2.	Uzlādes stacijas ekspluatācijas parametru iegūšana un uzturēšana	256
3.7.3.	Darbības datu monitoringa tiešsaistes vizualizācijas sistēma	266
3.7.4.	Darbības datu monitoringa datu apstrāde	267
4.	Automobiļu pārbūve par elektromobiļiem un tās potenciāls Latvijā	269
4.1.	Elektromobiļa pārbūves konstruktīvie risinājumi	269
4.1.1.	Elektromobiļa apsildes un kondicionēšanas sistēma.....	269
4.1.2.	Bremžu pastiprinātājs.....	278

4.1.3.	Stūres pastiprinātājs	283
4.1.4.	Elektromotors un tā parametru izvēle.....	287
4.1.5.	Akumulatori, to veidi un piemērotība izmantošanai Latvijā.....	294
4.2.	Pārbūvei nepieciešamie mezgli	311
4.3.	Elektromobiļa pārbūves soļi	316
4.3.1.	Slodzes noteikšana uz pārbūvējamā elektromobiļa riteņiem.....	317
4.3.2.	Pārbūvējamā automobiļa mezglu demontāža	321
4.3.3.	Pārbūvējamā automobiļa brīvo vietu mērīšana un modelēšana.....	325
4.3.4.	Pārbūvējamā automobiļa akumulatoru variantu analīze	328
4.3.5.	Pārbūvējamā automobiļa elektropatērētāju izvērtējums.....	329
4.3.6.	Elektromotora un pārnesumu kārbas savienošana	330
4.3.7.	Pārbūvējamā elektromobiļa motora montāža.....	332
4.3.8.	Elektromobiļa apkures, bremžu sistēmas, vadības bloku un akumulatoru montāža	333
4.4.	Transportlīdzekļa pārbūves legalizācija	338
4.4.1.	Otrās kategorijas pārbūve M1 kategorijas transportlīdzekļiem	340
4.4.2.	Trešās kategorijas pārbūve M1 kategorijas transportlīdzekļiem	345
4.4.3.	Transportlīdzekļa atbilstības novērtēšana	347
5.	Reģeneratīvā bremzēšana un saules enerģija kā papildus elektromobiļa barošanas avots	349
5.1.	Pētījuma objekts.....	349
5.2.	Eksperimentos izmantotās saules baterijas.....	351
5.3.	Eksperimentu veikšanas metodika	353
5.3.1.	Eksperimentos izmantotās mēriekārtas	353
5.3.2.	Eksperimentos uzņemtie un aprēķinātie parametri	354
5.3.3.	Eksperimentus ietekmējošie faktori	357
5.4.	Braukšanas režīmu analīze	357
5.5.	Eksperimentu jaukto režīmu datu analīze	360
5.6.	Braucienų enerģijas bilance.....	361
5.7.	Stacionāro režīmu datu analīze.....	364
5.8.	Secinājumi	365
6.	Elektrospēkratu eksperimentālie pētījumi	367
6.1.	Saules bateriju izpēte mazjaudas elektrospēkratu vilces spēka nodrošināšanai	367
6.1.1.	Pētījumu metodika	367
6.1.2.	Elektromobiļa akumulatoru izvēles pamatojums	368
6.1.3.	Saules fotoelektriskais panelis.....	369
6.1.4.	Saules baterijas montāža uz elektromobiļa	369
6.1.5.	Saules baterijas kontrolers	369
6.1.6.	Eksperimentu rezultāti	371
6.1.7.	Mazjaudas elektrospēkratu saules baterijas uzstādīšanas ekonomiskais pamatojums	374
6.1.8.	Secinājumi.....	376

6.2.	Lēngaitas elektropēkratu ieskriešanās parametri.....	377
6.2.1.	Eksperimenta rezultāti	378
6.2.2.	Secinājumi.....	381
6.3.	Elektroautomobiļa <i>FIAT FIORINO ELETTRICA HC-S</i> ieskriešanās raksturlielumu noteikšana	381
6.3.1.	Pētījumu metodika	382
6.3.2.	Pētījumu rezultāti.....	383
6.3.3.	Secinājumi.....	386
6.4.	Elektrovelosipēdu ieskriešanās raksturlielumu noteikšana	386
6.4.1.	Pētījumu metodika	387
6.4.2.	Pētījumu rezultāti.....	389
6.4.3.	Secinājumi.....	391
6.5.	<i>MELEX 963DS</i> lēngaitas elektromobiļa nobraukums ar daļēju uzlādi	392
6.6.	Elektropēkratu izmantošanas ekonomiskais pamatojums.....	395
6.6.1.	Ekonomiskais efekts dažādiem spēkratiem	396
6.6.2.	Secinājumi.....	400
6.7.	Elektropēkratu ekspluatācijas ekoloģiskie ieguvumi	400
6.7.1.	Transportlīdzekļu struktūra Latvijā.....	400
6.7.2.	Elektromobiļu ekoloģiskā ieguvuma izvērtējuma algoritms.....	401
6.7.3.	Secinājumi.....	406
	Kopsavilkums un rekomendācijas	408
	Izmantotie informācijas avoti	412
	Pielikumi	424

IEVADS

Lai gan elektromobiļu attīstība iesākās ātrāk nekā iekšdedzes motoru automobiļu plašs pielietojums, šie automobiļi neieguva plašu popularitāti. Attīstības sākumposmā, tāpat kā mūsdienās, elektrotransportam bija līdzīgas priekšrocības attiecībā pret iekšdedzes motoru spēkratiem - klusa darbība, apkārtējās vides mazāka piesārņošana, vienkārša motora konstrukcija. Arī trūkumi bija līdzīgi - salīdzinoši neliels nobraukums ar vienu uzlādi, smagas akumulatoru baterijas, neliels bateriju mūžs un to augsta cena.

Spēkrati mūsdienās ir viens no fosilās enerģijas plašākajiem izmantotājiem. Fosilo degvielu dažādos spēkratos izmanto jau vairāk kā 100 gadus. Šajā laika posmā būtiski pieaudzis gan iekšdedzes spēkratu skaits, gan arī izmantotās naftas produktu degvielas daudzums.

Sakarā ar fosilās degvielas resursu plašo izmantošanu pasaulē, pēdējos gados vērojama to izsīkšana. Pēc dažādām prognozēm fosilo resursu pietiks vēl 40 līdz 50 gadiem, ja šo resursu izmantošanas ātrums nesamazināsies vai netiks rasta iespēja izmantot citus, atjaunojamus energoresursus. Šī iemesla dēļ zinātnieki meklē jaunus enerģijas veidus, kurus izmantot spēkratu darbībai. Fosilo resursu taupīšanai var izmantot biodegvielu, kuru iegūst no atjaunojamiem resursiem. Īpaši svarīgi tas ir Latvijā, kurai naftas krājumi ir ļoti nelieli un netiek izmantoti degvielas iegūšanai, tāpēc visi fosilie energoresursi ir jāimportē.

Cits veids, kā taupīt fosilos resursus, ir elektrospēkratu izmantošana. Izmantojot elektrospēkratus, iespējami vairāki ieguvumi, kas saistīti gan ar vides taupīšanu, jo nav kaitīgo izmešu, gan arī ar beztrokšņa darbību. Īpaši elektrospēkratu izmantošana ir lietderīga tieši pilsētās, jo pilsētās spēkratu lielās koncentrācijas dēļ toksisko izmešu ietekme uz cilvēka veselību ir būtiska, salīdzinot ar lauku rajoniem.

Monogrāfijā apkopoti gan analītiskie pētījumi, kuri balstīti uz dažāda veida literatūras avotiem, gan arī LLU veiktie eksperimentālie pētījumi un eksperimentālo prototipu un modeļu apraksti un analīze.

Monogrāfijas nodaļu izstrādē un rediģēšanā dalību ņēmuši vairāki autori: D. Berjoza, I. Dukulis, G. Vērdiņš, I. Jurgena, G. Birzietis, V. Pīrs, A. Galiņš, V. Osadčuks, K. Vārtukapteinis, J. Mistris, A. Birkavs, U. Putnieks, J. Lāceklis-Bertmanis, L. Kanceviča, A. Pecka, Ž. Jesko, M. Gailis.

1. ELEKTROSPĒKRATI, TO KONSTRUKCIJA UN ATTĪSTĪBAS TENDENCES

Par elektrospekratiem sauc spēkratus, kuru piedziņai un vadībai izmanto elektroenerģiju.

Plašāk izmantojamos elektrospekratus var iedalīt šādās grupās:

- lēngaitas iepirkšanās elektromobiļi;
- lēngaitas elektroautomobiļi;
- divriteņu elektrospekati;
- individuāli pārbūvētie elektroautomobiļi;
- rūpnieciski ražotie un pārbūvētie elektroautomobiļi.

1.1. Elektrospekratu attīstības vēsture

Vēstures dati liecina, ka elektroenerģijas piedziņu vispirms sāka lietot elektromobiļos.

Elektromobiļu attīstību var nosacīti iedalīt sešos periodos (Электронная электротехническая библиотека, Б.г.):

- pirmie konstruktīvie risinājumi (1837 - 1895);
- intensīva attīstība un konkurence ar iekšdedzes motoru spēkratiem (1896 - 1930);
- lokāla pielietošana (1931 - 1960);
- eksperimentāls pielietojums - plaša konstruēšanas darbu veikšana un liela skaita pētījumu paraugu un mazu sēriju eksperimentālo elektromobiļu izgatavošana un laišana apgrozībā (1961 - 1982);
- noteikts darbu apjoma kritums, izsaukts ar straujām izmaiņām naftas tirgū. Neveiksmīga pētījumu partiju ekspluatācija, izmantojot neefektīgus strāvas avotus (no 1982. g. līdz 21. gadsimta sākumam);
- elektromobiļu atdzimšana (21. gadsimta sākums - mūsdienas).

Strauja elektrospekratu attīstība notika 19. un 20. gadsimta mijā, jo elektrospekratiem bija vairākas priekšrocības, salīdzinot ar iekšdedzes motoru spēkratiem, piemēram, tos nevajadzēja speciāli iegriezt ar iedarbināšanas kloķi, tie bija klusi un neizdalīja nepatīkamo benzīna un izplūdes gāzu smaku.

Sākot ar 1880. gadu, elektromobiļu attīstība notika paralēli ar iekšdedzes motoru automobiļiem. Šajos gados automobiļi ar iekšdedzes motoru vēl netika uzskatīti par nopietnu konkurentu elektromobiļiem. Elektromobiļu konstrukcija bija vienkāršāka un tie, tāpat kā iekšdedzes motoru automobiļi, galvenokārt tika izmantoti tikai pilsētās, pārvietojoties ne tālāk kā 10 - 15 km. Šādu elektromobiļu ātrums nepārsniedza 20 km h⁻¹.

1897. gadā Londonas ielās parādījās elektromobiļi - taksometri, kas ārēji maz atšķīrās no tradicionāliem angļu kebiem. 19. gadsimta beigās elektromobiļi uzstādīja vairākus ātruma rekordus. 1898. gadā elektromobilis sasniedza ātrumu 63.3 km h⁻¹. Gadu vēlāk sacensībās, ko organizēja Parīzes auto klubs, tika sasniegts ātrums 106 km h⁻¹ (Молодцов, 2008).

1899. gadā parādījās pirmie Krievijas elektromobiļi, kurus radīja inženieris I.V. Romanovs, bet 1901. gadā viņš uzprojektēja pirmo 15-vietīgo elektrobusu (skat. 1.1. att.) (Электромобили Ипполита Романова, 2001).



1.1. att. I.V. Romanova elektrobuss

1906. gadā Francijā A. Verdens organizēja sērijveida vieglo elektromobiļu ražošanu. Šo elektromobiļu nobraukums ar vienu uzlādi bija līdz 80 km, un to maksimālais ātrums sasniedza 30 km h^{-1} .

20. gadsimta sākumu var uzskatīt par elektroautomobiļu rūpniecības uzplaukumu. Šajā periodā elektrisko transportlīdzekļu ražošana notika Eiropā (galvenokārt Anglijā), kā arī ASV. Uz 20. gadsimta sākumu no visa ASV automobiļu daudzuma 38% bija ar elektromotoriem, 40% - ar tvaika motoriem un 22% - ar iekšdedzes motoriem.

Tehniskie parametri 20. gadsimta elektroautomobiļiem bija samērā labi. Tā, piemēram, *Detroit Electric* elektriskais automobilis (skat. 1.2. att.) varēja sasniegt ātrumu 32 km h^{-1} un pārvarēt 130 km bez uzlādēšanas.



1.2. att. Elektroautomobiļi *Detroit Electric* (1915. - 1916. g. ražojums)

1918. - 1928. gados elektromobiļu vienkāršās konstrukcijas dēļ tos sāka plaši pielietot kā tehnisko transportu mašīnbūves uzņēmumos.

20. gadsimta pirmo desmitgažu elektromobiļu tehniskie dati apkopoti 1.1. tabulā.

1.1. tabula. **Elektromobiļu tehniskie raksturlielumi**
(laika posmā no 1916. - 1930. g.)

Elektromobilis	Izlaiduma gads	Kravnesība, kg	Masa ar slodzi (kravu), kg	Baterija		Nobraukums, km	Maksimālais ātrums, km h ⁻¹
				Energoietilpība, kWh	Masa, kg		
Vieglais	1923	244	2234	18.1	780	85	39
	1926	210	1110	9.6	---	100	35
Elektrobuss	1916	1650	5500	24.0	860	70	27
	1924	2500	12000	60.5	3100	62	26
Furgons, kravas automobilis	1923	579	2700	16.2	800	67	30
	1923	5372	12061	45.0	1600	55	22
	1924	1570	4554	26.9	1000	68	27
	1924	6468	13835	52.5	2150	47	18
	1926	1030	3645	17.2	900	75	21
	1926	4070	9100	28.4	1500	59	17
	1929	3500	8760	28.4	1560	60	26

No tabulas izriet, ka elektromobiļu nobraukums ar vienu uzlādi vidēji bija 50 - 80 km, bet ātrums 20 - 35 km h⁻¹. Jāatzīmē, ka kravas elektromobiļiem bija samērā liela celjspēja, kas dažreiz pārsniedza 6 tonnas, bet energopatēriņš pietiekami mazs - 0.054 - 0.095 kWh uz 1 t km.

20. gadsimta 30-jos gados elektromobiļu ražošana strauji samazinājās. Tikai atsevišķās valstīs, tādās kā Lielbritānija, Vācija un ASV, turpinājās to ražošana nelielos apjomos. 1939. gadā Vācijā bija vairāk nekā 9 tūkstoši elektromobiļu, bet uz 1944. gadu sasniedza 20 tūkstošus. Tas skaidrojams ar to, ka Vācijas valdība bija nolēmusi samazināt atkarību no importējamās naftas degvielas. Šajā laikā vērojams elektromobiļu ražošanas pieaugums arī Anglijā. Laika periodā no 1930. līdz 1960. gadam to skaits pieauga 15 reizes un sasniedza 26 tūkstošus vienību.

20. gadsimta vidū automobilis ar elektromotoru pakāpeniski zaudēja savu vietu autorūpniecībā. Galvenais no iemesliem bija tas, ka nebija pietiekami lielas akumulatoru jaudas. Arvien pilnveidojot iekšdedzes motoru, autorūpniecībā tas kļuva izdevīgāks, līdz ar to automobiļu ražošana lētāka. Tas ir izskaidrojams ar tālāko virzuļdzinēju konstrukcijas pilnveidošanu, kas automobiļiem nodrošināja kustības ātrumu lielāku par 80 km h⁻¹, bet degvielas tvertnes izmērus, kas nodrošināja nobraukumu līdz pat 300 km. Tas deva iespēju izmantot automobiļus ārpus pilsētas. Automobiļu ar iekšdedzes motoru masveida ražošanas organizēšana un degvielas zemās izmaksas pie augstiem tehniskās ekspluatācijas rādītājiem padarīja iekšdedzes motoru automobili par elektromobilim nerasniedzamu (Молодцов, 2008).

Tā beidzās pirmais periods vēsturē elektriskajiem transportlīdzekļiem. Daži eksemplāri vēsturisko elektropēkratu ir labi saglabājušies līdz mūsdienām, un tos var redzēt automobiļu muzejos. Tomēr šī transporta veida attīstība nav pārtraukta. Entuziasti daudzās valstīs turpina radīt jaunus elektroautomobiļu modeļus.

1.2. Lēngaitas iepirkšanās elektropēkrati

1.2.1. Lēngaitas iepirkšanās elektropēkratu vēsturiskais apskats

Par lēngaitas iepirkšanās elektropēkratu priekšteci var uzskatīt invalīdu ratiņus. Invalīdu ratiņi tika izstrādāti ar mērķi nodrošināt mobilitāti cilvēkiem ar pārvietošanās grūtībām. Invalīdu ratiņi sākumā tika veidoti ar mehānisko piedziņu - griežot ar roku pedāļus, kas bija izvietoti ērtai lietošanai. Šādus ratiņus parasti izmantoja braukšanai ārpus dzīvokļa - ielu satiksmē.

Nākamās paaudzes ratiņi tika izgatavoti kā mehāniskas piedziņas rati, kurus piedzina, sēžot ratiņkrēslā un ar rokām griežot pie riteņiem piestiprinātus speciālus piedziņas lokus (skat. 1.3. att.). Konstrukcija bija izveidota salīdzinoši vienkārša. Izmantojot kvalitatīvus riteņus, ergonomisku sēdekli un izveidojot ratiņkrēslu saliekamu, tā izmantošana ievērojami paplašinājās.



1.3. att. Invalīdu ratiņkrēsls ar pie riteņiem piestiprinātiem piedziņas lokiem

Ratiņkrēslu pakaļējo riteņu diametrs parasti bija 20 - 24 collas, bet priekšējo - nepārsniedza 8 - 10 collas. Šādus ratiņkrēslus varēja izmantot dzīvoklī, uz ielas, ērti novietot transportlīdzeklī. Speciālas modificētas šo ratiņkrēslu konstrukcijas tiek izmantotas arī sporta vajadzībām paraolimpiskajās spēlēs.

Kā vienu no iepirkšanās elektropēkratu priekštečiem var minēt arī mehāniskās piedziņas ratiņkrēslu. To darbina ar divām svirām (skat. 1.4. att.).



1.4. att. Ratiņkrēsls, kuru darbina ar divām svirām

Šādu ratiņkrēslu kustības ātrums ir augstāks nekā iepriekš aprakstītajām konstrukcijām un tos parasti izmanto ārpus dzīvokļa.

Nākamās paaudzes ratiņkrēsli tika izveidoti ar elektromotoru un akumulatoru. Tos izmanto smagi slimi cilvēki ar pārvietošanās grūtībām. Modernas konstrukcijas elektriskajiem ratiņkrēsliem izmanto vadību ar pultī, kas ļauj pat paralizētam slimniekam pārvietoties. Attīstoties tehnoloģijām, vadības pults aizstāta ar balsi vai cita veida vadību, atkarībā no lietotāja kustības iespējām. Šādas konstrukcijas ratiņkrēsliem parasti nav liels kustības ātrums. Tas nepārsniedz gājēja kustības ātrumu - 4 - 5 km h⁻¹.

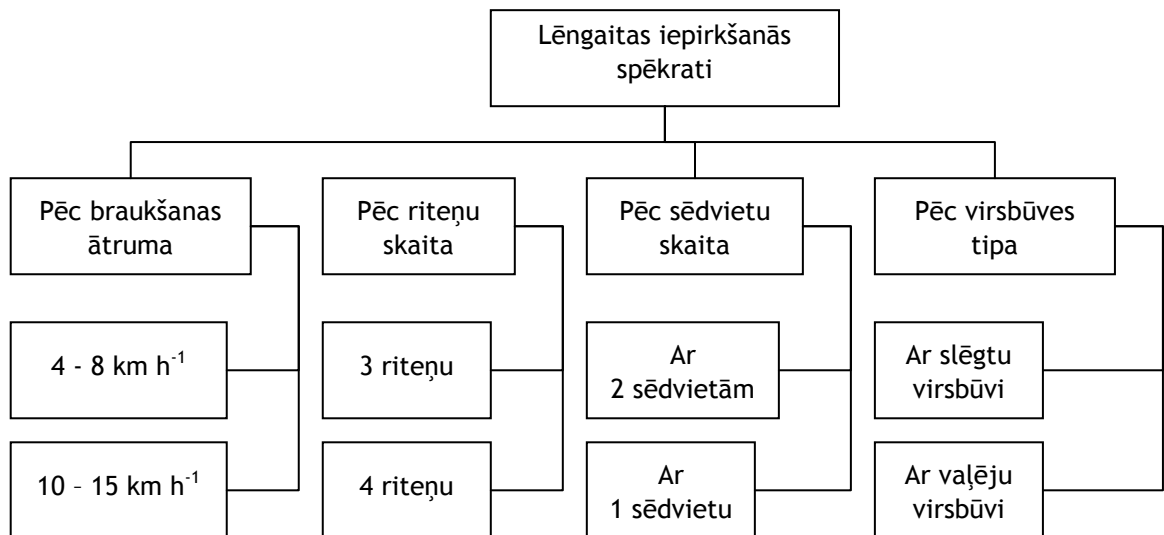
Pagājušā gadsimta 90. gados tika izstrādātas konstrukcijas iepirkšanās elektropēkratiem (*shopping vehicle*). Lēngaitas iepirkšanās elektropēkrati ir paredzēti cilvēkiem ar kustību traucējumiem pārvietošanās atvieglošanai un iepirkšanās nodrošināšanai lielveikalos. Konstrukcijā izmantota labākā pieredze no ratiņkrēsliem. Priekšējie un pakalējie riteņi izveidoti ar vienādu diametru.

Ar iepirkšanās elektropēkratiem cilvēki ērti var apmeklēt veikalus un pārvietoties pa tiem. Tomēr tie pieejami tikai labi attīstītajās valstīs ar augstu sociālo nodrošinājumu, sakarā ar šo transportlīdzekļu augsto cenu (transportlīdzekļa cena ir no 3500 - 5000 EUR). To iegādei attīstītajās Eiropas valstīs parasti ir nodrošināts sociālais pabalsts transportlīdzekļa iegādei. Līdz ar to šādu transportlīdzekļu attīstība un izplatība šajās valstīs ir pieaugusi.

Latvijā lēngaitas iepirkšanās elektropēkrati sāka parādīties pēdējos 5 - 6 gados. Parasti tie ir lietoti, to iegādes cena svārstās no 500 - 1000 LVL. Šos spēkratus visbiežāk ievieš no Vācijas, Holandes un Anglijas.

1.2.2. Lēngaitas iepirkšanās elektropēkratu klasifikācija

Lēngaitas iepirkšanās spēkratu klasifikācija apkopota 1.5. attēlā.



1.5. att. Lēngaitas iepirkšanās spēkratu klasifikācija

Lētākie iepirkšanās spēkrati ir ar vaļēju virsbūvi (skat. 1.6. att.), tomēr to lietošanu ierobežo laika apstākļi. Iepirkšanās spēkratus ar slēgtu virsbūvi var lietot arī lietus laikā, tomēr tiem ir lielāka cena, gabarītaugstums un svars.



1.6. att. Iepirkšanās elektromobilis ar vaļēju virsbūvi *HawaiiTM4401DX*

Iepirkšanās spēkratiem braukšanas ātrums var būt neliels - līdz 8 km h⁻¹. Šādus spēkratus parasti izmanto līdz 10 km lielu attālumu veikšanai.

Pēc izskata ļoti līdzīgi ir iepirkšanās elektrospekrati, kuru braukšanas ātrums ir 10 - 15 km h⁻¹. Šiem spēkratiem var būt nedaudz lielāki riteņi un jaudīgāks motors. Ja šiem spēkratiem motora jauda un akumulatori ir vienādi, lielāks nobraukums ar vienu uzlādi ir lēnākajiem spēkratiem, jo pie mazākiem braukšanas ātrumiem ir mazākas pretestības.

Visbiežāk iepirkšanās spēkratiem ir viena sēdvietā. Tomēr ražo arī spēkratus, kuriem ir divas sēdvietas. Šo spēkratu galvenais trūkums ir lielāks gabarītplatums, svars un mazāks nobraukums ar vienu uzlādi. Pastāv arī divvietīgie iepirkšanās spēkrati, kuru braukšanas ātrums ir līdz 30 km h^{-1} , bet lielo gabarīzizmēru dēļ tos nevar izmantot kustībai pa veikaljiem.

1.2.3. Lēngaitas iepirkšanās elektrospekratu izmantošanas iespējas

Lēngaitas elektrospekrati paredzēti gados vecāku cilvēku un cilvēku ar kustības traucējumiem mobilitātes nodrošināšanai.

Lēngaitas iepirkšanās elektrospekratu galvenās izmantošanas iespējas:

- lai pilsētās pārvietotos pa ielām, apmeklētu veikalu, poliklīniku, pastu u.tml.;
- kustībai pa lielveikaljiem, supermārketiem;
- izklaides pasākumos un sporta spēlēs, kur nepieciešams veikt lielus attālumus, piemēram, golfā, ja spēle notiek uz cieta seguma ar nelielu rites pretestības koeficientu;
- kustībai pa dzīvokļiem vai darba vietā, ja to izmēri ir piemēroti iepirkšanās spēkratu kustībai.

Šo spēkratu nobrauktais attālums ar pilnībā uzlādētiem, labā tehniskā stāvoklī esošiem akumulatoriem var sasniegt 40 km. Lai nobrauktu 10 km attālumu, šīs grupas spēkratiem nepieciešamas 1.0-1.5 stundas.

Pēc būtības braucēju, kurš pārvietojas ar iepirkšanās elektrospekratiem, var uzskatīt par gājēju, līdz ar to uz šo elektrospekratu vadītājiem attiecas visi tie paši ceļu satiksmes noteikumi, kas uz gājējiem. Ar iepirkšanās elektrospekratiem var pārvietoties pa ietvi, gājēju pārejām, lieliem veikaljiem, parkiem, citām sabiedriskām vietām. Izņēmuma gadījumos, ja nav ietves, ar iepirkšanās spēkratiem var braukt pa ceļa nomali. Šajā gadījumā nepieciešams ieslēgt priekšējās un pakalējās gabarītu gaismas, kā arī izmantot pagriezienu rādītājus. Gadījumā, ja ar iepirkšanās elektrospekratiem brauc pa ielu, īpaši uzmanīgi jāveic krustojumu šķērsošana, sakarā ar šo spēkratu nelielo kustības ātrumu, kas var traucēt citiem transporta dalībniekiem.

Dzīvoklī šos spēkratus izmantot ir apgrūtināši to vājās manevrēšanas un gabarītu dēļ. Pie pašreizējās infrastruktūras Latvijas pilsētās ir diezgan apgrūtināša arī šo spēkratu glabāšana.

Ja iepirkšanās spēkratu lietotājs dzīvo individuālā mājā, glabāšana problēmas nesagādās, jo tos var novietot gan garāžā, gan vienkārši nojumē. Grūtāk glabāšanu nodrošināt daudzdzīvokļu māju iemītniekiem, jo autostāvvietā glabāšana nav racionāla attāluma dēļ. Tāpēc iepirkšanās elektrospekratus vēlams glabāt tiešā daudzdzīvokļu mājas tuvumā. Būvējot jaunas daudzdzīvokļu mājas, tajās būtu lietderīgi izvietot speciālas šādu spēkratu stāvvietas 1. stāvā ar ērtu izbroukšanu uz ielas. Iespējamais šādu stāvvietu daudzums varētu būt apmēram viena uz pieciem dzīvokļiem. Perspektīvā domājot, ka mūsu valsts varētu būt pietiekami bagāta un attīstīta, šādas stāvvietas varētu tikt izveidotas mājas pagrabstāvā katram dzīvoklim.

1.2.4. Lēngaitas iepirkšanās elektrospēkratu tehniskie parametri, raksturojums un lietošanas īpatnības

Iepirkšanās spēkratu tehnisko parametru raksturošanai kā piemērs aplūkots iepriekš 1.6. attēlā dotais lēngaitas iepirkšanās elektromobilis *HawaiiTM4401DX*. Šo elektromobili var komplektēt 3 un 4 riteņu versijās un tos ražo Holandē, Amsterdamā. Tā galvenie tehniskie parametri apkopoti 1.2. tabulā.

1.2. tabula. Iepirkšanās elektromobiļa *HawaiiTM4401DX* tehniskie parametri

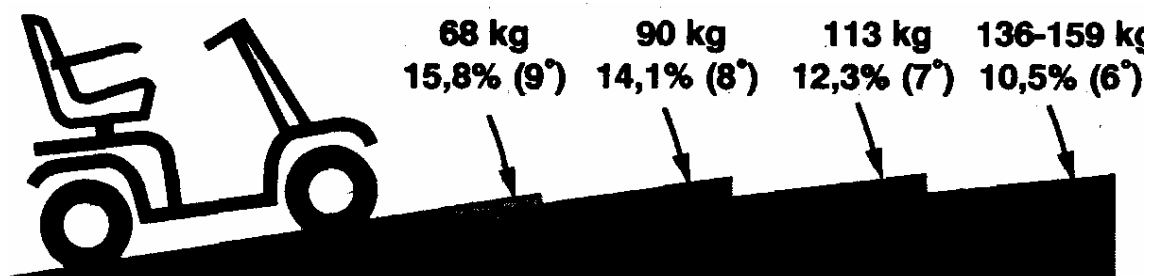
Nr.p.k.	Raksturojums	Tehniskais parametrs	
		HawaiiTM4001DX (3 riteņu)	HawaiiTM4401DX (4 riteņu)
1.	Maksimālais pārvaramais kāpums un kritums	8°	9°
2.	Garums, mm	1168.4	1187.5
3.	Platums, mm	610	
4.	Pašmasa ar akumulatoru baterijām, kg	84.36	87.54
5.	Pašmasa bez akumulatoru baterijām, kg	62.14	65.31
6.	Pārvedamā krava, kg	25	29
7.	Apgriešanās rādiuss, mm	1041.4	1448.0
8.	Maksimālais braukšanas ātrums, km h ⁻¹	6	
9.	Nobraukums ar jauniem akumulatoriem ar vienu uzlādi, km	40	
10.	Klīrenss, mm	82.6	
11.	Celtspēja, kg	159	
12.	Motora darba spriegums un jauda	24 V, 1 kW	
13.	Riteņu diametrs, mm	254	
14.	Riteņu platums, mm: priekšējiem pakaļējiem	88.9 101.6	
15.	Akumulatori	Divi 12 V dziļizlādes svina vai svina želejas 40 Ah	
16.	Bateriju uzlāde	Ar ārējo lādētāju	

Citu šīs grupas elektromobiļu uzbūve un darba parametri ir līdzīgi.

Izmantojot šāda veida elektrospēkratus, jāievēro vairāki noteikumi, lai nodrošinātu stabilu braukšanu bez apgāšanās iespējas, kā arī nepārslogotu motoru, braucot stāvā kalnā.

Ja braucēja svars ir robežās no 136 - 159 kg, ar četru riteņu elektromobili var braukt kāpumā, kura leņķis nepārsniedz 6° vai 10.5%.

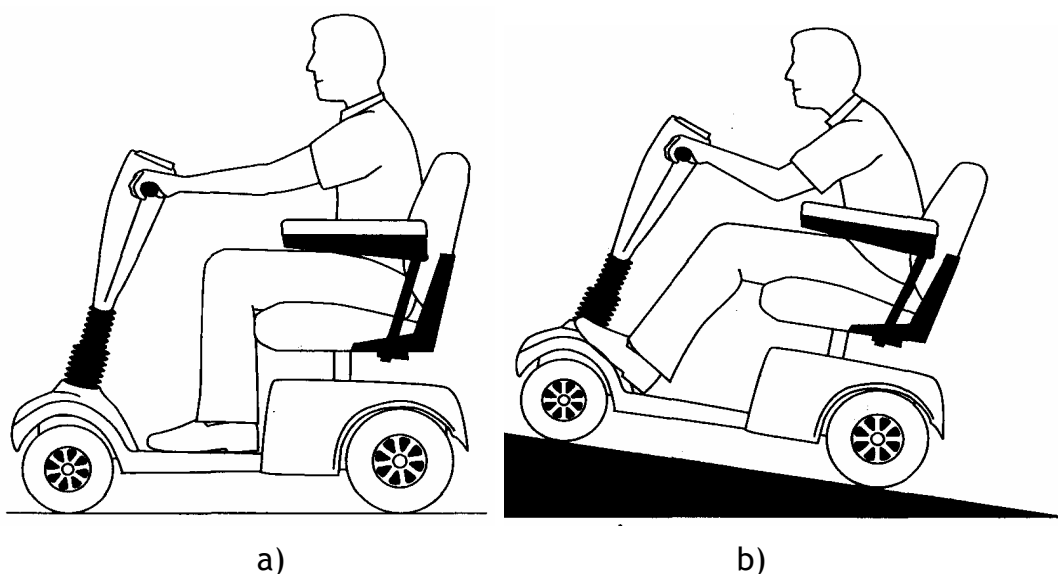
Turpretī, ja braucēja svars nepārsniedz 68 kg, iespējams pārvarēt kāpuma leņķi līdz 9° vai 15.8% (skat. 1.7. att.).



1.7. att. Ar četru riteņu elektromobili pārvaramie leņķi pie dažāda braucēja svara

Trīsriteņu iepirkšanās elektromobilim šie kāpuma leņķi ir vidēji par 15% mazāki nekā 4 riteņu versijai.

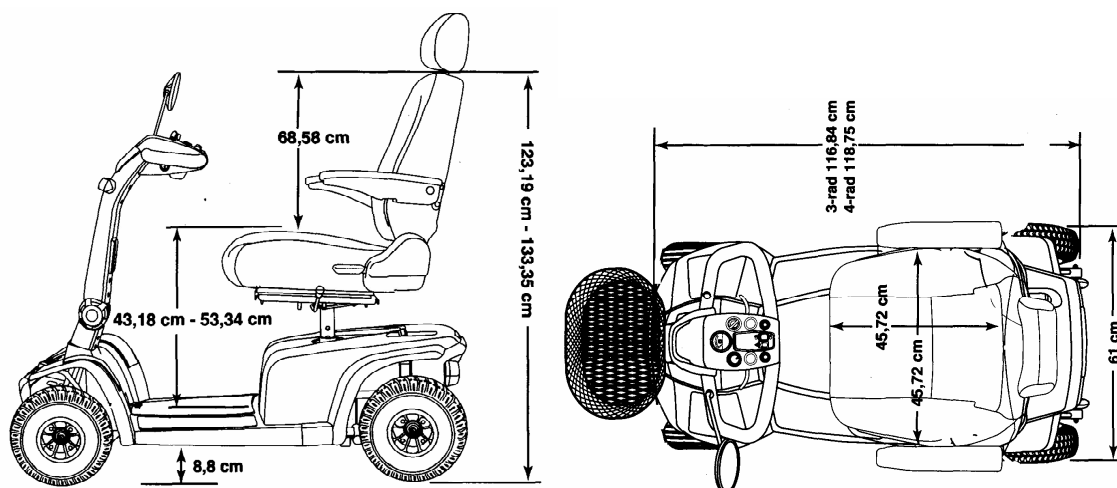
Lai ar iepirkšanās elektromobili braucot kāpumā nezaudētu stabilitāti, salīdzinot ar braukšanu pa līdzenu ceļu, jāmaina braucēja sēdēšanas pozīcija. Braucot kāpumā, kājas jāpārvieto pēc iespēja uz priekšu, jānoliecas tuvāk stūrei, samazinot smagumcentra augstumu un pārvietojot svaru uz priekšu (skat. 1.8. att.).



1.8. att. Braucēja sēdēšanas pozīcijas: a - braucot pa līdzenu ceļu; b - braucot kāpumā

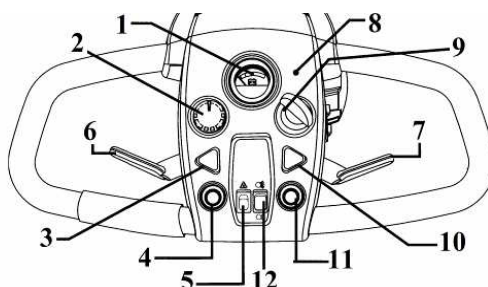
Iepirkšanās elektromobiļi parasti nav aprīkoti ar bremžu sistēmu, kuru speciāli jādarbina ar sviru vai rokturi. Gadījumā, ja tiek atlaista elektromobiļa gaitas akceleratora svira, bremzēšana notiek automātiski, sākumā ar motoru (pateicoties transmisijas lielajam pārnēsnumskaitlim, jo vienā no zobratiem ir tikai 3 zobi), bet apstājoties, automātiski iedarbojas stāvbremze, kura nodrošina stablu braucēja iekāpšanu un izkāpšanu bez elektromobiļa izkustēšanās no vietas.

Elektromobiļa kopskats redzams 1.9. attēlā.



1.9. att. Elektromobiļa kopskats

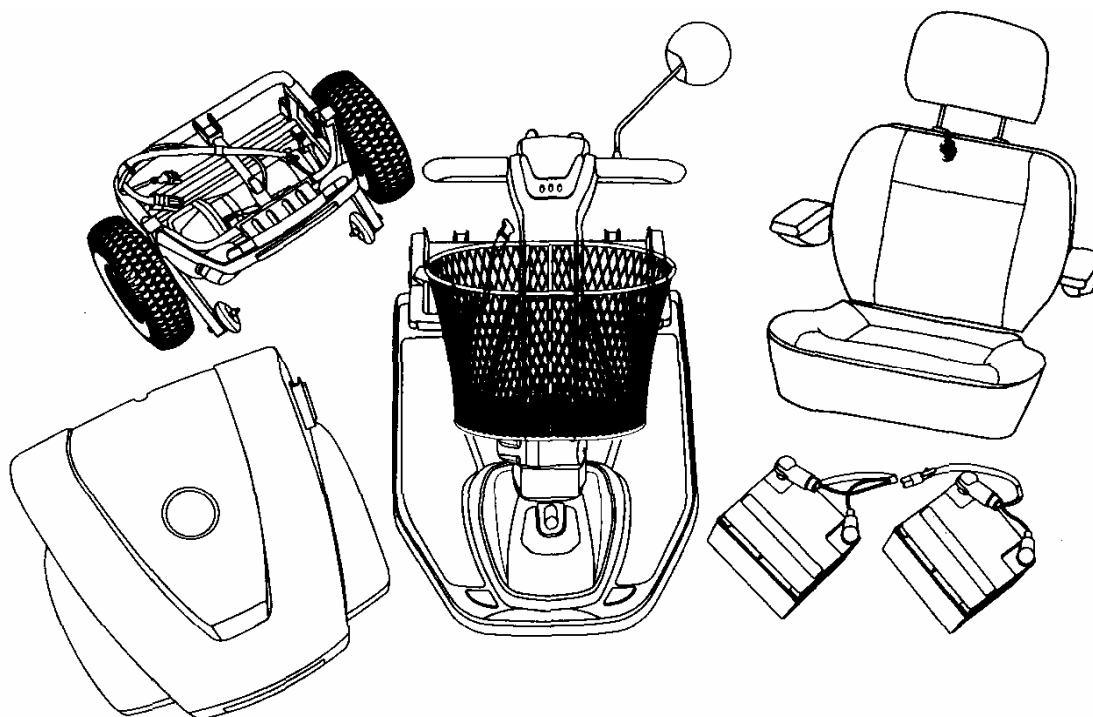
Elektromobilis var nodrošināt kustību gan uz priekšu, gan atpakaļ. Kustību uz priekšu nodrošina nospiežot sviru 7. Kustībai atpakaļgaitā nospiež sviru 6 (skat. 1.10. att.). Šīm svirām ir arī akceleratora funkcija. Kustībai atpakaļgaitā pie viena un tā paša centrālā reostata regulējuma tiek nodrošināts nedaudz zemāks ātrums, nekā kustībai uz priekšu. Iepirkšanās elektromobiļa *Hawai* stūre ar vadības svirām apskatāma 1.10. attēlā. Parasti iepirkšanās elektromobiļi ir aprīkoti ar uzlādes indikatoru. Gadījumā, ja uzsākot kustību uzlādes indikatora bultiņa pārvietojas līdz indikatora pusei (pieļaujāmās izlādes zona), jāsamazina kustības ātrums. Pretējā gadījumā var nesasniegt galamērķi.



1.10. att. Iepirkšanās elektromobiļa stūres iekārta ar vadības svirām:
 1 - uzlādes indikators; 2 - galvenais reostats braukšanas ātruma ieregulēšanai;
 3, 10 - kreisā un labā virzienu rādītāja slēdži; 4, 11 - skaņu signāla slēdži;
 5 - avārijas signalizācijas slēdzis; 6 - akceleratora svira kustībai atpakaļgaitā;
 7 - akceleratora svira kustībai uz priekšu; 8 - elektromobiļa ieslēgšanas indikatora diode; 9 - elektromobiļa ieslēgšanas atslēga; 12 - pakaļējo un priekšējo lukturu slēdzis

Elektromobilis aprīkots ar ieslēgšanas indikatora diodi 8 un ieslēgšanas atslēgu 9. Maksimālā braukšanas ātruma ierobežošanai kalpo reostats 2. Elektromobilis aprīkots ar pagriezienu rādītājiem, kurus ieslēdz ar pogām 3 un 10, kā arī ar skaņas signālu, kuru var aktivizēt ar pogām 4 un 11. Nepieciešamības gadījumā ar slēdzi 5 var ieslēgt avārijas signalizāciju, bet ar slēdzi 12 - priekšējos un pakaļējos lukturus.

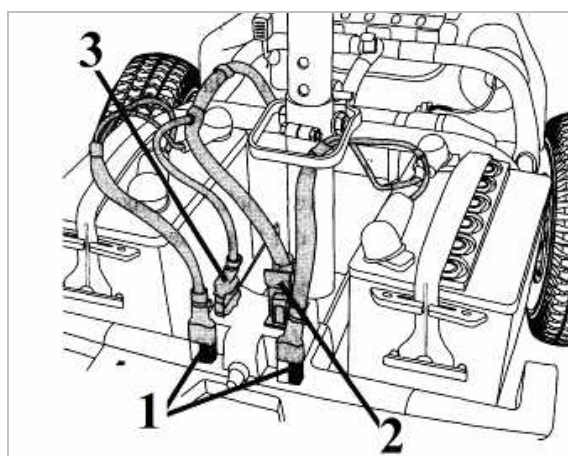
Iepirkšanās elektromobilis ir diezgan smags un to samontētā veidā grūti iecelt automobiļa bagāžniekā. Tomēr tas izgatavots no moduļiem, līdz ar to, prasmīgi darbojoties, to diezgan ātri var sadalīt daļās (skat. 1.11. att.) un tās atsevišķi novietot automobiļa bagāžas nodaļumā.



1.11. att. Iepirkšanās elektromobilis sadalīts pa moduļiem

Lai iepirkšanās elektromobili sadalītu moduļos, rīkojas šādi:

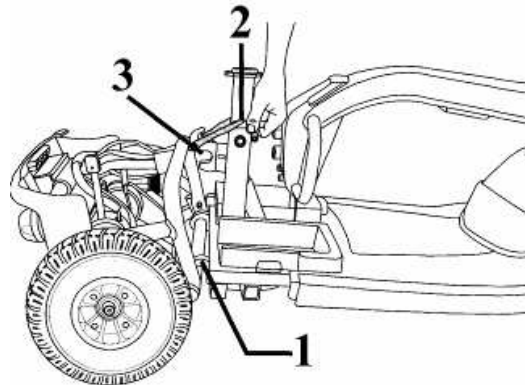
- noņem elektromobiļa sēdekli, nospiežot sviru, kas paredzēta sēdekļa pagriešanai ap vertikālo asi, vai citu fiksējošo mehānismu;
- noņem akumulatoru dekoratīvo plastmasas aizsargu;
- atvieno akumulatoru spraudņus 1 (skat. 1.12. att.) un noņem akumulatorus;



1.12. att. Elektromobiļa motora un transmisijas mezgla vadu atvienošana:

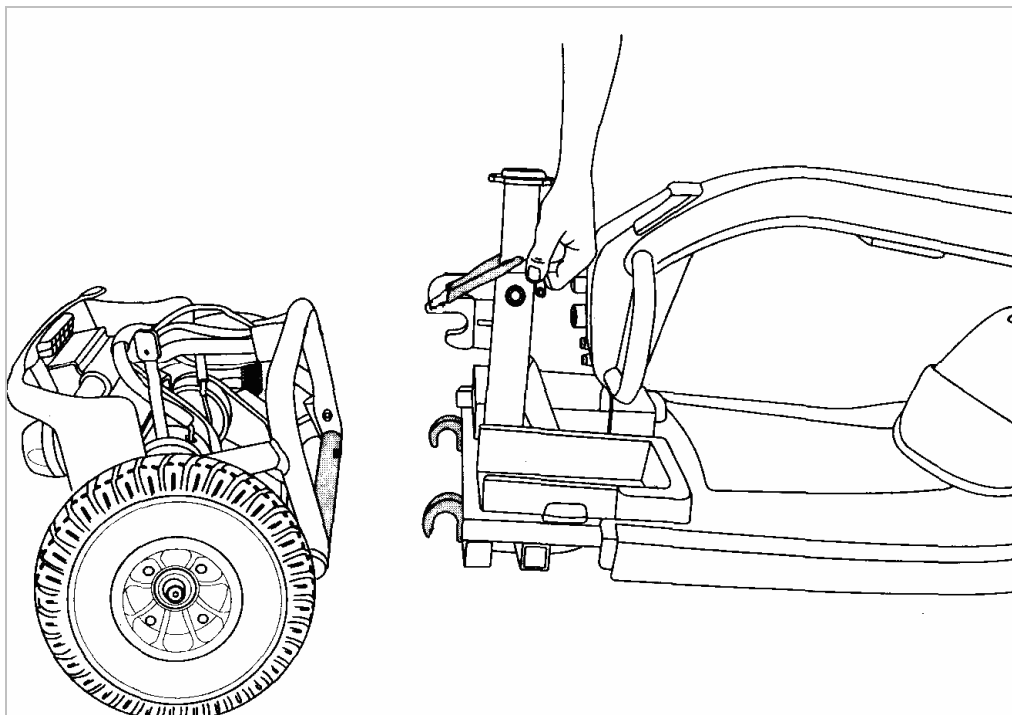
- 1 - akumulatora vadu spraudņi; 2 - slodzes vada spraudnis;
3 - vadības vadu spraudnis

- atvieno slodzes vadu spraudņus 2 un vadības vadu spraudņus 3;
- paceļ pakaļējā bloka fiksēšanas sviru 2 (skat. 1.13. att.) un izvirza pakaļējo bloku no augšējās fiksēšanas ligzdas 3;



1.13. att. Elektromobiļa motora un vadības bloka atvienošana no šasijas priekšējās daļas: 1 - pakaļējā bloka fiksēšanas āķis; 2 - pakaļējā bloka fiksēšanas svira; 3 - pakaļējā bloka augšējā fiksēšanas ligzda

- atāķē pakaļējā bloka apakšējos āķus 1 un atvirza pakaļējo bloku no priekšējās šasijas (skat. 1.14. att.);
- saloka elektromobiļa stūri un noņem iepirkumu grozu. Visas detaļas un mezgli ir gatavi transportēšanai.



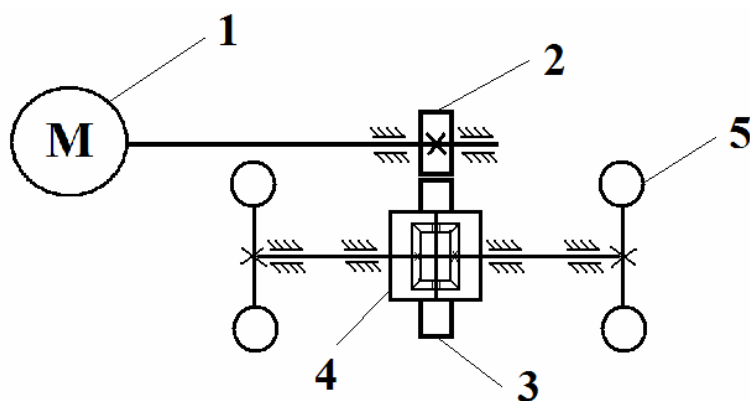
1.14. att. Pakaļējā bloka atvirzīšana no priekšējās šasijas

Elektromobilis neizjauktā veidā parasti novietojams bagāžas nodaļā, ja pakaļējie automobiļa sēdekļi ir salocīti. Ja elektromobilis ir izjaukts, tas vidējās klases hečbeka tipa virsbūves automobilī novietojams bez automobiļa pakaļējo sēdekļu transformācijas kravas pārvešanai (skat. 1.15. att.).



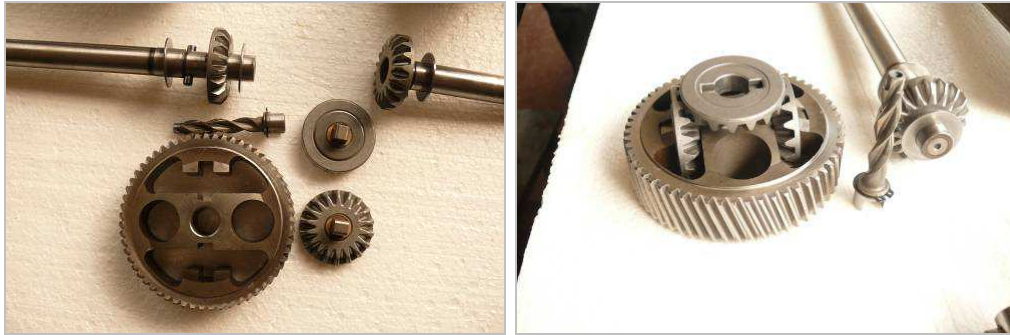
1.15. att. Iepirkšanās elektromobilis novietots izjauktā veidā automobiļa bagāžas nodalījumā

Lēngaitas iepirkšanās elektropēkratu transmisija ir ļoti vienkārša (skat. 1.16. att.). Transmisijā izmantota konsistentā smērviola, līdz ar to arī pēc blīvslēgu izdiluuma nekādas būtiskas eļļas noplūdes nav paredzamas.



1.16. att. Iepirkšanās elektromobiļa transmisijas shēma: 1 - elektromotors; 2 - primārās vārpstas zobrats; 3 - sekundārās vārpstas zobrats; 4 - diferenciālis; 5 - riteņi

Griezes momenta izmaiņai izmanto zobratu reduktoru, kuram mazākajā zobratā 2 (skat. 1.16. att.) ir tikai trīs zobi. Lielākajā zobratā (59 zobi) 4 ir izveidots diferenciālis (skat. 1.17. att.). Līdz ar to reduktora pārnesumu skaitlis ir 19.67.

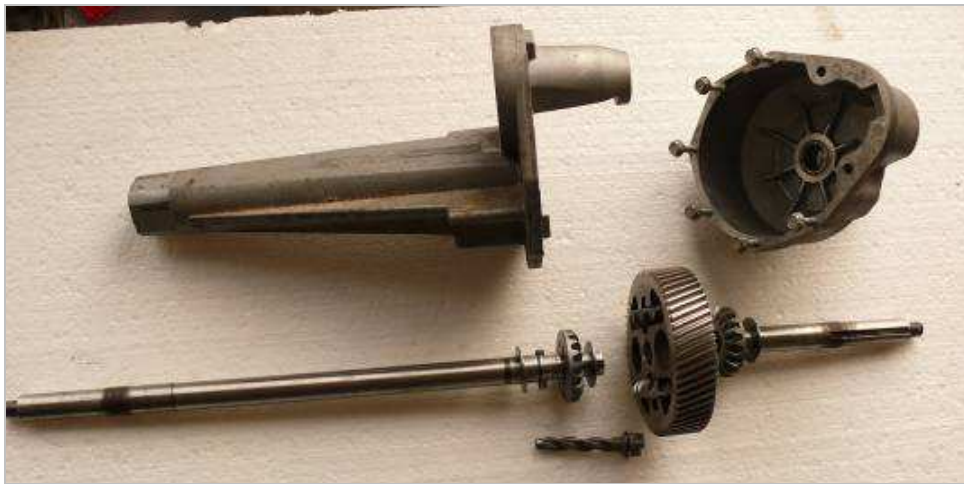


a)

b)

1.17. att. Galvenais pārvads un diferenciālis: a) galvenā pārvada un diferenciālā detaļas; b) samontēts diferenciālis

Transmisijas elementi, korpuss un asis, apskatāmi 1.18. attēlā.



1.18. att. Pakaļējā tilta korpuss ar reduktora zobratiem un diferenciāli

Samontēts iepirkšanās elektromobiļa elektromotora un transmisijas mezgls nav liels (skat. 1.19. att.). Tas ir kompakts un ērti montējams elektromobilī.



1.19. att. Elektromobiļa elektromotora un transmisijas mezgls

Atsevišķas bremžu sistēmas iepirkšanās elektromobilim nav. Elektromobili bremzē ar motoru, tam samazinot padoto strāvu, bet īsi apstājoties, iedarbojas elektromehāniska stāvbremze, kura montēta tieši uz elektromotora.

Lai iepirkšanās elektromobilim nomainītu akumulatoru baterijas, nepieciešams noņemt sēdekli un plastmasas aizsargu zem sēdekļa (skat. 1.20. att.). Tad atvieno bateriju spraudņus un tās noņem no elektromobiļa. Montāžu veic apgrieztā secībā.



1.20. att. Iepirkšanās elektromobilis ar noņemtu sēdekli un bateriju plastmasas aizsargu

1.2.5. Iepirkšanās elektropēkratu izplatītāji Latvijā un Eiropā

Vēl 2011. gada vidū specializētu iepirkšanās elektromobiļu dīleru vai tirgotāju Latvijā nebija. Tomēr šādus elektropēkratus iespējams iegādāties lietotus, izmantojot interneta tirgu „SS reklama”. Šādi elektropēkrati dažkārt atrodami sadaļā „Transports → Transports invalīdiem”. Šo elektromobiļu cena šajā interneta tirgū ir 350 - 800 LVL.

Jaunu elektromobiļu cena ir augsta - 3500 - 7000 EUR, atkarībā no to komplektācijas (slēgtā vai vaļējā virsbūve u.c.). Līdz ar to šādu elektromobiļu iegāde Latvijā nav izplatīta. Tomēr, ja ir vēlēšanās iegādāties jaunus elektromobiļus, tos Latvijā var piegādāt jebkurš elektropēkratu izplatītājs, piemēram, SIA „Impresso”, SIA „AV Transports” u.c. Pie tam tiks nodrošināta arī šo elektropēkratu kvalitatīva pēcpārdošanas apkalpošana, nodrošinājums ar rezerves daļām un tehniskais serviss.

Eiropā Latvijas pircējiem ērtākais ir Vācijas interneta tirgus „Mobile DE”. Izvēloties sadaļu „Degvielas veids → Elektrība”, tiek atvērti vairāki simti elektromobiļu, starp kuriem atrodami arī vairāki desmiti iepirkšanās elektropēkratu. To vidējā cena ir no 300 - 3500 EUR, atkarībā no to vecuma. Vācijā sastopami vairāki lietotu un jaunu šādu elektromobiļu dīleri, piemēram, firma „Roll-on Ltd”, kas atrodas Fahrenkrugā. Šī firma nodarbojas ar jaunu un lietotu elektromobiļu uzpirkšanu, tirdzniecību un servisu.

1.2.6. Trīsriteņu iepirkšanās elektropēkrati ar slēgtu virsbūvi

CityEL ir trīsriteņu vieglais elektromobilis, ko pašlaik ražo Vācijā. Elektromobilis *CityEL* sākotnēji tika izstrādāts kā *Mini EL* (skat. 1.21. att.) Dānijas uzņēmumā „*EL Trans*” un pirmo reizi parādījās tirgū 1987. gadā.



1.21. att. 1992. gada *Mini-EL „Basic”* sānskats

Kad „*EL Trans*” pārtrauca ražošanu 1988. gadā un slēdza divas ražotnes - „*Eltrans 1*” 1991. gadā un „*Eltrans 89*” 1995. gadā, Vācijas investors *Citycom Denmark* pārņēma elektromobiļu ražošanu un pārcēla uzņēmumu uz Vāciju. Ražošana tagad notiek Aub-Baldersheimā. 2009. gadā uzņēmums tika pārdēvēts par *Smiles AG*, un tas sāka pārdot ne tikai savus, bet arī citu uzņēmumu ražotos elektromobiļus.

Elektromobilis ir paredzēts vienai personai. Tam nav tradicionālo durvju. Lai iekļūtu automobiļa salonā, ir izveidota paceļama virsbūves augšējā daļa, kuras atvēršanu atvieglo gāzes atsperes (skat. 1.22. att.). Elektromobiļa salonā ir bērnu sēdekļītis, kas ļauj veikt bērnu (līdz 30 kg) pārvadāšanu. Bērnu sēdekļis ir novietots aiz priekšējā sēdekļa uz motora nodalījuma. Lai gan transportlīdzeklis vairāk izskatās pēc automobiļa, dažās valstīs tas tiek klasificēts kā elektriskais motocikls (*CityEL*, 2011).



1.22. att. Elektromobilis *City EL Targa* 1997. gada modelis

Kopš ražošanas sākuma elektromobilim ir bijušas trīs virsbūves versijas. „Basic” versija ir ar cieto jumtu. Dažas versijas ir aprīkotas ar plastikāta plēves sānu logiem. „Convertible” ir pilnīgi atvērta virsbūves versija „CityCom” vietā ir izveidota versija „Targa” ar noņemamu auduma jumtu un cieto aizmugurējo logu. Amerikā „City EL” tika pārdota ar jumtu, kas izgatavots no stikla šķiedras.

1.2.7. Trīsriteņu slēgto iepirkšanās elektromobiļu tehniskie parametri

Vecākām trīsriteņu elektromobiļu versijām ir 36 voltu, 2.5 kW elektromotors ar trim 80 Ah svina skābes akumulatoriem, kas nodrošina elektroautomobiļa maksimālo ātrumu 40 - 55 km h⁻¹ (1. sērijas automobiļi). Otrās sērijas elektromobiļiem elektrības patēriņš ir 7 - 9 kWh uz 100 km. Versijai *FactFour* ir četri svina skābes akumulatori, 4 kW elektromotors, kas nodrošina ātrumu 63 km h⁻¹ un nobraukumu bez uzlādes 70 līdz 90 km. Elektrības patēriņš ir 3.5 - 5 kWh uz 100 km. Kad *FactFour* tika ieviesta, atsevišķiem modeļiem tika uzstādītas litija jonu akumulatoru baterijas, kas nodrošināja nobraukumu bez uzlādes līdz 120 km.

City EL sver tikai 280 kilogramus, un, kad akumulatoru baterijas ir noņemtas, aiz priekšgala trīs cilvēki to var viegli pacelt. Ja *City EL* ir aprīkots ar 100 Ah litija jonu akumulatoru bateriju (skat. 1.23. att.), tas ir par 70 kilogramiem vieglāks (CityEL, 2011).



1.23. att. 43 V 100 Ah litija jonu akumulatoru baterijas modernizētajā *City EL*

CityEL individualitāti un izskatu raksturo īpaši rāvējsslēdzēji, priekšējā reste un riteņu disku uzlikas virsbūves krāsā. Par komfortu liecina iebūvēts MP3 atskaņotājs, radio un apsildāmais sēdeklis, taču tas samazina baterijas darbības ilgumu. Standarta aprīkojumā ir sporta stūre, bet papildus aprīkojumā tiek piedāvāta arī ādas stūre ar sarkanu un dzeltenu krāsas toni, kā arī koka apdare stūrei.

CityEL standarta aprīkojumā ietilpst salona gaisa sildītājs, H4 lukturi, instrumentu panelis ar spidometru, odometru, ceļojumu odometru un brīdinājuma gaismas, multifunkcionāls slēdzis gaismas augstuma regulēšanai, stikla tīrītājs, iebūvēts akumulatoru lādētājs, salona apgaismojums, trīspunktu drošības jostas, no iekšpuses regulējami spoguļi, atpakaļgaitas gaismas un kāju paklājs. Aizmugurējai asij izstrādāta progresīva atsperu sistēma, kas ļauj uzlabot gaitas laidētību. *CityEL* galvenie tehniskie parametri apkopoti 1.3. tabulā.

1.3. tabula. *CityEL* tehniskie parametri

Svars, izmēri, elektromotors, piedziņa		Ātrums, uzlāde, riteņi, bremzes, akumulatori	
Pašmasa ar litija baterijām, kg	220 - 260	Ātrums, km h ⁻¹	45 - 63
Celbspēja, kg	120	Brauciena garums ar vienu uzlādi (litija baterijas), km	60 - 120
Pilna masa, kg	400	Uzlādes laiks, h	1.5 - 10 (atkarīgs no lādētāja tipa)
Augstums ar aizvērtu virsbūvi, mm	1260	Riepas	80/70 - 16
Augstums ar atvērtu virsbūvi, mm	2380	Bremzes	Hidrauliskās
Garums, mm	2741	Litija baterijas	38 - 48 V 60 Ah - 100 A
Platums, mm	1060	Svina - skābes akumulatori	36 V vai 48 V
Riteņu bāze, mm	1810	Darba spriegums, V	36 vai 48
Klīrenss, mm	120	Elektroinstalācija, V	12
Pagrieziena rādiuss, m	8.5		
Motora jauda vecākām versijām, kW	2.5		
Motora maksimālā jauda, kW	4.5		
Piedziņa	Ķēdes pārvads		

Standarta aprīkojumā ietilpst arī strāvas plūsmas kontrole, lai pielāgotu braukšanas stilu un izmantotu elektroenerģiju daudz efektīvāk. Ir trīs braukšanas režīmi - ekonomiskais, normālais un sporta braukšanas režīms.

Aptuveni 6000 elektromobiļu *CityEL* tiek ekspluatēti katru dienu jau no 90. gadu sākuma. Funkcionalitāte, braukšanas prieks un vides aizsardzība ir apvienoti šajā transporta līdzeklī. *CityEL* nodrošina vislielāko degvielas taupību, vismazākās darbības izmaksas un emisijas. Vienvietīgais *CityEL* ļauj pārvietoties videi draudzīgās situācijās, kad nevar vai nedrīkst izmantot iekšdedzes motoru automobiļus. *CityEL* var izmantot braukšanai uz darbu, iepirkties vai jebkuros ikdienas braucienos. Elektromobilis uzlādēšanai ir pieslēdzams jebkurā māsjaimecības standarta kontaktligzdā.

CityEL drošība ir pierādīta gan sadursmes testos, gan ceļa apstākļos. Trīspunktu drošības josta, alumīnija-tērauda konstrukcija un putu pārklājums pasažieru nodalījumā nodrošina trieciena enerģijas optimālu absorbciju. Augsti enerģijas absorbcijas plastmasas kompozītmateriāli kopā ar cieto tērauda -alumīnija konstrukciju nodrošina maksimālu drošību.

Arī ziemā var ceļot droši, jo *CityEL* ir aprīkots ar īpašām ziemas riepām un apsildes sistēmu. Akumulatoru bateriju uzlādes iespējas ir līdzīgas citiem elektropēkratiem.

1.2.8. Rekomendācijas un ieteikumi lēngaitas iepirkšanās elektromobiļu iegādei un izmantošanai

1. Lēngaitas iepirkšanās elektropēkrati galvenokārt izmantojami vecākiem cilvēkiem un cilvēkiem ar pārvietošanās grūtībām, lai nodrošinātu mobilitāti ar diennakts vidējo nobraukumu līdz 20 - 25 km.
2. Iepirkšanās elektromobiļus iespējams iegādāties Latvijā caur interneta veikalu „SS Reklama”, tomēr šajā portālā piedāvājums ir ierobežots un parasti nepārsniedz 1 - 2 vienības. Plašāks iepirkšanās elektromobiļu piedāvājums atrodams Vācijas interneta tirgū „Mobile DE”, tomēr jārēķinās ar papildus izdevumiem šo elektropēkratu transportam.
3. Sakarā ar salīdzinoši augsto iepirkšanās elektromobiļu cenu, tos lietderīgi iegādāties lietotus, tomēr nespeciālistam šādu iegādi vajadzētu veikt pie elektromobiļu dīleriem, lai būtu spēkā vismaz minimāli garantijas noteikumi. Lietotu elektromobiļu vājākais mezgls ir akumulatoru baterijas, kuras iespējams tuvākajā laikā būs nepieciešams nomainīt.
4. Iepirkšanās elektromobiļus ērti lietot gan braukšanai pa ietvi, gan arī lielākajos veikalos, tomēr infrastruktūra Latvijā (ietvju nobrauktuves, kāpnes, augstas apmales) ne vienmēr ir piemērota šāda veida elektromobiļu ekspluatācijai. Dažkārt iepirkšanās elektromobiļu braukšanai jāizmanto ietve, kas samazina gājēju drošību.
5. Braucējs ar elektromobili ir pielīdzināms gājējam un šo spēkratu vadītājam nav vajadzīga vadītāja apliecība.
6. Sakarā ar attiecīgas infrastruktūras trūkumu apgrūtinoša var būt iepirkšanās elektromobiļu glabāšana daudzdzīvokļu māju iedzīvotājiem. Veicot jaunu māju būvniecību, iepirkšanās elektromobiļu glabāšanai varētu atvēlēt pagrabstāvu, izveidojot arī šo spēkratu uzlādēšanas infrastruktūru.
7. Iepirkšanās elektromobiļu izmantošanai Latvijā plašākas iespējas ir privātmāju iedzīvotājiem, kad var izmantot savas privātmājas infrastruktūru elektromobiļa ērtai glabāšanai un uzlādēšanai, piemēram, garāžā.
8. Trīsriteņu elektromobili *CityEL* ieteicams izmantot pilsētās, jo tam ir mazs enerģijas patēriņš un uzturēšanas izmaksas, tam viegli atrast autostāvvietu mazo gabarītu dēļ, un ar to ir ērti pārvietoties nelielos attālumos.
9. *CityEL* vadītājam garantē drošību, jo ir aprīkots ar trīspunktu drošības jostu, un piedāvā iespēju ērtāk pārvadāt bagāžu, to pasargājot no lietus.
10. Trīsriteņu elektromobilim *CityEL* ir vairākas modifikācijas, tāpēc pirms iegādes nepieciešams izvērtēt apstākļus, kādos šis elektromobilis tiks ekspluatēts.
11. Ja elektromobiļa *CityEL* ekspluatācija saistīta ar ārpuspilsētas izbraukumiem, tad ieteicams izvēlēties modeli ar litija baterijām, kas nodrošina brauciena garumu bez uzlādes līdz 120 km.
12. Lēngaitas elektromobilis *CityEL* Latvijā ir pielīdzināts triciklam, tāpēc tā vadīšanai ir nepieciešama B1 autovadītāja kategorija.

1.3. Lēngaitas elektroautomobiļi

Salīdzinājumā ar tradicionālajiem automobiļiem, kuru motori darbojas ar fosilām degvielām, elektroautomobilim ir dažas acīmredzamas priekšrocības:

- nav nepieciešama degviela;
- nepatērē enerģiju apstājoties;
- uzbūve ir vienkārša, jo tam nav ne sarežģīta motora, ne aizdedzes sistēmas, ne eļļas, ne filtru, ne izpūtēja, ne startera, ne ģeneratora;
- ir kluss un darbināšanas vietā nerada nekādus izmešus.

Elektrisko transportlīdzekļu ekspluatācija ir lētāka nekā tradicionālo transportlīdzekļu izmantošana un galvenais - ekoloģiski droša. Tas ir īpaši svarīgi pilsētvidē, kur ielu maksimumslodzes laikā būtiski pieaug gaisa piesārņojums ar izplūdes gāzēm.

Viens no pašlaik pasaulē plašāk piedāvātajiem elektroautomobiļu veidiem ir lēngaitas elektroautomobiļi. Par lēngaitas elektroautomobiļiem turpmāk saucim elektropēkratus, kuriem ir 4 riteņi un kuru maksimālais kustības ātrums ir līdz 50 km h⁻¹.

1.3.1. Lēngaitas elektroautomobiļu veidi

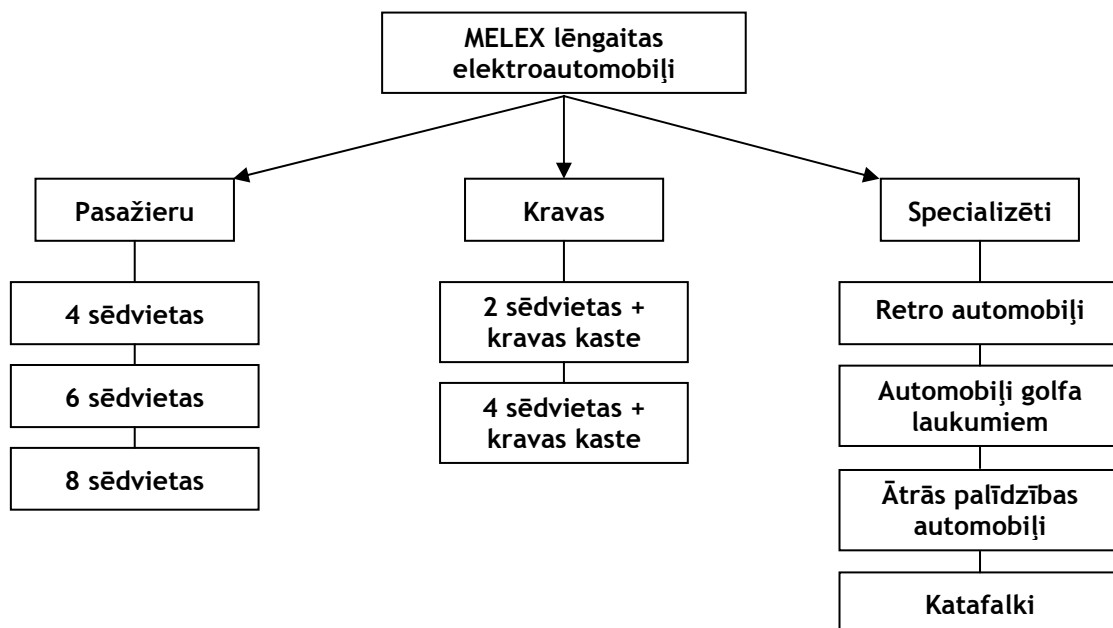
Latvijā lēngaitas elektroautomobiļus piedāvā divi uzņēmumi - SIA „AV Transports” un SIA „IMPRESSO”. SIA „AV Transports” izveidots ar nolūku popularizēt Baltijas valstīs elektrotransportu, kas ir draudzīgs dabai un sabiedrībai. Pagaidām no lēngaitas elektroautomobiļu klāsta šis uzņēmums piedāvā vienu modeli *AIXAM-MEGA*, kura cena ir 14 000 EUR (skat. 1.24. att.) (AV transports. Elektroautomobiļi, B.g.).



1.24. att. Lēngaitas kravas elektroautomobilis *AIXAM-MEGA*

SIA „IMPRESSO” piedāvā vairākus lēngaitas elektroautomobiļu modeļus no Polijas, kurus var izmantot gan kravas, gan pasažieru pārvadāšanai. Uzņēmums piedāvā arī lietotus lēngaitas elektroautomobiļus. Atkarībā no modeļa un komplektācijas to cenas ir sākot no 4000 LVL bez PVN. SIA „IMPRESSO” ir oficiālais *MELEX* elektroautomobiļu pārstāvis Latvijā, Lietuvā un Igaunijā. *MELEX* ir zīmols ražotājam ar 40 gadu pieredzi dažādu veidu elektroautomobiļu ražošanā. *MELEX* elektroautomobiļi ir pasaulē pazīstami pārvietošanās līdzekļi lidostās, golfa laukumos, ārstniecības iestādēs, viesnīcās, atrakciju parkos, rūpniecības zonās un citur (Elektrotransporta tirdzniecība, 2011).

MELEX piedāvātos lēngaitas elektroautomobiļus var iedalīt trīs pamatgrupās - pasažieru, kravas un specializētos elektroautomobiļos (skat. 1.25. att.) (Elektrotransporta tirdzniecība, 2011).



1.25. att. **MELEX** lēngaitas elektroautomobiļu klasifikācija

Lēngaitas pasažieru elektroautomobiļi (skat. 1.26. att.) ir dažāda lieluma un atšķiras ar pasažieru vietu skaitu - no 4 līdz 8 sēdvietām. Piemēram, 6-vietīgais MELEX modelis paredzēts mežsaimniecībām, zivjaudzētavām, briežu dārziem, zemnieku saimniecībām, kempingiem un aktīvās atpūtas tūrisma uzņēmumiem.



1.26. att. **MELEX** 6-vietīgs modelis XTR+

Lai palielinātu pārvadājamo pasažieru skaitu, tiek piedāvāti treileri. Treilera izmantošanu nosaka šādi faktori:

- elektroautomobiļa jauda;
- akumulatoru bateriju ietilpība;
- reljefs, kādā tiek veikti pasažieru pārvadājumi;
- ceļa segums, konfigurācija, joslu platums;
- ceļa iedalījums pēc satiksmes intensitātes.

Pasažieru pārvadāšanai tiek piedāvāti desmit elektroautomobiļu modeļi, kurus iespējams iegādāties gan standartkomplektācijā, gan izvēlēties ar dažādu papildus aprīkojumu.

Kravas elektroautomobiļiem (skat. 1.27. att.) parasti ir 2 - 4 sēdvietas un kravas kaste.



1.27. att. **MELEX 2-vietīgais modelis XTR+ ar 450 kg kravnesības kravas kasti**

Kravas pārvadājumi ar elektroautomobiļiem parasti tiek veikti:

- loģistikas centros, viesnīcās, sanatorijās, sporta un atpūtas zonās, noliktavās;
- sīku kravu pārvadāšanai slēgtās teritorijās;
- ražošanas uzņēmumos, mājsaimniecībās;
- viesnīcu kompleksos, lidostās un lidlaukos, pasažieru un sīku kravu pārvadājumiem;
- sīku kravu pārvadāšanai apgrūtinātos ceļa apstākļos, medību saimniecībās;
- kravu pārvadāšanā pa dabas takām, lauku saimniecībām;
- mežsaimniecībās, zivjaudzētavās, briežu dārzos, zemnieku saimniecībās, kempingos;
- aktīvās atpūtas tūrisma vietās.

Kravas elektroautomobiļa vestspēju piemēro pārvietojamās kravas specifikai atkarībā no kravas tilpuma un svara.

Specializētos elektroautomobiļus parasti izmanto, lai veiktu īpašus kravas vai pasažieru pārvadājumus. Šim transporta veidam ir specifiskas pielietošanas prasības.

Specializētie elektroautomobiļi var tikt konstruēti šādai pielietošanai:

- visa veida apsardzes struktūrās dienesta pienākumu veikšanai;
- komunālajos dienestos;
- slimnīcās, sanatorijās;
- sporta laukumos un stadionos;
- kapu apsaimniekotājiem izvadīšanas ceremonijās (piemēru skat. 1.28. att.);
- industriālajās un servisa kompānijās;
- loģistikas centros, veikalos;

- dzelzceļa stacijās;
- lidostās;
- izstāžu centros;
- komunālajos dienestos;
- lauksaimniecības un mežsaimniecības uzņēmumos.



1.28. att. **MELEX** modelis **HEARSE** (katafalks) - paredzēts kapu apsaimniekotājiem izvadīšanas ceremonijām

Pie šī elektroautomobiļu veida pieder arī ekskluzīvie modeļi - retro elektroautomobiļi (sk. 1.29. att.), kas paredzēti atpūtas un izklaides parkiem, kā arī īpašiem pasākumiem, piemēram, kāzām.



1.29. att. **MELEX** modelis **PV648 Retro**

Numurzīmes un tiesības piedalīties Latvijas ceļu satiksmē saņēmuši divi **MELEX** elektroautomobiļu modeļi. Tie ir reģistrēti atbilstoši tehniskajiem parametriem (motora jauda 3.9 kW, pilnā masa 1135 kg) kā kvadracikli (Elektriskais transports, 2011).

1.3.2. Elektroautomobiļu tehniskie parametri

Bāzes izmēri un citi *MELEX* elektroautomobiļu parametri pasažieru un kravas automobiļu modeļiem ir līdzīgi. Atšķirīgi ir ekskluzīvo elektroautomobiļu tehniskie parametri, jo tie tiek pielāgoti speciālām prasībām konkrēta pārvadājuma veikšanai.

Pasažieru pārvadāšanai *MELEX* piedāvā vienpadsmit transporta modeļus ar dažādiem tehniskajiem parametriem un aprīkojumu, kuri ietverti standartizpildījumā un papildus aprīkojumā. Visiem elektroautomobiļiem pasažieru pārvadāšanai standartaprīkojumā ir plastikāta virsbūve, tērauda rāmis un lokšņu atsperes ar amortizatoriem (Melex electric vehicles. Passenger vehicles, S.a.).

Kravu pārvadāšanai *MELEX* piedāvā sešpadsmit modeļus ar dažādiem tehniskajiem parametriem un aprīkojumu, kuri ietverti standartizpildījumā un papildus aprīkojumā (Melex electric vehicles. Cargo vehicles, S.a.).

Visiem kravas elektroautomobiļiem standartaprīkojumā ir plastikāta virsbūve, tērauda rāmis un lokšņu atsperes ar amortizatoriem. Šie elektroautomobiļi paredzēti ilgstošai braukšanai ar ātrumu 25 km h⁻¹. Parasti elektroautomobiļa darbināšanai izmanto astoņus akumulatorus. Viena akumulatora svars ir 30 kg.

Specializēto elektroautomobiļu grupā *MELEX* piedāvā piecus bāzes modeļus ar dažādiem tehniskajiem parametriem un aprīkojumu, kuri ietverti standartizpildījumā un ar papildus aprīkojumu. Visiem specializētiem elektroautomobiļiem standarta aprīkojumā ir plastikāta virsbūve, tērauda rāmis un lokšņu atsperes ar amortizatoriem. Maksimālais braukšanas ātrums ir 25 km h⁻¹ (Melex electric vehicles. Special vehicles, S.a.).

1.3.3. Uzbūve, darbība

Lēngaitas elektroautomobiļa pamatkonstrukcijā ietilpst tērauda rāmis, kas aprīkots ar plastikāta virsbūvi un gaitas iekārtu, kas ietver:

- elektromotoru;
- gaitas vadības instalāciju ar kontrolleri;
- centrālo informācijas un vadības sistēmu;
- kabeļus akumulatoru bateriju savienošanai;
- svina-skābes akumulatoru baterijas;
- akumulatoru bateriju lādētāju no elektroinstalācijas sadzīves 16 A rozetes.

1.3.3.1. Elektromotors

Elektroautomobilis pārvietojas, pārvēršot elektrisko enerģiju mehāniskajā enerģijā. Galvenā ierīce šī procesa nodrošināšanai ir elektromotors. Lai nodrošinātu iespējami efektīvu enerģijas izlietojumu, elektroautomobiļa elektromotors pielāgots tā specifiskajām vajadzībām.

Elektromotora lietderības koeficients ir ļoti augsts, bet siltuma zudumi niecīgi. Ir zems trokšņu līmenis, bet izplūdes gāzu nav. Konstrukcija vienkārša - nekādu kloķu, klaņu, vārstu, dilstošu virzuļu un gredzenu, nekādas

eļļas karterī, kura nolietojas un jāmaina. Spēka sadale ideāla - pilna jauda jau no starta. Pārnesumkārbā tikai galvenais pārvads. Elektromotors atdod strāvas avotā lieko kinētisko enerģiju - „rekuperē”, bremzējot.

Elektromobili parasti baro seši vai astoņi 6 V svina-skābes akumulatori, kas montēti zem aizmugures sēdekļa (pasažieru elektroautomobiļiem) vai zem kravas kastes (kravas elektroautomobiļiem) (skat. 1.30. att.). Jauda - līdz 5 kW.



1.30. att. Akumulatoru nodalījums zem kravas kastes

1.3.3.2. Gaitas vadības iekārta ar kontrolleri

Elektromotora darbības nodrošināšanai paredzēts motora kontroles bloks. Šis bloks nodrošina motora kontroli, pievadot un atgriežot elektroenerģiju. Kad automobilis paātrinās vai brauc ar konstantu ātrumu, motoram tiek pievadīta elektroenerģija, lai pārvērsu to mehāniskajā enerģijā. Kad automobilis samazina ātrumu, rodas mehāniska enerģija, kas rekuperācijas procesā nonāk atpakaļ elektroautomobiļa baterijās.

1.3.3.3. Centrālā informācijas un vadības sistēma

Centrālā vadības un informācijas sistēma (skat. 1.31. att.) ir integrēts dators, ar kura palīdzību tiek saņemti, apstrādāti un izvadīti dati par elektroautomobiļa stāvokli, kā arī tiek piedāvāta iespēja izvēlēties braukšanas režīmus, mainot motora sistēmas uzstādījumus.

Lai vadītājs varētu kontrolēt sistēmas darbību, transportlīdzekļa salonā ir integrēts displejs. Displejā attēlota braukšanai nepieciešamā informācija - braukšanas ātrums, patērētā un reģenerētā enerģija, bateriju stāvoklis, atlikušais attālums ar baterijās pieejamo enerģiju. Informācijas sistēma ļauj analizēt izvēlēto braukšanas režīma un braukšanas stila piemērotību, tādējādi nodrošinot iespēju izdarīt secinājumus un braukt iespējami efektīvi. Sistēma kalpo arī kā vadības rīks, kas ļauj izvēlēties kādu no braukšanas režīmiem atbilstoši ceļa apstākļiem. Atkarībā no izvēlēto režīma sistēma maina motora kontroles sistēmas parametrus, kas liek atbilstoši darboties motoram.



1.31. att. Centrālā informācijas un vadības sistēma: 1 - salonā integrēts displejs; 2 - automobiļa reversīvās kustības slēdzis; 3 - braukšanas režīma vadības slēdzis

1.3.3.4. Gaitas iekārta

Elektroautomobiļa *MELEX* gaitas iekārta balstās uz trijām lokšņu atsperēm, kuru svārstības slāpē hidrauliskie amortizatori. Tā ir aprīkota ar trumuļu hidraulisko darba bremžu sistēmu un mehānisko stāvbremzi. Pakaļējā tiltā (skat. 1.32. att.) iebūvēts galvenais pārvads, virs kura atrodas elektromotors.



1.32. att. Elektroautomobiļa *MELEX* pakaļējais tilts: 1 - galvenais pārvads; 2 - lokšņu atspere; 3 - bremžu trumulis; 4 - stāvbremzes trose

Elektroautomobiļa priekšējā balstiekārta (skat. 1.33. att.) sastāv no trapecveida atbalsta šarnīru sistēmas, kurā iemontēta lokšņu atspere. Atsperes gali balstās uz trapeces apakšējiem šarnīriem, bet vidus stiprinās pie virsbūves rāmja priekšējās daļas. Atsperes svārstību slāpēšanai kalpo divi hidrauliskie amortizatori.



1.33. att. Elektroautomobiļa *MELEX* priekšējā balstiekārta: 1 - lokšņu atspere; 2 - trapeceveida balstiekārtas augšējais plaukts; 3 - galvenais bremžu cilindrs; 4 - stūres stienis; 5 - amortizators; 6 - bremžu trumulis

1.3.3.5. Virsbūve

Visiem *MELEX* elektroautomobiļiem ir tērauda rāmis un plastikāta virsbūve. Atvērtā tipa virsbūve parasti tiek aprīkota ar priekšējo stiklu un jumtu.

Tiek piedāvāti arī elektroautomobiļi ar slēgta tipa plastikāta virsbūvi (skat. 1.34. att.). Šāda tipa elektroautomobiļi ir paredzēti braukšanai ziemas apstākļos un ir aprīkoti ar autonomo apkures sistēmu *WEBASTO*.



1.34. att. Kravas elektroautomobilis *MELEX* ar slēgto plastikāta virsbūvi

1.3.4. Lēngaitas elektromobiļu pielietojuma sfēras

Apkopojot lēngaitas elektroautomobiļu raksturojošos parametrus, var secināt, ka vidēji tā akumulatora svars ir 45 līdz 50 kg uz 1 kWh uzkrātās enerģijas daudzuma, bet parastam automobilim vajag 0.75 kg benzīna, lai iegūtu tādu pašu enerģijas daudzumu. Elektroautomobiļa pārvadājamās kravas masas attiecība pret pašmasu ir tikai 30%. Tātad 50 litru benzīna tvertnes analogs sver gandrīz divas tonnas. Turklāt tā uzpilde pat ar īpašām dārgām augstsprieguma ietaisēm iespējama ne ātrāk kā stundas laikā, bet ar „sadzīves” 220 voltiem prasa 8 stundas.

Akumulatoru svars un īsais attālums, ko var veikt ar vienu uzlādi, ir galvenie ierobežojoši faktori plašai elektroautomobiļu pielietošanai. Līdz ar to elektroautomobiļi ir piemērotāki braukšanai ar mazu ātrumu vai īsākiem attālumiem. Elektrotransports ir ērts iekšējos transporta pārvadājumos, komunālajos pakalpojumos vai aktīvās atpūtas tūrisma vietās. Latvijā lēngaitas elektroautomobiļus galvenokārt pielieto loģistikas centros, sporta un atpūtas zonās, noliktavās sīku kravu pārvadāšanai, lidostās un lidlaukos (pasažieru un sīku kravu pārvadājumiem), kā arī atpūtas parkos un tūrisma vietās. Ar firmas *Impresso* Polijā ražotajiem *MELEX* elektroautomobiļiem var nesteidzoties apskatīt Siguldas un Turaidas apkārtni. Tas pats pilnīgi droši sakāms par Vecrīgas arhitektūras iepazīšanu, kur arī var izmantot lēngaitas elektroautomobiļus tūristu pārvadāšanai. Klusums un gaisa tīrība ir svarīgāki par ātrumu parkos, medību saimniecībās u.tml. (Jansons, 2011).

Elektroautomobiļus var izmantot ne tikai lielpilsētu ielās, bet arī laukos. Kā viens no piemērotākajiem modeļiem ir *MELEX* modelis *XTR*, kura konstrukcija paredzēta paaugstinātai caurejamībai. Šis elektroautomobilis paredzēts mežsaimniecībām, zivjaudzētavām, briežu dārziem un zemnieku saimniecībām, kā arī medībām (skat. 1.35. att.).



1.35. att. *MELEX* modelis *XTR*

1.3.5. Dažādu ražotāju lēngaitas elektroautomobiļi

Arī citi ražotāji piedāvā spēkratus, kas pēc saviem parametriem un pielietojuma ir līdzvērtīgi *MELEX* (Гольфкары ..., 2012)

Firma *Alke* specializējusies kravas elektroautomobiļu ražošanā. Tie paredzēti gabalkravu un birstošu kravu pārvadāšanai, kā arī atkritumu savākšanai (skat. 1.36. att.). To vilktspēja ir līdz 3000 kg, maksimālais braukšanas ātrums 30 km h^{-1} , bet ar vienu uzlādi var veikt līdz 70 km.



1.36. att. *Alke* modeļi *ATX100E/200E*, *ATX 280 E* un *ATX 200 E AR*

No firmas *Bravo Motors* ražojumiem pieejami 14 dažādi modeļi. *Bravo Cargo* pieder pasažieru/kravas automobiļu grupai un nopērkami ar 4, 6, 8 un 10 pasažieru vietām (cena sākot no 7500 LVL). Ar vienu uzlādi var veikt līdz 60 km. *Bravo Colibri* ir ar 2, 4, 6, 8 un 10 pasažieru vietām (cena no 6000 līdz 9000 LVL). Tie izmantojami gan kā golfa laukumu automobiļi, gan kā elektroautobusi, piemēram, ekskursijām (skat. 1.37. att.). To maksimālais braukšanas ātrums 35 km h^{-1} , bet ar vienu uzlādi var veikt 60 līdz 80 km.



1.37. att. *Bravo Motors* modeļi *Cargo* un *Colibri*

Firma izstrādājusi arī īpašus modeļus medicīnas un policijas darbinieku vajadzībām (cena ap 7000 LVL) (skat. 1.38. att.). To maksimālais braukšanas ātrums 35 līdz 40 km h^{-1} , bet ar vienu uzlādi var veikt 60 līdz 80 km.



1.38. att. *Bravo Motors* modeļi *Medic 2+1* un *Patrol 4*

Par 10000 līdz 13000 LVL var iegādāties prestižās klases elektroautomobiļus ar 2 (*Prestige 2*) līdz 10 (*Prestige 8+2*) pasažieru vietām konferencēm, ārvalstu delegāciju sagaidīšanai, tūrismam u.tml. (skat. 1.39. att.).



1.39. att. **Bravo Motors** modelis **Prestige 8+2**

Firmas *E-way* piedāvā 16 dažādus modeļus cenu robežās no 5500 līdz 13500 LVL. To maksimālais braukšanas ātrums 25 km h^{-1} , bet ar vienu uzlādi daži modeļi var veikt līdz 120 km. Vairums modeļu pēc izskata ir klasiski golfa laukumu automobiļi, bet ir arī daži ekskluzīvi, piemēram, *JM5* (policijas vajadzībām) un *CH6A* (retro) (skat. 1.40. att.). To maksimālais braukšanas ātrums 35 km h^{-1} , bet ar vienu uzlādi var veikt 60 līdz 80 km.



1.40. att. *E-way* modeļi **JM5** un **CH6A**

Firma *E-Z-GO* ražo 12 dažādus modeļus golfa laukumiem, kā arī kravu pārvadāšanai (skat. 1.41. att.). To maksimālais braukšanas ātrums līdz 25 km h^{-1} , kravnesība - līdz 400 kg.



1.41. att. *E-Z-GO* modeļi **RXV Freedom** un **XI 835**

Firma *Eagle* specializējusies golfa laukumu elektroautomobiļu ražošanā. Pasažieru vietu skaits no 2 līdz 6, cena no 5000 līdz 10000 LVL, maksimālais braukšanas ātrums 25 līdz 40 km h^{-1} , bet ar vienu uzlādi var veikt 60 līdz 90 km (skat. 1.42. att.).



1.42. att. *Eagle* modelis *G2048KSZ*

Vēl no ražotājfirmām var minēt *Eltreco* (3 modeļi golfa laukumiem), *Garia* (1.43. att. parādīts vispārējās nozīmes ceļiem paredzētais modelis *Monaco* ar maksimālo braukšanas ātrumu 40 km h^{-1} un ar vienu uzlādi veicamo attālumu līdz 60 km), *GEM* (1.44. att. redzams līdz 320 kg kravas pārvadāšanai paredzētais modelis *EL* ar vienu uzlādi veicamo attālumu līdz 50 km), *Greencar* (piemēram, 1.45. att. parādīts elektroautobuss ar maksimālo braukšanas ātrumu līdz 50 km h^{-1}), *ItalCar* un *EcoMotors*.



1.43. att. *Garia* modelis *Monaco*



1.44. att. *GEM* modelis *EL*



1.45. att. *Greencar* modelis *eMATSA 11S*

1.3.6. Ekonomiskais un ekoloģiskais novērtējums

Elektroautomobiļi ir nulles emisijas transportlīdzekļi, jo nerada CO₂ un citu gāzu izmešus to darbības vietā, tādējādi pasargājot vidi un cilvēkus ceļu satiksmei tuvējā apkārtnē.

Lai pilnībā novērtētu elektroautomobiļu ekoloģiskos faktorus, ir nepieciešams apzināt to, kādus CO₂ izmešu apjomus rada elektroautomobiļiem nepieciešamās elektrības ieguve. CO₂ var pieņemt kā visu emitēto gāzu un cieto daļiņu apjoma salīdzinošo rādītāju.

Pirmkārt, ir pieejamas un arvien attīstās tehnoloģijas elektrības ieguvei bez CO₂ izmešu veidošanās: upes ūdens plūsmas, jūras viļņu, vēja un saules enerģijas pārveide elektriskajā enerģijā. Minētos enerģijas pārveides procesus raksturo šādas īpašības:

- izmantojamā enerģija ir pilnībā atjaunojama;
- nerodas ķīmisko savienojumu izmeši;
- nerada cenu spiedienu uz pārtikas preču ražošanu.

Tātad pastāv iespēja iegūt elektromobiļiem nepieciešamo elektrību, vispār neradot izmešus. Latvijā lielāko daļu (aptuveni 70%,) no AS „Latvenergo” saražotās elektroenerģijas iegūst hidroelektrostacijās (HES). Tā, piemēram, 2007. gadā AS „Latvenergo” HES, ieskaitot Aiviekstes HES, devušas 65% no saražotās elektroenerģijas kopapjoma. Tehnoloģijas elektrības ieguvei no 100% atjaunojamiem resursiem attīstās, to cenas samazinās, kļūstot arvien pieejamākas arī katrai mājsaimniecībai (Bergs, 2011).

Otrkārt, ir nozīmīgi, ka elektrību ražojošās termoelektrostācijas (TEC) ir nedaudzi, augstas tehnoloģijas uzņēmumi, kuru radīto CO₂ apjomu un koncentrāciju ir iespējams efektīvi kontrolēt. Treškārt, elektromobiļiem ir raksturīga to uzlāde nakts stundās, kas dod iespēju pilnīgāk noslogot TEC esošās jaudas, tādējādi palielinot elektrības ražošanas lietderības koeficientu un samazinot CO₂ izmešu relatīvo apjomu. Ceturkārt, protams, ir jāsalīdzina iekšdedzes motoru (benzīna un dīzeļa) automobiļu un elektroautomobiļu izmantotās elektrības ražošanā radītos CO₂ izmešus.

1.4. tabulā sniegti dati par CO₂ izmešu apjomu, kas rodas tehnoloģiskajos procesos no enerģijas nesēja (degviela, elektrība) ražošanas vietas līdz automobiļa riteņiem, tiem pievadot 1 kWh enerģijas daudzuma (Energy consumption ..., S.a.).

1.4. tabula. CO₂ izmešu apjoms no enerģijas nesēja (degviela, elektrība) ražošanas vietas līdz automobiļa riteņiem

Automobiļa tips	CO ₂ , g (kWh) ⁻¹
Benzīna automobilis	1490
Dīzeļdegvielas automobilis	1380
Svina-skābes akumulatoru elektroautomobilis Eiropā	770
Litija akumulatoru elektroautomobilis Eiropā	640
Svina-skābes akumulatoru elektroautomobilis Beļģijā	480
Svina-skābes akumulatoru elektroautomobilis Beļģijā	400

Aprēķinu rezultāti liecina, ka pārvietošanās ar iekšdedzes motora automobili rada 2 līdz 3 reizes vairāk CO₂ nekā, izmantojot elektroautomobili, ko pamatā nosaka elektromotora, daudzkārt lielāka, salīdzinot ar iekšdedzes motoriem, enerģijas izmantošanas efektivitāte. CO₂ apjoma atšķirības starp reģioniem un valstīm nosaka elektroenerģijas ražošanas tehnoloģiju struktūra. Balstoties uz novērtējumu, ko sadarbībā ar partneriem veikusi Latvijas „Bezizmešu mobilitātes atbalsta biedrība”, sagaidāms, ka Latvijā elektroautomobiļu radītais relatīvais CO₂ izmešu apjoms būs Beļģijas līmenī vai mazāks. Lai varētu precīzi modelēt ieguvumus no elektroautomobiļu izmantojuma Latvijā, ir nepieciešami atbildīgo institūciju veikti aprēķini.

Ar mērķi izmantot elektroautomobiļu tehnoloģijas sniegtos ieguvumus, Eiropas valstis paplašina atbalstu to pielietojumam. Tā, piemēram, Beļģija, attīstot elektrisko transportlīdzekļu iegādes tiešā atbalsta mehānismus, no 2010. gada 1. janvāra privātpersonām atmaksās ienākuma nodokļa daļu šādos apmēros (% no iegādes cenas): elektroautomobiļi - 30% (limits - 9000 EUR), elektriskie kvadricikli - 15% (limits - 4540 EUR), tricikli un motocikli - 15% (limits - 2770 EUR) (Energy consumption ..., S.a.).

1.3.7. Rekomendācijas lēngaitas elektroautomobiļu iegādei un ekspluatācijai

1. Lēngaitas elektroautomobiļi ir pasaulē pazīstami pārvietošanās līdzekļi lidostās, golfa laukumos, ārstniecības iestādēs, viesnīcās, atrakciju parkos, rūpniecības zonās un citur. Šos elektroautomobiļus var iedalīt trijās pamatgrupās - pasažieru, kravas un specializētos elektroautomobiļos. Lai iegādātos lēngaitas elektroautomobili atbilstošu ekspluatācijas apstākļiem, ir jāņem vērā sfēra, kādā tiks ekspluatēts elektroautomobilis.
2. Lēngaitas elektroautomobiļi ir dažāda lieluma un atšķiras gan ar pasažieru vietu skaitu (pasažieru), gan ar celbspēju (kravas). Līdz ar to svarīgi ir izvēlēties pareizas jaudas elektromobili, ņemot vērā tā potenciālos darba apstākļus - reljefu, kādā tiks veikti pārvadājumi, ceļa segumu, konfigurāciju, joslu platumu, kā arī ceļa iedalījumu pēc satiksmes intensitātes.

3. Ja lēngaitas elektroautomobilis tiks izmantots sīku kravu pārvadāšanai apgrūtinātos ceļa apstākļos vai medību saimniecībās, tad būtiska nozīme ir riteņu izmēriem. Ieteicams izvēlēties elektroautomobili ar pēc iespējas lielāku riteņu diametru.
4. Tā kā lēngaitas elektroautomobiļi tiek aprīkoti gan ar hidraulisku, gan mehānisku bremžu sistēmu, tad svarīgi ir izvēlēties bremžu sistēmas veidu. Ja elektroautomobiļa masa ir lielāka par 400 kg bez akumulatoru baterijām, tad obligāti jāizvēlas elektroautomobilis ar hidraulisko bremžu sistēmu, kura nodrošina augstu bremžu efektivitāti.
5. Lēngaitas elektroautomobiļi tiek ražoti gan ar slēgtu, gan vaļēju virsbūvi. Ja tiek izvēlēts elektromobilis ar slēgto virsbūvi, tad tam ir jābūt aprīkotam ar autonomo apkures sistēmu, kas nodrošina salona komfortablu apsildi arī pie zemākām apkārtējās vides temperatūrām.
6. Iegādājoties lēngaitas pasažieru elektroautomobili, ir jāpievērš uzmanība, lai tas būtu aprīkots ar pasažieru drošības jostām.
7. Lēngaitas elektroautomobiļu būtisks raksturotājs ir tā autonomija un akumulatoru baterijas uzlādes laiks. Šos parametrus ir jāņem vērā, vadoties pēc elektroautomobiļa diennakts darba režīma, kā arī nepārtraukta veicamā attāluma līdz uzlādes punktam.
8. Lēngaitas elektroautomobilis Latvijā ir pielīdzināts kvadraciklam, tāpēc tā vadīšanai ir nepieciešama B1 vai B (ar piekabi) autovadītāja kategorija.

1.4. Divriteņu elektrospekrati

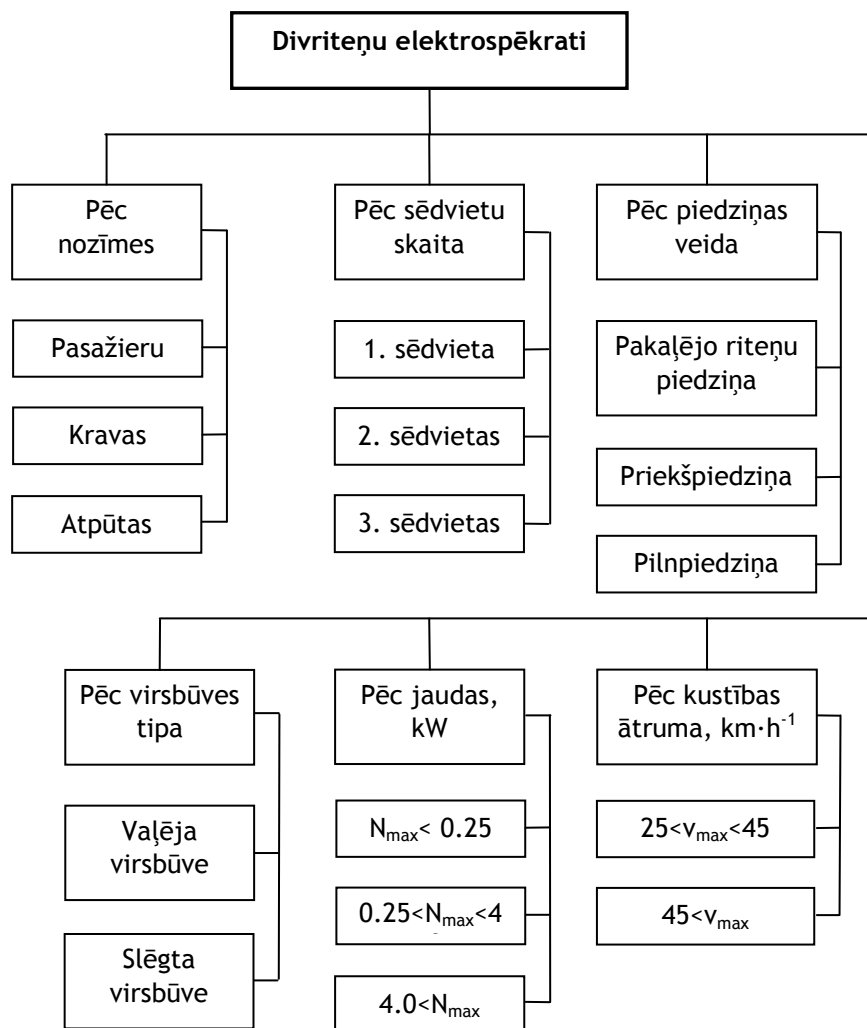
Atkarībā no motora jaudas un maksimālā pārvietošanās ātruma divriteņu transportlīdzekļi iedalāmi trīs grupās: elektrovelosipēdi, elektromopēdi un elektromotocikli. Saskaņā ar „Ceļu satiksmes likumu” divriteņu spēkratu definīcijas ir šādas:

- **velosipēds** - transportlīdzeklis, kas paredzēts braukšanai, izmantojot uz tā esošā cilvēka muskuļu spēku (izņemot invalīdu ratiņus). Velosipēds var būt aprīkots ar elektromotoru, kura jauda nepārsniedz 0.25 kW;
- **mopēds** - divriteņu vai trīsriteņu mehāniskais transportlīdzeklis, kura motora darba tilpums nepārsniedz 50 cm³ (dzirksteļaiždedzes tipa motoriem) vai kura maksimālā jauda nepārsniedz 4 kW (elektromotoriem vai cita veida iekšdedzes tipa motoriem) un konstrukcijā paredzētais maksimālais ātrums pārsniedz 25 km h⁻¹, bet nepārsniedz 45 km h⁻¹, kā arī četrriteņu mehāniskais transportlīdzeklis, kura pašmasa nepārsniedz 350 kg (neskaitot akumulatoru masu elektrotransportlīdzekļiem), motora darba tilpums nepārsniedz 50 cm³ (dzirksteļaiždedzes tipa motoriem) vai kura maksimālā jauda nepārsniedz 4 kW (elektromotoriem vai cita veida iekšdedzes tipa motoriem) un konstrukcijā paredzētais maksimālais ātrums nepārsniedz 45 km h⁻¹;
- **motocikls** - divriteņu mehāniskais transportlīdzeklis (ar blakusvāģi vai bez tā), kura motora darba tilpums pārsniedz 50 cm³ un konstrukcijā paredzētais maksimālais ātrums pārsniedz 45 km h⁻¹. Šis termins attiecas arī uz sniega motocikliem.

Divriteņu elektropēkratu iedalījums apkopots 1.5. tabulā un 1.46. attēlā, bet daži to piemēri doti 1.47. un 1.48. attēlā.

1.5. tabula. Divriteņu elektropēkratu parametru ierobežojumi Latvijā

Transportlīdzeklis	N_{\max} , kW	v_{\max} , km h ⁻¹
Velosipēds	< 0.25	-
Mopēds	$0.25 < N_{\max} < 4.0$	$25 < v_{\max} < 45$
Motocikls	$4.0 <$	$45 <$



1.46. att. Divriteņu elektropēkratu iedalījums



1.47. att. Divriteņu elektropēkrati: a - velosipēds; b - mopēds; c - motocikls

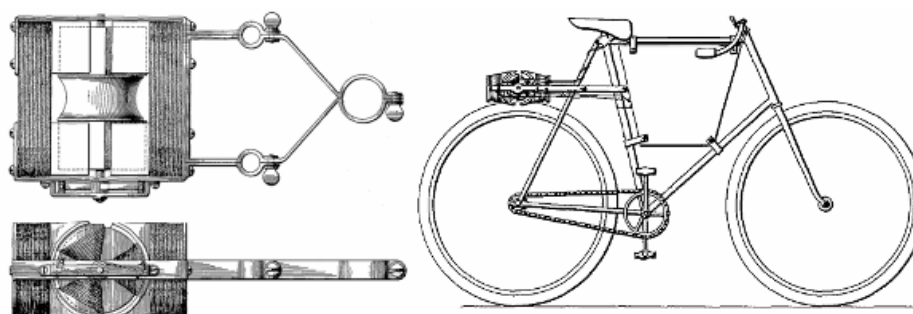


1.48. att. Divriteņu elektrovelosipēdi: a - tandēms;
b - kravas elektrovelosipēds

Eiropas Savienības, tai skaitā arī Latvijas, likumdošana paredz, ka ar elektropiedziņu aprīkota divriteņu transportlīdzekļa motora maksimālā jauda nedrīkst pārsniegt 250 W un maksimālais pārvietošanās ātrums nedrīkst būt augstāks par 25 km h⁻¹. Pretējā gadījumā šāds transportlīdzeklis klasificējams kā mopēds vai motocikls (atkarībā no motora jaudas).

1.4.1. Elektrovelosipēdu attīstības vēsture

Ziņas par pirmo divriteņu velosipēdu ar pedāļiem 1860. gadā nāca no Parīzes. Vēlāk, 1888. gadā Džons Dunlops (*John Dunlop*) aprīkoja velosipēdu ar pneimatisko apriepojumu un ķēdes pievadu, kas ļāva velosipēdam iegūt modernu formu. 1890-ajos gados pirmie elektrovelosipēdi tika dokumentēti dažādos ASV patentos. Piemēram, 1895. gada 31. decembrī Ogdens Boltons Juniors (*Ogden Bolton Jr.*) saņēma ASV patentu 552.271 (*U.S. Patent 552.271*) par ar baterijām darbināmu velosipēdu ar „sešu polu līdzstrāvas rumbas motoru iemontētu aizmugurējā ritenī”. Motoram nebija pārnesumu un motors spēja attīstīt līdz 100 A no 10 V baterijas. Divus gadus vēlāk, 1897. gadā, Hosea Libejs (*Hosea W. Libbey*) no Bostonas izgudroja elektrovelosipēdu (*U.S. Patent 596.272*), kurš tika dzīts uz priekšu ar dubultu elektromotoru. Šis modelis vēlāk tika pilnveidots 20. gadsimta 90-ajos gados Gianta Lagrī (*Giant Lagree*) elektrovelosipēdos. 1898. gadā elektrovelosipēdu, kuru piedzen priekšējā ritenī iemontēts elektromotors, patentēja Metjū Stefenss (*Mathew J. Steffens*). 1899. gadā Džons Šnepfs (*John Schnepf*) ieguva ASV patentu 627.066 (*U.S. Patent 627.066*), kurš arī aprakstīja elektrovelosipēdu ar priekšēja riteņa piedziņu. Šnepfa izgudrojumu vēlāk, 1969.gadā, rūpīgāk izpētīja un pilnveidoja G.A. Vūds (*G.A. Wood*), un ieguva patentu (*U.S. Patent 3.431.994*). Vūda iekārtā izmantoti četri nelieli elektromotori ar 0.5 Zs lielu jaudu, kas savā starpā savienoti ar zobratu palīdzību (*Electric bicycle history, S.a.*).



1.49. att. Džons Šnepfa patentētais elektrovelosipēds

Griezes momenta sensori un jaudas kontrole radās 20. gadsimta 90-to gadu beigās. 1992. gadā *Vector Services Limited* uzņēmums piedāvāja elektrovelosipēdu, kuram dots nosaukums *Zike*. Šim velosipēdam nikelja-kadmija akumulatori iemontēti rāmī, tam bija 850 g smags motors.

Līdz 1998. gadam bija pieejami 49 dažādi elektrovelosipēdu modeļi. Ražošanas apjomi laika posmā no 1993. līdz 2004. gadam pieauga par 35%. Turpretī, saskaņā ar Gardnera (*Gardner*) pētījumu, 1995. gadā elektrovelosipēdu ražošana samazinājās, salīdzinot ar maksimālo, par 107 miljoniem vienību.

Dažos no lētākajiem elektrovelosipēdiem tika izmantoti svina skābes akumulatori, turpretī mūsdienu modeļos galvenokārt izmanto NiMH, MiCd vai Li-Ion baterijas, kuras ir vieglākas un ar lielāku kapacitāti, salīdzinot ar svina skābes akumulatoriem.

Līdz 2001. gadam termini e-velosipēds, spēka velosipēds, pedeleks, palīgmehānisma velosipēds un spēka-palīdzības velosipēds bija vispārēji lietotie termini, kas visi aprakstīja elektrovelosipēdu. Sabiedrībā popularitāti ir ieguvis termins e-velosipēds. Termini elektromotocikls vai e-motocikls tiek lietoti, lai aprakstītu jaudīgākus modeļus, kuri spēj attīstīt līdz 80 km h⁻¹ lielu ātrumu. Kopš 2004. gada elektrovelosipēdus ražo tādas firmas kā *eZee*, *Yamaha*, *Honda*, *Panasonic*, *Currie Technologies*, *EV Global*, *Optibike*, *Giante Lite*, *Mérida*, *ZAP* u.c.

Termins „pedeleks” galvenokārt tiek attiecināts uz elektrovelosipēdu, kurš apvieno griezes momenta un/vai ātruma sensoru ar jaudas kontrolleri, kas nodrošina elektromotora piedziņu tikai tad, kad velosipēda vadītājs min pedāļus. Pasaulē tiek lietots arī termins „nopēds” (*angļu val. Noped*), kuru lieto Ontario Transportlīdzekļu Ministrija (*Ministry of Transportation of Ontario*), lai apzīmētu līdzīga tipa spēkratus, kuriem nav pedāļu vai arī motorizētus velosipēdus, kuriem pedāļi ir noņemti.

Mūsdienās Ķīna ir pasaules līdere elektrovelosipēdu ražošanā. Saskaņā ar Ķīnas Velosipēdu asociācijas datiem, 2004. gadā Ķīnas ražotāji pārdeva valstī 7.5 milj. elektrovelosipēdus, kas bija divas reizes vairāk nekā gadu iepriekš. Iekšzemes tirdzniecības apjomi sasniedza 10 milj. elektrovelosipēdu 2005. gadā un 16 līdz 18 milj. velosipēdu 2006. gadā. 2007. gadā daudzās lielajās pilsētās Ķīnā elektrovelosipēdi sastādīja 10 līdz 20% no visiem divriteņu transportlīdzekļiem (*Electric bicycle history, S.a.*).

1.4.2. Elektromotociklu attīstības vēsture

Pamatojoties uz žurnāla „Popular Mechanics” informāciju, jau divdesmitā gadsimta sākumā bija pieejami motocikli ar elektrisko piedziņu. 1941. gadā austriešu kompānija „Socovel” izveidoja mazu elektrisko motociklu. Šādi motocikli tika saražoti ap četri simti. Divdesmitā gadsimta beigās *Scots Cronks* un *EMB* izgatavoja motociklu *EMB Lectra VR24*, kuru sāka tirgot un atzina par legālu transportlīdzekli lietošanai uz ielas. 2001. gadā korporācija *Vogerbilt* nāca klajā ar pirmo elektriskā motocikla prototipu *Electra Cruiser*, kas redzams 1.50. attēlā (Vogel, 2009).



1.50. att. Elektromotocikls *Electra Cruizer*

Šī motocikla maksimālais ātrums bija 80 jūdzes jeb 128 kilometri stundā un paātrināties no nulles līdz 90 kilometriem stundā tas spēja 7 sekundēs. Motociklam bija desmit 12 V baterijas, ar 120 V un 500 A līdzstrāvas motoru, kurš bremsējot spēja uzlādēt akumulatorus un spēja attīstīt 78 zirgspēku jaudu. Transportlīdzeklim bija piecpakāpju hidrauliskā ātrumkārbā ar atpakaļgaitu, kas tika panākta pārslēdzot līdzstrāvas motora virzienu (Vogel, 2009).

1.4.3. Divriteņu elektrospekratu uzbūve

Elektrovelosipēda uzbūve parādīta 1.51. attēlā. Elektrovelosipēda darbības princips ir vienkāršs. Kustību uzsāk, izmantojot droseļi vai pedāļus (atkarīgs no vilces sistēmas). Kontrolle uzdevums ir kontrolēt visas elektriskās transportlīdzekļa komponentes. Motora enerģijas avots ir akumulatoru baterija (Electric bicycle parts and structure, 2010).



1.51. att. Elektrovelosipēda uzbūve: 1 - elektrovelosipēda kopskats; 2 - lādētājs; 3 - akumulatoru baterija; 4 - vadības displejs; 5 - drosele; 6 - kontrolle; 7 - elektromotors

Elektriskā velosipēda uzbūve līdzīga parastajam velosipēdam pēc vairākiem parametriem (riteņi, pedāļi, ķēdes piedziņa, sēdeklis, stūres iekārta, bremzes).

Divriteņu elektropēkratu galvenās sastāvdaļas un to veidi ir šādi:

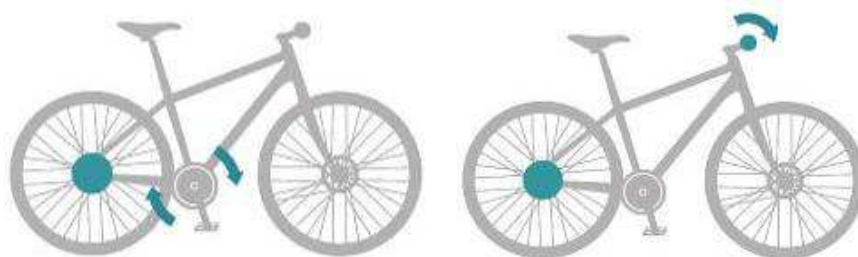
- elektromotors;
- kontrolleris;
- akumulatoru baterija (svina-skābes (SLA); litija-jonu (Li-Ion), niķeļa-metāla hidrīda (NiMH), litija-dzelzs fosfāta (LFP));
- lādētājs: ātrais lādētājs (30 - 60 min.), parastais lādētājs (4-8 h), impulsu lādētājs;
- piedziņa (ķēdes, zobsiksnas, zobratu un rumbas-motora);
- vadības iekārta, aprīkota ar akumulatora baterijas indikatoru, jaudas mērītāju, spidometru, odometru;
- citas sastāvdaļas: rāmis (vieglmetāla), bremzes (disku vai V-veida), riteņi un diski.

Divriteņu elektropēkrata vadības-kontroles ierīces atrodas uz stūres.

Divriteņu spēkratu vadība notiek divējādi:

- ar pedāļu palīdzību (angļu val. *Pedelec*) (skat. 1.52. att.);
- ar droseles palīdzību.

Elektrovelosipēdos tiek izmantoti abi vadības veidi, bet elektromopēdos un elektromotociklos tiek izmantots otrs vadības veids, proti, ar droseles palīdzību, jo šie spēkrati nav aprīkoti ar pedāļiem.



1.52. att. Elektrovelosipēda vadība: a - ar pedāļiem; b - ar droseli

1.4.4. Elektromotors

Pēc konstrukcijas divriteņu elektropēkratos tiek izmantoti divu veidu elektromotori: ārējie un iebūvētie jeb rumbas elektromotori (skat. 1.53a. att.). Elektrovelosipēdos tiek izmantotas abas motoru konstrukcijas, bet elektromopēdos un elektromotociklos galvenokārt tiek izmantotas tikai ārējo elektromotoru konstrukcijas (skat. 1.53b. att.).



1.53. att. Elektromotori: a - rumbas elektromotors; b - ārējais elektromotors

Divriteņu elektospēkratos izmanto līdzstrāvas (DC) tipa elektromotorus, kuri darbojas, izmantojot līdzstrāvas akumulatorus.

Ārējiem motoriem (skat. 1.54. att.) var izmantot dažādas konstrukcijas spēka parvadus (Electric bicycle parts and structure, 2010).



1.54. att. Divriteņu elektospēkratu ārējie motori: a - divpakāpju ar zobratu reduktoru; b - vienkāpes ar ķēdes piedziņu; c - vienkāpes ar zobsiksnas piedziņu

Elektrovelosipēdu spēka pārvadi no ārējā elektromotora mezgla uz riteņi redzami 1.55. attēlā.



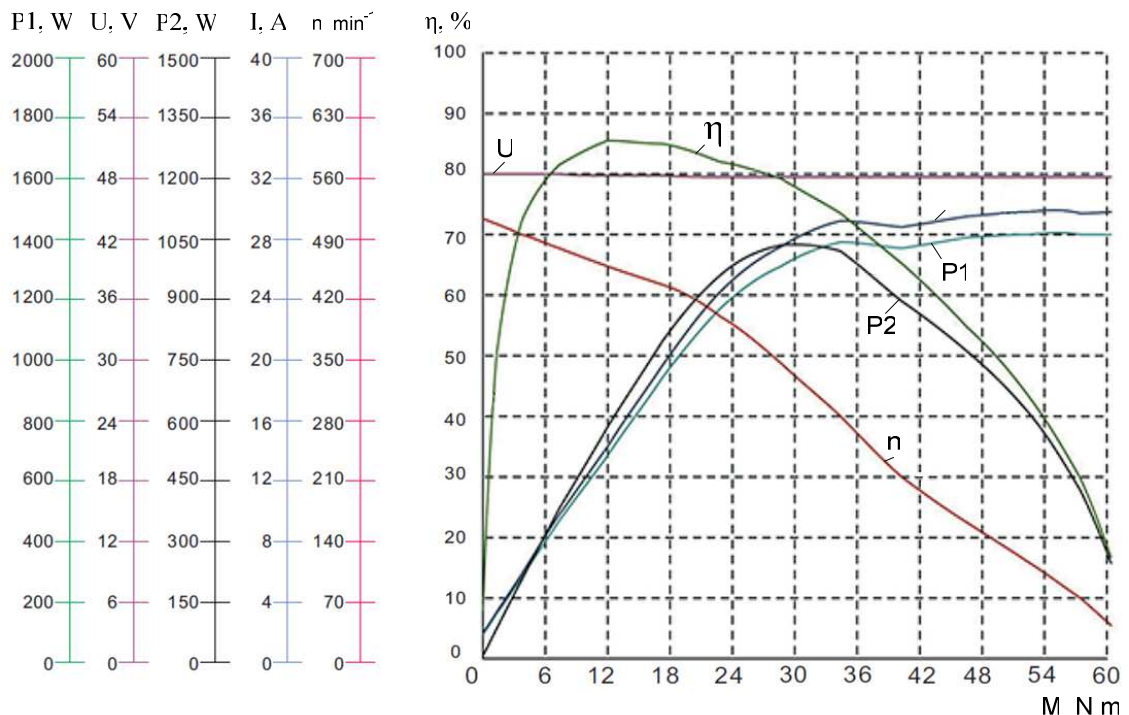
1.55. att. Elektrovelosipēda piedziņas veidi: a - divpakāpju zobsiksnas-ķēdes; b - divpakāpju ķēdes; c - zobsiksnas; d - frikcijas

Dažreiz, lai palielinātu elektropēkrata jaudu, tiek izmantoti elektromotori ar reduktoru vai arī vairākpakāpju pārvadi, piemēram, ķēde-zobsiksna, zobrats-ķēde, ķēde-ķēde. Rumbas elektromotoru reduktoros tiek izmantots planetārais pārvads (skat. 1.56. att.). Ārējie elektromotori bieži tiek aprīkoti ar divpakāpju pārvadu (skat. 1.54. att.a; 1.55. att. a, b) (Electric bicycle parts and structure, 2010).



1.56. att. Rumbas elektromotors ar planetāro pārvadu

Elektromotoram, salīdzinot ar iekšdedzes motoru, ir kustībai ļoti piemērotas raksturlīknes (skat. 1.57. att.).

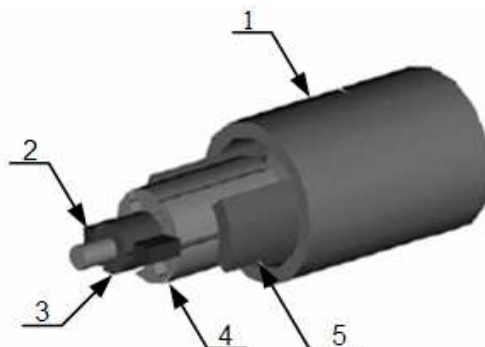


1.57. att. Elektromotora raksturlīknes

Elektromotori ir ierīces ar efektivitāti 85 - 90%, t.i., tik daudz no patērētās elektroenerģijas pārvērš mehāniskajā enerģijā, kas griež transportlīdzekļa riteņus. Iekšdedzes motora lietderības koeficients ir tikai

28 - 35 %, pārējais enerģijas daudzums izdalās kā siltums apkārtējā vidē, kas netiek lietderīgi izmantots.

Līdzstrāvas elektromotora galvenās sastāvdaļas korpuss, rotors, magnēts, komutators un slotiņas (skat. 1.58. att.) (Vogel, 2009).



1.58. att. Līdzstrāvas elektromotora sastāvdaļas: 1 - korpuss; 2 - slotiņas; 3 - komutators; 4 - rotors; 5 - magnēts

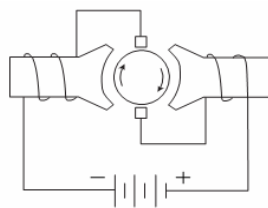
Rotors ir elektromotora sastāvdaļa, kas rotē uz diviem gultņiem. Rotācija tiek panākta, strāvai plūstot caur rotora tinumiem. Kad strāva sāk plūst caur tinumiem, rodas rotējošs magnētiskais lauks, tādējādi radot kustību. 1.59. attēlā redzams līdzstrāvas motora rotors (Vogel, 2009).



1.59. att. Līdzstrāvas motora rotors

Komutators parasti sastāv no vara segmentiem, kas piestiprināti rotoram. Katrs komutatora segments ir atdalīts viens no otra. Atsperu tipa slotiņu komplekts ir piestiprināts elektromotora korpusam. No ārējā avota strāva tiek piegādāta slotiņām. Komutators darbojas kā slēdzis katram rotora segmentam. Strāva plūst tikai caur rotora vijumiem, ar kuriem slotiņas saskaras. Šī strāvas plūsma rada elektromagnētisko lauku, radot griezes momentu, un rotors sāk rotēt ap savu asi. Vārpsta rotē slotiņām pieskaroties nākošajam komutatora segmentam, mainot magnēta polus un turpinot rotāciju.

Elektromagnētus un pastāvīgo magnētu var attēlot kā lauka polus, kas redzami 1.60. attēlā. Elektromagnētu izgatavo, satinot spoli no vadiem. Poli parasti ir izliekti, lai samazinātu spraugu ar rotoru. Poli var tikt veidoti gan no elektromagnēta, gan no pastāvīgā magnēta. Lielākajā daļā elektromotoru, kas tiek izmantoti elektriskajos transporta līdzekļos, tiek lietoti elektromagnēti, bet pastāvīgos magnētus izmanto mazos motoros. Elektromagnēta spēku nosaka daudzi faktori: elektromagnēta spēks ir atkarīgs no tinumu skaita spolē un no strāvas, kas plūst spolē. Elektromagnēta spēks ir apgriezti proporcionāls gaisa spraugas lielumam starp poliem. Kopumā elektromagnēts ļoti bieži tiek uzskatīts par labāku kā patstāvīgais magnēts, jo tas spēj radīt ļoti spēcīgu magnētisko lauku, kā arī tā spēks var tikt mainīts, izmainot tinumu skaitu spolē (Vogel, 2009).



1.60. att. Elektromotora principiālā shēma

Slotiņas ir izgatavotas no oglekļa kompozītmateriāliem un parasti tās ir taisnstūra formas. Slotiņas un to turētājs redzams 1.61. attēlā (Vogel, 2009).



1.61. att. Slotiņas

Slotiņas ir droši iestiprinātas ietvaros, kuros atrodas atsperes. Ietvari notur slotiņas vietā, bet atsperes nodrošina spiedienu uz slotiņām, tādā veidā radot atbilstošu kontaktu ar komutatoru. Ja spiediens ir pārāk mazs, tas var radīt vibrācijas un dzirksteļošanu, ja spiediens ir pārāk liels, slotiņas priekšlaicīgi nolietosies. Slotiņu gali, kas pieskaras komutatoram, ir profilēti tā, lai labāk pievadītu strāvu. Puse slotiņu ir pievienotas pozitīvajam polam, bet otra puse - negatīvajam polam. Tas dod iespēju palielināt strāvas slodzi un noturību pret nodilumu. Strāva tiek piegādāta ar vara vadiem, kas ir piestiprināti pie slotiņām (Hughes, 2006).

1.4.5. Kontrolleris

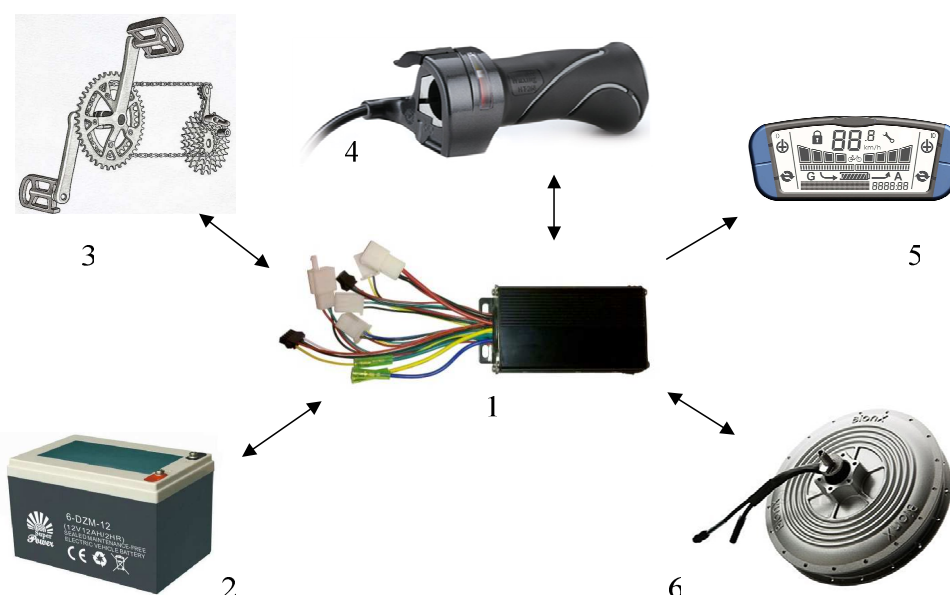
Kontrolleris ir elektropēkratu „smadzenes” (skat. 1.62. att.). Tas ir savienots ar visām elektropēkratu elektroniskajām sastāvdaļām. Kontrolleris saņem signālus no visām pārējām komponentēm un izskaitļo, kāds signāls tiem jānodod. Spēkratu vadītājs tiek informēts par notiekošajām darbībām, kā arī par notiekošo procesu tehnisko raksturojumu caur vadības displeju.

Kontrollerim ir jābūt savienotam ar pārējiem mezgliem. Ja kāds no mezgliem nav savienots ar kontrolleri, spēkrati var pārvietoties, taču pastāv ļoti liela atteikumu varbūtība (Electric bicycle parts and structure, 2010).



1.62. att. Elektrovēlosipēda kontrolleris

Kontrollera saistība ar elektrovelosipēda mezgliem redzama 1.63. attēlā.

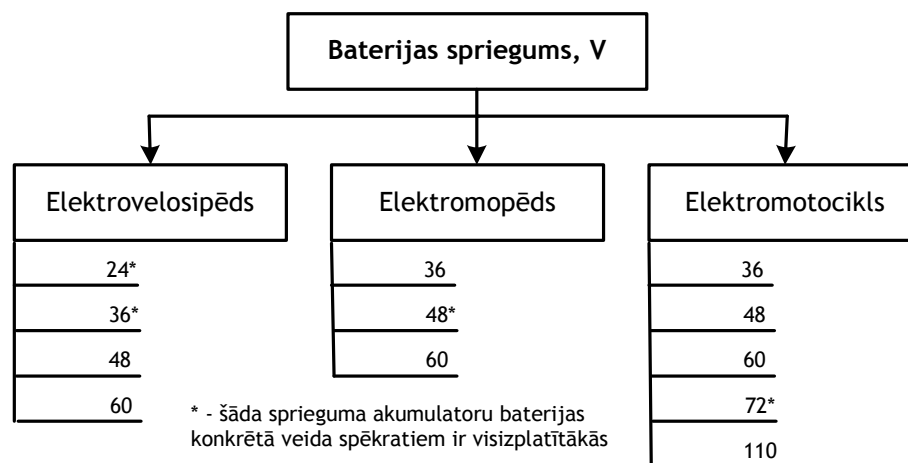


1.63. att. Kontrollera saikne ar izpildmehānismiem

Kontrollerim jābūt savienotam ar pedāļiem vai droseli (atkarībā no piedziņas veida).

1.4.6. Akumulatori

Akumulators ir pati svarīgākā un atbildīgākā elektrospēkratu sastāvdaļa. Tas uzkrāj un saglabā elektroenerģiju ķīmiskās enerģijas formā. Ja elektroenerģija ir nepieciešama, tas atdod uzkrāto enerģiju. Mūsdienu spēkratos parasti izmanto svina skābes akumulatoru baterijas. Atbilstoši iekšdedzes motora jaudai un tipam tiek konstruētas un ražotas akumulatoru baterijas ar atbilstošu kapacitāti un starta strāvu, kas jānodrošina temperatūras diapazonā no -30 līdz $+70$ °C. Papildus prasības akumulatoram ir izturība pret vibrāciju, pēc iespējas garāks apkopju intervāls, vai vispār bezapkopju izpildījums. Divriteņu elektrotransportlīdzekļos izmanto akumulatoru baterijas ar spriegumu 24, 36, 48, 60 un 72 V (skat. 1.64. att.).



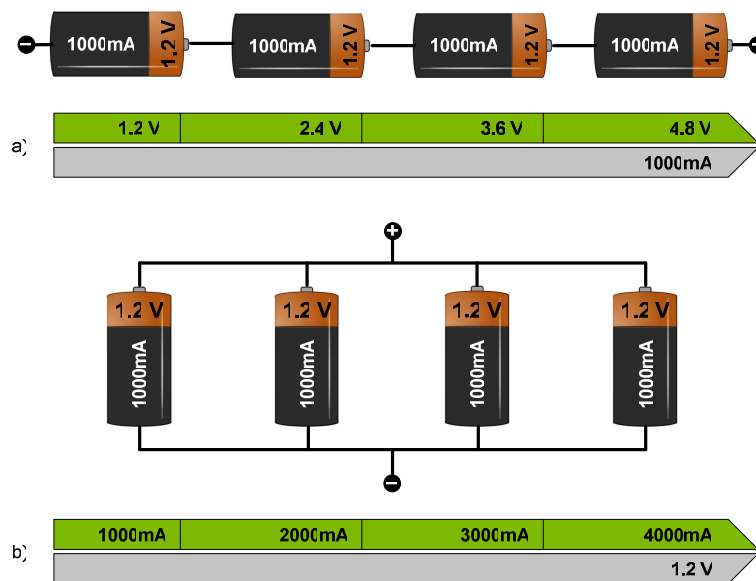
1.64. att. Divriteņu elektrospēkratu akumulatoru bateriju spriegums

Akumulators sastāv no divām vai vairākām elektriskajām šūnām, kuras ir savienotas kopā. Šūnas pārvērš ķīmisko enerģiju elektriskajā enerģijā. Šūnas sastāv no pozitīvajiem un negatīvajiem elektrodiem, kuri ievietoti elektrolītā. Tā ir ķīmiska reakcija starp elektrodiem un elektrolītu, kas rezultātā ģenerē līdzstrāvas (DC) elektroenerģiju. Uzlādējamo akumulatoru gadījumā ķīmiskā reakcija tiek reversā veidā atkārtota un akumulators tiek uzlādēts. Vispazīstamākie ir svina-skābes akumulatori, bet ir arī vēl daudzi citi. Pirmais uzlādējamais svina-skābes akumulators tika izmantots jau pirms 150 gadiem. Ir ļoti daudz citu materiālu un elektrolītu, kuru kombināciju rezultātā var izveidot akumulatoru. Tomēr tikai salīdzinoši mazs skaits kombināciju ir izstrādāts atbilstošā līmenī, lai varētu izmantot transportlīdzekļos. Pašlaik tie ir svina-skābes, niķeļa-dzelzs, niķeļa-kadmija, niķeļa-metāla hidrīda, litija-polimēru, litija-dzelzs, nātrija-sēra un nātrija-metāla hidrīda akumulatori. Ir arī vairākas jaunas kombinācijas, piemēram, alumīnija-gaisa un cinka-gaisa. Neskatoties uz jau 150 gadu ilgiem izmēģinājumiem, joprojām nav izstrādāti tādi akumulatori, kurus varētu plaši izmantot visiem transportlīdzekļiem (Vogel, 2009; Pistoia, 2010).

Elektromobiļu ražotāji pārsvarā dod priekšroku trīs uzlādējamo akumulatoru veidiem:

- svina-skābes akumulatoriem;
- niķeļa-metāla hidrīda akumulatoriem;
- litija akumulatoriem.

Katram akumulatora veidam ir savas priekšrocības un trūkumi, kā arī atšķirīgs uzlādes reižu skaits un darba mūžs. No akumulatora ir atkarīgs nobrauktais attālums līdz nākamajai uzlādes reizei. Vienoto akumulatoru bloku ieteicams sastādīt akumulatoru virknes slēguma sistēmā, izvairoties no paralēlā slēguma. Ja akumulatori ir savienoti paralēlā slēgumā, tad kopējā energoietilpība būs vienāda ar atsevišķu akumulatoru energoietilpību summu, bet kopējais spriegums nemainīsies (skat. 1.65. att.).



1.65. att. Bateriju slēguma shēmas: a - bateriju slēgums virknē; b - bateriju slēgums paralēli

Pirms saslēgt akumulatorus paralēlā slēgumā, nepieciešams aptuveni izlīdzināt spriegumu tajos (piemēram, uzlādējot). Lai palielinātu akumulatoru kopējo spriegumu, tos savieno virknes slēgumā, tas ir vienas baterijas „+” savieno ar nākamās „-”, utt. Tādā gadījumā spriegums būs vienāds ar kopējo akumulatoru bateriju spriegumu summu, bet kopējā energoietilpība nemainīsies. Ar to, ka tiek palielināts spriegums, jauda, kas izdalīsies slodzē, palielināsies proporcionāli savienoto akumulatoru daudzumam.

1.4.6.1. Svina akumulatori

Svina akumulatori tika izgudroti jau 1859. gadā un ir vecākie no uzlādējamajiem akumulatoriem, kuri tiek vēl šodien izmantoti.

Šī tipa akumulatori tiek izmantoti visās automašīnās, tai skaitā elektroautomobiļos, jau kopš 19. gadsimta. Šo akumulatoru būtiskākā sastāvdaļa ir svina plates vai elektrodi, kas ievietotas vairākās sekcijās, kuras ir pildītas ar elektrolītu, parasti atšķaidītu sērskābi. Pozitīvās plates ir svina oksīds (PbO_2), bet negatīvās plates ir porains svins. Vienas pilnīgi uzlādētas sekcijas spriegums bez slodzes ir 2.1 volts, ko parasti noapaļo uz 2 voltiem (V). Šo spriegumu sauc par elektrodzinēj spēku. Bez tam akumulatoru sekcijā ir arī separatori - skābju izturīgas un šķidrums caurlaidīgas starpsieniņas, kas savstarpēji atdala pretējos polus.

Ārējā tvertne parasti ir no plastmasas. Separators netraucē brīvo elektronu plūsmu no „-” plates uz „+” plati. Ja akumulators ir izlādējies, elektronu plūsma apstājas un potenciāli izlīdzinās.

Pilnīgi uzlādēta akumulatora elektrolīta blīvums ir 1.28 g cm^{-3} . bet gandrīz izlādēta 1.18 g cm^{-3} . Pilnīgi izlādēt akumulatoru nav vēlams. Elektrolīta blīvumu pārbauda ar speciālu blīvuma mērītāju, kas uzrāda, cik daudz darba procesā ir samazinājusies sērskābes koncentrācija, svina oksīdam platēs pārvēršoties svina sulfātā.

Svina akumulatoru no sešām sekcijām var uzlādēt līdz 12.6 V. Vienlaikus ir svarīgi, lai uzlādējošās strāvas lielums nepārsniegtu 1/3 no uzrādītajām ampērstundām. Tā, piemēram, akumulatoram ar atzīmi 75 Ah uzlādēšanas strāva nedrīkst pārsniegt $75 / 3 = 25 \text{ A}$. Akumulatora jauda var būt ļoti plašā diapazonā, jo tos lieto gan smagajām mašīnām, gan motocikliem kā startera baterijas, gan elektronikā - piemēram, datoriem. Firmas akumulatorus piegādā gan sausi uzlādētus, gan arī jau ar iepildītu elektrolītu. Ilgāk var uzglabāt sausi uzlādētus akumulatorus.

Priekšrocības:

- zemākas izmaksas;
- vairāk kā 150 gadu attīstība;
- noturība pret pārlādēšanas gadījumiem;
- zema iekšējā pretestība;
- var nodrošināt ļoti lielu strāvu;
- liels glabāšanas laiks, ja uzglabā bez elektrolīta;
- plašs izmēru un jaudas klāsts;
- plašs ražotāju tīkls;
- otrreizēji izmantojams.

Trūkumi:

- smagi un lielgabarīta;
- uzlādes efektivitāte tikai 70%, speciāliem izstrādājumiem līdz 85%;
- nav piemērots ātrajai uzlādei;
- tikai 300 - 500 uzlādes cikliem.

Biežāk elektrovelosipēdos izmanto želejas tipa svina akumulatorus, kuru novietojums konstrukcijā var būt dažāds. tas atkarīgs no elektrovelosipēda konfigurācijas. Parasti izmanto 12 V svina akumulatorus, kuri saslēgti virknē, tādā veidā iegūstot atbilstošo spriegumu un ietilpību. Tā, piemēram, ja sistēmā nepieciešams 36 V liels spriegums, tā iegūšanai izmanto trīs virknē slēgtas svina baterijas (12 V x 3), bet, ja nepieciešams palielināt ietilpību, tos slēdz paralēli. Biežāk izmantotais svina akumulators attēlots 1.66. attēlā.



1.66. att. Svina akumulators

1.4.6.2. Niķeļa-metāla hidrīda un litija akumulatori

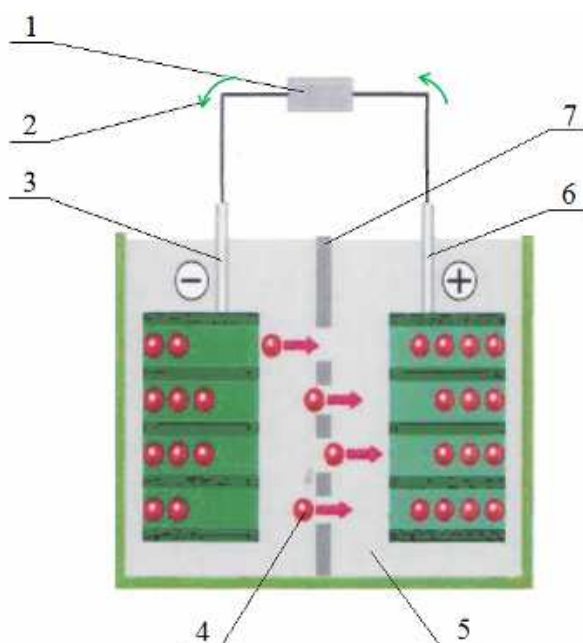
Niķeļa-metāla hidrīda akumulatori (skat. 1.67. att.) nonāca ražošanā 1980-to gadu beigās.



1.67. att. Niķeļa-metāla hidrīda akumulators

Tiem ir augsts enerģijas blīvums - lielu enerģijas daudzumu var uzkrāt salīdzinoši mazā akumulatorā. Šie akumulatori nesatur toksiskus metālus, tāpēc tie ir viegli izmantojami otrreizējai pārstrādei. Pie trūkumiem pieskaitāms to lielais pašizlādēšanās koeficients (no 15% nedēļā līdz 30% mēnesī). Šo akumulatoru nekādā gadījumā nedrīkst lādēt ilgāk par divām dienām. Šī akumulatora šūnu spriegums ir 1.2 V.

Litija jonu akumulatorus (skat. 1.68. att.) visbiežāk lieto patērētāju elektroierīcēs. Tie ir vieni no vispopulārākajiem akumulatoru tiem pārvietojamām ierīcēm, bez glabāšanas pašizlādes zudumiem un ar nelieliem uzlādes zudumiem. Dažādi iemesli, kā, piemēram, pārāk liels karstums, var izraisīt akumulatora eksploziju.



1.68. att. Litija jonu akumulatora darbības principiālā shēma: 1 - elektriskās ierīces, 2 - elektriskā strāva, 3 - anods, 4 - litija jons, 5 - elektrolīts, 6 - katods, 7 - separators

Būtiskākās litija akumulatora komponentes ir anods, katods un elektrolīts, kuri var tikt ražoti no dažādām vielām. Vispopulārākais materiāls, no kā tiek veidots anods, ir grafīts, bet tiek lietots arī TiS_2 . Katodu pārsvārā veido no trijiem materiāliem: kārtainajiem oksīdiem, kā, piemēram, kobalta oksīda, poli elektrolīta, kā, piemēram, litija dzelzs fosfāta, vai no magnija oksīda. Litija jonu akumulatora spriegums, kapacitāte, kalpošanas laiks un drošība var būtiski mainīties un ir atkarīga no tā, kādu izvēlas anoda, katoda, elektrolīta materiālu. Litija jonu akumulatorus nedrīkst jaukt ar litija akumulatoriem. Atšķirība ir tā, ka litija akumulatoriem ir metālisks litija anods.

Galvenās šī akumulatora priekšrocības ir tā nelielais izmērs, svars, kā arī akumulatora mazais pašizlādēšanās koeficients. Galvenais tā trūkums šobrīd ir akumulatora palielā cena. Tas ir saistīts ar to, ka katrs akumulatora elements satur atsevišķu shēmu, kas kontrolē uzlādes procesu (strāvu, laiku, temperatūru). 90-to gados Li-Ion akumulatori neizturēja kalpošanas laiku ilgāk par 1 - 1.5 gadu. Mūsdienās akumulatoru kalpošanas laiks arvien palielinās.

Priekšrocības:

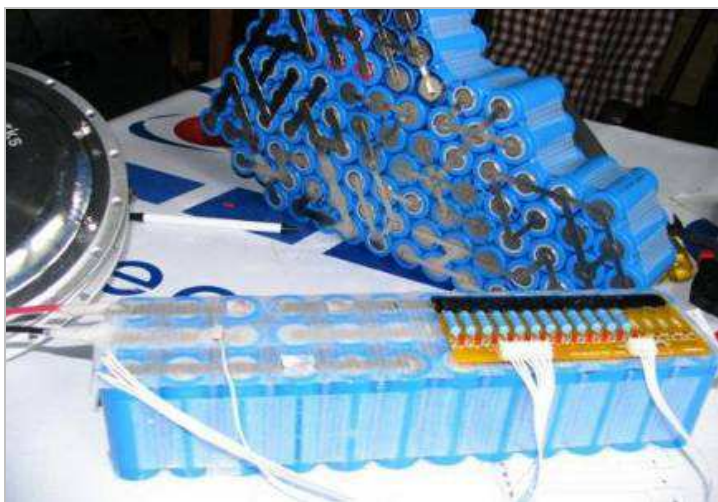
- augsts šūnu spriegums - 3.7 volti;
- nav šķidra elektrolīta, attiecīgi nav iespējamās noplūdes;
- ļoti augsts enerģijas blīvums (apmēram 4 reizes augstāks nekā svina akumulatoriem);
- neliels svars;
- dažu šūnu jauda iespējama līdz 1000 Ah;
- ātrās lādēšanas iespējamība;
- dziļās izlādes gadījumā nodrošina līdz 80% enerģijas;
- zems pašizlādes koeficients;
- pieejami plašā ietilpības diapazonā no 500 mAh līdz pat 1000 Ah.

Trūkumi:

- zaudē labās īpašības augstā temperatūrā;
- ietilpības zudumi, pārlādējot;
- vajadzīga aizsardzības shēma.

Tie ir salīdzinoši vieglāki, dārgāki un grūtāk utilizējami.

Mazliet dārgāk izmaksā jaunās paaudzes litija baterijas **LiFePO₄** (skat. 1.69. att.) Tās, salīdzinot ar svina, ir kompaktas un ar ļoti mazu svaru; paredzamais resurss - vairāk nekā 2000 uzlādēšanas reizes.



1.69. att. LiFePO₄

Izmantojot jaunās paaudzes akumulatorus, iespējams samazināt elektrovelosipēda kopējo svaru. Kā redzams 1.6. tabulā, ar niķeļa metāla hidrīda un litija akumulatoriem nokomplektētie velosipēdi ir ievērojami vieglāki.

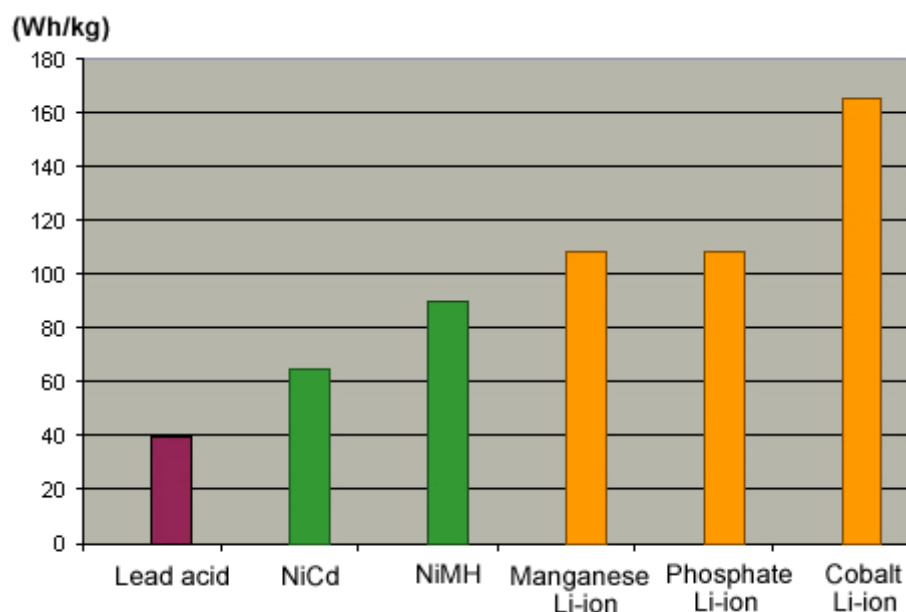
E-velosipēdu maksimālais ātrums nav atkarīgs no akumulatoru veida. Maksimālais ātrums ir elektroniski ierobežots un ir 25 km h⁻¹ (vairākās valstīs noteikts ar likumu). Ņemot vērā e-velosipēdos izmantoto akumulatoru dažādību, pirms velosipēda iegādes un lietošanas uzsākšanas ir rūpīgi jāiepazīstas ar konkrētā akumulatora lietošanas noteikumiem. Šo noteikumu ievērošana ļaus pilnībā izmantot akumulatora veikspēju (ar vienu uzlādi nobraucamais attālums, izlādes-uzlādes ciklu skaits).

1.6. tabula. Latvijā piedāvātajos e-velosipēdos pielietotie ir akumulatori

Velosipēda modelis	Akumulatora veids	Ar vienu uzlādi nobraucamais attālums, km	Velosipēda svars, kg
618 ALU	Svina	30-40	19
E41 ELECTRONIC	Svina	30	26
EF-32LA ELECTRONIC	Svina	30	26
Le Velec	Svina	25	40
Power Bike 205	Svina	30	33
Monty E-42 ELECTRONIC	Svina	30	30
ER20-A	Litija	25	7
ER20-B	Litija	25	10
ER20-C	Litija	25	10
EF38 LOGIC	Litija	40	17
Monty EF-36MH ELECTRONIC	Niķeļa metāla hidrīda	25	20

Līdz šim Latvijā esošie firmas „MONTY” e-velosipēdi ar litija akumulatoriem ir kalpojuši labi un ilgi, tāpēc ir pārliecība arī par jaunajiem modeļiem. Ar 26” riteņiem nokomplektētā modeļa „E-48” kopējais svars ar litija akumulatoriem ir tikai 24.32 kg.

Pēc nobraukšanas no kalna vai minot pedāļus, elektromotors uzlādē bateriju par 10 - 15%. Akumulatoru baterijas lādējas no speciālas uzlādes ierīces, kas pievienojama pie rozetes un nāk komplektā. Vienas uzlādes izmaksas pēc šodienas tarifiem ir 6-7 santīmi. Akumulatora baterija ir noņemama. To var uzlādēt uz elektrovelosipēda vai atsevišķi, noņemot no velosipēda. Uzlāde ir vienkārša un pieejama jebkurā vietā, gluži tāpat kā mobilā telefona vai portatīvā datora uzlāde. Enerģijas blīvums dažāda tipa baterijām dots 1.70. attēlā.



1.70. att. Enerģijas blīvums dažāda tipa baterijām

Lai izvēlētos elektrovēlosipēda motora jaudu, svarīgi divi faktori - braucēja svars un apvidus, pa kuru pārsvarā notiks pārvietošanās. Braucieniem pa līdzenumiem motora jauda 250 W būs pilnīgi pietiekama svaram līdz 100 kg. Braucot augstākā kalnā, ar šādu motoru iespējams būs jāpiepalīdz ar pedāļiem. Kalnainiem apvidiem vai par 100 kg smagākiem braucējiem labāk derēs motors ar jaudu virs 500 W, bet vislabāk - 1000 W, jo tad jaudas rezerve ir pietiekama jebkuram svaram un ceļa tipam.

1.4.7. Reģeneratīvā bremzēšana

Progresīvās elektroniskajās sistēmās kontroleris kontrolē ne tikai motoram pievadītās strāvas stiprumu, bet arī reģenerācijas procesu, t.i., spēkratam brīvās bremzēšanas laikā elektromotors darbojas kā ģenerators. Šādās sistēmās kontroleris liek motoram darboties kā ģeneratoram un atgriezt enerģiju atpakaļ baterijām.

Reģeneratīvā sistēma strādā šādos gadījumos:

- bremzējot;
- braucot lejup no kalna.

Vadītāja informēšanai par aktuālajiem tehniskajiem rādītājiem tiek izmantots displejs (skat. 1.71. att.).



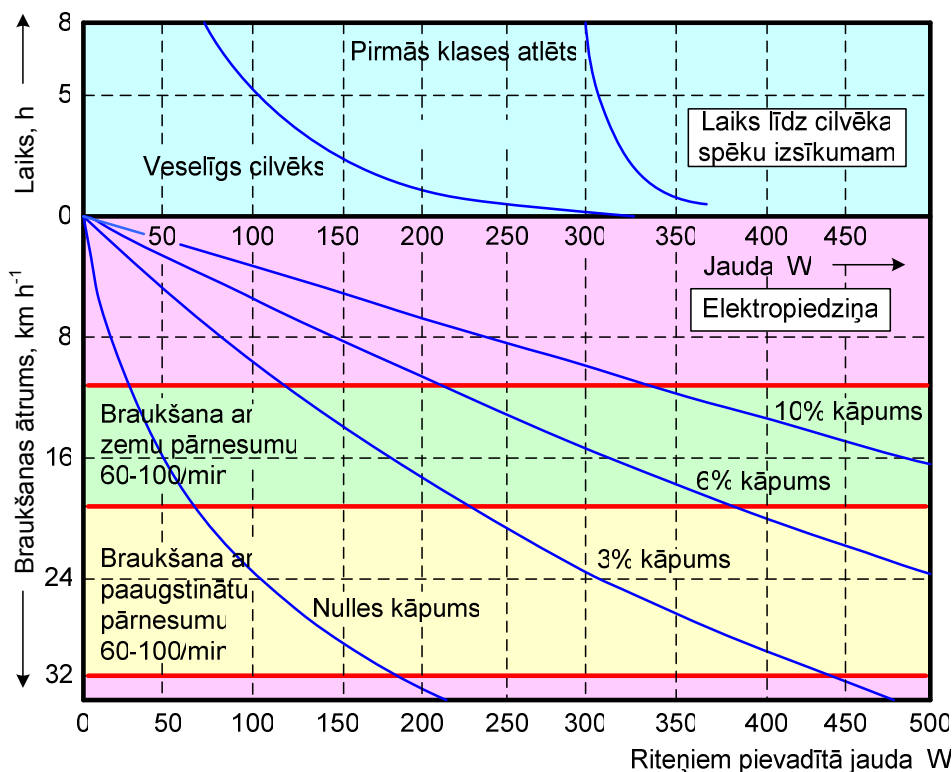
1.71. att. Divriteņu elektrospekratu displejs

Displeja uzdevums ir līdzīgs kā kontrolpanelim automobiļiem - informēt vadītāju. Uz displeja tiek parādītas aktuālās vērtības:

- akumulatoru bateriju stāvoklis;
- kustības ātrums;
- nobrauktais attālums;
- apgaismes ierīču stāvoklis (ieslēgtas, izslēgtas);
- informācija par reģeneratīvo bremžu darbību;
- informācija par uzlādes procesu;
- meteoroloģiskie dati (piemēram, gaisa temperatūra).

1.4.8. Divriteņu elektrospekratu izmantošana

Divriteņu elektrospekratu izmantošana ir ļoti dažāda: pasažieru, atpūtas, kravas. Ja attālums, ko spējīgi pārvarēt elektromopēdi un elektromotocikli, lielā mērā atkarīgs no akumulatoru kapacitātes, tad attālums, ko var pārvarēt ar elektrovēlosipēdu ir mainīgs un atkarīgs no tā, cik aktīvi vadītājs min pedāļus. Par šo tēmu 20. gs. 80. gados tika veikts pētījums, kura rezultāti attēloti nomogrammā (skat. 1.72. att.).



1.72. att. Braukšanas ātrums un cilvēka spēka izsīkšanas laiks

Nomogramma parāda, kāds spēks nepieciešams, lai varētu braukt ar elektrovelosipēdu ar konstantu ātrumu pa ceļu ar dažādu kāpumu (apakšējā daļa) un cilvēka izturības spējas nodrošināt nepieciešamo jaudu pirms spēku izsīkšanas (augšējā daļa). Cilvēka spēka līknes 1983. gadā IHPV (*International Human-Powered Vehicle*) Zinātniskajā simpozijā prezentēja D. Malewickis (*D. Malewicki*). Lai raksturlīknes varētu izmantot, vispirms tiek izvēlēta bāzes līnija. Piemēram, spēks, kāds nepieciešams, lai varētu pārvietoties ar velosipēdu pa līdzenu virsmu (nulles kāpums) ar ātrumu 24 km h^{-1} , ir aptuveni 100 W .

Sekojoši pa ordinātu atbilstoši 100 W jaudai, tiek konstatēts, ka veselīgs cilvēks spēj nodrošināt šādu jaudu līdz spēku izsīkšanai aptuveni 5 h . Taču, ja cilvēkam jānodrošina 300 W jauda, braucot ar ātrumu 16 km h^{-1} pa ceļu ar 6% kāpumu, viņa spēki izsīks dažu minūšu laikā. Šādā gadījumā elektromotoram būtu jānodrošina 200 W jauda un cilvēkam atlikušie nepieciešamie 100 W šāda ceļa kāpuma pārvarēšanai ar izvēlēto kustības ātrumu. No otras puses, braucot ar ātrumu 16 km h^{-1} pa ceļu bez kāpuma un atpūšoties (50 W), vai arī braucot lejup pa nogāzi, velosipēda vadītājs var lietot muskuļu spēku, lai lādētu akumulatoru baterijas.

1.4.9. Elektrovelosipēdu veidi

Šobrīd tirgū ir pieejami vairāki elektrisko velosipēdu veidi, atkarībā no patērētāja vēlmēm, stila un vajadzībām. Pirms iedziļināties elektrovelosipēdu detaļās, katram patērētājam ir jādefinē sev, kāda stila velosipēds tam būtu vispiemērotākais, kāds patīk visvairāk un sagādās vislielāko komfortu. Piemēram, vai būs nepieciešams saliekams velosipēds, ikdienā dodoties uz

darbu, vai kalnu velosipēds ekstrēmām pārbraucieniem nedēļas nogalēs. No tā atkarīgs, cik liela nozīme būs ātrumam, velosipēda svaram un tā detaļu izturībai. Braukšanai pa asfaltētu ceļu vairāk derēs viens modelis, braukšanai pa mežu un gar jūru - pavisam cits (Electric bicycle types, 2010).

Ir zināmi šādi elektrovelosipēdu piegādes veidi patērētājiem:

1. „Jau gatavi lietošanai” - patērētājs var iegādāties darba kārtībā esošu elektrovelosipēdu. Atliek tikai veikt pasūtījumu, un piegādātais elektrovelosipēds ir gatavs lietošanai (skat. 1.73. att.).

<p><u>Saliekamie (Compact)</u></p>  <p>(Dahon boost)</p>	<p><u>Kalnu</u></p>  <p>(E- bike)</p>	<p><u>Pilsētas / kruīza</u></p>  <p>(Urban Mover 55)</p>
<p><u>Hibrīds</u></p>  <p>(E+ Schwinn Solitaire Hybrid)</p>	<p><u>Komforta</u></p>  <p>(Giant Revive Spirit)</p>	<p><u>Bezceļu</u></p>  <p>(Mongoose CX200)</p>
<p><u>Trīsritenis</u></p>  <p>(Ezee Carro)</p>	<p><u>Tandēms</u></p>  <p>(Pedego Tandem)</p>	<p><u>Stila (Chopper)</u></p>  <p>(CB Chopper)</p>

1.73. att. Elektrovelosipēdi „jau gatavi lietošanai”

2. „Pārbūves komplekts” - patērētājs var iegādāties elektrovelosipēda komplektu un to salikt pats vai kopā ar kāda speciālista palīdzību no tuvākā vietējā velosipēdu veikala (skat. 1.74. att.).

3. „Unikālie” - šajā kategorijā ietilpst elektriskie transportlīdzekļi, kuriem ir dažas no velosipēdu funkcijām, bet ne visas. Piemēram, daži no tiem neietver pedāļus (skat. 1.75. att.) (Electric bicycle types, 2010).



1.74. att. Elektrovelosipēda „pārbūves komplekts”

<p><u>Vienritenis (Unicycle)</u></p>  <p>(BTbike Unicycle)</p>	<p><u>Mini fartings (YikeBike)</u></p>  <p>(Yike Bike)</p>	<p><u>Skrituldēlis</u></p>  <p>(Urban Mover 71SX)</p>
<p><u>Segway</u></p>  <p>(Segway I2)</p>	<p><u>Jūras (Sea)</u></p>  <p>(X-Treme X-160)</p>	<p><u>Motorollers</u></p>  <p>(X-Treme XG-499)</p>

1.75. att. „Unikālie” elektrovelosipēdi

Katram unikālā elektrovelosipēda veidam ir savas priekšrocības, atkarībā no tā specifiskā pielietojuma.

1.4.10. Elektrovelosipēdu ražotāji

Pasaulē ir ļoti daudz elektrovelosipēdu ražotāju. Visvairāk to ir Ķīnā - 860 ražotāji, ASV - 32 ražotāji, bet Eiropā elektrovelosipēdu ražotāju konkrēts skaits nav minēts.

Elektrisko velosipēdu ražotāji:

- *Grace* (Vācija);
- *Volkswagen* (Vācija);
- *OPTIBIKE* (ASV);
- *KETTLER* (Vācija);
- *21 Wheels* (ASV);
- *Tianjin Debon Bicycle Co* (Ķīna);
- *Zhejiang Enze Vehicle Co* (Ķīna);
- *H&C Int'l Industrial Co u.c.* (Ķīna);
- *Cube*;
- *eZee*;
- *Yamaha*;
- *Honda*;
- *Panasonic*;
- *Currie Technologies*;
- *EV Global*;
- *Giante Lite*;
- *Mérida*;
- *ZAP*;
- *Raleigh*;
- *Flyer*;
- *Monarch*;
- *Kalkhoff*.

1.4.11. Izplatītāji un pieejamie elektrovelosipēdu modeļi Latvijā

Latvijā elektrovelosipēdi nav tik izplatīti kā citviet pasaulē, tāpēc izplatītāju un piedāvāto modeļu klāsts nav liels (skat. 1.7. tabulu). Ar interneta palīdzību tika atrasti 5 izplatītāji, kas piedāvā elektrovelosipēdus Latvijā.

1.7. tabula. Elektrovelosipēdu izplatītāji un pieejamie modeļi Latvijā

IZPLATĪTĀJI	PIEDĀVĀTIE MODEĻI
www.stica.lv	Elektrovelosipēda montāžas komplekts
www.baltsport.lv	ER25; ER61; ER 30
www.veicis.lv	Cube EPO FE 2011 (C EPO FE 11) Cube EPO 2011 (C EPO 11)
www.av.lv	MONTY Ritenis - dzinēja komplekts MONTY E-42; MONTY E-48, E-47 MONTY E-45 and E-46; MONTY EF-38 (2010) MONTY EF-37; Le Velec divvietīgais (Francija)
www.24.lv	E-Bike TDE01Z-603-26; E-Bike TDNO3Z-636-20

Veikts piedāvāto elektrovelosipēdu modeļu salīdzinājums pēc 5 dažādiem faktoriem. Salīdzinājums pēc maksimālā ātruma, jaudas, baterijas tipa, motora kontroles un cenas apskatāms 1.8. tabulā. Pētot datus, secināts, ka Latvijā izplatītāji neprecīzi norāda tehniskos parametrus, kas apgrūtina elektrovelosipēdu izpēti un salīdzināšanu.

1.8. tabula. Piedāvāto modeļu salīdzinājums

Nr.	Modelis	Maksimālais ātrums, km h ⁻¹	Jauda, W	Baterijas tips	Motora kontrole	Cena, LVL
1	Fast ride ER25	25	250	SLA	abi	369
2	Pārbūves komplekts EV-1000	45	1000		abi	225
3	ER61	32	350	SLA	abi	399
4	ER30	30	350	SLA	abi	469
5	MONTY Ritenis - Dzinējs komplekts	18	250	SLA	abi	277
6	MONTEY E-42	25	250	SLA	abi	410
7	MONTEY E-48; E-49		250	Lithium	abi	849
8	MONTEY E-45; E-46	6	250	Lithium	abi	729
9	E-bike TDNO3Z-636-20	24	250	Lithium	abi	489
10	E-bike TDE01Z-603-26	24	250	Lithium	abi	418
Baterijas tips: SLA- Svina-skābes, Lithium - Litija Motora kontrole: ar kāju palīdzību (minot pedāļus), droseļvārsta vadīšanas (drosele rokturi) vai abi.						

Izpētot 1.8. tabulu un salīdzinot elektrovelosipēdus pēc maksimālā ātruma, izceļas 2. modelis. Tas spēj attīstīt lielāko maksimālo ātrumu, bet 8. modelis pēc šādas salīdzināšanas paliek pēdējā vietā.

Salīdzinot elektrovelosipēdus pēc jaudas, atkal izceļas 2. modelis, bet izplatītāja dotie parametri šim modelim šķiet pārspīlēti.

Salīdzinot elektrovelosipēdu modeļus pēc baterijas tipa un motora kontroles, viedoklis dalās tikai par to, vai izvēlēties svina-skābes vai litija bateriju, jo visiem modeļiem motora kontrole ir vienāda.

Salīdzinot elektrovelosipēdu modeļus pēc cenas, rodas neskaidrības, jo, piemēram, 8. modelis, kam ir zemākais maksimālais ātrums, ir viens no dārgākajiem.

Tādējādi rodas jautājums: ar ko īsti dārgākie modeļi atšķiras no lētākajiem un kāpēc tie ir tik dārgi, ja daži parametri ir daudz zemāki nekā lētākajiem modeļiem? To var izskaidrot tikai ar to, ka dārgākajiem modeļiem ir pievilcīgāks izskats nekā lētākajiem modeļiem, tiem tiek izmantotas dārgākas pamatsastāvdaļas (rāmis, riepas, stūre utt.).

1.4.12. Tirgū pieejamie elektromotocikli

Pašlaik tirgū ir pieejami daudz un dažādi elektromotocikli, tomēr pazīstamākās no elektromotociklu ražotājfirmām šobrīd ir firma *QUANTYA*, elektromotociklu ražotājs *ZERO*, kā arī *BRAMMO* motocikli.

QUANTYA piedāvā *Evo1 - Strada* motociklu, kas redzams 1.76. attēlā. Šis motocikls ir legāls braukšanai pa ielu (*Quanta bikes*, 2011).

Motocikls sver 95 kilogramus, maksimālais ātrums tam ir 70 km h⁻¹, maksimālais braukšanas attālums 40 km, pilna uzlāde aizņem 2 stundas un šis modelis maksā 7123.95 LVL.



1.76. att. *Evo1 - Strada* motocikls

ZERO firma piedāvā elektromotociklu *Zero S*, kas redzams 1.77. attēlā un spēj attīstīt ātrumu 108 km h^{-1} , sver 135 kilogramus, maksimālais attālums, ko tas var veikt ir 93 kilometri, un pilnīga uzlāde aizņem 4 stundas (*Zero motorcycles*, 2010). Cena šim motociklam ir 5384.21 LVL. Viena uzlāde aptuveni izmaksā 25 santīmus.



1.77. att. *Zero S* elektromotocikls

BRAMMO piedāvā *Enertia* motociklu, kas redzams 1.78. attēlā un sver 147 kilogramus, spēj attīstīt 95 km h^{-1} un nobraukt 68 kilometrus ar vienu uzlādi, kas ilgst 4 stundas. Cena šim motociklam ir 5552.12 LVL (*Brammo*, 2011).



1.78. att. *Enertia* elektromotocikls

BRAMMO piedāvā arī elektromotociklu ar visai ievērojamiem rādītājiem, ko var aplūkot 1.79. attēlā, tomēr par šo *BRAMMO Empulse 10.0* motociķu jāmaksā 9768.92 LVL. Šis motociķs sver 190 kilogramus. Lai uzlādētu bateriju līdz maksimumam nepieciešamas 10 stundas, tomēr maksimālā distance, ko tas var veikt, ir 160 kilometri un maksimālais ātrums tam ir vairāk kā 160 km h^{-1} (Brammo, 2011).



1.79. att. *Empulse 10.0* elektromotociķs

1.4.13. Latvijā nopērkamie elektromopēdi

Iegūstot popularitāti ārvalstīs, arī Latvijā pamazām kļūst pieejami elektromopēdi, tomēr to klāsts ir ļoti pieticīgs, jo cenas šiem spēkratiem ir augstas, salīdzinot ar fosilo degvielu darbināmajiem mopēdiem. Mopēdi ar elektrisko piedziņu nespēj veikt lielus attālumus ar vienu uzlādi, kā arī to uzlāde aizņem ilgu laiku (AV transports, B.g.).

Ferdinand II (Vācija, skat. 1.80. att.) elektromopēda svars ir 28 kg, maksimālā distance ar vienu uzlādi ir 20 kilometri, uzlādes laiks 3 - 4 stundas, maksimālais ātrums 20 km h^{-1} un cena - 690 LVL. Garantija ir 2 gadi, akumulatoriem - 1 gads. Ražotājs - „TANTE PAULA GMBH” (Vācija).



1.80. att. *Ferdinand II* elektromopēds

Spānijā ražotais *MONTY E-TORR* (skat. 1.81. att.) elektromopēds sver 66 kg, maksimālais ātrums 25 km h^{-1} , maksimālā distance ar vienu uzlādi 60 kilometri, uzlādes laiks 7 - 9 stundas, cena - 652 LVL.



1.81. att. **MONTY E-70RR** elektromopēds

Vācu firmas **SOLAR** elektromopēds **SOLAR - SCOOTER** (skat. 1.82. att.) sver 116 kilogramus, maksimālā distance ar vienu uzlādi ir 60 kilometri, uzlādei nepieciešamas 5 - 8 stundas, maksimālais ātrums - 45 km h⁻¹, garantija - 2 gadi un elektromopēda cena - 1725 LVL.



1.82. att. **SOLAR** elektromopēds

1.5. Individuāli pārbūvētie elektroautomobiļi

1.5.1. *Automobiļa pārbūves koncepcija*

Elektroautomobiļu individuāla pārbūve ir salīdzinoši jauna tendence Latvijā, turpretī ASV un atsevišķās Eiropas valstīs elektroautomobiļu individuāla pārbūve jau norit vairākus gadu desmitus. Automobiļu pārbūve par elektroautomobili ir process, kas saistīts ar virkni dažādu inženiertehniskas dabas jautājumu risināšanu.

Pirms uzsākt šāda veida darbību, nepieciešams apsvērt visas pozitīvās un negatīvās iezīmes, kā arī novērtēt procesa lietderīgumu un ekonomisko izdevīgumu. Turklāt jebkura veida automobiļa pārbūve saistīta ar virkni noteikumu un prasību, kuras jāievēro, lai nodrošinātu pārbūvējamā automobiļa drošu un ilgtspējīgu darbību.

Šajā nodaļā apskatīti dažādi konstruktīvie risinājumi automobiļa pārbūvei, pārbūves elementu izvēles iespējas, dažādu palīgsistēmu darbības nodrošināšanas konstruktīvie paņēmieni, kā arī apskatīti pārbūves elementu izvēles kritēriji.

Jebkura automobiļa pārbūve par elektromobili ir saistīta ar dažādu komponentu noņemšanu no automobiļa un tai sekojošu elektrokomponentu uzstādīšanu automobilim. 1.83. attēlā redzams demontējamo un uzstādāmo komponentu klāsts automobilim *VW Lupo*.



1.83. att. Automobiļa *VW Lupo* pārbūves koncepcija

Šobrīd rūpnieciski ražoto elektropēkratu piedāvājums Latvijas tirgū ir ļoti mazs, arī to cena ir augsta. Potenciālos pircējus satrauc arī rezerves daļu pieejamība ekspluatācijas laikā. Šie faktori reizēm nosaka izvēli par labu risinājumam pārbūvēt spēkratus ar iekšdedzes motoru. Tomēr šis process arī nav viegls: nepieciešams atrast komponentu tirgotājus un piegādātājus, demontēt liekos mezglus, veikt akumulatoru novietošanas un izsvarošanas eksperimentus, izstrādāt elektromotora stiprināšanas un transmisijas konstrukciju, nodrošināt pārējo automobiļa funkciju darbību (ABS, stūres un bremžu pastiprinātāji, salona apsilde utt.) un veikt pārbūves sertificēšanu.

Tāpēc šos procesus var iedalīt 3 grupās:

- plānošana (ko, kur, kā?);
- pārbūve (gan elektrisko, gan mehānisko mezglu);
- testēšana (regulēšana un piebraukšana).

Komponentes automobiļa pārbūvei var izvēlēties atsevišķi vai jau gatavu komplektu veidā. Pārbūves komplekti var būt universālie vai izstrādāti konkrētam modelim. Šādu komplektu sastāvdaļas uzskaitītas 1.9. tabulā. Komplekti atšķiras ar to, ka universālajos netiek iekļauti motora kronšteinu un transmisijas adapteris. Parasti abos kompleksos netiek iekļauti arī akumulatori, jo katram motoram akumulatoru skaits virknē ir noteikts, lai sasniegtu attiecīgo spriegumu, taču paralēli slēgtie var ievērojami mainīties - galvenokārt atkarībā no vēlamās distances.

1.9. tabula. Elektroautomobiļu pārbūves komplektu sastāvdaļu piemēri

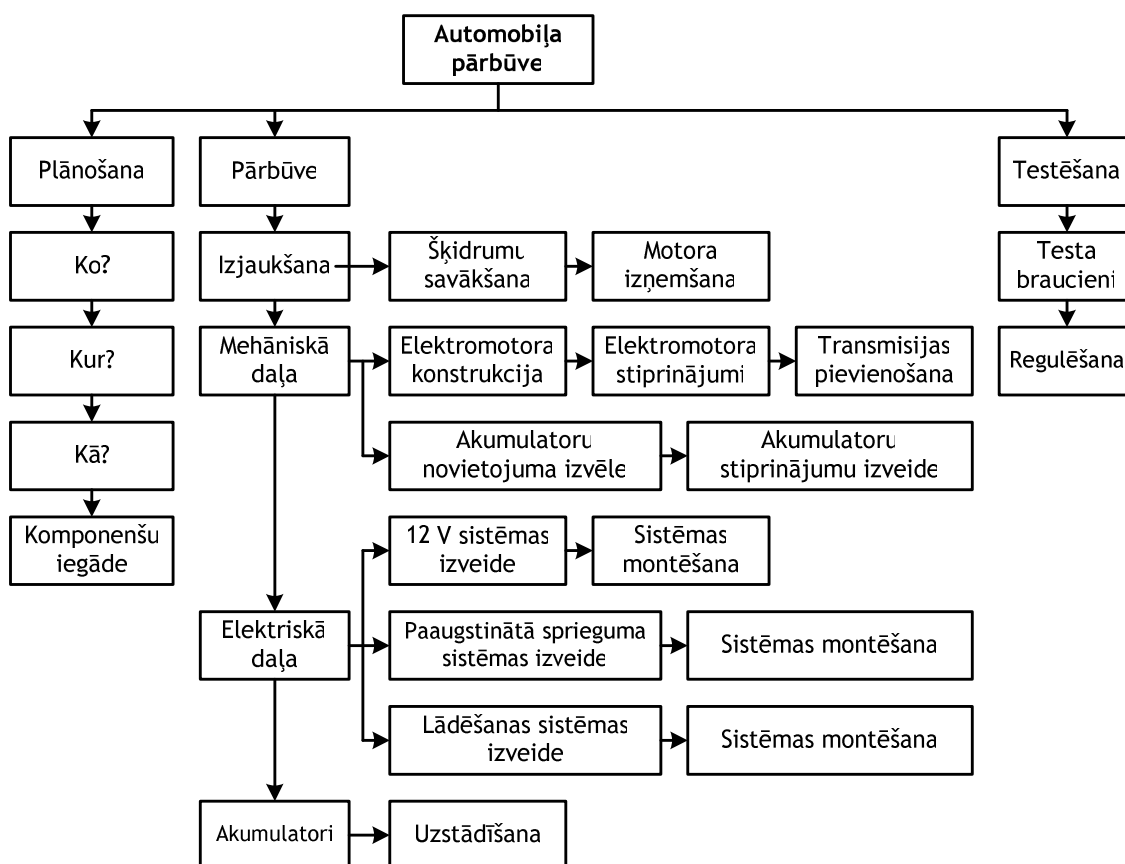
Series Wound 120V 83 Zs Chevrolet S10 Pickup (82-) līdzstrāvas motora komplekts	Wilderness Electric Vehicles 48 V 40 Zs universālais līdzstrāvas motora komplekts
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 8" līdzstrāvas motors ▪ motora un transmisijas adapteris ▪ motora kronšteins ▪ kontrolera nostiprināšanas kronšteins ▪ Curtis 1221C motora controlleris ▪ Curtis tipa PB6 vadības bloks ▪ Russco bateriju lādētājs ▪ Iota 30 A DC/DC pārveidotājs ▪ Albright SW-200 galvenais slēdzis ▪ 400 A galvenais drošinātājs ▪ Heinemann galvenais pārtraucējs ▪ bateriju vadu gali ▪ vadi, vadu marķieri ▪ elektriskā shēma un instalācijas instrukcija ▪ aptuvenā cena 8000\$ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 9.1" līdzstrāvas motors ▪ Curtis controlleris 1231C (144 V DC pie 400 A) ▪ vārpstu savienojums ▪ 0-5k (pb5) akseleratora pedāļa controlleris ▪ vadi ▪ Allbright SW200 slēdzis ▪ 50-150 VDC voltmetrs ▪ 0-500 A ampērmets ▪ rādītāju turētājs ▪ 12 - augstsprieguma savienojumi ▪ 48 - akumulatoru vadu savienojumi ▪ 400 A drošinātājs ▪ 144 VDC 12 Smart bateriju lādētājs ▪ galvenie rasējumi un elektriskā shēma ▪ aptuvenā cena 3000\$

Arī Latvijā ir uzņēmumi, kas nodarbojas ar automobiļu, kuri aprīkoti ar iekšdedzes motoru, pārbūvi uz elektrisko piedziņu. Tā kā birokrātijas dēļ Latvijā šādu pārbūvi ir grūtāk reģistrēt kā kaimiņu valstīs, tad šie automobiļi tiek reģistrēti Lietuvā, kur pārsvarā arī tiek realizēti. Firmas pārstāvji apliecina, ka pārbūvi iespējams veikt 3 dienu laikā. Viens no veidiem, kā apiet pārbūvi, ir izmantot hibrīda automobili un ievērojami palielināt tā akumulatoru kapacitāti. Piemēram, SIA „Elektro Auto LV” piedāvā *Toyota Prius* automobili (skat. 1.84. att.) ar pārstrādātu elektromotoru, tā vadību un akumulatoru kapacitāti, ko iespējams uzlādēt arī no rozetes, kas šādam modelim nebija iespējams. Uzņēmums šādā veidā hibrīda automobili pārbūvē uz *plug-in* hibrīdu un palielina nobraukto kilometru skaitu, izmantojot akumulatoros uzkrāto enerģiju.



1.84. att. Latvijā pārbūvēts *Toyota Prius* automobilis

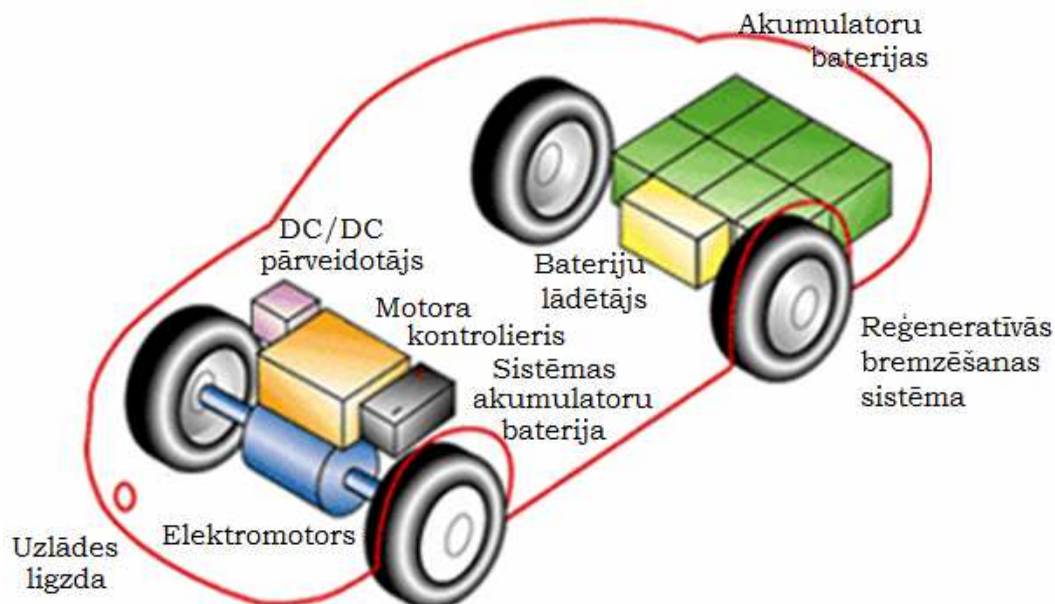
Automobiļa pārbūves process no tā plānošanas brīža saistīts ar virkni jautājumu un pasākumu. Procesa algoritms parādīts 1.85. attēlā.



1.85. att. Automobiļa pārbūves algoritms

1.5.2. Pārbūvējamā automobiļa pamatelementi

Galvenie elektroautomobiļa konstruktīvie elementi, kas tiek uzstādīti automobilim pārbūves procesā, doti 1.86. attēlā (The basics of an EV conversion, 2012).



1.86. att. Elektroautomobiļa komponentes

Bez attēlā redzamajām komponentēm, papildus var tikt uzstādīta arī elektriskā vai elektrohidrauliskā stūres sistēma, elektriskais bromžu vakuumsūknis, mērinstrumenti, kas uzrāda ar elektroenerģijas izmantošanu saistītos parametrus, elektriskā vai autonomā apsildes sistēma un citas komponentes.

Elektromotors. Viens no galvenajiem elektroautomobiļa elementiem ir elektromotors. Pārbūvējamos automobiļos tiek lietoti divu veidu elektromotori - līdzstrāvas (DC) un maiņstrāvas (AC).

Katram no šiem motoriem ir savas priekšrocības un trūkumi. Līdzstrāvas motori ir salīdzinoši smagāki par tādas pašas jaudas maiņstrāvas motoriem, arī paša motora izmaksas ir lielākas, turpretī šos motorus ir vieglāk vadīt. Maiņstrāvas motora priekšrocības ir to augstāka efektivitāte (95% pilnas slodzes režīmā), taču galvenais trūkums ir sarežģītāka vadība un līdz ar to arī dārgākas kopējās pārbūves elementu izmaksas (motors un kontroleris).

Viens no galvenajiem elektromotora izvēles kritērijiem ir tā jauda. Automobiļos parasti tiek uzstādīti elektromotori ar nominālo jaudu no 4 kW. Lai iegūtu salīdzinoši komfortablus automobiļa dinamiskos rādītājus, vidējas klases automobiļos uzstāda elektromotorus ar nominālo jaudu no 30 līdz 60 kW.

Elektromotoru izvietojums arī var atšķirties. Vairumā gadījumu šos motorus uzstāda iekšdedzes motora vietā, bet pastāv iespēja arī uzstādīt speciālus elektromotorus katrā dzenošajā ritenī (skat. 1.87. att.) (Kicking Tires, 2011).



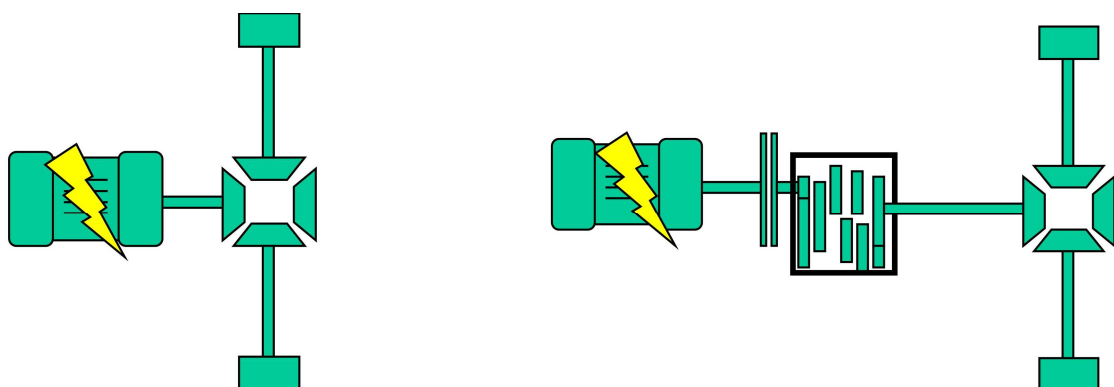
1.87. att. Ritenī izvietots elektromotors

Latvijas apstākļos šādi izvietoti elektromotori nav īpaši piemēroti vairāku apsvērumu dēļ:

- salīdzinoši sliktā ceļu kvalitāte, kā arī liels skaits neasfaltētu ceļu;
- ziemas laikā ceļi tiek apstrādāti ar sāls šķīdumiem, kas, nonākot saskarē ar elektromotora detaļām, var pastiprināti tās korodēt;
- šāda elektromotora uzstādīšana saistīta ar automobiļa balstiekārtas un bremžu sistēmas pārbūvi, ko vairumā gadījumu nepieļauj Latvijā pastāvošā likumdošana.

Ja automobiļa elektromotors uzstādīts klasiskā iekšdedzes motora vietā, pastāv divas iespējas. Pirmajā gadījumā (skat. 1.88. att.) griezes moments nepastarpināti tiek novadīts uz diferenciāli un dzenošajiem riteņiem, savukārt otrajā gadījumā starp elektromotoru un galveno diferenciāli tiek uzstādīta pārnēsūmkārba. Kā pārnēsūmkārba var tikt izmantota automobiļa klasiskā pārnēsūmkārba, kurā parasti samazina pārnēsūmu skaitu, vai arī uzstādīta speciāla elektrotransportam paredzēta pārnēsūmkārba.

Izvēloties risinājumu ar transmisiju, nepieciešams noskaidrot optimālāko pārnēsūmu vai pārnēsūmus konkrētajam automobilim ar konkrēto elektromotoru un paredzamajiem ekspluatācijas apstākļiem.



1.88. att. Elektroautomobiļa transmisiju risinājumi

Kontrolleris (invertors). Kontrolleris ir ierīce (skat. 1.89. att.), kas kontrolē un vada no akumulatoriem uz elektromotoru padoto strāvu atkarībā no akceleratora sviras stāvokļa, tādējādi nodrošinot vadītāja vēlamu kustības režīmu. Motora kontrolleris darbojas smagos apstākļos, jo atkarībā no izvēlētajā sistēmas sprieguma un elektromotora jaudas, pilnas slodzes režīmos kontrollerim ir jāpārvada nozīmīgas vērtības strāvas (EV Convert ..., 2010).



1.89. att. Brusa elektromotora kontrolleris

Agrāko konstrukciju kontrolleri sastāvēja no slēdžiem, relejiem un kontaktiem, kas ar vadu palīdzību savienoti ar barošanas akumulatoriem, un nodrošināja dažādus padeves spriegumus. Bieži vien tika izmantoti arī lieli rezistori jeb pretestības. Šādas sistēmas bieži vien darbojās saraustīti, un tās bija neuzticamas un neefektīvas.

Mūsdienu modernie impulsu kontrolleri darbojas ar 15000 - 18000 Hz frekvenci. Kontrolleri var būt izveidoti ar reģenerācijas funkciju, kas nodrošina akumulatoru lādēšanu automobiļa bremsēšanas laikā. Kontrolleri ierobežo maksimālo padeves strāvu, lai pasargātu gan akumulatorus, gan pārējo elektrosistēmu no pārmērīgi ātras nolietošanās.

Motora kontrollera izvēle konkrētam pārbūvējamam automobilim atkarīga gan no izvēlētajā elektromotora parametriem, gan sistēmas sprieguma. Lietderīgi izvēlēties elektromotoru komplektā ar kontrolleri. Atšķirīgi kontrolleri piemērojami pārbūves komplektiem ar līdžstrāvas motoru un ar maiņstrāvas motoru.

Akumulatoru baterijas un to vadības sistēmas. Akumulatoru baterijas kalpo par galveno enerģijas avotu un uzkrājēju. Konstruktīvi pastāv dažādu veidu un formu akumulatoru baterijas. Sākotnēji tika izmantotas svina-skābes akumulatoru baterijas. Elektroautomobiļos var izmantot dziļizlādes svina skābes baterijas. Bateriju darba mūžu nosaka pēc uzlādes - izlādes ciklu skaita. Šīm baterijām plānotais kalpošanas laiks ir ap 700 cikliem, tomēr to ļoti ietekmē arī pats ekspluatācijas režīms.

Mūsdienās vairums elektroautomobiļu pārbūvētāju izmanto litija akumulatoru baterijas (skat. 1.90. att.). Šīm baterijām ir lielāks uzlādes izlādes ciklu skaits (virs 1000). Tomēr baterijas darba mūžu ļoti ietekmē to ekspluatācijas režīms.



1.90. att. Litija akumulatoru baterija

Pamatā tiek pielietotas divu veidu litija baterijas:

- litija polimēra (Li-P);
- litija jonu (Li-ion).

1.10. tabulā dots dažādu akumulatoru bateriju īpašību salīdzinājums. Kā redzams šajā tabulā, litija baterijām ir vairākas priekšrocības attiecībā pret svina-skābes un niķeļa-cinka baterijām.

1.10. tabula. Akumulatoru bateriju raksturlielumi

Baterijas tips	Enerģija/svars Wh/kg	Enerģija/tilpums Wh/l	Jauda/svars W/kg	izmaksas Wh/\$
Svina-skābes	30 - 40	60 - 75	180	4 - 10
Niķeļa-cinka	60 - 70	170	900	2 - 3
Litija jonu	160	270	1800	3 - 5
Litija polimēru	130 - 200	300	līdz 2800	3 - 5

Pārbūvējot automobiļus ar iekšdedzes motoriem par elektroautomobiļiem, būtiska problēma ir tieši akumulatoru svars. Pielietojot litija akumulatorus, ir iespējams no mazākas masas un tilpuma akumulatoriem iegūt lielāku jaudu.

Elektroautomobiļos tiek pielietots liels skaits nelielas ietilpības (biežāk 40 - 100 Ah) bateriju, tomēr ražotāji piedāvā arī lielākas ietilpības akumulatorus, kurus to izmēru dēļ ir grūti izmantot vieglajos automobiļos. Pamatojums šādam liela skaita un nelielas ietilpības akumulatoru izmantošanai automobiļos ir:

- akumulatorus dēļ to nelielajiem izmēriem ir iespējams sakombinēt lielākās pakotnēs, veidojot dažādus pakotnes ārējos izmērus;
- viena akumulatora bojājuma rezultātā ir iespējama tā nomaiņa, saglabājot visus pārējos akumulatorus;
- kompakto izmēru dēļ akumulatorus automobilī ir iespējams izvietot racionāli, izmantojot telpu un saglabājot noteiktu svara sadalījumu uz asīm.

Vienas akumulatoru baterijas šūnas nominālais spriegums ir 3.2 V, bet pilnībā uzlādētas baterijas spriegums ir no 3.6 - 3.8 V. Mazāki pīķa spriegumi akumulatoru bateriju ekspluatācijas procesā pagarina bateriju kalpošanas laiku un saglabā bateriju kapacitāti.

Veidojot šādas bateriju pakotnes, ir nepieciešams šos akumulatorus saslēgt vienotā elektriskā ķēdē. Lai iegūtu elektroautomobiļa motoram nepieciešamo spriegumu, kurš atkarībā no motora parametriem var būt atšķirīgs, baterijas saslēdz virknes slēgumā. Tomēr, lai nodrošinātu visas akumulatoru sistēmas normālu darbību, ir jāpielieto bateriju uzraudzības (menedžmenta) sistēma. Šīs sistēmas uzdevumi ir:

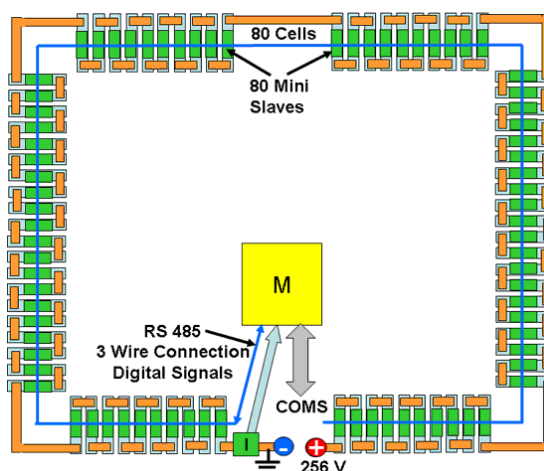
- uzraudzīt un kontrolēt bateriju lādēšanas procesu, lai pilnas uzlādes gadījumā atslēgtu baterijas atsevišķos nodalījumus, novēršot pārlādēšanas draudus;
- uzraudzīt un kontrolēt bateriju izlādes procesu, lai pilnīgas izlādes gadījumā atslēgtu no kopējā tīkla atsevišķu bateriju nodalījumus;
- uzraudzīt lādēšanas procesu, nodrošinot vienmērīgu visu nodalījumu uzlādi;
- temperatūras kontrole;
- atlikušā uzlādes/izlādes laika kontrole.

Bateriju kontroles sistēmu tehnoloģija. Bateriju kontroles sistēmu ir iespējams izveidot, pielietojot dažādu bateriju monitoringa sistēmas slēgumus. Vienā no slēgumu shēmām ir iespējams izmantot katrai baterijai uzlādes/izlādes kontrolleri (skat. 1.91. un 1.92. att.).



1.91. att. Baterija ar uzlādes/izlādes kontrolleri

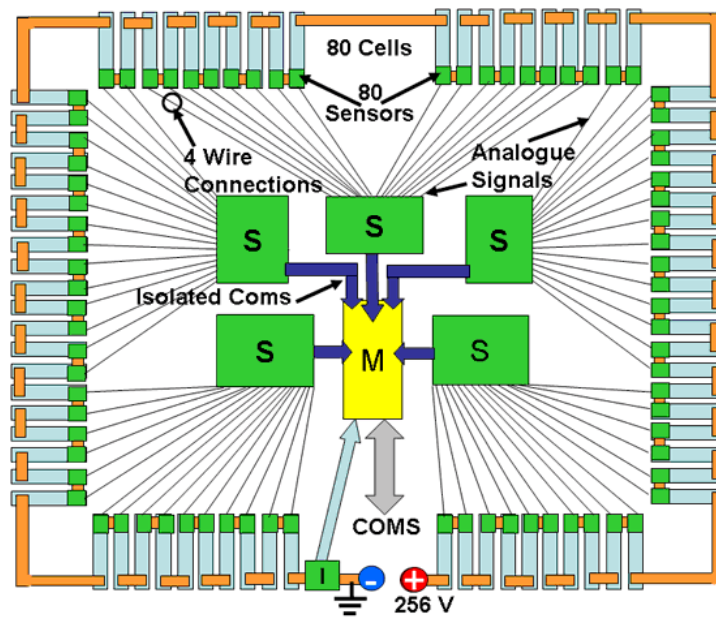
Šādas sistēmas priekšrocības ir vienkāršāka projektēšana un konstrukcija, un augsta uzticamība, kas ir svarīgi nosacījumi, lai pielietotu automobiļos.



1.92. att. Slēguma shēma, izmantojot bateriju katra nodalījuma individuālo kontrolleri

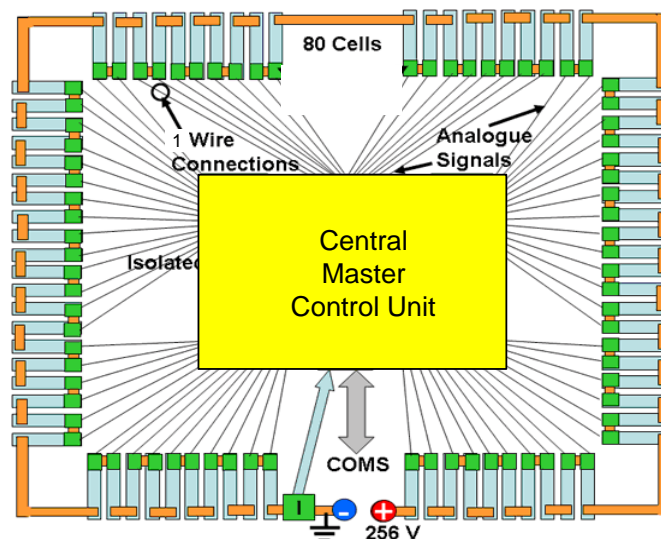
Šādas sistēmas būtiskākais trūkums ir liels skaits controlleru, kuru izmēri ir ļoti mazi un prasa rūpīgu montāžu. Dažu tipu baterijām šāda slēguma shēma ir grūti izveidojama.

Kā otrais no bateriju monitoringa sistēmas slēguma veidiem ir modulārais slēgums (skat. 1.93. att.). Šajā sistēmā noteiktu šūnu grupu uzrauga apakškontrolleris, savukārt tos uzrauga galvenais controlleris. Šādas sistēmas priekšrocība ir apstākļi, ka nav nepieciešams katra nodalījuma controlleris. Šādā veidā samazinās kontrolējamās elektronikas plašu skaits un arī nav paaugstinātas prasības pret to gabarītiem. Pie būtiskākajiem trūkumiem var minēt grūtības nodrošināt komunikāciju starp apakškontrolieriem un centrālo vadības bloku.



1.93. att. Modulārā bateriju uzraudzības sistēmas slēguma shēma

Trešā veida slēgums bateriju monitoringa sistēmai ir centralizētais uzraudzības sistēmas slēgums (skat. 1.94. att.).



1.94. att. Centralizētā bateriju uzraudzības sistēmas slēguma shēma

Šajā slēguma shēmā bateriju uzraudzībai tiek izmantots viens centrālais bateriju uzraudzības vadības bloks. Pie pozitīvajām īpašībām var minēt vienu pievienošanas punktu šāda veida slēgumā, kā arī nav nepieciešama sarežģīta instalācija automobilī. Negatīvās īpašības ir tādas, ka akumulatori automobilī tiek izvietoti dažādās vietās. Lai akumulatorus savienotu ar vadības bloku nepieciešams izmantot garus elektriskos kabelus.

Bateriju ražotāja *Winston Battery* produktu katalogā ir norādīti akumulatoru tehniskie parametri. Litija jonu baterijām darbības spriegums tiek dots robežās no 2.8 līdz 4.0 V. Augstāko spriegumu akumulators nodrošina, kad ir pilnībā uzlādēts, bet zemāko kad gandrīz ir izlādēts. Lai nodrošinātu sistēmas spriegumu 96 V, nepieciešams pielietot aptuveni 30 akumulatorus.

Bateriju slēgumu izveide individuāli pārbūvējamos automobiļos. Elektroautomobiļu akumulatori automobilī biežāk tiek izvietoti nelielās pakotnēs (skat. 1.95. att.). Šādas pakotnes lielumu un ģeometrisko formu nosaka vieta, kur akumulatori tiks izvietoti. Saskaņā ar iepriekšējā nodaļā dotajām bateriju slēguma shēmām, akumulatorus saslēdz virknes slēgumā, pievienojot uzraudzības ierīces.



1.95. att. Litija akumulatoru pakotne elektroautomobilim

Vienotā elektriskā ķēdē saslēgta bateriju pakotne ir parādīta 1.96. attēlā.



1.96. att. Akumulatoru bloks automobilī

Akumulatoru uzlādes iekārtas. Akumulatoru lādētāji ir ierīces, kas pārveido sadzīves elektrosriegumu uz konkrētā automobiļa elektrosistēmas spriegumu. Turklāt maiņstrāva tiek pārveidota par līdžstrāvu. Akumulatoru uzlādes iekārtas (skat. 1.97. att.) (High Power Battery Charger, 2010) var būt jau integrējamās pašā automobilī, vai arī pievienojamas atsevišķi. Atsevišķi novietotas akumulatora lādēšanas iekārtas lietderīgi izvēlēties tajos gadījumos, kad automobilis tiks ekspluatēts konkrētā teritorijā un uzlāde vienmēr notiks vienā un tajā pašā vietā. Ja uzlādes iekārta nav integrēta automobilī, tad ekspluatācijas procesā nav jāpārvadā lieks svars, kas samazina automobiļa kopējo nobraukumu, kā arī aizņem vietu automobiļa bagāžas nodalījumā. Savukārt, integrēta lādēšanas iekārta padara automobili mobilāku, nav jāsatraucas par uzlādes iespējām, jo uzlādi var veikt no jebkura sadzīves elektrotīkla, kas, protams, nodrošina nepieciešamās jaudas.



1.97. att. KP-KL uzlādes iekārta litija jonu un LiFePO4 akumulatoru baterijām

Akumulatoru bateriju uzlādes iekārtas var būt programmējamas, lai varētu iestatīt nepieciešamos uzlādes parametrus konkrētajām akumulatoru bateriju pakotnēm. Pasūtot akumulatoru bateriju lādētāju, nepieciešams sniegt šādus datus:

- bateriju veids un ķīmiskās īpašības (svina-skābes, litija jonu vai tml.);
- uzlādējamo bateriju marka;
- bateriju modeļa sērijas numurs;
- enerģijas kapacitāte (Ah);
- akumulatoru bateriju pakotnes nominālais spriegums.

Zinot šos parametrus, akumulatoru bateriju uzlādes iekārtu izplatītājs var ieprogrammēt lādēšanas iekārtu nepieciešamajam darba režīmam.

Elektroinstalācijas vadi un kabeļi. Pārbūves process neizbēgami saistīts arī ar elektroinstalācijas darbiem, t.i., elektrisko agregātu elektriskās ķēdes izveidi. Galvenie spēka agregāti (elektromotors u.c.) ekspluatācijas procesā patērē lielas strāvas, līdz ar to barošanas elektrokabeļiem jābūt ar lielu šķērsriezuma laukumu, lai nepieļautu jaudas zudumus elektroenerģijas pievadīšanas procesā, kā arī lai nepieļautu vadu silšanu un iespējamo atteikumu veidošanos.

Uzstādot pilnībā nokomplektētu pārbūves komplektu, nepieciešamie vadi un kabeļi, parasti, jau ir iekļauti, turpretī, kombinējot pārbūves komplektu, pašam pārbūvētājam jānosaka, kādas būs maksimālās strāvas un kādi būs nepieciešamie elektroinstalācijas vadu šķērsriezumi un to kopējie garumi.

Visus elektroinstalācijas vadus un kabeļus var iedalīt:

- jaudas kabeļi;
- palīgvadi.

Jaudas kabeļi (skat. 1.98. att.) savieno galvenos spēka agregātus, t.i., elektromotoru ar kontrolleri, kā arī kontrolleri ar akumulatoru bateriju (300ZX Electric Vehicle Conversion, 2009; HX-50B/D cable ..., 2011).



1.98. att. Jaudas kabelis un kontaktsavienojumu izveides knaibles

Jaudas kabeļi atšķiras galvenokārt ar šķērsriezuma laukumu, kas atkarīgs no pārvadamajām strāvas vērtībām un jaudām, kā arī var atšķirties ar kabeļa izolācijas materiālu, kas izveidots, lai nodrošinātu ekspluatācijas apstākļiem noteiktās izturības un drošības prasības. Jaudas kabeļu galos ar speciālām knaiblēm (skat. 1.98. att.) uzvalcē kontaktsavienojumus. Piemēram, 50 mm² jaudas kabelis paredzēts vairumam elektroautomobiļu ar pārvadāmo maksimālo strāvu zem 500 A ar 30% noslodzi.

Palīgvadi paredzēti dažādu citu elektroinstalācijas agregātu savienošanai vienotā elektriskā ķēdē. Piemēram, akumulatoru vadības sistēmas elektriskās ķēdes izveidei, akseleratora potenciometra pievienošanai utt. Vadu šķērsriezuma diametri var būt atšķirīgi, parasti, robežās no 0.5 mm līdz 5 mm. Palīgvadiem jābūt piemērotiem izmantošanai autobūves vajadzībām.

Vadu kontaktsavienojumi. Elektroautomobiļos tiek lietoti vairāku veidu kontaktsavienojumi. Uzlādes nodrošināšanai no sadzīves tīkla tiek izmantoti speciāli maiņstrāvas kontaktspraudņi un kontaktligzdas. Uzlādes kontaktligzdu pārbūves procesā iespējams izveidot zem tradicionālā degvielas ielietnes vāciņa (skat. 1.99. att.) (German OEMs ..., 2010).



1.99. att. Uzlādes kontaktligzda

Savukārt sprieguma pievadīšana no sadzīves elektrotīkla vai speciālās lādēšanas iekārtas tiek nodrošināta ar šim nolūkam izveidotu lādēšanas kabeli (skat. 1.100. att.) (SAE j1772 ..., 2011). Pastāv dažādu konfigurāciju un standartu kontaktspraudņi un kontaktlīgšanas. Īpaši liela dažādība vērojama pirmajos pārbūvētajos elektromobiļos, kad vēl netika pievērsta pietiekoši liela uzmanība vienota un saderīga kontaktsavienojuma izveidei visiem elektromobiļiem.



1.100. att. Uzlādes kabelis ar SAE j1772 spraudni

Otra elektrisko kontaktsavienojumu grupa ir līdzstrāvas jaudas kabeļu kontaktsavienojumi, kuru konfigurācija un izveidojums atkarīgi no pielietošanas vietas un pārvadāmās strāvas stipruma.

Kā trešo grupu var minēt - palīgvadu kontaktsavienojumi, kuriem jāpārvada salīdzinoši mazākas strāvas vērtības, un līdz ar to arī to izmēri ir ievērojami mazāki, un tie var būt konstruktīvi vienkāršāki (skat. 1.101. att.). Veicot elektroinstalācijas darbus nevajadzētu izvēlēties kontaktsavienojumus, kas paredzēti sadzīves lietošanas vajadzībām, bet gan izmantot autobūvei paredzētos vadu savienojumus.



1.101. att. Palīgvadu kontaktsavienojumu komplekts

Kontakts jeb augsta sprieguma relejs. Kontakts (skat. 1.102. att.) pēc savas būtības ir relejs, kurš ieslēgts galvenajā sprieguma padeves ķēdē uz kontrolleri. Atkarībā no sistēmas sprieguma un pārvadāmās strāvas, var tikt lietoti dažādāki kontaktori ar pārvadāmo strāvu 80 A, 100 A, 150 A 250 A, 500 A u.c. Kontakts nepieciešams, lai varētu pieslēgt un nepieciešamības gadījumā atslēgt spriegumu no akumulatora baterijām uz kontrolleri un elektromotoru. Kontakta vadības spaiļi savienoti ar manuāli vadāmu slēdzi,

kuru iespējams izmantot, piemēram, automobili novietojot stāvvietā, vai ar avārijas slēdzi, kurš nostrādā automātiski automobilim iekļūstot satiksmes negadījumā. Kontaktoru vadības spriegumi var būt 12 V, 24 V, 36 V vai 48 V (300ZX Electric Vehicle Conversion, 2009).



1.102. att. Kontaktors

Bez kontaktora elektroautomobiļa pārbūves komplektā var ietilpt arī dažādi citi releji, kas nodrošina vadības elektrisko ķēžu saslēgšanu un atslēgšanu.

Līdzstrāvas pārveidotājs. Tā kā klasiskā automobiļa elektrosistēma tiek darbināta ar 12 V spriegumu, bet galvenie spēka agregāti ar sistēmas spriegumu, kas parasti ievērojami pārsniedz 12 V spriegumu, tad ir nepieciešams uzstādīt līdzstrāvas pārveidotāju. Līdzstrāvas pārveidotājs (skat. 1.103. att.) aizstāj klasiskā automobiļa ģenerators funkcijas, nodrošinot vadības elektrosistēmā nepieciešamo 12 V spriegumu. Šis spriegums nodrošina tādu agregātu darbināšanu, kā logu tīrītāji, elektriskais stūres pastiprinātājs, apgaismes ierīces u.c.



1.103. att. Līdzstrāvas pārveidotājs

Transmisijas pielāgošanas mezglis. Veicot automobiļa pārbūvi, klasiskais iekšdedzes motors tiek aizstāts ar elektromotoru, turpretī pārnesumkārbā bieži vien tiek atstāta esošā. Uzstādāmais elektromotors praktiski nekad tiešā veidā nav savienojams ar esošo pārnesumkārbu, līdz ar to nepieciešams izveidot un uzstādīt speciālus pielāgošanas mezglus. Kā galvenie elementi pielāgošanas komplektā varētu būt:

- elektromotora - pārnesumkārbas savienošanas atloks (skat. 1.104. att.);
- pielāgots sparrats (skat. 1.105. att.) vai speciāla sparrata nostiprināšanas pāreja (Gearbox Magazine, 2011).



1.104. att. Elektromotora pārnesumkārbas savienošanas atloks

Atloks parasti tiek projektēts un izgatavots individuāli pēc konkrētā elektromotora un pārnesumkārbas stiprinājuma vietu specifikācijas.

Lai būtu iespējams elektromotora izejas vārpstai pievienot esošo spararatu, nepieciešams to pārbūvēt, vai arī izveidot speciālas pārejas.



1.105. att. Pielāgots spararats

Instrumentu panelis. Veicot standarta automobiļa pārbūvi par elektromobili, nepieciešams pielāgot arī kontrolmērinstrumentu paneli. Ja iespējams uzstādīt jaunu mērinstrumentu paneli, kas salāgots ar pārbūves komplektu, tad problēmas parasti nerodas. Tomēr universālie pārbūves komplekti reti kad tiek piedāvāti komplektā ar speciālu mērinstrumentu paneli, kas būtu kā apmaiņas vienība esošajam mērinstrumentu panelim. Pārbūves komplekti var tikt komplektēti kopā ar specializētu mērinstrumentu paneli, jeb displeju, ko uzstādu papildus esošajam panelim.

Mērinstrumentu panelī var tikt attēlota šāda informācija:

- sistēmas faktiskais spriegums;
- patērētā strāvas vērtība konkrētā ekspluatācijas režīmā;
- patērētā elektroenerģija;
- elektromotora apgriezieni u.c. informācija.

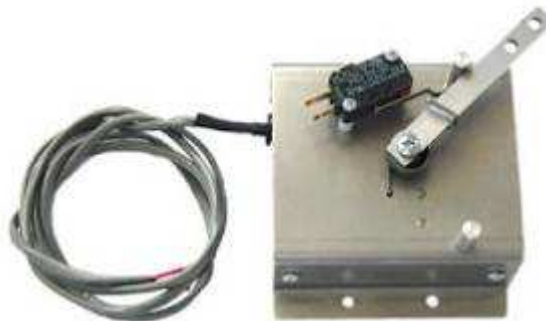
Ja mērinstrumentu panelis ir integrēts kopā ar akumulatoru bateriju vadības sistēmu, tad var tikt uzrādīti arī dati par bateriju uzlādes līmeni, atlikušo nobraukumu u.c.

Rūpnieciski ražota elektroautomobiļa mērinstrumentu panelis redzams 1.106. attēlā. Veicot individuālu pārbūvi, nepieciešams pielāgot esošo mērinstrumentu paneli vai arī uzstādīt atsevišķus mērpulksteņus, kas parāda vēlamo informāciju (Nissan Leaf Review, 2011).



1.106. att. Rūpnieciski ražota elektroautomobiļa mērinstrumentu panelis

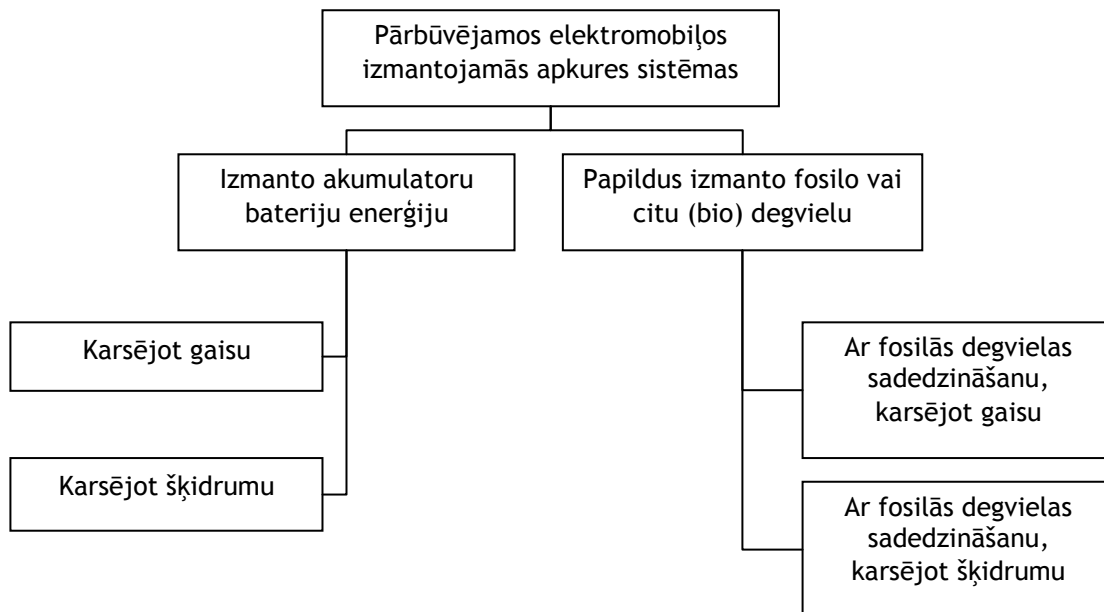
Akseleratora svira. Akseleratora svira var tikt nokomplektēta kopā ar kontrolleri vai arī iegādāta atsevišķi. Elektroautomobiļiem uzstādāmās akseleratoru sviras (skat. 1.107. att.) savienotas ar potenciometru, kas izmaina ķēdes pretestību atkarībā no pašas sviras stāvokļa, tādējādi padodot uz kontrolleri signālu par vadītājam vēlamo automobiļa kustības režīmu.



1.107. att. Akseleratora svira

Tāpat akseleratora sviras mehānisms var tikt aprīkots ar gala slēdžiem, kas nosaka sviras galējos stāvokļus.

Apsildes sistēma. Latvijas klimatiskajos apstākļos, ja vien automobilis netiks ekspluatēts tikai vasaras apstākļos, to nepieciešams aprīkot arī ar salona apsildes sistēmu. Populārākās apkures sistēmas elektromobilim globāli var iedalīt 2 grupās - iekārtas, kas kā pamatenerģiju izmanto akumulatoros uzkrāto enerģiju, un iekārtas, kuras izmanto citus, piemēram, fosilos enerģijas avotus (skat. 1.108. att.).



1.108. att. Pārbūvētajos elektromobiļos izmantojamās apkures sistēmas

Fosilās degvielas apkures sistēma. Pārbūvētajos elektromobiļos plaši lieto sistēmas, kurās apkurei izmanto fosilo degvielu, biežāk dīzeļdegvielu. Automobilim tiek izveidota neliela fosilās degvielas tvertne. Par siltumnesēju izmanto šķidrumu, līdz ar to iespējams izmantot arī standarta krāsniņu ar ventilatoru, kuru piedzen elektromotors. Sistēmas galvenais un dārgākais mezgls ir apkures mezgls. Tas var būt iegādāts no šo mezglu ražotājiem, piemēram, *Webasto*.

Šādas sistēmas no salona apsildes viedokļa ir ļoti efektīvas. Tām var pieslēgt rūpnieciski izstrādātu apkures mezglu, piemēram, *Webasto*. Mezgla, kā pamatelementa cena var būt 350 - 800 LVL, atkarībā no komplektācijas un automatizācijas pakāpes. Mezgla darbība ir automātiska, pie tam, iegādājoties papildus automatikas sistēmu ar taimeru, var nodrošināt automobiļa salona uzsildi pirms darba sākuma. Dīleru izstrādēm tiek lietotas ļoti sarežģītas šļūteņu sistēmas, ar termostatiem un papildus sūkņiem, bet amatieru izstrādēm var izmantot apkures mezglu, pievienojot apkures radiatoram, kas neprasa iejaukšanos automobiļa standarta apkures gaisa sadales sistēmā un ventilatora konstrukcijā. Sistēmas pozitīvais moments ir arī tas, ka netiek patērēti lieli akumulatoru bateriju resursi.

Galvenais sistēmas trūkums ir tas, ka šāds automobilis tomēr nav līdz galam ekoloģisks, jo tam nepieciešama fosilā degviela. Sistēmu ekoloģiskāku var padarīt bioetanolu, biodīzeļdegvielas vai rapšu eļļas izmantošana.

Ar elektrību darbināmi sildītāji. Apsildes sistēmu iespējams izveidot arī darbināmu no paša automobiļa akumulatoru baterijām. Šajā gadījumā tiek

modificēta automobiļa esošā apkures sistēma, šķidruma apsildes radiatoru aizstājot ar elektriskiem sildelementiem. Šāda pieeja ir vienkāršāka no izstrādes viedokļa un arī vadības viedokļa, bet galvenais trūkums ir tāds, ka šāda sistēma patērē enerģiju no akumulatoru baterijām, līdz ar to samazina automobiļa maksimālā nobraukuma attālumu ar vienu uzlādi.

Bremžu vakuumpastiprinātāja sūkņis. Viens no elementiem, kura darbību arī nepieciešams pielāgot, veicot automobiļa individuālo pārbūvi, ir bremžu vakuumpastiprinātājs. Precīzāk, nav jāpārveido pats pastiprinātājs, bet gan jānodrošina, lai šim pastiprinātājam tiktu pievadīts retinājums. Iekšdedzes motora izmantošanas gadījumā retinājums rodas vai nu ieklūdes kolektorā, vai arī speciālā vakuumsūkņī. Uzstādot elektromotoru, retinājuma radīšanai jāuzstāda atsevišķi elektriski darbināmu vakuumsūkņi (skat. 1.109. att.) un arī resīveru, kuros uzkrāt retinājumu (Comp 5500 ..., 2012).

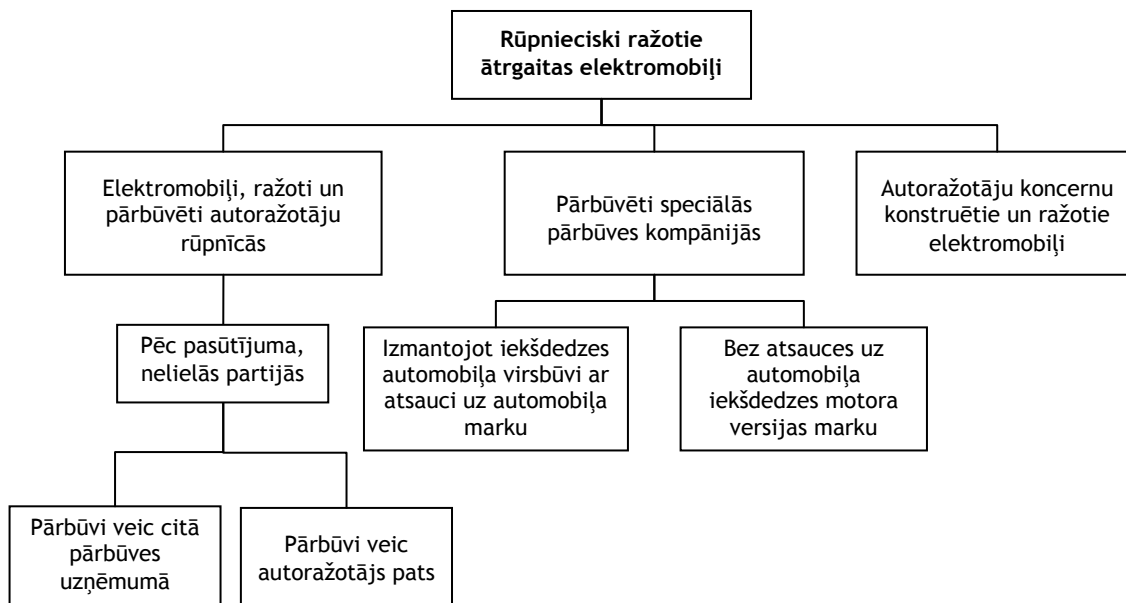


1.109. att. Vakuumsūkņis

Katrā konkrētā pārbūves gadījumā var būt vēl virkne elementu, kurus papildus jāiegādājas vai jāizveido un jāuzstāda. Tā, piemēram, nepieciešams būs izveidot dažādus kronšteinus un stiprinājumus, lai nostiprinātu elektromotoru, kontrolleri, akumulatoru baterijas un citus elementus.

1.6. Rūpnieciski ražotie un pārbūvētie elektromobiļi

No iepriekš apskatītajiem elektropēkratiem sarežģītākās un kvalitatīvākās elektropēkratu konstrukcijas tiek ražotas rūpnīcās. Rūpnieciski ražotajiem elektropēkratiem var veikt vienkāršu klasifikāciju, kas parādīta 1.110. attēlā.



1.110. att. Rūpnieciski ražotu elektromobiļu klasifikācija

Elektromobiļu rūpnieciskā pārbūve, par pamatu izmantojot iekšdedzes motora automobiļa virsbūvi, pazīstama jau vairāk kā 30 gadus. Ar šādām pārbūvēm no ES autoražotājiem nodarbojušies tādi ražotāji kā *Renault*, *Citroen*, *Opel* un citi. Tradicionāli šīs pārbūves veiktas gadījumos, ja ir bijuši nelielu partiju pasūtījumi, piemēram, kāda elektroražošanas kompānija (Latvijā šāda kompānija varētu būt AS „Latvenergo”) pasūta elektromobiļus savam autoparkam. Pasūtījuma apjomi varēja būt arī nelieli - 300 līdz 500 automobiļi. Parasti šādā gadījumā automobiļu pārbūve netika veikta konkrētā modeļa automobiļa ražošanas uzņēmumā, bet automobiļi atbilstošā komplektācijā nogādāti uz citu, speciālu pārbūves uzņēmumu. Lai šis produkts būtu lētāks, netika ražots arī pārbūvei paredzētais automobilis bez pārbūvē nevajadzīgajiem mezgliem (motors, ātrumkārbā, izpūtējs). Parasti tika saražots gatavs iekšdedzes automobilis, bet pārbūves uzņēmumā no tā demontētas nevajadzīgās detaļas un mezgli. Pārbūve autokoncernos notiek ļoti reti, jo šāds pārbūves process var būtiski kavēt pamatprodukcijas - iekšdedzes motoru automobiļu ražošanu.

Dažkārt iekšdedzes motora automobiļa pārbūve par elektromobili veikta speciālās nelielas jaudas pārbūves rūpnīcās. Kā piemēru var minēt elektromobili *Fiat Fiorino Ellectrico*. Šajā gadījumā atsauce uz pārbūvē izmantoto pamatmodeli *Fiat Fiorino* ir palikusi, palikusi ir arī šim brendam atbilstošā *Fiat* emblēma. Tirgū pastāv arī elektromobiļu piedāvājums, kad par pamatu pārbūvei no iekšdedzes motoru automobiļa uz elektromobili izmanto konkrētas markas automobili, bet tam dod citu nosaukumu. Kā piemēru šim pārbūves variantam var minēt automobiļa *Opel* pārbūve par elektromobili, izveidojot jaunu automobiļa marku - *Stromos*, ar speciālu emblēmu.

Tā kā nelielās sērijās ražoto elektromobiļu konstrukcijas nav tik pilnīgas un komplicētas kā autoražotāju koncernu sērijveida ražošanai paredzēto elektromobiļu konstrukcijas, tās pēc sava izpildījuma vairāk līdzinās individuāli pārbūvētiem elektromobiļiem. Šīs grupas elektromobiļus šajā nodaļā neapskatīsim.

1.6.1. Elektromobiļu izmantošanas iespējas un izplatība Latvijā

Jau no pagājušā gadsimta beigām Latvijā pazīstami tādi autokoncernu ražojumi, kā hibrīdautomobiļi. Hibrīdautomobiļi apvieno vienotā sistēmā divus motorus - iekšdedzes motoru un elektromotoru. Tomēr elektromotors šajos automobiļos parasti paredzēts tikai maksimālā paātrinājuma nodrošināšanai, kā arī kustībai pilsētā ar nelieliem braukšanas ātrumiem. Šī automobiļa koncepcija veidota degvielas patēriņa nelielai samazināšanai, bet izplūdes gāzes no iekšdedzes motora šie automobiļi emitē tik un tā. Nelielās nobraukuma iespējas un ātrumi kustībai tikai ar elektroenerģiju šiem automobiļiem tiek ierobežoti ar salīdzinoši nelielu akumulatoru ietilpību. Kā vairāk izplatīto pionieri šajā jomā var minēt automobili *Toyota Prius*. Šie hibrīdautomobiļi nebija paredzēti uzlādei no elektrotīkla.

Pašlaik ir izstrādāti vairāki hibrīdautomobiļu koncepti, kurus ir iespējams uzlādēt arī no elektrotīkla. Šiem automobiļiem ir lielākas akumulatoru baterijas un to nobraukums ar vienu uzlādi pilsētā var sasniegt 20 km. Šādam, pilsētas braukšanas režīmam, šie hibrīdautomobiļi arī ir paredzēti. Jebkurā gadījumā, hibrīdautomobiļi uzskatāmi par elektromobiļu atdzimšanas pionieriem.

Elektromobiļu atdzimšana pilnā apmērā sākās ar 2005. gadu. Šajā laikā sāk parādīties pirmās idejas par elektromobiļu ražošanu visiem autoražošanas koncerniem. Tomēr pirmais elektromobilis, kuru sāk ražot masveidā, ir *Mitsubishi iM*. Elektromobiļi, kuri ražoti autokoncernos, Latvijā nav izplatīti, un uz 2012. gada sākumu Latvijā nav reģistrēts neviens šāda veida elektromobilis. Kā galvenos iemeslus tam var minēt:

- šie elektromobiļi ērti izmantojami pilsētā, bet sakarā ar ātrās uzlādes infrastruktūras trūkumu to uzlāde Latvijas starppilsētu satiksmē ir ierobežota;
- liela daļa Latvijas publisko uzlādes punktu vairāk ir piemēroti elektrovelosipēdu uzlādei;
- šie elektromobiļi, salīdzinājumā ar analogiem iekšdedzes motoru elektromobiļiem, ir ļoti dārgi;
- nav pieredzes elektromobiļu ekspluatācijai ziemas periodā, pēc literatūras datiem šo elektromobiļu nobraukums, izmantojot apkures sistēmu, var samazinēties 2- 3 reizes;
- dīleri Latvijā elektromobiļus piedāvā ļoti ierobežoti. Vairāki dīleri, kuri var piedāvāt citās valstīs atzītus elektromobiļu iegādes principus, piemēram, elektromobiļa iegādi un akumulatoru nomu, saviem elektromobiļiem to nespēj piedāvāt. Neviena kompānija Latvijā nav gatava nodarboties ar akumulatoru nomu;
- elektromobili pie tā pašreizējiem tehniskajiem parametriem var ļoti ērti izmantot braukšanai uz darbu un kustībai pa pilsētu, tomēr šajā gadījumā ģimenei nepieciešams arī otrs automobilis, kurš paredzēts tālākiem braucieniem;
- dažādi pakalpojumi, piemēram, apdrošināšanas izmaksas, elektromobilim ir augstākas nekā analogisku iekšdedzes motoru spēkratiem.

Plašāka elektromobiļu ieviešana Latvijā varētu būt gadījumā, ja valsts šādu pasākumu subsidētu, vai arī, ja dažādu fondu ietvaros piešķirami līdzekļi tiktu vienkāršāk administrēti un neprasītu projektu realizētājiem papildus finansējumu, kas pašreizējos Latvijas ekonomiskajos apstākļos nav vienkārši izdarāms. Tā kā jaunu elektromobiļu cena ir ļoti augsta, arī tas ir būtisks iemesls to lēnai ieviešanai. Lūzums elektromobiļu pielietojumā varētu būt gadījumā, ja valsts varētu veikt būtiskas subsīdijas elektromobiļu attīstībā, kā arī, ja, attīstoties tehnoloģijām, elektromobiļu cena samazinātos līdz iekšdedzes automobiļa cenai.

Turpmāk ietvertajā informācijā apkopoti dati par pašlaik ES pieejamajiem elektromobiļu modeļiem.

1.6.2. Elektromobilis Volvo C 30

Elektromobilis *Volvo C30* konstruēts uz iekšdedzes automobiļa *Volvo C30* bāzes. Salīdzinot ar standarta *C30*, tam ir jauns interjers. Izmantotas litija jonu akumulatoru baterijas, kuras nodrošina nobraukumu līdz 150 km. Uzlādes laiks no parastā 220 V elektrotīkla ar 16 A rozeti aizņem 8 h. Elektromobilim izmantotas 400 V baterijas. Kopumā *C30* ar elektropiedziņu ir ļoti līdzīgs savam iekšdedzes motora brālim, galvenā atšķirība izmēros ir augstums, kas ir par 20 mm lielāks. Elektromobilis apskatāms 1.111. attēlā.



1.111. att. Elektromobilis Volvo C30

Elektromobiļa *C30* motors parādīts 1.112. attēlā.



1.112. att. Elektromobiļa *C30* motors

Galvenās izmaiņas eksterjerā ir saistītas ar citādu krāsu, oriģināliem riteņu diskkiem, uzlabotu šasiju, izveidotu speciālu atveri radiatora restē uzlādes ierīces pievienošanai. Galvenie elektromobiļa C30 tehniskie dati apkopoti 1.11. tabulā.

1.11. tabula. Elektromobiļa Volvo C30 galvenie parametri

N.p.k.	Raksturlielums	Vērtība
1.	Svars	1660 kg
2.	Svara sadalījums: uz priekšējo asi uz pakaļējo asi	56% 44%
3.	Motora jauda	82 kW
4.	Motora griezes moments	220 Nm
5.	Nobraukums pēc jaunā ES braukšanas cikla	163 km
6.	Praktiskais nobraukums	150 km
7.	Maksimālais ātrums	130 km h ⁻¹
8.	Ieskriešanās laiks: 0 - 100 km h ⁻¹ 0 - 70 km h ⁻¹ 0 - 50 km h ⁻¹	10.9 s 6.0 s 4.0 s
9.	Pilnas uzlādes laiks, pie 10 A strāvas	Aptuveni 10 h

Volvo C30 izmantots motors E400V1 (400 V motors). Tas ir sinhronais motors ar magnētisko rotoru, kurš darbojas no maiņstrāvas. Motora rotors ir iegults lodīšu gultņos un ar ātrumkārbu savienots ar rievsavienojumu. Motoru dzesē ar šķidrumu. Motoram ir uzstādīti divi temperatūras sensori. Motora apgādi ar elektroenerģiju vada līdzstrāvas/ maiņstrāvas konvertors.

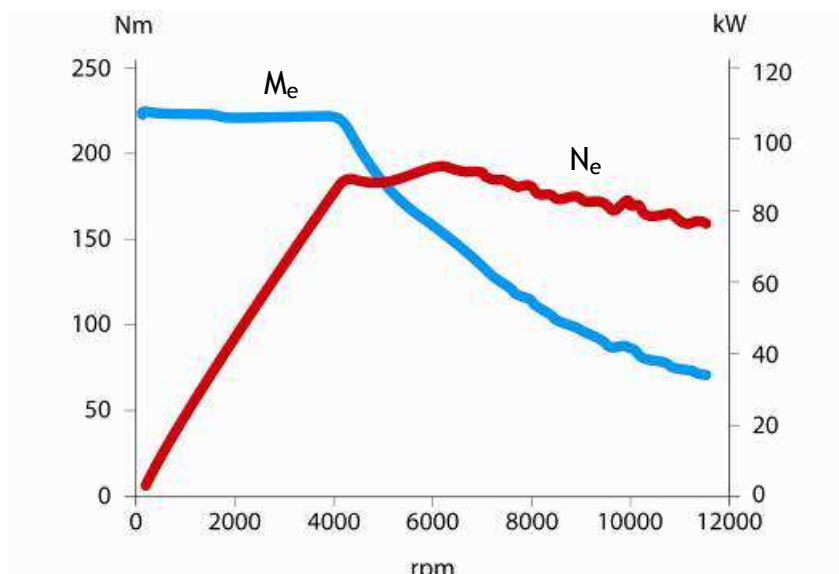
Elektromotora E400V1 specifikācija dota 1.12. tabulā.

1.12. tabula. Elektromobiļa Volvo C30 motora parametri

N.p.k.	Raksturlielums	Vērtība
1.	Svars	44 kg
2.	Gabarītizmēri: augstums platums diametrs	270 mm 245 mm 284 mm
3.	Motora jauda	82 kW pie 360 V
4.	Motora griezes moments	220 Nm
5.	Motora maksimālā rotācijas frekvence	12000 min ⁻¹

Elektromotoram ir piemērotas jaudas un griezes momenta līknes, kas parādītas 1.113. attēlā.

No dotās līknes redzams, ka līdz 4000 apgriezieniem minūtē griezes moments ir nemainīgs (ap 220 Nm), bet jauda palielinās. Virs 4000 min⁻¹ griezes moments sāk samazināties.

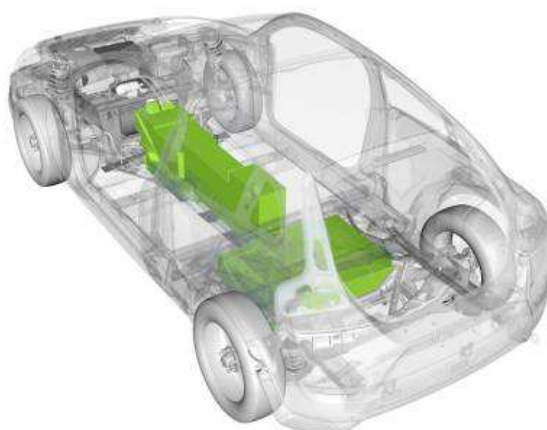


1.113. att. *Volvo C30* jaudas un griezes momenta līknes

Motoram ir trīs negatīvo un pozitīvo polu pāri. Motors aprīkots arī ar apgriezīnu - rotora pozīcijas devēju.

Motors montēts uz speciāla alumīnija rāmja. Motora montāžai izmanto analogiskus 4 un 5 cilindru motoru balstus. Uz motora rāmja stiprinātas arī vairākas citas komponentes, piemēram, jaudas sadales mezgls, līdzstrāvas/maiņstrāvas konvertors, borta lādēšanas iekārta, gaisa kondicionieris ar elektropiedziņu, elektriskais salona sildītājs, augstsprieguma bateriju klimata nodrošināšanas sistēma, vakuumsūknis, dzesēšanas sūkņi motoram, dzesēšanas šķidrums vārsts.

Volvo C30 ir izmantota 400 V bateriju sistēma (skat. 1.114. att.).



1.114. att. *Automobiļa Volvo C30* bateriju izvietojums

Bateriju sistēma sastāv no priekšējās un pakaļējās bateriju daļas. Abas daļas ir apgādātas ar litija jonu akumulatoriem. Priekšējā baterija izvietota centrālajā tunelī, bet pakaļējā - zem kravas telpas - vietā, kur iekšdedzes motora automobilim *Volvo C30* izvietota degvielas tvertne. Katra no šīm baterijām nodrošina aptuveni 400 V spriegumu un tās ir saslēgtas paralēli. Bateriju galvenie parametri apkopoti 1.13. tabulā.

1.13. tabula. Elektromobiļa *Volvo C30* akumulatoru parametri

N. p.k.	Raksturlielums	Vērtība
1.	Svars: priekšējām baterijām pakaļējām baterijām	174 kg 330 kg
2.	Gabarītizmēri: priekšējām baterijām pakaļējām baterijām	1589 mm × 426 mm 797 mm × 1058 mm
3.	Maksimālais spriegums	393.6 V
4.	Enerģijas ietilpība	23.1 kWh

Katra baterija sastāv no 8 moduļiem, kas ietver 24 elementus. Katrā no moduļiem ir izveidots litija enerģijas kontrollers, kas sūta informāciju par moduļa temperatūru un spriegumu uz baterijas centrālo kontrolleru.

Elektromobiļa uzlāde notiek ar kabeļa palīdzību, kuru pieslēdz priekšējās dekoratīvās restes kreisajā pusē (skat. 1.115. att.).



1.115. att. Automobilis *Volvo C30* pieslēgts lādēšanai

Sakarā ar to, ka litija jonu baterijas tehnoloģiski nav pieļaujams izlādēt vairāk kā līdz 20%, strāvas padeve pie šādas izlādes pakāpes tiek pārtraukta. Bbateriju darbības režīma nodrošināšanai, atkarībā no apkārtējās vides temperatūras, baterijas nepieciešams sildīt vai dzesēt. Katra baterija sastāv no 8 moduļiem, kuros ir 12 elementu pāri. Elementu pāra spriegums ir 4.1 V. Kopumā tiek iegūts spriegums: $8 \times 12 \times 4.1 = 393.6$ V. Bateriju modulis apskatāms 1.116. attēlā.



1.116. att. Bateriju modulis automobilim *Volvo C30*

Automobiļa borta sprieguma stabilizācijai izmantota standarta 12 V akumulatoru baterija (skat. 1.117. att.), kura izvietota zem motora pārsega.



1.117. att. Elektromobiļa *Volvo C30* standarta akumulatoru baterija

Šī akumulatoru baterija stabilizē visas sistēmas spriegumu, bet nenodrošina ar enerģiju centrālo elektromotoru, elektriskās piedziņas gaisa kondicionieri, līdzstrāvas/maiņstrāvas konvertoru.

Kad 12 V akumulators ir izlādējies līdz spriegumam 12.0 V, tas tiek uzlādēts caur līdzstrāvas/maiņstrāvas konvertoru no 400 V sistēmas līdz 13.5 V spriegumam. Ja akumulatora spriegums kaut kādu apstākļu dēļ izlādējies zem 9 V, sistēma neļauj darbināt automobili, jo vadības kontakti nav spējīgi saslēgties.

Elektromobilim *Volvo C30* izmanto speciāli izstrādātu pārnesumu kārbu (skat. 1.118. att.).



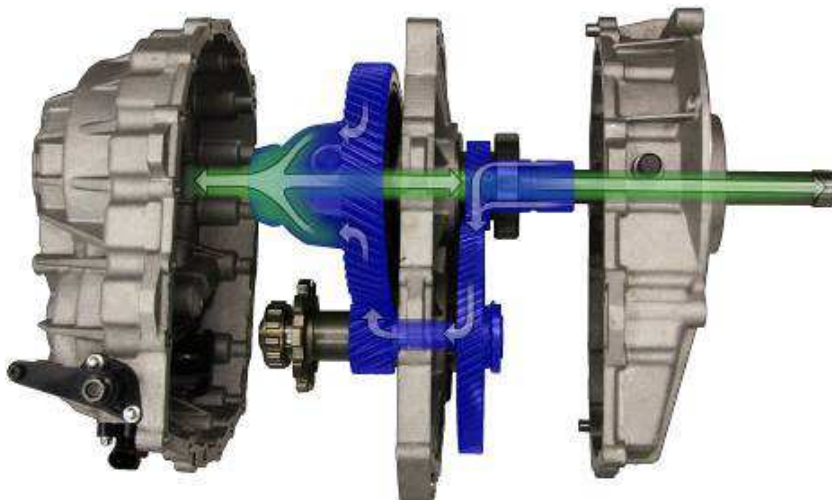
1.118. att. *Volvo C30* pārnesumu kārba

Pārnesumu kārbā ir tikai 1 pārnesums. Tiek izmantota elektroniskā vadība. Ātrumkārbā izvietota automobiļa labajā pusē. Tajā ietilpst piedziņas zobrati, galvenais pārvads un diferenciālis. Starp ātrumkārbu un motoru nav sajūga vai hidrotransmisijas. Ātrumkārbā tiešā veidā savienota ar elektromotoru. Kad tiek ieslēgta atpakaļgaita, elektromotors griežas ar rotācijas frekvenci, kas neļauj pārsniegt 50 km h^{-1} . Galvenie ātrumkārbas tehniskie dati apkopoti 1.14. tabulā.

1.14. tabula. Elektromobiļa Volvo C 30 pārnesumkārbas galvenie dati

N.p.k.	Raksturlielums	Vērtība
1.	Svars	28 kg
2.	Gabarītmēri: platums augstums	290 mm 294 mm
3.	Maksimālā rotācijas frekvence	12000 min^{-1}
4.	Maksimālais pārvadāmais griezes moments	240 Nm
5.	Pārnesumu attiecība	10.2:1
6.	Eļļas ietilpība	1.5 l
7.	Eļļas marka	Mobil ATF SHC

Ātrumkārbas iekšējā uzbūve apskatāma 1.119. attēlā.



1.119. att. Volvo C30 pārnesumu kārbas detaļas

Principiāli ātrumkārbas kopīgais dizains neatšķiras no parastās mehāniskās ātrumkārbas dizaina. Ir pazemināta rotācijas frekvence un griezes momentu pievada pusās. Ātrumkārbā izmantoti lodīšu gultņi. Vienīgi lielajam diferenciālā gultņim ir izmantoti koniskie rullīšu gultņi.

Ja automobilis stāv un tiek ieslēgts stāvēšanas režīms „P”, speciāla svira bloķē ātrumkārbu un automobilis ir nodrošināts pret izkustēšanos no vietas. Gadījumā, ja šīs sistēmas vadība nedarbojas, ātrumkārbai var pieslēgt 12 V spriegumu, lai automobili varētu pārvietot. Ātrumkārbā no diferenciālā puses apskatāma 1.120. attēlā.



1.120. att. Ātrumkārbas iekšējie mezgļi

Atšķirībā no iekšdedzes automobiļa versijas elektromobilī izmanto elektrisko bremžu pastiprinātāju (skat. 1.121. att.), vakuuma rezervuāru un alumīnija bremžu diskus pakalējiem riteņiem.



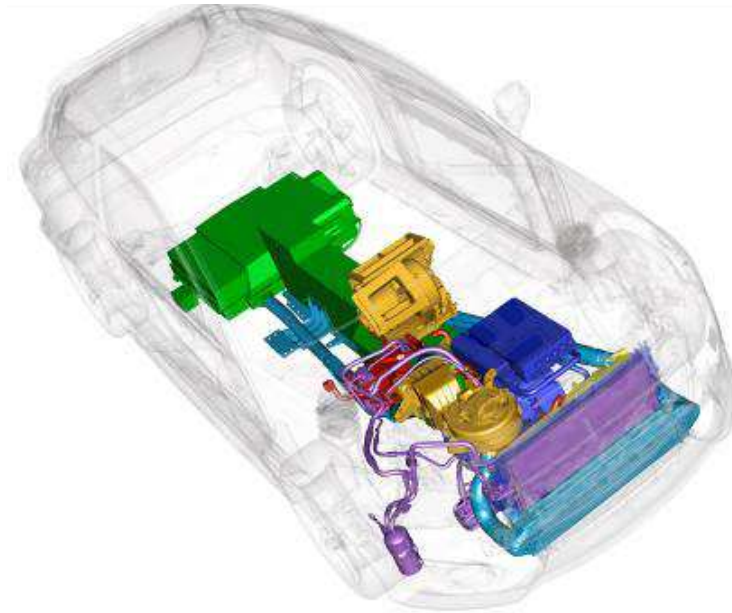
1.121. att. Elektriskais bremžu pastiprinātājs

Stūres iekārta ir elektriskā un tieši tāda pati kā *Volvo C30* ar iekšdedzes motoru.

Automobilim *Volvo C30* ir ļoti sarežģīta kondicionēšanas un apsildes sistēma. Šī sistēma ietver vairākus moduļus:

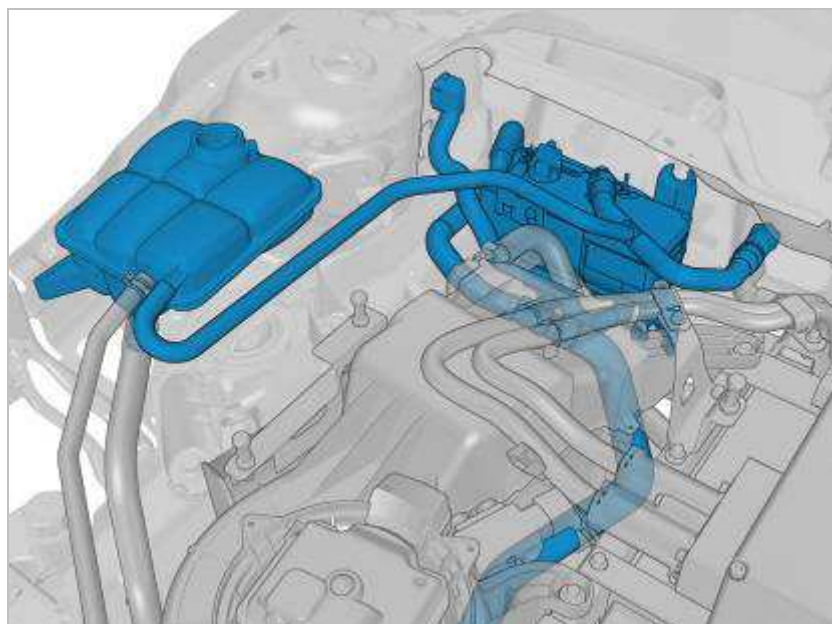
- klimata kontroles sistēma automobiļa salonam;
- klimata kontroles sistēma augstsprieguma baterijām;
- klimata kontroles sistēma motoram.

Klimata sistēma kopumā apskatāma 1.122. attēlā.



1.122. att. Automobiļa *Volvo C30* klimata sistēma

Tā kā automobilim nav iekšdedzes motora, tas tiek komplektēts ar degvielas apsildes sistēmu, kuru darbina ar metanolu un arī ar elektrisko dzesēšanas sistēmu, kuru darbina no augstsprieguma baterijām. Litija jonu baterijas nedarbojas vienādi visos temperatūras režīmos. Šī iemesla dēļ automobilim izveido bateriju sildīšanas un dzesēšanas sistēmu, kuras darbību nodrošina ar gaisu. Ar bioetanolu darbināmā sildītāja izvietojums apskatāms 1.123. attēlā.



1.123. att. Ar bioetanolu darbināma sildītāja izvietojums

Sildītājs ziemas periodā silda gan salonu, gan arī baterijas. Kā degviela tiek izmantots E85. Degvielas tvertnes tilpums ir 12 l. Degvielas līmeņa devējs šajā tvertnē nostrādā brīdī, kad atlikuši 2 l degvielas. Maksimālā sildītāja

jauda ir 5 kW, tas automātiski izslēdzas, kad tiek sasniegti 85 °C. Ja attiecīgajā valstī nav pieejama E85 degviela, var izmantot cita veida degvielu.

Automobilis *Volvo C30* pēc konstrukcijas ir diezgan sarežģīts un ietver vairākas komplikētas sistēmas. Tomēr pēc vairākiem tehnoloģiskajiem risinājumiem tas varētu būt atbilstošs stabilai lietošanai Latvijas klimatiskajos apstākļos.

1.6.3. Tesla elektromobiļi

Kā vieni no elektromobiļu tehnoloģijas klasiskajiem risinājumiem tiek piedāvāti *Tesla* elektromobiļi. Šie elektromobiļi parasti izceļas ar lielu jaudu, sportiskumu un labiem dinamiskuma un nobraukuma rādītājiem. *Tesla* elektromobiļi sākumā bija pazīstami ar divvietīgu sporta automobili *Tesla Roadster* (skat. 1.124. att.). Šim automobilim ir apskaužami dinamiskuma rādītāji un liels nobraukums ar vienu uzlādi.



1.124. att. Elektromobilis *Tesla Roadster*

Elektromobilim *Tesla Roadster* izmantots 375 V induktīvais gaisa dzeses motors ar maināmām frekvencēm. Tiek ražoti divi *Tesla Roadster* modeļi *Tesla Roadster* un *Tesla Roadster Sport*. Šiem elektromobiļiem izmantota pārnesumkārbā ar vienu fiksēto pārnesumu. Elektromobiļa uzlādei izmanto litija jonu baterijas ar 6831 atsevišķu elementu. Uzlāde notiek 3.5 stundas, izmantojot *Tesla* oriģinālo uzlādes iekārtu ar 240 V spriegumu un 70 A stipru strāvu.

Elektromobiļi *Tesla Roadster* aprīkoti ar elektrisko bateriju apsildes iekārtu līdz -20 °C. *Tesla Roadster* aprīkots ar ABS, pasažiera un vadītāja gaisa spilveniem, drošības jostu pirotehniskajiem spriegotājiem u.c. drošības sistēmām. Šo elektromobiļu tehniskie dati apkopoti 1.15. tabulā.

Elektromobiļu *Tesla S* ražošana uzsākās 2012. gadā (skat. 1.125. att.). Šim elektromobilim ir moderna virsbūve, kurā ir paredzētas 5 pasažieru sēdvietas. Bagāžas nodalījuma ietilpība ir 28.7 kubikpēdas, ja pakaļējie sēdekļi ir paceltā stāvoklī un 66 kubikpēdas, ja pakaļējie sēdekļi ir nolaistā stāvoklī. Papildus priekšējā bagāžas novietne ir 8.1 kubikpēdas liela.

1.15. tabula. Elektromobiļa *Tesla Rodster* tehniskie rādītāji

N.p.k.	Raksturlielums	Vērtība	
		Tesla Rodster	Tesla Rodster Sport
1.	Motora griezes moments	273 mārciņas uz pēdu no 0 līdz 5400 min ⁻¹	295 mārciņas uz pēdu no 0 līdz 5100 min ⁻¹
2.	Motora jauda	302 Zs (225 kW) pie 5000 līdz 6000 min ⁻¹	302 Zs (225 kW) pie 5000 līdz 6000 min ⁻¹
3.	Motora maksimālie apgriezieni	14000 min ⁻¹	14000 min ⁻¹
4.	Maksimālais ātrums	125 jūdzes h ⁻¹	125 jūdzes h ⁻¹
5.	Ieskriešanās dinamika no 0 līdz 60 jūdzēm stundā	3.9 s	3.7 s
6.	Transmisija: galvenā pārvada pārnēsūmskaitlis kopīgais pārnēsūmskaitlis		3.12:1 8.28:1
7.	Nobraukums ar vienu uzlādi	245 jūdzes	
8.	Akumulatoru bateriju mūžs	7 gadi vai 100000 jūdzes	
9.	Automobiļa pilnais svārs	2723 mārciņas	



1.125. att. Elektromobilis *Tesla S*

Elektromobiļi *Tesla S* tiek piedāvāti trīs dažādās komplektācijās, kurām ir dažādas cenas. Galvenā atšķirība ir bateriju ietilpībā, kas spēj nodrošināt dažādu nobraukumu ar vienu uzlādi. Automobilim ir pakaļējo riteņu piedziņa. Tiek izmantotas litija jonu baterijas un trīs fāzu elektromotors ar reģeneratīvās bremzēšanas sistēmu. Galvenie *Tesla S* modeļa raksturlielumi apkopoti 1.16. tabulā. Automobiļa virsbūvei izmantots alumīnijs ar pastipriņošiem tērauda elementiem. Automobilī izmantota riepu spiediena kontroles, kruīza kontroles, salona klimata kontroles sistēma, 8 gaisa spilveni. Automobiļa garantijas laiks ir 4 gadi vai nobraukums 50 000 km.

1.16. tabula. Elektromobiļa *Tesla S* galvenie parametri

N.p.k.	Raksturlielums	Vērtība		
		Tesla 40 kWh	Tesla 60 kWh	Tesla 85 kWh
1.	Motora griezes moments	273 mārciņas uz pēdu no 0 līdz 5400 min ⁻¹	273 mārciņas uz pēdu no 0 līdz 5400 min ⁻¹	295 mārciņas uz pēdu no 0 līdz 5100 min ⁻¹
2.	Motora jauda	302 Zs (225 kW) pie 5000 - 6000 min ⁻¹	302 Zs (225 kW) pie 5000 - 6000 min ⁻¹	302 Zs (225 kW) pie 5000 - 6000 min ⁻¹
3.	Motora kloķvārpstas maksimālā rotācijas frekvence	14000 min ⁻¹	14000 min ⁻¹	14000 min ⁻¹
4.	Maksimālais ātrums	110 jūdzes h ⁻¹	120 jūdzes h ⁻¹	125 jūdzes h ⁻¹
5.	Ieskriešanās no 0 līdz 60 jūdzēm stundā	6.5 s	5.9 s	5.6 s
6.	Transmisijas pārnesumskaitlis	9.73:1		
7.	Pagrieziena rādiuss	37 pēdas		
8.	Nobraukums ar vienu uzlādi vienmērīgā kustības ātrumā 55 jūdzes stundā	160 jūdzes	230 jūdzes	300 jūdzes
9.	Akumulatoru bateriju mūžs, garantijas laiks	8 gadi vai 100000 jūdzes	8 gadi vai 125000 jūdzes	8 gadi vai bez nobraukuma ierobežojuma
10.	Automobiļa cena	57.400 USD	67.400 USD	77.400 USD

Ekspluatācijas laikā, ja ir vēlšanās, iespējams *Tesla S* 40 kWh modelim papildināt baterijas, nodrošinot lielāku ietilpību un nobraukumu. Standartversijā izmanto 10 kW lādētāju vai arī dubultlādētāju - 2 × 10 kWh. Lai nodrošinātu bateriju ilgmūžību, *Tesla* rekomendē katru dienu stāvēšanas laikā elektromobili pieslēgt pie elektrotīkla.

1.6.4. Elektromobilis *Tazzari*

Itāļu ražotāji piedāvā divvietīgu elektromobili *Tazzari* (skat. 1.126. att.). Šajā elektromobilī izmantotas litija jonu akumulatoru baterijas.



1.126. att. Elektromobilis *Tazzari*

Elektromobiļa *Tazzari* galvenie tehniskie rādītāji apkopoti 1.17. tabulā.

1.17. tabula. *Tazzari* elektromobiļa galvenie parametri

N.p.k.	Raksturlielums	Vērtība
1.	Maksimālais nobraukums ar vienu uzlādi	140 km
2.	Maksimālais ātrums	100 km h ⁻¹
3.	Motors	2 fāzu asinhronais, pakalējo riteņu piedziņa
4.	Maksimālais griezes moments	150 Nm
5.	Svars ar baterijām	542 kg
6.	Pilnas uzlādes laiks: parastā uzlāde 100%; vidēji ātrā uzlāde līdz 100%; superātrā uzlāde līdz 80%	9 h 5 h 50 min

Elektromobilī *Tazzari* izmanto reģeneratīvo bremžu sistēmu.

1.6.5. Elektromobilis Buddy

Norvēģijas automobiļu ražošanas kompānija izstrādājusi elektromobili *Buddy* (skat. 1.134. att.). Tas ir trīsvietīgs vienkāršas konstrukcijas elektromobilis. Pasāžieri tiek izvietoti vienā rindā. Elektromobilim izmanto 13 kW *SepEx* 72 V līdzstrāvas elektromotoru. Piedziņa tiek nodrošināta uz pakalējiem riteņiem. Elektromobiļa maksimālais braukšanas ātrums ir 80 - 90 km h⁻¹ un standartversijā tiek izmantotas 8.4 kWh svina skābes akumulatoru baterijas. Var pasūtīt arī elektromobili ar 10.5 kWh svina skābes akumulatoru baterijām un arī ar 10 - 15 kWh litija jonu akumulatoru baterijām. Svina skābes akumulatori tiek uzlādēti 6 - 8 stundu laikā. Litija jonu akumulatoru baterijas nodrošina 100 - 150 km nobraukumu. Automobilim ir iespējams gan kreisās, gan labās puses stūres izvietojums. Automobilim ar niķeļa-metāla hidrīda baterijām nodrošināta 10 gadu garantija vai 100 000 km nobraukums. Elektromobiļa reversēšanu nodrošina elektroniski.



1.127. att. Elektromobilis *Buddy*

Buddy virsbūve izgatavota no galvanizēta tērauda un plastmasas paneliem. *Buddy* elektromobilis izceļas ar labu manevrētspēju pilsētā. Šis elektromobilis ES ir sertificēts kā kvadracikls. Tā vadīšanai ir derīgas parastās automobiļa vadīšanas tiesības.

Galvenie elektromobiļa *Buddy* tehniskie parametri apkopoti 1.18. tabulā.

1.18. tabula. *Buddy* elektromobiļa galvenie parametri

N.p.k.	Raksturlielums	Vērtība
1.	Ģeometriskie izmēri: garums platums augstums riteņu bāze	2440 mm 1490 mm 1510 mm 1550 mm
2.	Pagrieziena rādiuss	4850 mm
3.	Svars bez/ar baterijām	400 / 650 kg
4.	Maksimālā noslodze kopā ar pasažieriem	200 kg
5.	Bagāžas telpas tilpums	150 l
6.	Motora tips	SepEx72 V DC (līdzstrāvas)
7.	Motora jauda	18 ZS/ 13 kW
8.	Transmisijas konstants pānesumskaitlis	1:7
9.	Maksimālais ātrums	80 km h ⁻¹
10.	Ieskriešanās no 0- 50 km h ⁻¹	7 s
11.	Riepas	135R13
12.	Akumulatori	Niķeļa metāla hidrīda, 12 bloki, katrā 10 1.2 V elementi, kuri saslēgti paralēli, 72 V, 200 Ah
13.	Uzlādes laiks: 0 - 100% 30 - 95%	8 - 10 h 5 h
14.	Nobraukums ar vienu uzlādi	60 - 120 km, atkarībā no laika apstākļiem

Elektromobilim izmantota reģeneratīvā bremžu sistēma. Elektromobilī ir fosilās degvielas (dīzeļdegviela) 2200 W apsildes sistēma. Ar automobili drīkst vilkt 200 kg piekabi. Elektromobilis uzlādējams no parastā vienfāzu 16 A elektrotīkla. Sakarā ar to, ka elektromobilis ražots ziemeļu valstī, tas būs pilnīgi piemērots ekspluatācijai Latvijā jebkuros laika apstākļos. Elektromobilis ir viegli novietot stāvvietā, jo tam ir ļoti maza garenbāze. Automobilis ir ideāli piemērots pilsētas satiksmei.

Pašlaik Norvēģijā tiek ekspluatēti vairāk kā 1100 šādi elektromobiļi. Kompānija *Buddy Electric AS* elektromobiļus ražo jau 20 gadus.

1.6.6. Elektromobilis Nissan LEAF

Automobiļi ar tirdzniecības marku *Nissan* ir pazīstami no 1986. gada marta. Autoražošanas uzņēmums *Nissan Motor Company, Ltd.* darbojas no 1934. gada, un līdz 1986. gadam šī kompānija izplatīja automobiļus ar tirgus nosaukumu *Datsun*. 1959. gadā kompānija iekļāvās globalizācijas procesos un tagad ir uzskatāma par vispasaules uzņēmumu, kuras galvenā mītne atrodas Jokohamā, Japānā. 1999. gadā *Nissan* iekļāvās apvienībā ar Francijas autoražotāju *Renault S.A.S.* *Nissan Motor Company* ir viens no pirmajiem autoražotājiem, kurš uzsācis elektromobiļu ražošanu plašā mērogā. Šajā sākuma fāzē ir pieejams viens automobiļu modelis - *Nissan LEAF* (Datsun, 2011).

Nissan LEAF ir vieglais pasažieru elektromobilis ar hetčbeka veida virsbūvi, piecām durvīm un piecām sēdvietām. Elektromobiļa ārējais dizains parādīts 1.128. attēlā (Nissan LEAF Press Information, 2010).



1.128. att. *Nissan LEAF* (skats no augšas)

Veidojot elektromobiļa dizainu, īpaša vērība ir pievērsta aerodinamiskajām īpašībām un gaisa plūsmas radītā trokšņa samazināšanai. Elektromobiļa motors darbojas klusi, tādēļ jebkurš troksnis ir labāk dzirdams. Tā, piemēram, elektromobilim nav priekšējās radiatora restes, priekšējo lukturu forma novada gaisa plūsmu no atpakaļskata spoguļiem un radio antenai ir īpaša forma. Lādēšanas pieslēguma savienojumi izvietoti elektromobiļa priekšējā daļā. Salona dizainā dominē gaišie toņi. Izvēlētie materiāli un zamša mākslīgās āda ielaidumi, tiem pieskaroties, rada īpašas sajūtas. Vadības slēdži ir koncentrēti paneļa centrālajā daļā. Salona iekārtojums parādīts 1.129. attēlā (Nissan LEAF Press Information, 2010).



1.129. att. Salona iekārtojums

Vadītāja informācijas panelis ir sadalīts divās daļās. Augšējā daļā izvietots spidometrs, pulkstenis, termometrs un ECO indikators, kas rāda kumulatīvus ekonomiskas braukšanas rezultātus. Zemākajā ekrānā attēlo patērēto un reģenerēto jaudu, atlikušo baterijas kapacitāti un attālumu, kā arī dažādus brīdinājumus. Automobilī ir izvietoti 48 bateriju moduļi, katrs no tiem satur četrus elementus. Bateriju moduļu izvietojums nodalījumā parādīts 1.130. attēlā (Nissan LEAF Press Information, 2010).



1.130. att. Bateriju moduļu izvietojums

Bateriju nodalījums ir novietots virsbūves apakšējā daļā. Šāds bateriju nodalījuma novietojums nodrošina zemu smaguma centru un nesamazina salona un bagāžas nodalījuma pielietojamo tilpumu. Uzlādes pieslēguma vietas izvietojums ir parādīts 1.131. attēlā (Nissan LEAF Press Information, 2010).

Pieslēguma vietas noslēdzošais vāks ir aprīkots ar atslēgu un blīvējumu, lai samazinātu ūdens piekļuves iespēju. Nodalījumā ir izvietotas divas kontaktligzdas, apgaismojuma ierīce un ūdens drenāža.



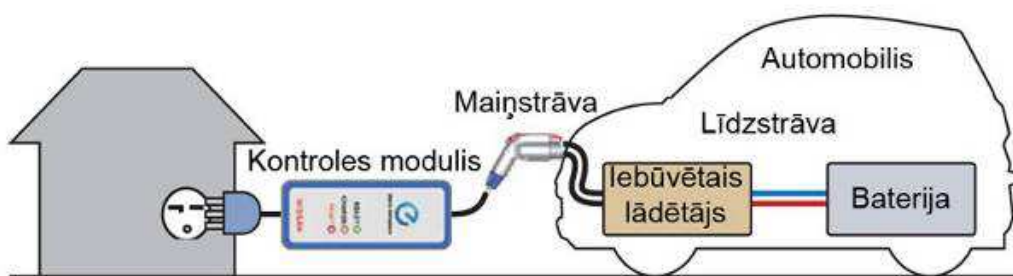
1.131. att. Lādēšanas pieslēguma vieta

Nissan LEAF baterijas uzlādei ir paredzētas divas atšķirīgas uzlādes metodes - normālā un ātrā uzlāde. Normālo uzlādi veic, pieslēdzot automobili pie vienas fāzes maiņstrāvas avota, kura spriegums ir 230 V un rekomendētā maksimālā strāva ir 16 A.

Ir iespējami trīs uzlādes uzsākšanas režīmi:

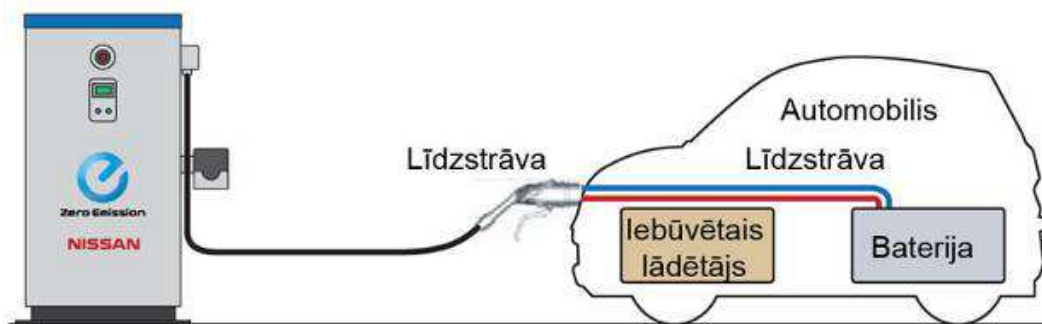
- tūlītēja uzlādes;
- uzsākšana un apturēšana noteiktā laikā;
- uzsākšana pēc attālinātas komandas no mobilās ierīces vai datora.

Izvēloties noteiktā laikā uzsāktu uzlādes režīmu, ir iespējams nomainīt uzlādes līmeni - 80% vai 100%. Ieteicamais līmenis ir 80%, jo tas ir saudzīgāks pret baterijas darba mūža ilgumu. Normālās uzlādes shēma ir parādīta 1.132. attēlā (Nissan LEAF Press Information, 2010).



1.132. att. Normālā lādēšana

Normālo uzlādi ir paredzēts pielietot elektromobiļa lietotāja galamērķos, kad ir pietiekami daudz laika. Gadījumos, kad laiks ir ierobežots, var izmantot ātro uzlādi. To veic ar īpašu iekārtu, lādējot bateriju ar līdzstrāvu, kuras spriegums ir 480 V un strāvas stiprums līdz 125 A. Uzlādes jauda ir 50 kW. Uzlādes shēma parādīta 1.133. attēlā (Nissan LEAF Press Information, 2010).



1.133. att. Ātrā uzlāde

Ātrās uzlādes iekārta 30 minūtēs uzlādē bateriju no 17% līdz 80% jaudas rezervei. Izmantojot ātrās uzlādes režīmu, nav paredzēta baterijas uzlāde līdz 100%.

Elektromobilis *Nissan LEAF* ir aprīkots ar trīsfāzu pastāvīgo magnētu sinhrono elektrisko motoru. Elektromobilim samazinot ātrumu, tas var darboties kā ģenerators. Bremzējot elektromobili, motors ģenerators režīmā tiek vadīts kā reģeneratīvā bremžu sistēma. Motora novietojums elektromobilī parādīts 1.134. attēlā. Motora parametri nodrošina *Nissan LEAF* dinamiskās īpašības zema un vidēja ātruma diapazonā līdzīgas, kā automobilim, kas aprīkots ar 3.0 litru tilpuma Otto motoru.

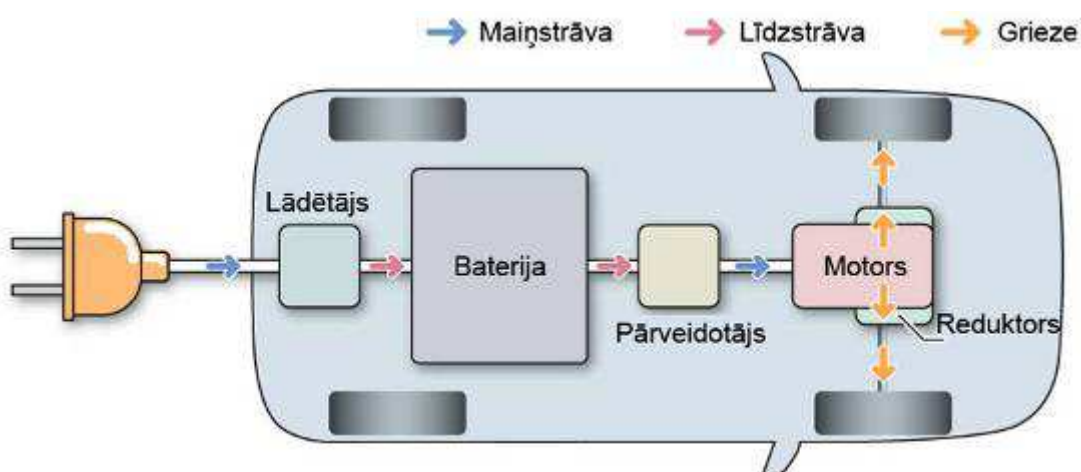


1.134. att. Elektriskais motors

Pārāk straujš elektromotora radītā griezes momenta pieaugums rada vērpes momentu spēka pārvadā no motora līdz riteņiem, un tas var novest pie jūtamas virsbūves vibrācijas elektromobiļa paātrināšanas laikā.

Ar vienkāršu jaudas kontroli var izlīdzināt strauju griezes momenta pieaugumu, tomēr nav iespējams nodalīt motora jaudīgo griezes momentu un ātru elektromobiļa reakciju uz vadītāja komandu. Lai novērstu nevēlamās vibrācijas, *Nissan* izmanto 3 fāzu strāvas kontroli strāvas pārveidotāja izejā. Lai novērstu spēli reduktorā, ceļa nelīdzenumu un citu faktoru ietekmi, kas bloķē kontroles efektu, kā izslēdzošā struktūra tiek izmantota informācija no pagrieziena leņķa devēja, kas izvietots motorā. Šāds kontroles mehānisms uzlabo elektromobiļa reakciju uz paātrinājuma komandu un palīdz sasniegt jaudīgu, vienmērīgu paātrinājumu bez jūtamām vibrācijām.

Nissan LEAF elektromotora darbināšanai ir nepieciešama maiņstrāva. To nodrošina strāvas pārveidotājs. Vienkāršota elektromobiļa blokshēma ir parādīta 1.135. attēlā (*Nissan LEAF Press Information*, 2010).



1.135. att. Vienkāršota elektromobiļa uzbūves shēma

Strāvas pārveidotājs darbojas arī kā strāvas stipruma regulētājs, tādējādi kontrolējot motora jaudu. To ražo *Nissan Zama* ražotnē Japānā. Konstrukcija

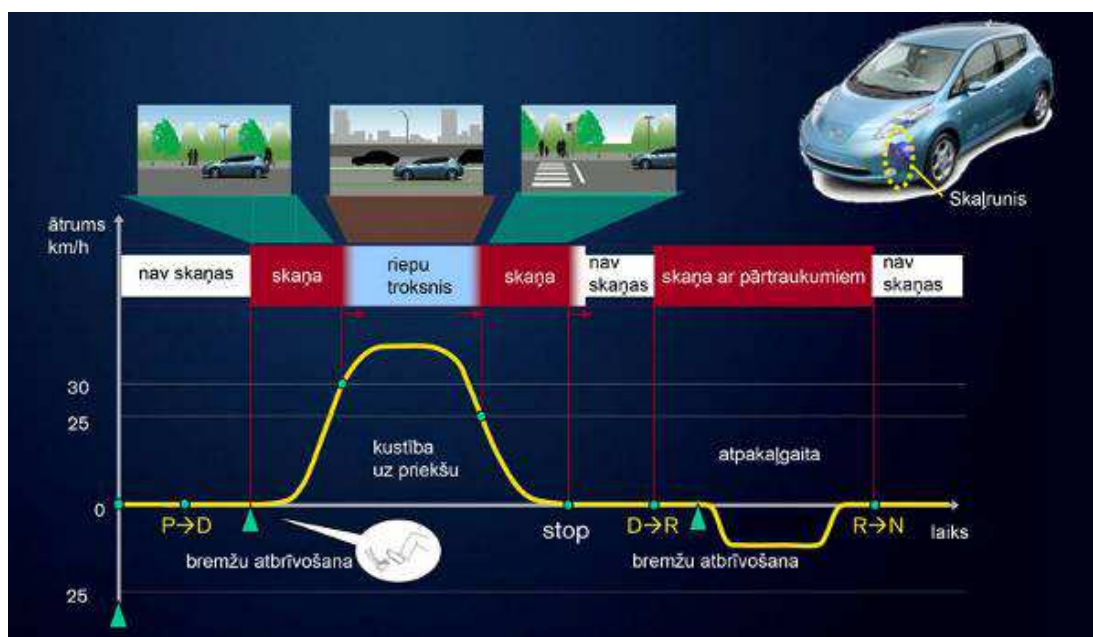
ir izstrādāta *Nissan* koncernā, tās īpatnība ir jaudas moduļa pusvadītāju montāža, neizmantojot iespiestās plātes. Strāvas pārveidotājs novietots elektromobiļa priekšējā daļā, uz īpaša rāmja. Novietojums parādīts 1.136. attēlā (Nissan LEAF Press Information, 2010).



1.136. att. Strāvas pārveidotāja novietojums

Nissan LEAF pasažieru salona klimata uzturēšanai izmanto līdzīgus komponentus kā tradicionālā automobilī. Gaisa kondicioniera kompresors ir aprīkots ar atsevišķu elektrisko motoru. Apsildes sistēmā tiek sildīts šķidrums, izmantojot PTC (pozitīvā temperatūras koeficienta) sildelementus. *Nissan LEAF* konstrukcijā īpaši padomāts par gaisa plūsmas radītā trokšņa samazinājumu. Piemēram, elektromobiļa grīda izveidota gludā formā ar gareniskām ribām. Lukturu novietojums un veidols novirza gaisa plūsmu no atpakaļskata spoguļiem.

Klusa elektromobiļa darbība var radīt draudus gājējiem. Tādēļ *Nissan LEAF* ir izveidota skaņas brīdinājumu sistēma, kas brīdina gājējus par elektromobiļa tuvošanos. Braucot ar ātrumu zem 30 km h^{-1} , sistēma dod skaņu no skaļruņa, kas atrodas elektromobiļa priekšdaļā. Braucot ar lielāku ātrumu, elektromobiļa kustība ir dzirdama bez mākslīga skaņas avota. *Nissan LEAF* skaņas sistēmas darbība ir parādīta 1.137. attēlā.



1.137. att. Skaņas sistēmas darbība

Nissan speciālisti ir konstatējuši, ka pilsētas vidē ir augsts skaņas fona piesārņojums apmēram 1 kHz frekvencē. Tādēļ *Nissan LEAF* gājēju brīdināšanas skaņa darbojas galvenokārt 0.6 kHz un 2.5 kHz frekvencēs. Skaņas jaudas salīdzinājums ar automobili ar iekšdedzes motoru ir parādīts 1.138. attēlā (Nissan LEAF Press Information, 2010).



1.138. att. Skaņas jaudas salīdzinājums

Nissan LEAF ir aprīkots ar īpaši izstrādātu informācijas un komunikācijas sistēmu *CARWINGS*, kas nodrošina braukšanas atbalsta funkcijas, sniedzot vadītājam dažādu nepieciešamo informāciju navigācijas ekrānā. Papildus tam, *Nissan LEAF* lietotājs var attālināti piekļūt informācijai un kontrolēt atsevišķus procesus, izmantojot īpašu interneta vietni vai mobilās ierīces aplikāciju. *Nissan CARWINGS* galvenie komponenti parādīti 1.139. attēlā.



1.139. att. *Nissan CARWINGS* komponenti

Elektromobilī pieejamās *CARWINGS* funkcijas ir sekojošas:

- iespējamais sasniedzamības apgabals;
- adrešu un tuvāko uzlādes staciju norādīšana, kad baterijas kapacitāte ir samazinājusies;

- tuvāko uzlādes staciju statuss;
- uzlādes laika izvēle;
- klimata iekārtas aktivizēšana noteiktā laikā, kamēr auto ir pieslēgts pie uzlādes stacijas;
- palīdzības uz ceļa izsaukšana.

Attālinātās pieejas *CARWINGS* funkcijas ir sekojošas:

- uzlādes vadības komanda;
- klimata iekārtas vadība;
- baterijas statusa kontrole;
- ECO parametru salīdzinājums ar citiem LEAF lietotājiem;
- maršruta plānošana, ņemot vērā uzlādes iespējas;
- atskaite par patērēto elektrību noteiktā laika periodā.

Nissan LEAF lietotājam ir iespēja saņemt uz elektroniskā pasta adresi paziņojumus un atgādinājumus par dažādiem ar automobili saistītiem procesiem un to statusiem. Piemēram, atgādinājums, ka ir aizmirsies pievienot elektromobili pie uzlādes stacijas, vai, ka baterija ir uzlādēta.

Elektromobiļa *Nissan LEAF* galvenie parametri apkopoti 1.19. tabulā, bet bateriju parametri - 1.20. tabulā (*Nissan LEAF Press Information*, 2010).

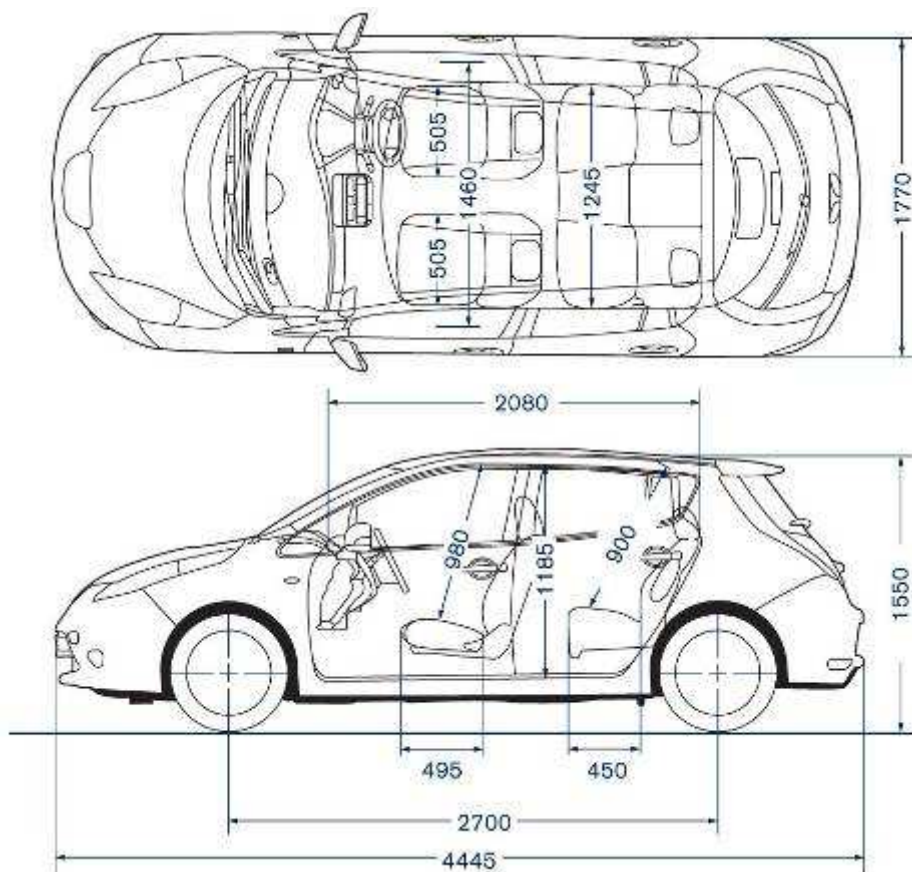
1.19. tabula. *Nissan LEAF* galvenie parametri

Parametrs	Vērtība
Nobraukums ar vienu uzlādi, NEDC cikls, km	160
Maksimālais ātrums, km·h ⁻¹	150
Priekšējā šķērsbāze, mm	1540
Pakaļējā šķērsbāze, mm	1535
Klīrens, mm	160
Minimālais apgrīšanās rādiuss, m	5.2
Pašmasa, kg	1520
Pilna masa, kg	1795
Pasažieru skaits, cilvēki	5
Piedziņa	priekšējā
Priekšējā piekare	Neatkarīgā, statnes veida
Pakaļējā piekare	Vērpjatsperes veida

1.20. tabula. Bateriju bloka galvenie parametri

Parametrs	Vērtība
Moduļu skaits	48
Elementu skaits modulī	4
Maksimālā jauda, kW	90
Kopējā kapacitāte, kWh	24
Kopējais spriegums, V	360
Lēnās uzlādes parametri	7 h pie 230 V / 16 A (pie temp. 25 °C)
Ātrās uzlādes parametri	30 min, līdzstrāva, 480 V / 125 A (pie 25 °C)

Nissan LEAF galvenie izmēri ir parādīti 1.140. attēlā.



1.140. att. *Nissan LEAF* galvenie izmēri

Iebūvētā lādētāja jauda ir 3.3 kW. Baterijas atlikušajai jaudas rezervei samazinoties līdz 4 kWh (apm. 17%), tiek aktivizēts brīdinošs paziņojums, un motora jauda tiek ierobežota. Uzlādes laiks jaudas rezervei no 17% līdz 100%, ja bateriju sākotnējā temperatūra ir 25 °C, parādīts 1.21. tabulā.

1.21. tabula. Uzlādes laiks

Spriegums, V	Strāva, A	Uzlādes laiks, h No 4 kWh līdz 24 kWh
230	10	12
	13	9
	16	7

Motora galvenie parametri ir apkopoti 1.22. tabulā.

1.22. tabula. Motora galvenie parametri

Parametrs	Vērtība
Tips	EM61
Maksimālā jauda, kW	80 kW pie 2730 - 9800 min ⁻¹
Maksimālais griezes moments, Nm	280 Nm pie 0 - 2730 min ⁻¹
Maksimālā rotācijas frekvence, min ⁻¹	10390

1.6.7. Elektromobilis Mitchubishi i-MiEV

Mitsubishi i-MiEV ir vieglais pasažieru automobilis ar hetčbeka veida virsbūvi, piecām durvīm un četrām sēdvietām. *Mitsubishi i-MiEV* dizains parādīts 1.141. attēlā. Elektromobilis ir būvēts uz automobiļa *Mitsubishi i* bāzes. *Mitsubishi Motors Corporation* šī modeļa konceptu prezentēja 2003. gadā Frankfurtes autoizstādē. Automobiļa ražošana un tirdzniecība tika uzsākta 2005. gadā, tas tiek tirgots pārsvarā Japānā. Tas ir pilsētas automobilis ar aizmugurējā daļā novietotu 659 cm³ iekšdedzes motoru (i-MiEV, 2011).



1.141. att. *Mitsubishi i-MiEV*

Mitsubishi i-MiEV ārējā dizaina autors ir franču izcelsmes automobiļu dizainers Olivjē Boulē (*Olivier Boulay*) (*Mitsubishi i-MiEV*, 2011).

Elektromobilis tiek izplatīts arī ar Francijas autoražotāja *PSA Peugeot Citroen* markām kā *Peugeot iOn* un *Citroen C-Zero*. Pēc koncerna *PSA Peugeot Citroen* pasūtījuma izgatavotā modeļa *iOn* dizains ir parādīts 1.142. attēlā (*Peugeot iOn Catalogue, S.a.*).



1.142. att. *Peugeot iOn*

Mitsubishi i ar iekšdedzes motoru aizmugurējās daļas uzbūve parādīta 1.143. attēlā.



1.143. att. *Mitsubishi i* aizmugurējās daļas uzbūve

Līdzīgi novietots motors un transmisija ir arī elektromobilī *Mitsubishi i-MiEV*, kas parādīts 1.144. attēlā.



1.144. att. *Mitsubishi i-MiEV* (skats no aizmugures)

Elektromobiļa salona iekārtojums ir vienkāršs un askētisks. Tas ir līdzīgs gan *Mitsubishi*, gan PSA izpildījuma variantiem. *Mitsubishi i-MiEV* salona iekārtojums ir parādīts 1.145. attēlā (*i-MiEV*, 2011).



1.145. att. *Mitsubishi i-MiEV* salona iekārtojums

Vadītāja informācijas panelis informē vadītāju par svarīgākajiem parametriem, piemēram, baterijas kapacitāti un atlikušo nobraukumu. Informācijas panelis tuvplānā parādīts 1.146. attēlā (Peugeot iOn Catalogue, S.a.).



1.146. att. Informācijas panelis

Baterijas elementi ir ievietoti metāla korpusā. Baterija parādīta 1.147. attēlā.



1.147. att. *Mitsubishi i-MiEV* baterija

Automobilī ir izvietoti 22 bateriju moduļi, kas katrs satur četrus elementus. Bateriju moduļu izvietojums parādīts 1.148. attēlā.



1.148. att. *Mitsubishi i-MiEV* bateriju bloks

Bateriju nodalījums ir novietots virsbūves apakšējā daļā. Šāds bateriju nodalījuma novietojums nodrošina zemu smaguma centru un nesamazina salona un bagāžas nodalījuma pielietojamo tilpumu. Bateriju nodalījuma novietojums parādīts 1.149. attēlā (Peugeot iOn Catalogue, S.a.).



1.149. att. **Komponenšu novietojums:** 1 - elektromotors; 2 - bateriju nodalījums; 3 - inverters; 4 - lādētājs

Mitsubishi i-MiEV baterijas uzlādēšanai ir paredzētas divas atšķirīgas lādēšanas metodes - normālā un ātrā uzlāde. Uzlādes pieslēguma vietas ir izvietotas elektromobiļa sānos. Normālās uzlādes pieslēguma vieta ir parādīta 1.150. attēlā (*i-MiEV*, 2011).



1.150. att. Normālās uzlādes pieslēguma vieta

Normālo uzlādi veic, pieslēdzot automobili pie vienas fāzes maiņstrāvas avota, kura spriegums ir 230 V un rekomendētā maksimālā strāva ir 40 A. Normālo uzlādi ir paredzēts pielietot automobiļa lietotāja galamērķos, kad ir pietiekami daudz laika. Gadījumos, kad laiks ir ierobežots, var izmantot ātro uzlādi.

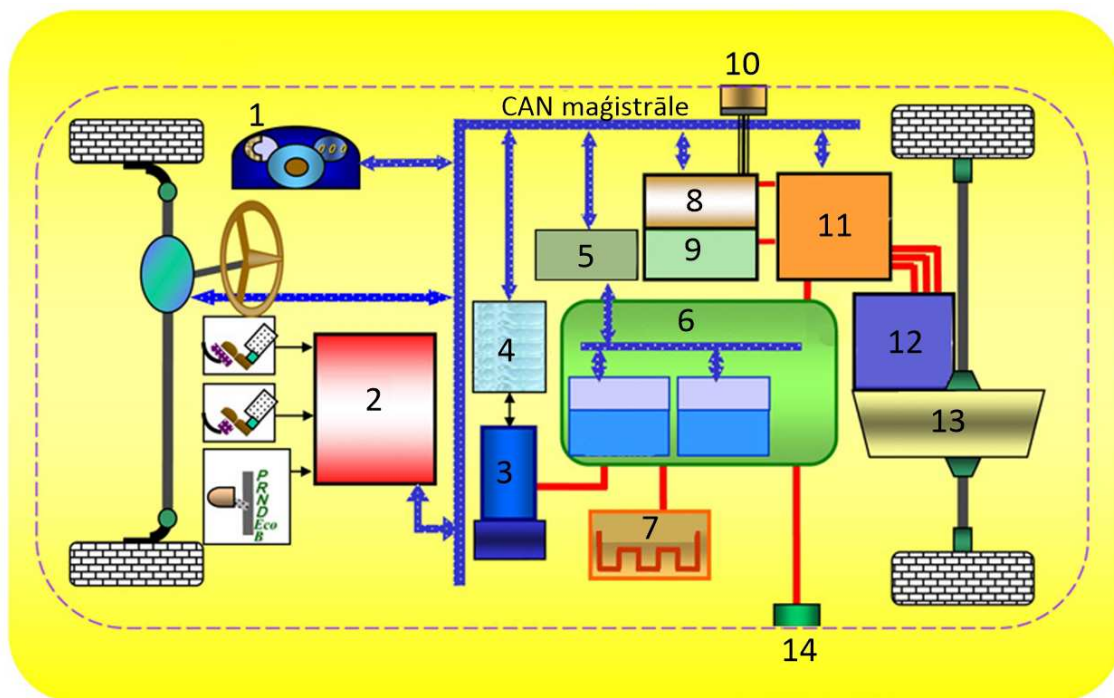
Ātro uzlādi veic ar īpašu iekārtu, lādējot bateriju ar līdžstrāvu, kuras spriegums ir 330 V un strāvas stiprums līdz 150 A. Lādēšanas jauda ir 50 kW. Ātrās uzlādes iekārta 30 minūtēs uzlādē bateriju no minimālās rezerves līdz 80% procentu jaudas rezervei. Nav paredzēta baterijas uzlāde līdz 100%, izmantojot ātrās lādēšanas režīmu.

Elektromobilis *Mitsubishi i-MiEV* ir aprīkots ar trīsfāzu pastāvīgo magnētu sinhrono elektrisko motoru. Automobilim samazinot ātrumu, tas var darboties kā ģenerators. Bremzējot automobili, motors ģeneratora režīmā tiek vadīts kā reģeneratīvā bremžu sistēma. Motors parādīts 1.151. attēlā.



1.151. att. Elektriskais motors

Motora un citu elementu savienojumu shēma ir parādīta 1.152. attēlā (*i-MiEV*, 2011).



1.152. att. **Moduļu un savienojumu shēma:** 1 - informācijas panelis; 2 - automobiļa vadības modulis; 3 - gaisa kondicioniera kompresors; 4 - gaisa kondicioniera vadības modulis; 5 - akumulatoru vadības modulis; 6 - galvenie akumulatori; 7 - sildītājs; 8 - lādētājs; 9 - līdzstrāvas sprieguma pārveidotājs; 10 - normālās uzlādes pieslēgvieta; 11 - elektromotora vadības modulis; 12 - elektromotors; 13 - transmisija; 14 - ātrās uzlādes pieslēgvieta

Mitsubishi i-MiEV pielietots trīs fāzu, pastāvīgo magnētu sinhronais elektromotors, tā darbināšanai ir nepieciešama maiņstrāva. To nodrošina strāvas pārveidotājs. Bateriju uzlādi no 220 V maiņstrāvas tīkla veic izmantojot iebūvētu uzlādes iekārtu. Strāvas pārveidotājs un uzlādes iekārta ir izvietotas elektromobiļa aizmugurējā daļā, zem bagāžas nodaļējuma grīdas, kā parādīts 1.153. attēlā (*i-MiEV*, 2011).



1.153. att. Strāvas pārveidotājs (labajā pusē) un lādēšanas iekārta

Elektromobiļa galvenie parametri apkopoti 1.23. tabulā (i-MiEV, 2011).

1.23. tabula. *Mitsubishi i-MiEV* galvenie parametri

Parametrs	Vērtība
Garums, mm	3474
Platums, mm	1475
Augstums, mm	1608
Riteņu garenbāze, mm	2550
Priekšējā šķērsbāze, mm	1310
Pakaļējā šķērsbāze, mm	1270
Klīrenss, mm	150
Minimālais apgriešanās rādiuss, m	4.5
Pašmasa, kg	1100
Pilna masa, kg	1608
Pasažieru skaits, cilvēki	4
Piedziņa	Pakaļējo riteņu
Priekšējā piekare	Neatkarīgā, statnes veida
Pakaļējā piekare	3 stieņu, <i>de Dion</i> veida
Priekšējās bremzes	Ventilējamie bremžu diski
Pakaļējās bremzes	Trumuļi
Riepas (priekšējās un pakaļējās)	145/65/R15 un 175/55/R15

Mitsubishi i-Miev, *Citroen C-Zero* un *Peugeot iOn* galvenie izmēri ir līdzīgi un parādīti 1.154. attēlā (i-MiEV, 2011).



1.154. att. Galvenie ārējie izmēri

Mitsubishi i-MiEV dinamiskās īpašības raksturojošie parametri apkopoti 1.24. tabulā. Tie noteikti elektromobilim, slogotam ar 50% no pieļaujamās krāvnēsības. Savukārt bateriju galvenie parametri doti 1.25. tabulā (i-MiEV, 2011).

1.24. tabula. *Mitsubishi i-MiEV* dinamiskās īpašības raksturojošie parametri

Parametrs	Vērtība
Maksimālais ātrums, km h ⁻¹	130.0
Ieskriešanās 0 - 100 km h ⁻¹ , s	15.9
Ieskriešanās 30 - 60 km h ⁻¹ , s	3.5
Ieskriešanās 80 - 120 km h ⁻¹ , s	13
Ieskriešanās 0 - 400 m, s	20.7
Ieskriešanās 0 - 1000 m, s	37.3
Nobraucamais attālums NEDC ciklā, km	150.0
Enerģijas patēriņš NEDC ciklā, Wh·km ⁻¹	135.0

1.25. tabula. *Mitsubishi i-MiEV* bateriju bloka galvenie parametri

Parametrs	Vērtība
Tips	Litija - mangāna oksīda
Viena elementa svars, kg	1.8
Bateriju svars, kg	158
Bateriju bloka svars, kg	230
Elementu skaits	88
Viena elementa kapacitāte, kWh	0.187
Viena elementa spriegums, V	3.75
Viena elementa minimālais spriegums, V	2.75
Viena elementa maksimālais spriegums, V	4.1
Kopējā kapacitāte, kWh	16
Kopējais spriegums, V	330
Lēnās lādēšanas parametri	6 h, maiņstrāva 230V, 15A
Ātrās lādēšanas parametri	30 min, līdzstrāva, 330V, 150A (līdz 80%)

Uzlādes laiks jaudas rezervei no minimālā līmeņa līdz 100% ir parādīts 1.26. tabulā, bet motora galvenie parametri apkopoti 1.27. tabulā.

1.26. tabula. Uzlādes laiks

Spriegums, V	Strāva, A	Uzlādes laiks, h
230	10	8
	13	7
	16	6

1.27. tabula. Motora galvenie parametri

Parametrs	Vērtība
Tips	Y4F1
Nominālā jauda, kW	35
Maksimālā jauda, kW	49 pie 2500 - 8000 min ⁻¹
Maksimālais griezes moments, Nm	180 pie 0 - 2000 min ⁻¹

1.6.8. Renault elektropēkrati

2010. gada 15. aprīlī autoražotājs *Renault* paziņoja par četru elektropēkratu modeļu ražošanas un izplatīšanas uzsākšanu. To ārējais dizains parādīts 1.155. attēlā (*Renault Fluence Z.E.*, 2011).



1.155. att. *Renault* elektropēkratu piedāvājums

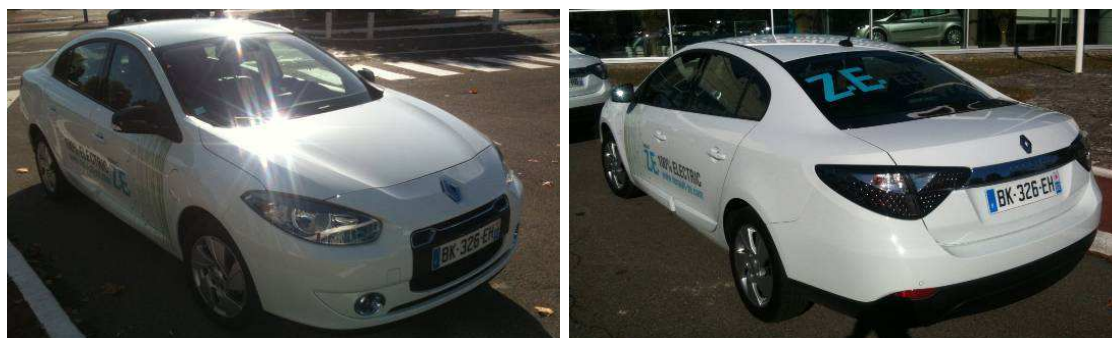
Sākotnējais piedāvājums ietver šādus modeļus:

- *Fluence Z.E.* - ģimenes auto, sedans;
- *Kangoo Express Z.E.* - neliels kravas furgons;
- *Kangoo Z.E.* - kravas/pasažieru auto;
- *Twizy* - divvietīgs pilsētas mazauto;
- *Zoe* - neliels hetčbeks.

Sākot ar 2011. gada rudeni, atsevišķos tirgos ir pieejami *Fluence Z.E.* un *Kangoo Express Z.E.* Tiem 2012. gada pavasarī sekoja divi *Twizy* modeļi un 2012. gada beigās sāka piedāvāt modeli *Zoe*.

Renault modelis *Fluence Z.E.* ir automobilis ar sedana veida virsbūvi. Tas tiek ražots *Renault* daļēji piederošā OYAK rūpnīcā Turcijā, Bursā. Modelis radīts uz tirgū nopērkamā *Fluence* ar iekšdedzes motoru bāzes. *Fluence* ir pieskaitāms pie plašās *Megane* modeļu saimes un galvenokārt atšķiras ar virsbūves tipu un izmanto virsbūves metināšanas tehnoloģiju.

Fluence Z.E. testa auto parādīts 1.156. attēlā (*Renault Fluence Z.E.*, 2011).



1.156. att. *Fluence Z.E.* testa auto

Fluence Z.E. motora novietojums ir parādīts 1.157. attēlā.



1.157. att. *Fluence Z.E.* motora un jaudas piedziņas elementu novietojums

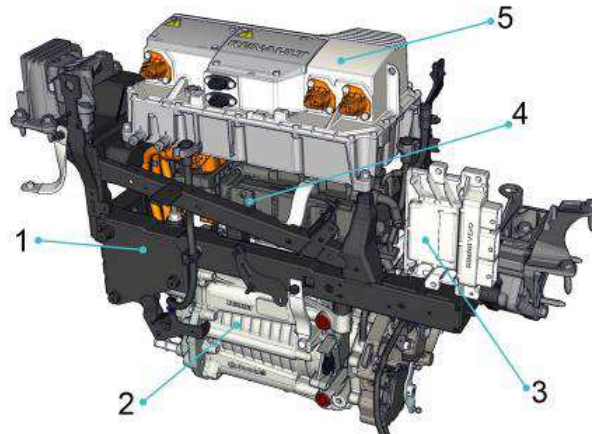
Elektromobilim ir priekšējo riteņu piedziņa. Jaudas bateriju bloks ir novietots aiz pakaļējo sēdekļu atzveltnes. *Fluence Z.E.* pēc komerciālās klasifikācijas atbilst C segmenta parametriem. Atšķirībā no cita *Renault-Nissan* produkta - elektromobiļa *LEAF*, kura motors ir pašu konstruēts un ražots koncernam piederošā rūpnīcā, *Fluence Z.E.* motors, reduktors, diferenciālis, jaudas modulis un kontroleris tiek gādāti no ārēja piegādātāja - korporācijas *Continental AG*. Pēc uzbūves tas ir trīsfāzu sinhronais elektriskais motors ar rotora tinumu un ārējo ierosmi. Atšķirībā no mūsdienu elektrospekratos parasti lietotajiem motoriem, *Renault* izvēlētais variants ir bez pastāvīgajiem magnētiem, tādējādi samazinot tā svaru un nepieciešamību pēc retzemju metālu pielietojuma. Elektromotoru ražo *Continental* rūpnīcā, Gifhornā, Vācijā. Ražotnes patreizējā kapacitāte ir 60 000 motoru gadā. Motora, reduktora un diferenciāļa apvienošana vienā korpusā sniedz svāra un izmēru samazinājumu. Produkts pieder pie otrās paaudzes *Continental* elektrospekratu aprīkojuma risinājumiem (*Continental press portal*, 2011).

Elektromotors ar reduktoru ir parādīts 1.158. attēlā.



1.158. att. Elektromotors 5AM

Elektromotors spēkratos ir samontēts kopā ar strāvas pārveidotāju, lādētāju un vadības moduli, kā parādīts 1.159. attēlā. Vadības moduļa ražotājs ir *Siemens-VDO*, kas no 2007. gada ietilpst koncerna *Continental AG* sastāvā. Vadības modulis radīts, balstoties uz *Siemens-VDO* pieredzi spēkratu iekšdedzes motoru vadības nodrošināšanā (*Continental press portal*, 2011).



1.159. att. *Fluence Z.E.* jaudas agregāts: 1 - rāmis; 2 - motors/reduktors; 3 - vadības modulis; 4 - strāvas pārveidotājs; 5 - lādētājs

Renault Fluence Z.E. motortelpa parādīta 1.160. attēlā (*Renault Fluence Z.E.*, 2011).



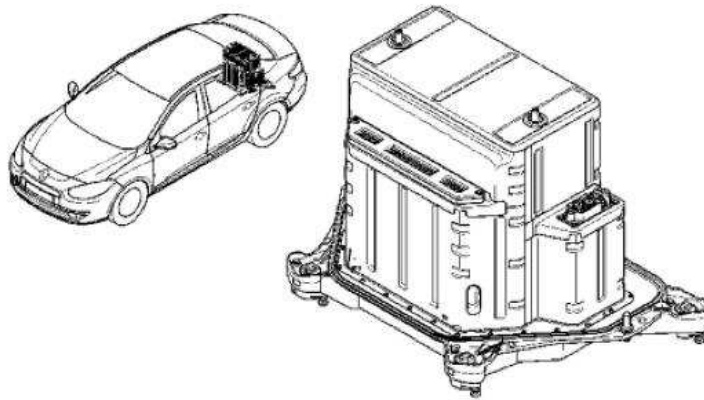
1.160. att. *Fluence Z.E.* motortelpa

Renault Fluence Z.E. jaudas bateriju piegādātājs ir „Automotive Energy Supply Corporation” (AESC), kompāniju *Nissan* un *NEC* kopuzņēmums. Tā ir plakana slāņveida struktūras litiju-jonu baterija ar mangānu saturošu pozitīvo elektrodu. Slāņveida struktūra nodrošina labāku temperatūras režīmu un vienkāršu uzbūvi. Baterija parādīta 1.161. attēlā.



1.161. att. Baterija un tās elements

Jaudas baterijas ir novietotas spēkratu bagāžas nodalījumā, aiz pakaļējā sēdekļa atzveltnes, kā parādīts 1.162. attēlā. Kā redzams 1.163. attēlā, tas nedaudz samazina izmantojamo bagāžas nodalījuma tilpumu. Bateriju kopējā kapacitāte ir 22 kWh un svars - 250 kg (*Renault InfoTech, S.a.*).

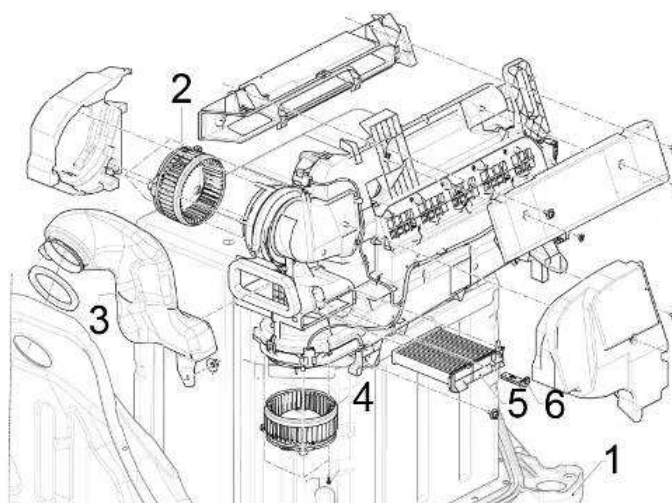


1.162. att. Jaudas bateriju novietojums



1.163. att. Bagāžas nodalījums

Bateriju temperatūras režīms tiek nodrošināts ar gaisa ventilācijas palīdzību. Korpus un ventilatori ir parādīti 1.164. attēlā (Renault InfoTech, S.a.).



1.164. att. Bateriju dzesēšanas iekārta: 1 - baterija; 2 - ieplūdes ventilators;
3 - ieplūdes caurule; 4 - izplūdes ventilators; 5 - gaisa filtrs;
6 - temperatūras sensors

Renault Fluence Z.E. enerģijas rezerves atjaunošana ir iespējama trīs veidos:

- standarta jeb lēnā uzlāde - viena fāze, 220 V, 50 Hz, 16 A, 6 - 8 stundas;
- lēnā uzlāde bez speciāla pieslēguma - viena fāze, 220 V, 50 Hz, 10 A, 11 stundas;
- baterijas ātrā nomaiņa (infrastruktūra tikai Izraēlā un Dānijā) - 3 minūtes.

No sākotnēji solītās ātrās uzlādes ar līdzstrāvu autorāžotājs *Renault* pagaidām ir atteicies un sola to ieviest nākotnes modeļiem.

Renault ražotajam modelim *Fluence Z.E* viens no enerģijas papildināšanas veidiem ir bateriju bloka ātrā nomaiņa. Sarežģītākais ķēdes posms šādā sistēmā ir bateriju nomaiņas stacijas. *Renault* partneris šāda pakalpojuma sniegšanā ir starptautiskais uzņēmums *Better Place*. Bateriju nomaiņas pakalpojums pagaidām ir pieejams tikai Izraēlā un Dānijā. Nomaiņas stacija parādīta 1.165. attēlā. Pēc *Better Place* datiem bateriju nomaiņu var paveikt 3 minūšu laikā (*Better Place*, S.a.).



1.165. att. Bateriju nomaiņas stacija

Visas darbības tiek paveiktas izmantojot automātiskas sistēmas, nav paredzēta operatora iejaukšanās. Pirms bateriju nomaiņas spēkratu apakšējā daļa tiek nomazgāta.



1.166. att. Mazgāšana pirms bateriju nomaiņas

Autovadītājs par veicamo darbību tiek informēts izmantojot spēkratos iebūvētās navigācijas displeju.



1.167. att. Informācijas attēlošana

Bateriju nomaiņas stacijas modelis ir parādīts 1.168. attēlā (Better Place, S.a.).



1.168. att. Bateriju nomaiņas stacijas modelis: 1 - izlādētās baterijas; 2 - uzlādētās baterijas; 3 - nomaiņas līnija

Elektromobiļa galvenie parametri apkopoti 1.28. tabulā (Renault Fluence Z.E., 2011).

1.28. tabula. *Fluence Z.E.* galvenie parametri

Parametrs	Vērtība
Garums, mm	4748
Platums, mm	1813
Augstums, mm	1458
Riteņu garenbāze, mm	2701
Priekšējā šķērsbāze, mm	1537
Pakaļējā šķērsbāze, mm	1555
Riepu izmērs	205/55 R16
Pilna masa, kg	1543
Pasažieru skaits, cilvēki	5
Piedzīņa	priekšējā
Priekšējā piekare	Neatkarīgā, statnes veida
Pakaļējā piekare	Vērpjatsperes / statnes veida
Bremzes	Bremžu diski

1.28. tabulas nobeigums

Parametrs	Vērtība
Maksimālais ātrums (ierobežots), km h ⁻¹	135
Ieskriešanās 0 - 100 km h ⁻¹ , s	13.7
Autonomija, km	160
Motora veids	Sinhronais elektriskais motors
Motora ražotājs	Continental
Motora jauda, kW	70
Motora griezes moments, Nm	226
Bateriju veids	Li ion
Bateriju kapacitāte, kWh	22
Bateriju svars, kg	250
Uzlādes laiks (lēnā uzlāde), h	8

Elektromotora pamatdati ir doti 1.29. tabulā.

1.29. tabula. Elektromotora 5AM pamatdati

Parametrs	Vērtība
<i>Renault</i> apzīmējums	5AM 400
Motora jauda, kW	70
Motora griezes moments, Nm	226
Maksimālie apgriezieni, min ⁻¹	11000
Motora svars, kg	77
Motora un reduktora kopējais svars, kg	160

1.6.9. Elektroautomobilis Think City

Elektroautomobiļa *Think City* (skat. 1.169. att.) ražotājs ir Somijas uzņēmums *Valmet Automotive* (*Think City Specifications*, 2011).



1.169. att. Elektroautomobilis *Think City*

Maksimālais ātrums, kādu var sasniegt elektroautomobilis, ir 112 km h^{-1} . Tam ir priekšējā piedziņa, divas sēdvietas un 800 litru liels bagāžas nodalījums. Elektromobiļa uzlāde tiek veikta no parastā elektrotīkla (220 V), un pilns uzlādes cikls tiek nodrošināts sešās līdz astoņās stundās. Ar pilnu uzlādi elektromobilis var nobraukt 160 km. Elektromobilis ir sertificēts un atbilst visām Eiropas Savienības prasībām.

Elektroautomobiļa *Think City* 2008. gada modelis ir izveidots ar tērauda nesošo virsbūvi, plastikas virsbūves paneļiem, *McPherson* priekšējo piekari, torsiona atsperojuma pakaļējo piekari, priekšējo elektrisko piedziņu un vienu samazinošo pārniesumu.

Elektromobiļa cena ir 35 000 EUR bez PVN. Tā garantijas laiks ir divi gadi vai 150 000 km. 1.30. tabulā dots elektroautomobiļa raksturojums (*Think City Specifications*, 2011).

1.30. tabula. Elektroautomobiļa *Think City* raksturojums

Parametrs	Vērtība
Sēdvietu skaits	2
Durvju skaits	3 ieskaitot aizmugurējās
Kopējais garums	3120 mm
Platums	1604 mm
Augstums	1548 mm
Apgrīšanās rādiuss	4.5 m
Kopējais auto svars	1397 kg
Pārvadājamais svars	165 kg

Elektroautomobiļa *Think City* standarta aprīkojumā ietilpst:

- pretbloķēšanas bremzēšanas sistēma (ABS);
- vadītāja un pasažiera gaisa spilveni;
- stūres pastiprinātājs;
- imobilaizers;
- 14 collu riteņi;
- 14 collu zemas rites pretestības riepas;
- reģeneratīvā bremzēšana;
- borta lādētājs 110-240 VAC;
- elektriskā kabīnes apsildes sistēma;
- elektriskie spoguļi;
- elektriskie logu pacēlāji;
- 12V izvads.

Think City ir konstruēts tā, lai tajā varētu izmantot dažādas bateriju sistēmas un tehnoloģijas. Bateriju modulis ir izvietots zem sēdekļiem. Šajā vietā modulis ir labi aizsargāts un šī ir ideāla vieta no drošības viedokļa. Šāds izvietojums nodrošina labu svara sadalījumu starp priekšējo un pakaļējo asi un nodrošina automobilim ļoti zemu smaguma centru.

Bateriju nodalījumā var ievietot dažāda tipa bateriju sistēmas. Pašreiz *Think City* iespējami divi varianti: litija (Li) baterijas un nātrija baterijas.

Nātrija baterijām *Zebra Mes-Dea* ir augsta energoietilpība un tās nodrošina darbību lielākos attālumos neatkarīgi no ārējās temperatūras. Tās ir „karstās” baterijas, kas nozīmē, ka darba temperatūra ir starp 260 un 360 grādiem. Baterijas ir izgatavotas no videi draudzīgiem materiāliem. Šis variants ir piemērots lietotājiem, kuri izmanto automobili regulāri un bieži. *Zebra Mes-Dea* bateriju aktīvie materiāli ir nātrijs un niķelis. Karstie materiāli ir ievietoti noslēgtā vakuuma konteinerā, tādējādi šīs baterijas strādā ļoti efektīvi ļoti karstā un ļoti aukstā klimatā. *Think City* veiktspēja ar augstas kapacitātes baterijām *Zebra Z36* uzrādīta 1.31. tabulā.

1.31. tabula. *Think City* veiktspēja ar augstas kapacitātes baterijām *Zebra Z36*

Parametrs	Vērtība
Maksimālais ātrums	100 km h ⁻¹
Maksimālā jauda	~ 40 Zs
Ieskriešanās 0 - 50 km h ⁻¹	6.5 s
Ieskriešanās 0 - 80 km h ⁻¹	16.0 s
Diapazons ECE_R101	180 km
Vidējais uzlādēšanas laiks	10 - 16 A 0 - 80%: 9.5 stundas, 230 VAC/14A 0 - 100%: 13 stundas, 230 VAC/14A

Think City piedāvā arī litija baterijas no *Enerdel*. Litija baterijas darbojas apkārtējās vides temperatūrā. Tas nozīmē, ka auto nav jābūt pieslēgtam pie strāvas brīdī, kad to neizmanto.

Latvijā pirmos piecus elektromobiļus *Think City* saņēmis uzņēmums „Rīgas satiksme”. Tie tiks izmantoti pilsētas autostāvvietu apsaimniekošanas vajadzībām, kā arī „Rīgas satiksmes” autobāzes operatīvo funkciju veikšanai (skat. 1.170. att.) („Rīgas satiksme” ..., 2012).



1.170. att. Uzņēmuma „Rīgas satiksme” iegādātie automobiļi *Think City*

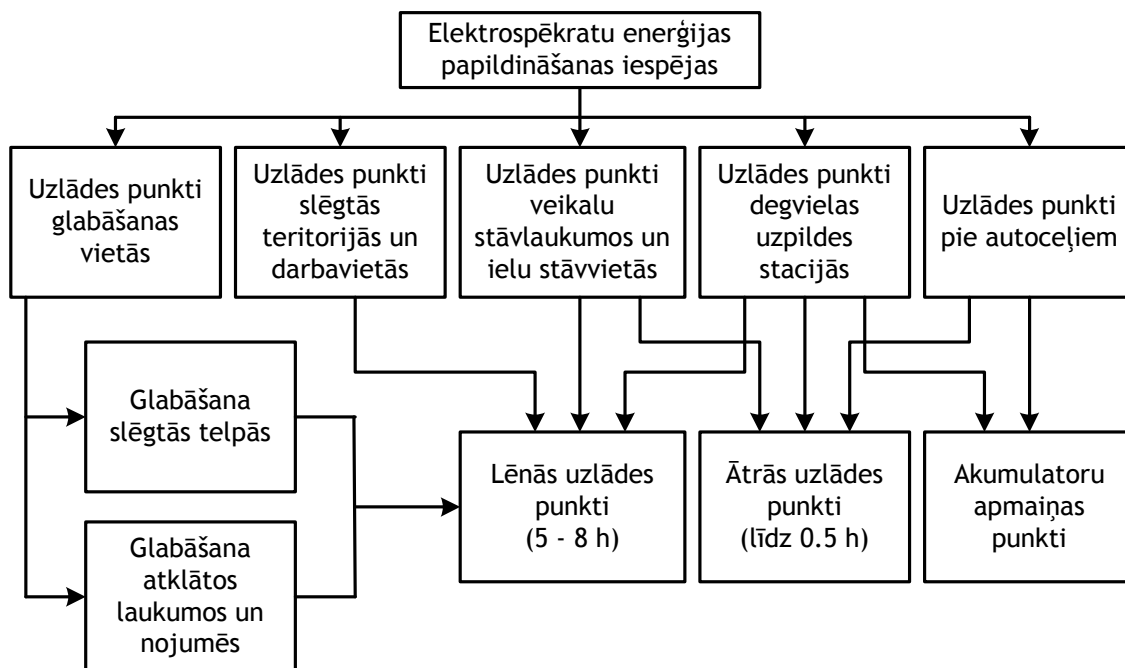
„Rīgas satiksmei” šis ir eksperiments un automašīnas tiks ekspluatētas visu gadu, arī ziemā, kas ir sarežģītākais periods elektromobiļiem. Pēc pirmo piecu automobiļu ekspluatācijas rādītājiem „Rīgas satiksme” lems par turpmāko elektromobiļu parka papildināšanu.

Elektromobiļu un to uzpildes infrastruktūras attīstību un ieviešanu Rīgā paredz pirms diviem gadiem Rīgas Domē apstiprinātais pilsētas ilgtspējīgas enerģētikas rīcības plāns 2010. - 2020. gadam. Rīgas pašvaldība mērķtiecīgi strādā pie plāna realizācijas un pirmie pieci elektromobiļi ir pirmais solis, lai perspektīvā elektromobiļus pašvaldības tehniskajos dienestos ieviestu plašāk.

2. ELEKTROSPĒKRATU UZLĀDES PUNKTU IZVEIDOŠANAS IESPĒJAS LATVIJĀ

2.1. Uzlādes punktu klasifikācija

Sekmīgai elektropēkratu izmantošanai nepieciešams akumulatoru uzlādes punktu tīkls. Pie neliela elektropēkratu skaita dārgu uzlādes punktu izveidošana nav ekonomiski izdevīga. Uzlādes punktu klasifikācija atkarībā no to atrašanās vietas un akumulatoru uzlādes ātruma dota 2.1. attēlā.



2.1. att. Elektropēkratu uzlādes punktu klasifikācija

Uzlādes punktos izvietoto elektrotransporta akumulatoru uzlādes iekārtu skaits atkarīgs no patērētāju skaita un uzlādes ātruma.

Latvijā pašlaik izmanto lēnās uzlādes punktus ar uzlādes spriegumu 220 V un strāvu līdz 16 A. Šiem parametriem atbilst kvalitatīvas sadzīves elektrorozetes, kuras var uzstādīt arī privātmāju garāžās. Lielākajai daļai tirdzniecībā esošo elektropēkratu paredzēta šāda uzlādes iespēja. No lēnās uzlādes punkta elektropēkratus uzlādē 7 - 10 h. Jaudīgākajiem elektropēkratiem, piemēram, ātrgaitas elektromobiļiem, uzlādes strāva var sasniegt 12 - 13 A, kas ir tuvu maksimāli pieļaujamajai vērtībai. Lēnās uzlādes punktus var izvietot jebkurā no augstāk minētajām vietām, tomēr tos parasti neizvieto pie autoceļiem. Šādu uzlādes punktu izbūve atkarībā no konstruktīvajiem risinājumiem (ar vai bez norēķinu sistēmas un elektroenerģijas uzskaites) var izmaksāt no 100 līdz 5000 LVL.

Ātrās uzlādes punktus parasti izmanto vietās, kur cilvēki atrodas salīdzinoši neilgu laiku. Šādus punktus var izvietot pie lieliem tirdzniecības centriem, ielu stāvlaukumos, degvielas uzpildes stacijās un pie autoceļiem. Ātrās uzlādes punktu izbūve ir dārgāka, un parasti pārsniedz 40 - 50 tūkstošus LVL, jo nepieciešams nodrošināt lielas jaudas. Uzlādes spriegums ir 400 V.

Ātrās lādēšanas punktu izbūve nepieciešama, ja valstī ir pietiekami liels elektromobiļu skaits. Elektromobiļu nelielā skaita dēļ šādi punkti Latvijā tuvākajā laikā nav perspektīvi.

Attīstītajās valstīs, kurās izmanto lielu skaitu elektromobiļu, veido akumulatoru apmaiņas punktus. Šādi apmaiņas punkti var būt izbūvēti degvielas uzpildes stacijās. Akumulatoru maiņa šādā punktā notiek ne ilgāk kā 3 minūtēs un kopumā tiek patērēts pat mazāk laika nekā iepildot degvielu automobilī ar fosilās degvielas motoru. Tuvākajos gados arī šie apmaiņas punkti Latvijā ir maz perspektīvi, jo, lai šādi punkti atmaksātos, jābūt pietiekami lielam elektromobiļu skaitam, kā arī akumulatoru nomas sistēmai. Šajā gadījumā automobili iegādājas bez akumulatora, bet akumulatori tiek nomāti, katru mēnesi veicot maksājumu. Šādā veidā lietotājs vienmēr saņem darbspējīgu akumulatoru un nav jāuztraucas par tā nolietojumu.

Lielākos nobraukumus ar vienu pilnu uzlādi ar elektrospekratiem parasti var veikt pie kustības ātruma 50 - 70% no maksimālā. Pozitīvi ir tas, ka šī iemesla dēļ, izmantojot elektrospekratus, vienmēr jāatceras par to, vai spēsim nokļūt līdz uzlādes punktam. Līdz ar to tiks izvēlēts kustības režīms, kas nodrošinās apkārtējās vides saudzēšanu.

No ekoloģijas viedokļa ir būtiski, no kāda enerģijas avota iegūta elektroenerģija. Latvijā līdz 70% elektroenerģijas ir „zaļa”, iegūta no atjaunojamiem energoresursiem, bet pārējā elektroenerģija - termoelektrostacijās, tām strādājot koģenerācijas režīmā (Enerģijas ražošana, 2012). Līdz ar to, veicot elektrotransporta uzlādi Latvijā, šis transports ir viens no ekoloģiskākajiem ES. Šī iemesla dēļ elektrotransporta ieviešana Latvijā ir ļoti būtiska no vides aizsardzības viedokļa.

2.2. Lēnās uzlādes punkti

2.2.1. Uzlādes punkti glabāšanas vietā

Uzlādes punkti glabāšanas vietā tiek iedalīti divās grupās: uzlādes punkti slēgtās telpās - garāžās, un uzlādes punkti atklātos laukumos vai nojumēs. Augstākas elektrodrošības prasības tiek uzstādītas uzlādes punktiem, kas izveidoti atklātos laukumos.

Uzlādes punkti privātajās garāžās

Ekspluatējot elektrospekratus Latvijā, sakarā ar to uzlādes punktu nelielo izplatību, būtiska ir šo spēkratu uzlāde tieši mājas apstākļos, piemēram, pie privātmājām un individuālajās garāžās. Elektrospekratus uzlādējot šajos punktos un ekspluatāciju veicot nelielā rādiusā, iespējama elektrospekratu ieviešana un ekspluatācija bez publisko uzlādes punktu plaša tīkla izveides, īpaši gadījumos, ja elektrospekratu diennakts nobraukums nepārsniedz to nobraukumu ar pilnu uzlādi.

Elektrospekratu uzlāde iespējama no jebkuras divu kontaktu 220 V 16 A rozetes, kura atrodas garāžā. Lai šis process būtu ilgtspējīgs, bez atteikumiem un pietiekami drošs, nepieciešams ievērot dažus noteikumus. Garāžā ir lietderīgi izvietot automātisko drošinātāju kārbu. Ja izmanto jaudas, kas lielākas nekā lādēšanai nepieciešamās, var izvietot atsevišķu drošinātāju ar

konkrētu, lādēšanai nepieciešamo jaudu. Parasti jebkuru elektrosūkru lēnās uzlādes strāva nepārsniedz 16 A. Drošinātāju kārbas izvietojums pie garāžas iekšējās sienas redzams 2.2. attēlā.



2.2. att. Drošinātāju kārbas izvietojums pie garāžas sienas

Nepieciešams veikt vizuālo kontroli, vai pienākošo vadu šķēsgriezums ir paredzēts 16 A strāvas pārvadīšanai. 2.2. attēlā redzamajā gadījumā atsevišķi mērījumi netika veikti, jo vizuāli redzams, ka pienākošā trīs fāzu kabeļa ārējais diametrs pārsniedz 15 mm, bet aizejošā - 10 mm. Šaubu gadījumā jāatslēdz strāvas padeve garāžai un jāveic vadu mērījumi ar bīdmēru. Vadu šķēsgriezuma laukumam jābūt vismaz 2.5 mm^2 jeb diametram - vismaz 1.8 mm. Drošāks pievades kabeļa diametrs būs tāds, kas pārsniedz 2 mm. Tā tiks garantēta pietiekama elektrodrošība un samazināta vadu silšana.

Nākamais solis ir pārbaudīt, kāds vads pienāk pie uzlādei paredzētās rozetes. Šajā gadījumā ir lietderīgi atslēgt drošinātājus, izjaukt lādēšanai paredzēto rozeti un izmērīt vadu diametru. To diametrs nedrīkst būt mazāks par 1.5 mm. Vadu mērījumi parādīti 2.3. attēlā.



2.3. att. Uzlādei paredzētās rozetes pievada vadu diametru mērījumi

Ja uzlādei paredzētās rozetes izveido no jauna, augstākas elektrodrošības nodrošināšanai vajadzētu izmantot rozetes ar zemējuma vadu. Tas būtu jāpieslēdz pie speciāla, darbaspējīga zemējuma, nevis vienkārši pie sadales skapja korpusa, kā tas dažkārt tiek darīts. Uzlādei derīgas rozetes bez zemējuma kopskats garāžā parādīts 2.4. attēlā.



2.4. att. Uzlādes rozete garāžā tiek izmantota elektrovēlspēda uzlādei

Tādu elektropēkratu uzlādē, kuros ir neliels skaits akumulatoru, piemēram, elektrovēlspēdi, neprasa lielas uzlādes strāvas. Parasti tās nepārsniedz 1 - 3 A, līdz ar to speciālas pārbaudes garāžās izvietotām rozetēm nav nepieciešamas.

Ja garāža ir aizņemta ar citiem spēkratiem, uzlādes punktu var izveidot uz garāžas ārsienas. Šiem darbiem nepieciešamas zināmas iemaņas un instrumenti. Ja to trūkst, šos darbus nepieciešams uzticēt sertificētam speciālistam. Uz garāžas ārsienas izvietota elektropēkratu uzlādes rozete apskatāma 2.5. attēlā.



2.5. att. Uzlādes rozete ar vāciņu uz garāžas ārsienas

Šai rozetei jābūt pasargātai no tiešas lietus iedarbības. Rozetei konstruktīvi ir izveidots vāciņš. Šim nolūkiem nevajadzētu izmantot rozetes ar zemu drošības klasi. Piemēram, 2.4. attēlā redzamā rozete bija ar IP 54 drošības klasi.

Lai nodrošinātu uzlādes rozetes uz garāžas ārsienas labāku aizsardzību pret nokrišņiem, to ieteicams ievietot speciālās slēgtās elektroinstalācijas kārbās ar vāciņu. Šāda kārba labi pasargās rozeti gadījumā, ja nenotiek uzlāde. Uzlādes gadījumā vāciņš paliek vaļā. Ja izvēlas dārgāku un lielāku kārbu vai skapīti, var izveidot konstrukciju, kurai arī lādēšanas laikā var aizvērt durtiņas, bet šajā gadījumā jāreķinās ar lielākiem izdevumiem. Veidojot uzlādes punktu privātmājas teritorijā, var izmantot jau esošu kontaktligzdu, nesaskaņojot ar AS „Sadales tīkls”, ja vien uzstādītie automātiskie drošinātāji ir tam piemēroti.

Izveidojot uzlādes punktu pie privātmājas sienas, lai nodrošinātu tā ilgmūžību, ieteicams rozeti novietot speciālās elektroinstalācijas tērauda kārbās, kuras nopērkamas elektromateriālu veikalā (skat. 2.6. att.).



2.6. att. Vienkāršas konstrukcijas 220 V 16 A elektrouzlādes punkts, kuru var izvietot pie garāžas vai dzīvojamās ēkas sienas vai uz metāla stabiņa

Kārbā ērti var novietot gan rozeti, gan arī automātisko 16 A drošinātāju. Pašu spēkiem veidojot šādu uzlādes punktu, tā izmaksas nepārsniedz 50 - 60 LVL, tomēr nepieciešamas zināmas iemaņas darbam ar elektroinstalāciju.

Tā kā uzlādes vietā rozete un drošinātājs tiek pasargāti no nokrišņiem, tad šādu uzlādes punktu droši var lietot visos laika apstākļos un sezonās, ja korpusam pareizi pieslēgts zemējums.

Slēgtās telpās starp elektriskajiem un fosilās degvielas transportlīdzekļiem ir ieteicams uzstādīt uguns mūri visā telpu augstumā.

Modernajiem elektriskajiem transportlīdzekļiem nav nepieciešamas papildus ventilācijas iekārtas garāžās, kurās notiek uzlāde, jo Li-Ion, NiCd / NiMH un želejas baterijas neizdala gāzes. Ja elektromobiļiem izmanto svina - skābes akumulatorus, ieteicams izmantot telpas ventilāciju, piemēram, ar sienā iemontētu ventilatoru, kuru iedarbina uzlādes laikā.

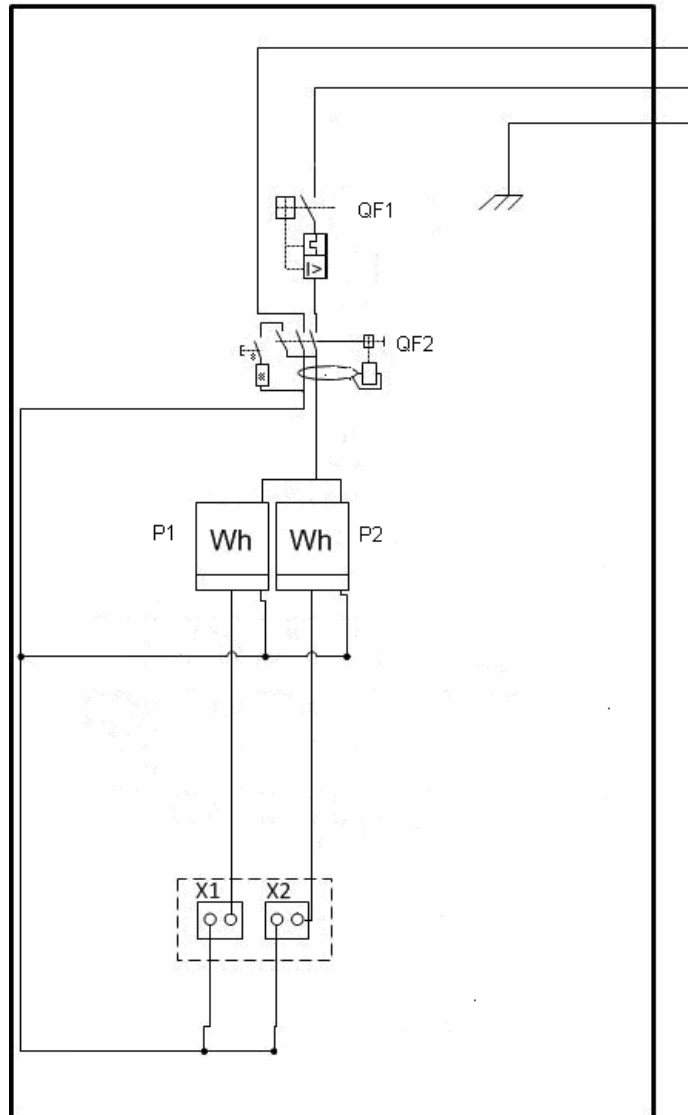
Uzlādes punkti stāvlaukumos

Tāpat kā elektrosūkru ekspluatācijā būtiski ir elektrosūkru uzlādes punkti pie privātmājām, svarīgi tos veidot arī publiskajos diennakts stāvlaukumos. Pie tam vienkāršu uzlādes punktu izbūve stāvlaukumā var būt pat lētāka nekā privātmājās, jo tos vienlaicīgi var izbūvēt vairākus.

Galvenais noteikums uzlādes punktu izbūvei stāvlaukumos ir nepieciešamās jaudas nodrošināšana.

Ja nepieciešams izveidot, piemēram, divas elektromobiļu uzlādes vietas, kuru lādēšanas strāva ir tuva 16 A, nepieciešams 32 A drošinātājs un atbilstošais jaudas pieslēguma kabelis, kas stāvvietā var arī nebūt. Stāvlaukumu ieejošās jaudas palielināšanas gadījumā jāreķinās ar papildus izdevumiem.

Vienkārša diennakts autostāvvietas iespējamā uzlādes punkta konstrukcija var būt atbilstoša 2.6. attēlā redzamajai, vai arī, izmantojot skaitītājus. Vienā tērauda kārbā var tikt samontētas divas 16 A rozetes un uz sliedes montējamie skaitītāji, ja nepieciešama elektroenerģijas uzskaitē. Uzlādes punkta shēma redzama 2.7. attēlā.



2.7. att. Uzlādes punkta elektriskā shēma ar skaitītājiem

Uzlādes punktu stāvvietā lietderīgi veidot ar divām rozetēm vienā skapītī. Šajā gadījumā skapītis novietojams uz statnes spēkratu priekšpusē starp automobiļiem. Var izmantot standarta 220 V divu kontaktu ligzdas, tomēr, ja skaidri zināms precīzs elektromobiļa kabeļa uzgaļa veids, labāk uzlādi veikt bez pārejas, bet ar atbilstošas konstrukcijas rozeti, kura iemontēta uzlādes skapītī. Šādā skapītī var nodrošināt gan uzskaiti ar

atbilstošu skaitītāju lielas jaudas elektropēkratu izmantošanas gadījumā (elektromobiļiem), gan arī uzlādes izmaksas var iekļaut stāvvietas abonēšanas mēneša maksā (mazākas jaudas elektropēkratiem, piemēram, elektrovelosipēdiem).

2.7. attēlā redzamajā uzlādes punkta shēmā izmantotas divas uzlādes rozetes X1 un X2, skaitītāji P1 un P2, kā arī QF2 noplūžu aizsardzības automāts un QF1 32 A drošinātājs. Iespējamas arī konstrukcijas bez noplūžu automāta QF2, kā arī izmantojot divus 16 A drošinātājus pirms katra no skaitītājiem.

Ja stāvvietā ieejošā strāva ir trīsfāzu 16 A, iespējams vienlaikus uzlādēt trīs elektromobiļus (uz katras fāzes pa vienam). Ja ieejošā ir tikai viena fāze, var uzlādēt tikai vienu automobili. Trīsfāzu 32 A ieejas gadījumā vienlaikus var uzlādēt 6 elektromobiļus - katru pie 16 A rozetes.

2.2.2. Publiskie uzlādes punkti

Pirmās divas elektromobiļu uzlādes stacijas uzstādītas Londonā 2006. gada decembrī (The charge is on: ..., S.a.). Līdz 2010. gada maija vidum ASV pēc ARRA programmas (*American Recovery and Reinvestment Act of 2009*) uzbūvēti vairāk kā 1800 elektromobiļu uzlādes punkti (More Than 1,800 EV ... 2011). 2007. gadā Izraēlā biznesmenis Shai Agassi izveidoja projektu ar nosaukumu „Better Place”. Šī projekta mērķis - elektromobiļu uzlādes staciju tīkla izbūve. Šāda veida stacijās, kuras tiks būvētas dažādās valstīs, būs iespēja uzlādēt vai nomainīt elektromobiļu akumulatorus ar jau uzlādētiem. Kā piemērs dota izbūvētā uzlādes stacija Ramat-ha-Šaronā, Izraēlā (skat. 2.8. att.) (Инфраструктура зарядки электромобилей, 2012).



2.8. att. Uzlādes stacija „Better Place” Ramat-ha-Šaronā, Izraēlā

Uzlādes staciju vizuālais izskats ir dažāds - sākot ar parasto kontaktligzdu (rozeti), beidzot ar dažāda dizaina uzlādes stacijām. Kā piemērs 2.9. attēlā parādītas dizainera Yves Behar projektētās elektromobiļu uzlādes stacijas *GE WattStations*, kas veidotas pēc amerikāņu kompānijas *General Electric* pasūtījuma (*GE WattStation ...*, 2010).



2.9. att. **GE WattStations**

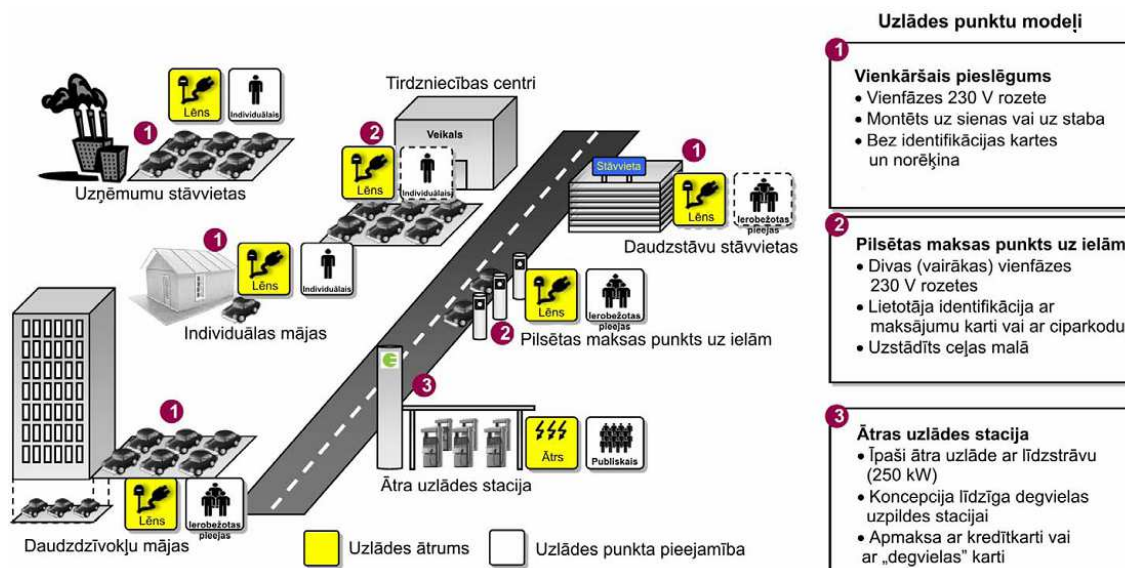
2011. gada 8. decembrī SIA „EuroPark Latvia” sadarbībā ar „Bezizmešu mobilitātes atbalsta biedrību” (BIMAB) atklāja elektrisko transportlīdzekļu bezmaksas uzlādes punktu tīklu maksas autostāvvietās Rīgā, Stacijas laukumā 4, Zigrīda Annas Meierovica bulvārī 8, Elizabetes ielā 55, Baznīcas ielā 20/22 (Linkevičs, 2012). Par uzlādes punktiem autostāvvietās tika nosauktas elektroenerģijas pieslēguma vietas, precīzāk - kontaktligzdas, kas izvietotas uz sienām autotransporta novietošanas vietās, pie kurām piestiprināta attiecīgā norāde (skat. 2.10. att.).



2.10. att. **Uzlādes punkts Rīgā, „EuroPark Latvia” maksas auto stāvvietā**

Iespējamās publisko elektrotransporta uzlādes punktu vietas (skat. 2.11. att.) var atrasties (Bezmaksas elektrisko auto uzlādes tīkls ..., 2011):

- pie komercuzņēmumiem;
- pie tirdzniecības centriem, atpūtas un ēdināšanas iestādēm;
- dzīvojamajos rajonos;
- pilsētas centrā;
- pie auto maģistrālēm (ātrās uzlādes punkti).



2.11. att. Iespējamās elektrotransporta uzlādes punktu atrašanās vietas

Tomēr nelielā pieprasījuma dēļ elektriskās uzlādes pakalpojums tuvākajā laikā Latvijā nav konkurētspējīgs. Elektroautomobiļu ieviešana jārealizē ar valsts un pašvaldību atbalstu. Elektroautomobiļu publiskās uzlādes punktu infrastruktūra būtu jāintegrē pilsētas teritorijas plānošanas nosacījumos.

Ērtākā elektrotransporta uzlādes vieta ir autostāvvietā, kas parasti sastāv no daudzām vietām. Izšķir trīs veidu autostāvvietas:

- publiska autostāvvietā;
- privātā, piemēram, uzņēmumam rezervēta autostāvvietā;
- privātā autostāvvietā apvienojumā ar elektrisko uzlādes parku, piemēram, autostāvvietā rezervēta uzņēmumam, kuram pieder elektrisko transportlīdzekļu parks.

Nav vienkārši noteikt nepieciešamo uzlādes punktu skaitu un veidu. Turpmāk aplūkotas dažas idejas punktu ierīkošanai.

Publisko uzlādes punktu veidi

AC (maiņstrāva) vienfāzes režīms vai *Schuko* uzlādes punkts ir vienkārša, iezemēta kontaktligzda. Gandrīz visus elektriskos auto var uzlādēt, izmantojot šo kontaktu (skat. 2.12. att.) ar maksimālo jaudu 2 kW (aptuveni 10 stundās var uzlādēt enerģiju 100 km nobraukumam). Šādi uzlādes punkti biežāk tiek izmantoti elektrovēlspēdu un motorolleru uzlādei.



2.12. att. Uzlādes punkta rozete

AC režīma uzlādes punkts ar 3-fāzu AC-pieslēgumu īpaši piemērots elektroautomobiļiem. Nākotnē visiem elektroautomobiļiem Eiropā vajadzētu būt iespējai izmantot šo uzlādes režīmu. Uzlādes jauda ir atkarīga no transportlīdzekļa uzlādes ierīces un parasti nepārsniedz 6 kW (aptuveni 6 stundu uzlāde 100 km noskrējienam). DC (līdzstrāva) režīma uzlādes punktiem vai CHAdeMO ir DC uzlādes standarts. Transportlīdzeklim jābūt ar CHAdeMO saderīgu ātrās uzlādes savienojuma spraudni. Piemēram, CHAdeMO spraudnis ir automobiļiem *Nissan Leaf*, *Mitsubishi iMiEV* un *Citroen CO*. Uzlādes strāvas jauda var sasniegt 50 kW.

Pastāv arī cita veida uzlādes punkti, taču, lai nodrošinātu kontaktligzdas un spraudņa savietojamību, ieteicams par to iepriekš pārliecināties. Visbiežāk šādi izņēmumi var būt uzlādes punktos speciālajam autoparkam.

Uzlādes punktu skaits

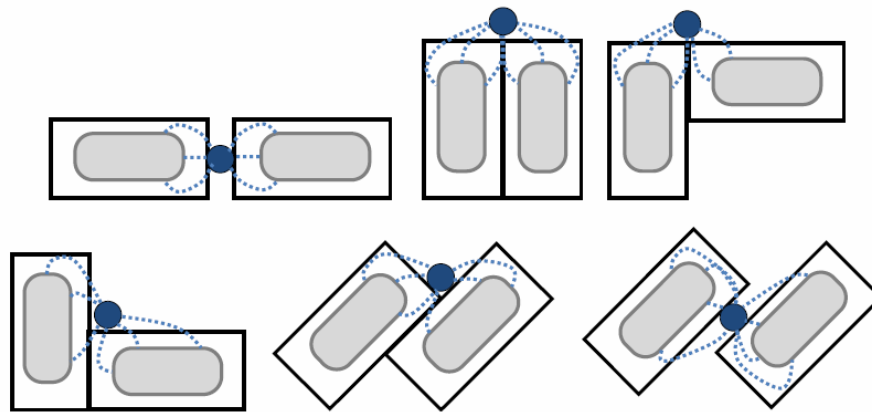
Elektrospēkratu uzlādes punktu tīkla biežums atkarīgs no elektrospēkratu nobraukuma. Pilsētā šos uzlādes punktus lietderīgi izvietot ne tikai atkarībā no potenciālā elektrospēkratu nobraukuma, bet arī no lietošanas nepieciešamības glabāšanas stāvlaukumos, kā arī pie dažādiem iepirkšanās centriem. Pie tam, dažkārt vienu un to pašu elektrospēkratu nobraukums ir stipri atšķirīgs no kustības režīma, īpaši no kustības ātruma. Nobrauktais attālums ar vienu pilnu uzlādi var atšķirties pat divas reizes.

Lai noteiktu, cik uzlādes punkti nepieciešami, jāizmanto šādi apsvērumi:

- **Kāds ir autoparks?** Piemēram, ja ir autoparks, kuru ir paredzēts uzlādēt naktī, vajadzētu būt uzlādes punktam katra transportlīdzekļa stāvvietā.
- **Cik elektroautomobiļus darbinieki un apmeklētāji var izmantot tuvākajos gados?** Piemēram, 2015. gadā vismaz 5% no vieglajiem automobiļiem būs *plug-in* hibrīdais vai elektriskais. Tādēļ ir ieteicams aprīkot 5% vietas autostāvvietā ar uzlādes punktiem.
- **Kāda veida stāvvietā ir nepieciešama apmeklētājiem?** Piemēram, ņemot vērā stāvēšanas laiku uz katru apmeklētāju: ja tas ir līdz 2 stundām, tad nebūtu lietderīgi piedāvāt 1-fāzu lādēšanas punktu. Tādā gadījumā lietojams 3-fāzu uzlādes un/vai DC ātrās uzlādes režīms.
- **Elektrotīkla pieslēguma jauda.** Ja nav kontroles sistēmas, kas kontrolē kopējo jaudas pieprasījumu uzlādes vietai, tīkla pieslēgumam jābūt izveidotam ar jaudas rezervi, lai pārsniegtu uzstādītā uzlādes punkta maksimālās jaudas pieprasījumu. Tas ir svarīgi, jo paredzamais laika sakritības faktors, uzlādējot elektromobili, ir 100%. Ja pastāv sistēma, kas kontrolē kopējo jaudas pieprasījumu uzlādes vietām, tad tīkla pārslodzi var novērst, regulējot uzlādes jaudas sadalījumu.

Uzlādes infrastruktūras ģeometrija

Uzlādes punktus ir vēlams novietot stāvvietas stūrī. Optimālais uzlādes punkta izvietojums diviem automobiļiem dots 2.13. attēlā. Uzlādes punkts nedrīkst atrasties vietās, kas var radīt grūtības atvērt elektroautomobiļa vadītāja durvis.



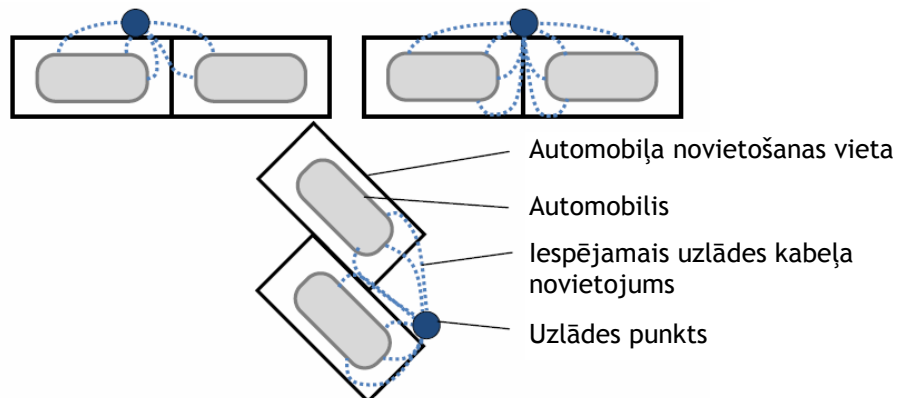
2.13. att. Optimālais uzlādes punktu novietojums

Ir elektroautomobiļi ar uzlādēšanas pieslēguma vietu automašīnas priekšpusē vai aizmugurē.

Uzlādes punkta gabarīti vēlami ne lielāki par $500 \times 600 \times 1800$ mm (garums \times platums \times augstums). Neveiksmīga izvietojuma rezultātā uzlādes punkts var traucēt automobiļa vadītāja durvju atvēršanu.

Uzlādes punkta izvietojums iespaido arī nepieciešamā pievienošanas kabeļa garumu. 2.14. attēlā ir parādīts uzlādes vietu iekārtojums, kur nepieciešami salīdzinoši lieli pievienošanas kabeļu garumi. Pārmērīgi liels kabeļa garums nav vēlams, jo tas palielina risku to pārlocīt, uzbraukt virsū, vai citādā veidā bojāt. Līdzstrāvas DC uzlādes punkta kabelim ar spraudni ieteicamais garums ir 2 m.

Mainstrāvas uzlādes punktam parasti nav uzlādes kabeļa. Kabelis ir komplektā ar automobili, un kabeļa ieteicamais garums ir 2 - 4 m.



2.14. att. Pievienošanai nepieciešams garš kabelis

Drošība

Lai nodrošinātu ugunsdrošību, uzlādes punktiem nav papildu prasību, atšķirīgu no prasībām, kas attiecas uz elektroietaišu ekspluatāciju. Uguns risks elektriskajiem transportlīdzekļiem ir mazāks nekā klasiskajiem transportlīdzekļiem.

Lai apdzestu uguni hibrīda un elektriskajiem transportlīdzekļiem, tiek izmantotas dažādas tehnoloģijas. Ugunsdzēsējiem jāspēj atslēgt uzlādes

sistēmu ugunsgrēka gadījumā. To var izdarīt, atslēdzot elektrību daļai vai visai autostāvvietas elektroinstalācijai, piemēram, izmantojot galveno slēdzi. Prasības ir tādas pat kā parastai elektroapgādes sistēmai.

Ja autostāvvietā ir aprīkota ar automātisko ugunsgrēka trauksmes sistēmu, ieteicama *Interlock* uzlādēšanas iespēja. Tā atslēgs uzlādes punktu, ja ugunsgrēka signalizācijas sistēma automātiski tiks aktivizēta. Tā ir papildu priekšrocība, ka elektrotransportlīdzekli var atvienot bez riska izveidot īsslēgumu.

Elektroapgādes traucējumi

Pēc elektroenerģijas pievada kļūmes vai darbības traucējuma ir pieļaujams, ka uzlāde atsāksies. Lādētājam (*DC* lādētājam vai savienojuma punktam uz transportlīdzekļa) jāiztur traucējumi (pārspriegums/pārejas režīms), kurus var radīt elektroenerģijas avots, kā noteikts standarta elektroiekārtās. Par transportlīdzeklī iebūvēto lādētāju ir atbildīgs transportlīdzekļa ražotājs. Ja atteice notikusi, pārsniedzot elektroenerģijas piegādes standartā noteiktās normas, tad par atteikumu ir atbildīgs enerģijas piegādātājs, operators.

Apzīmējums, zīmes, logotips

Autostāvvietai ar uzlādes punktu ir jābūt saprotami apzīmētai, lai citi autovadītāji to neizmantotu kā stāvvietu. Var apvienot autostāvvietu invalīdiem ar uzlādes punktu. Tādā gadījumā elektroautomobiļus var uzlādēt un izmantot arī invalīdi, un var ietaupīt vietu autostāvvietā. Uzlādes punkta norādes zīme parasti sastāv no autostāvvietas apzīmējuma un atbilstoša logotipa. Šobrīd nav nacionāli vai starptautiski atzītas zīmes vai logotipa elektruzlādes punktiem. Viens no uzlādes punktu logotipiem, kas saprotami parāda, kur atrodas elektruzlādes punkts, dots 2.15. attēlā un pieejams interneta vietnē <http://evinfra.org> (Charging infrastructure ..., 2011).



2.15. att. Uzlādes punkta apzīmējums

Publiskā uzlādes punkta ergonomiskuma analīze

Ergonomika ir multidisciplināra zinātnes nozare, kas orientēta uz jomām, kuras pēta ar cilvēku saistītu ikvienu aktivitāti. Tā pamatā balstās uz cilvēka anatomiju, fizioloģiju un psiholoģiju, izvērtē cilvēka attiecības ar darbu. Ergonomika nodarbojas ar cilvēka un vides (tehnoloģiju, instrumentu) mijiedarbības teorētisko un praktisko izpēti, tehnoloģiskā aprīkojuma darbības principu apgūšanu un veidošanu.

Ergonomikas uzdevums ir darba procesa un darba vides piemērošana cilvēka psihiskajām un fiziskajām iespējām, lai nodrošinātu efektīvu darbu, kas neizraisa draudus cilvēka veselībai un kuru var viegli izpildīt.

Ergonomika palīdz risināt šādus sociālus jautājumus darbā un sadzīvē:

- drošību;
- veselību;
- dizainu;
- efektivitāti.

Attiecinot teoriju par ergonomiku uz LLU Tehniskās fakultātes (TF) iekšpagalmā izveidoto publisko uzlādes punktu, tika ievēroti visi četri ergonomikas sociālie aspekti, proti, drošība, veselība, dizains un efektivitāte. Taču pirmais, uz ko tika vērsta uzmanība, izveidojot uzlādes punktu TF iekšpagalmā, bija, lai tas ir vizuāli pamanāms un atpazīstams. Par to liecina uzstādītā identifikācijas zīme (skat. 2.16. un 2.17. att.), kas ir pamanāma, iebraucot fakultātes pagalmā.



2.16. att. Uzlādes punkta identifikācijas zīme



2.17. att. Uzlādes punkts (rāmītī) pie LLU TF, Jelgavā, J. Čakstes bulvārī 5

Izveidojot uzlādes punktu, ņemts vērā tas, ka uzlādēti tiks gan divriteņu elektrotransportlīdzekļi (elektrovelosipēdi, elektromopēdi, elektroskūteri, elektromotocikli), gan elektroautomobiļi.

Izveidots speciāls statīvs velosipēdiem (skat. 2.18. att.), lai to vadītājiem nebūtu jādomā par to, kur un kā novietot savus transportlīdzekļus. Arī elektroinstalācijas vads ir pietiekami garš, lai varētu pievienoties uzlādes punktam. Pirmie uzlādes mēģinājumi liecina, ka uzlādes punkti ir ērti piebraucami kā divriteņu, tā četrriteņu elektropēkriem.



2.18. att. Velosipēdu statīva izvietošana uzlādes punktā

No ergonomikas viedokļa svarīgi, lai uzlādes punkts būtu ērti aizsniadzams lietotājam. Šis noteikums ievērots, izvēloties uzlādes punkta kontaktligzdas novietojumu (skat. 2.19. att.).



2.19. att. Lēngaitas elektromobiļa kabeļa pieslēgšana uzlādes punktam

Elektrouzlādes punktā izmantotajiem elementiem svarīga ir elektroizolācija un elektrodrošība. Tiem ir jābūt izolētiem un hermētiski noslēgtiem, lai būtu drošība lietošanas laikā, kā arī pret apkārtējās vides iedarbību, t.i., lietu un sniegu. Visi elektriskie vadi ievietoti speciāli šim nolūkam paredzētās caurulēs, bet sadales skapji un kontaktligzdas ir speciāli paredzēti āra apstākļiem un ir droši pret mitrumu. Uzlādes punktā katra elementa izvietojumam ir jābūt pamatotam un lietotājam saprotamam.

Tāpēc elektropēkratu uzlādes punkts tiek aprīkots ar identifikācijas zīmi un katrs sadales skapis aprīkots tā, lai to var atpazīt un nepārprotami būtu skaidrs, kādam mērķim tas ir paredzēts:

- uz sadales skapja, kas paredzēts divriteņu elektropēkratu uzlādei, attēloti divriteņu elektropēkrati ar simbolizējošu kontaktdakšu un „+” un „-” zīmēm, kas norāda, ka tajā plūst strāva (skat. 2.20. att.);
- uz skapja, kas paredzēts elektroautomobiļu uzlādei, attēlots simbolizējošs automobilis ar kontaktdakšu izpūtēja vietā, kas norāda, ka tur paredzēts pieslēgt elektroautomobiļus uzlādēšanai un zibens zīme, kas norāda, ka skapis pieslēgts strāvai (skat. 2.21. att.).



2.20. att. Sadales skapis divriteņu elektropēkratu uzlādei



2.21. att. Sadales skapis elektroautomobiļu uzlādei

Uzlādes punktu infrastruktūras pilnveidošana Latvijā

LR Ministru kabineta noteikumu projekts „Klimata pārmaiņu finanšu instrumenta finansēto projektu atklāta konkursa „Siltumnīcefekta gāzu emisijas samazināšana transporta sektorā - atbalsts elektromobiļu un to uzlādes infrastruktūras ieviešanai” nolikums” sekmēs ar elektrību darbināmu automobiļu ienākšanu Latvijā. Tas pamatā paredz trīs veidu atbalstu:

- elektromobiļu iegādei (tai skaitā fiziskām personām);
- elektromobiļu ātrās uzlādes tīkla veidošanai;
- šīs sistēmas savienojamības veidošanai ar citu valstu līdzīgām sistēmām.

Viens no projekta uzdevumiem ir auto elektrouzlādes punktu tīkla izveide, lai šādi automobiļi varētu veikt ceļu no Tallinas līdz Viļņai. Videi draudzīgu sabiedrisko transportu turpina attīstīt Rīgas, Daugavpils, Liepājas un citu pilsētu pašvaldības. Galvaspilsētā galvenos virzienus iezīmē „Rīgas pilsētas ilgtspējīgas enerģētikas rīcības plāns”, kurā viena no sadaļām ir veltīta sabiedriskā transporta attīstības perspektīvām.

Elektrotransporta perspektīvās publiskās uzlādes punktu atrašanās vietas Latvijā parādītas 2.22. attēlā.



2.22. att. Perspektīvo publiskās uzlādes punktu atrašanās vietas Latvijā

Uzlādes punkti būs Rīgā (12), Daugavpilī (3), Jelgavā (2), Jūrmalā (2), Liepājā (3), Rēzeknē (2), Tukumā (2), Valmierā (2), Ventspilī (2), Aizkrauklē (1) Aizputē (1) Alūksnē (1) Bauskā (1), Cēsīs (1), Gulbenē (1) Jēkabpilī (1), Krāslavā (1), Kuldīgā (1) Limbažos (1), Madonā (1), Ogrē (1), Preiļos (1) Salacgrīvā (1), Saulkrastos (1), Saldū (1) Siguldā (1) Talsos (1), Valgā (1).

Elektrouzlādes punktu norādes zīmes dažādās valstīs

Autostāvvietā ar uzlādes punktu ir skaidri jāmarķē, lai norādītu, ka citi auto lietotāji nevar to izmantot. Pašlaik katrā valstī elektrouzlādes punktus norāda ar atšķirīgām zīmēm (skat. 2.23. - 2.32. att.).



2.23. att. Zīme Holandē



2.24. att. Zīme Anglijā



2.25. att. Zīme Bogotā, Kolumbija



2.26. att. Zīme San-Francisko



2.27. att. Uzlādes punkts ASV



2.28. att. Uzlādes punkts Štutgartē



2.29. att. Uzlādes punkts Austrālijā



2.30. att. Uzlādes punkts Gruzijā



2.31. att. Zīme Oregonā, ASV



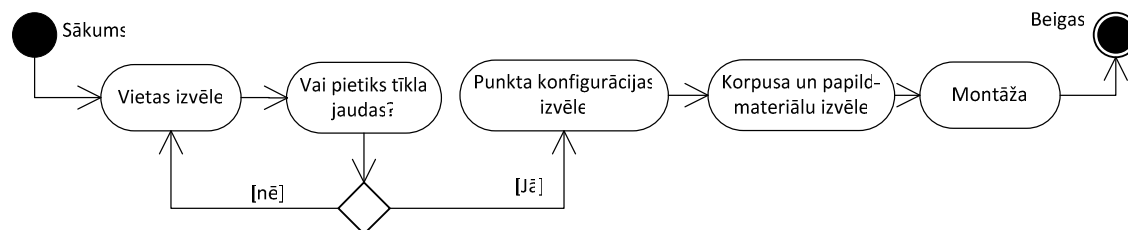
2.32. att. Zīme Kalifornijā, ASV

Latvijas ražotāju ieguldījums elektrotransporta uzlādes punktu infrastruktūras attīstībā

Sākot ar 2012. gadu, *SIA Energolukss* ir papildinājis preču sortimentu ar elektroautomobiļu uzlādes stacijām. *Energolukss* piedāvātās elektroautomobiļu uzlādes stacijas piegādās jau ilgstošs uzņēmuma partneris - *Delta*, kas klientiem vairāk pazīstams ar taisngriežu iekārtām, kas jau ir produkcijas klāstā. Jaunās uzlādes stacijas ir paredzētas gan uzstādīšanai pie privātmājām, gan publiskās vietās. Publiski uzstādāmās uzlādes stacijas aprīkotas ar atsevišķiem patērētās elektroenerģijas skaitītājiem, maksājumu karšu lasītājiem, LCD displejiem un citām iespējām klientu ērtību uzlabošanai. Apzinoties, ka šobrīd elektromobiļu uzlāde Latvijā nav izplatīta, *Energolukss* lūkojas nākotnē, kad arī Latvijā gan vides saglabāšanas, gan ekonomijas nolūkos aizvien vairāk tiks izmantots elektrotransporta.

2.3. Ātrās uzlādes punkti

Pasaulē ir daudz un dažādu veidu elektrospēkratu uzlādes punktu. Šie punkti ir ar dažādām konfigurācijām, kuras ir atkarīgas no uzlādes jaudām, lietotāja saskarnēm, kā arī no rozešu konfigurācijām. Šobrīd uzlādes staciju izveide ir nepārtrauktā attīstības stadijā, un nav noteikti vienoti standarti to izbūvei. Tāpēc pareizāk būtu izmantot standarta uzlādes pieslēgumu elektrospēkratu uzlādei. Lai varētu izveidot drošu uzlādes pieslēgumu, uzlādes punkta izveidei var izmantot algoritmu, kas attēlots 2.33. attēlā.

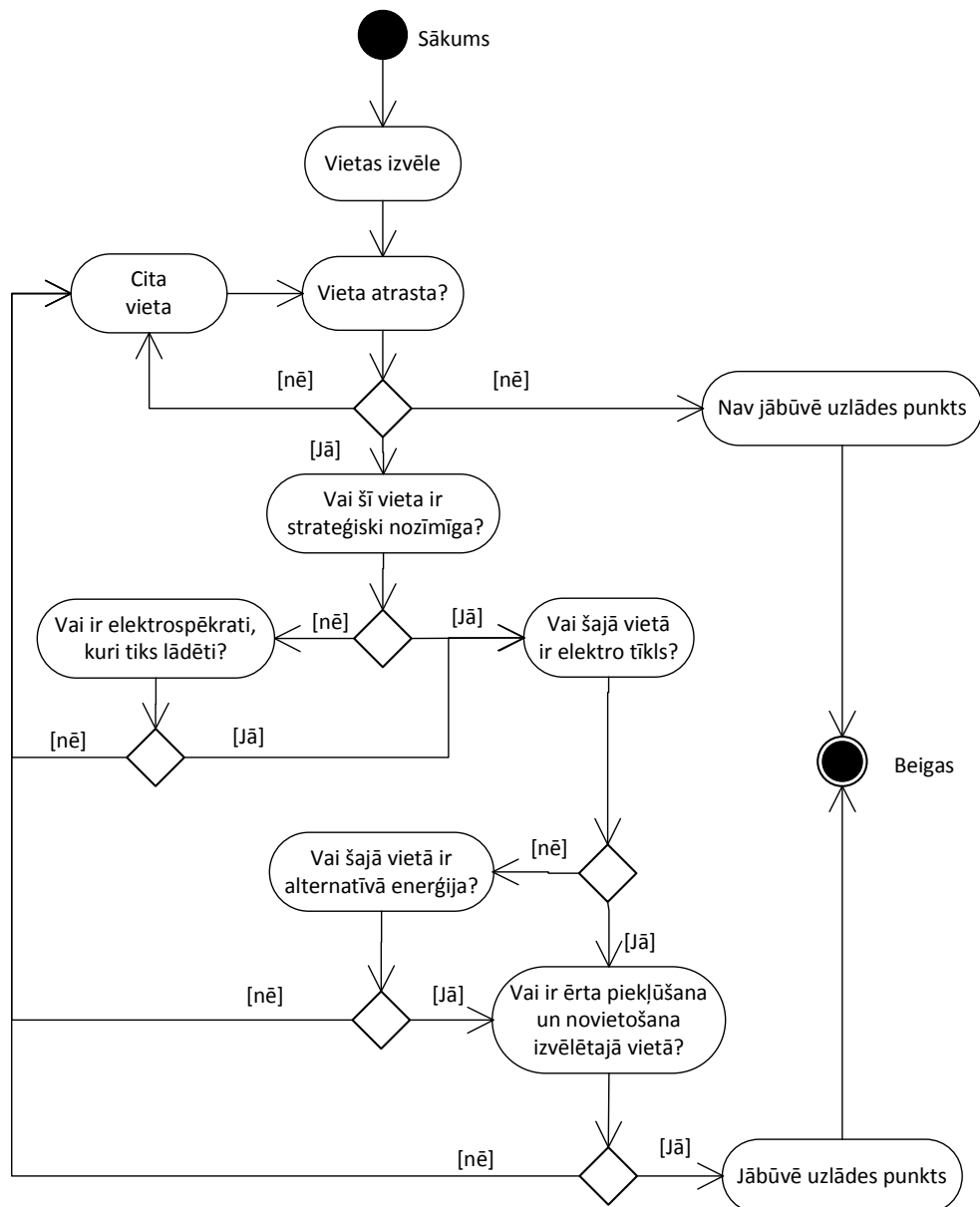


2.33. att. Elektrospēkratu uzlādes punkta izveidošanas algoritms

Vietas izvēle

Ja tiek veidots uzlādes punkts privātajām vajadzībām, šādu uzlādes punktu var novietot pēc iespējas ērtākajā un izdevīgākajā vietā, tuvāk esošajam elektrosadales punktam (respektīvi, elektroskapim). Bet, ja šis

pieslēguma punkts tiks izmantots kā publiskais uzlādes punkts, tad vietu var izvēlēties pēc algoritma, kas parādīts 2.34. attēlā.

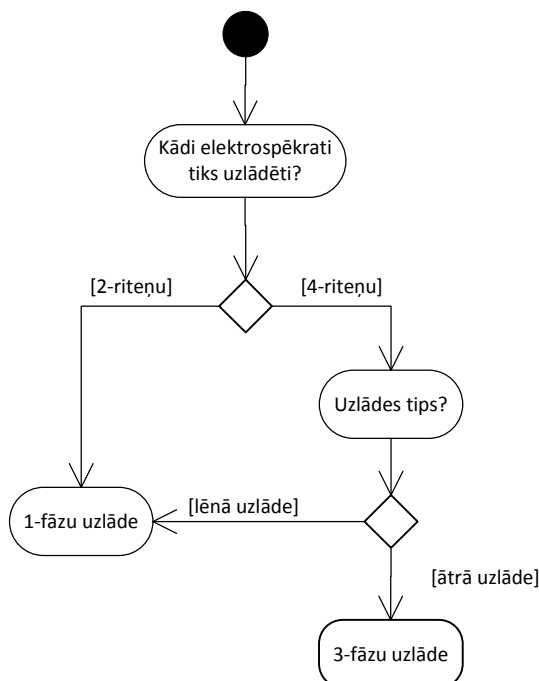


2.34. att. Publiskā uzlādes punkta vietas izvēles algoritms

Kad atrašanās vieta izvēlēta, jāapzinās, cik vidēji diennaktī varētu tikt lādēti elektrospekrati, un jāaprēķina, vai atmaksāsies uzstādīt izvēlētajā vietā uzlādes punktu. Parasti, ja tā ir stratēģiski nozīmīga vieta, kur elektrospekrata īpašniekam varētu būt gala mērķis, piemēram, tirdzniecības centri, autostāvietas, slimnīcas, benzīntanki, dzelzceļa stacijas u.tml., tad, pieaugot elektrospekratu popularitātei, uzlādes punkts varētu atmaksāties. Tālāk jāpievērš uzmanība, vai tuvumā ir pieejams elektrotīkls ar nepieciešamo tīkla spriegumu un jaudu, lai varētu spēkratus uzlādēt. Ja tomēr elektrotīkls nav pieejams, tad var aplūkot alternatīvās elektroenerģijas ieguves veidus. Lai piesaistītu pēc iespējas vairāk elektrospekratus, jābūt ērtai un drošai piekļuvei pie uzlādes punkta ne tikai elektroautomobiļiem, bet jāizveido arī elektrovelosipēdiem un elektromopēdiem atbilstoša un droša stāvvietā.

Uzlādes režīma izvēle

Uzlādes punkta izveidē ir jāņem vērā, kādus elektropēkratus uzlādēs un ar kādiem režīmiem. No tā ir atkarīgs elektropieslēguma veids uzlādes stacijai. Vienkāršākais algoritms elektropieslēguma izvēlei ir parādīts 2.35. attēlā.



2.35. att. Lādēšanas režīma izvēle atkarībā no transportlīdzekļa veida

Pēc šī algoritma var spriest, cik fāzu pieslēgums nepieciešams. Ja tiks lādēti mazas jaudas elektropēkrati, piemēram, divriteņi, tad pilnībā pietiek ar vienfāzu tīklu. Ja uzlādes punkts tiks izmantots lielākas jaudas elektropēkratu uzlādei, tad ir jāpievērš uzmanība, kāds uzlādes tips tiks izmantots - lēnā vai ātrā uzlāde.

Elektrotīkla pieslēgumu var izvēlēties arī pēc parametriem, kas doti 2.1. tabulā.

2.1. tabula. Elektrotīkla pieslēguma izvēle pēc jaudas lieluma

Jauda	Līnijas pieslēgums	N, kW	I, A
Maza jauda	AC 1-fāze	≤ 3.7 kW	10 - 16 A
Vidēja jauda	AC 1 vai 3 fāzes	3.7 - 22 kW	16 - 32 A
Augsta jauda	AC 3-fāzes	>22 kW	>32 A
Augsta jauda	DC pieslēgums	>22 kW	>32 A

Atkarībā no tā, kādas jaudas tiks izmantotas, ir nepieciešams izvēlēties vadus, kuri tiks izvietoti no elektrosadales punkta līdz uzlādes punktam, kā arī montāžas vadus. Tos izvēlas pēc šķērsriezuma laukuma, kā arī pēc dielektriskās vadu izolācijas un dzīslu skaita.

Ja tiek izmantota viena fāze, tad pietiek ar trīs dzīslu kabeli - viens vads paredzēts nullei, otrs fāzei, trešais sazemejumam. Trīs fāzu pieslēgumam

izmanto piecu dzīslu kabeli: nulle, sazemējums, un katrai fāzei atsevišķs vads. Izolācijai jābūt paredzētai 400 V spriegumam.

Kabeļu tipu izvēlas pēc to novietojuma - āra, telpu vai zemē rokamo kabeli. Kabeļus var izvēlēties arī pēc konstrukcijas - viendzīslu un daudzdzīslu. Viendzīslu kabeli izmanto stacionāros posmos, bet daudzdzīslu kabeli izmanto kustīgo savienojumu posmos, piemēram, no spēkratu lādēšanas bloka līdz uzlādes rozetei. Būtiskākais kabeļu izvēlē ir kabeļu vadu šķērsriezums (atkarībā no vadāmās strāvas stipruma).

Strāvas stipruma un kabeļu vadu diametra sakarība dota 2.2. tabulā.

2.2. tabula. Strāvas stipruma un kabeļu vadu diametru sakarības

Kabeļa vada diametrs d, mm	0.798	0.977	1.128	1.382	1.784	2.257	2.764	3.568
Kabeļa vada šķērsriezums, mm ²	0.5	0.75	1.0	1.5	2.5	4.0	6.0	10.0
Maksimālā strāva, A	3.0	7.6	10.4	13.5	18.3	25.0	32.0	-

Uzlādes režīmi (modes)

Eiropā tiek izmantoti trīs infrastruktūras pamatveidi:

- uzlāde no vienfāzu tīkla (220 V) ar uzlādes strāvu līdz 16 A un akumulatoru uzlādes laiku 6 - 8 h;
- ātrā uzlāde no trīsfāzu tīkla (380 - 400 V) ar uzlādes laiku līdz 30 min un akumulatoru uzlādes pakāpi līdz 80%;
- akumulatoru maiņas punkti, kuros maiņas funkcijas veic robots 1 - 3 minūšu laikā.

ASV uzlādes stacijas iedala 3 līmeņos:

- 120 V maiņspriegums, līdz 20 A, kas atbilst standarta mājas elektroinstalācijai (līdz 4 kW uzlādes jauda);
- 240 V maiņspriegums, līdz 40 A paātrinātai litija akumulatoru uzlādei (līdz 10 kW uzlādes jauda);
- līdz 600 V maiņspriegums, līdz 40 A paātrinātai litija akumulatoru uzlādei ar ārējo lādētāju (līdz 240 kW uzlādes jauda).

IEC ir pasaulē atzīta elektrotehnikas un elektronikas standartu izstrādātāja un ar šiem standartiem saistīto pakalpojumu sniedzēja. IEC 61851 standartā aprakstīti elektrisko spēkratu uzlādes režīmi, spraudņi, staciju uzbūve utt.

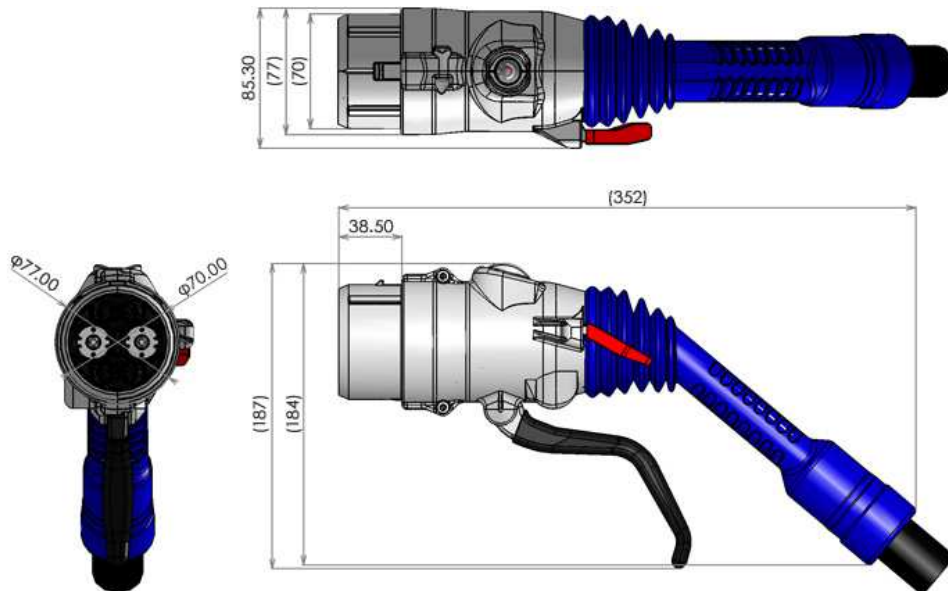
Mode 1: Elektroautomobiļa (EV) uzlādes aprīkojuma (*electric vehicle supply equipment - EVSE*) savienojums ar maiņstrāvas elektrisko tīklu, izmantojot standarta vienfāzes kontaktligzdu 16 A strāvas stiprumam un spriegumu līdz 250 V vai - trīsfāzu kontaktligzdu 3×16 A ar spriegumu līdz 480 V, ar īsslēguma un zemes slēguma aizsardzības automātiku. Uzlādes iekārta ir automobilī (uzlādes laiks - līdz 10 stundām).

Mode 2: EVSE izmantota standartizēta vienfāzes kontaktligzda 32 A strāvas stiprumam un spriegumu līdz 250 V un trīsfāzu kontaktligzda 3×32 A

ar spriegumu līdz 480 V. EVSE ir jābūt īsslēguma un zemesslēguma aizsardzības automātiem, apvienojumā ar aizsardzību pret elektriskās strāvas triecienu (strāvas diferenciālā aizsardzība), kas darbojas posmā no EV elektrības rozetes līdz uzlādes vadības pultij. Uzlādes vadības blokam EV ir jāatrodas ne tālāk kā 0.3 m no kontaktdakšas. Uzlādes iekārta ir automobilī.

Mode 3: EV savienojums ar maiņstrāvas elektrisko tīklu, kur EVSE vadības iekārta veidota stacionāri savienota ar barojošo elektrisko tīklu. Uzlādes iekārta ir automobilī (aptuveni 6 stundās uzlāde 100 km noskrējienam). Obligāti tiek uzstādītas drošības sistēmas pret īssavienojumu vai strāvas noplūdēm.

Mode 4: EV savienojums ar maiņstrāvas elektrisko tīklu no stacionāri izbūvēta un vadāma lādētāja, kas pastāvīgi savienots ar piegādātāja elektrisko tīklu. Uzlādes iekārta nav automobilī (līdzstrāvas DC uzlāde). Transportlīdzeklim jābūt ar CHAdeMO (skat. 2.36. att.) saderīgu ātrās uzlādes savienojuma spraudni (Connector on the side ..., S.a.).



2.36. att. CHAdeMO spraudnis

Uzlādes jauda var sasniegt 50 kW (30 minūšu uzlādes pietiek līdz 100 km noskrējienam). CHAdeMO spraudnim ir datu apmaiņas savienojums, jo uzlādes stacijai ir jāsaņem informācija par bateriju kopējo spriegumu vai uzlādes pakāpi. Obligāti tiek uzstādītas drošības sistēmas pret īssavienojumu vai strāvas noplūdēm.

Mode 3 un Mode 4 lādētājiem ir ne tikai nodrošināta ātrā uzlāde, bet arī dažādas papildus funkcijas:

- transportlīdzekļa identifikācija un uzlādes režīma izvēle;
- uzlādes apmaksa;
- uzlādes laika izvēle (uzlādes naktī var būt lētāka, atkarībā no pieslēguma);
- elektroenerģijas uzkrāšana;
- pieslēguma normalizēšana (sprieguma pīķu filtrēšana, nepietiekams spriegums utt.).

Tehnisko iespēju pētījumi pieslēgšanās, uzlādes mezgla izveidei

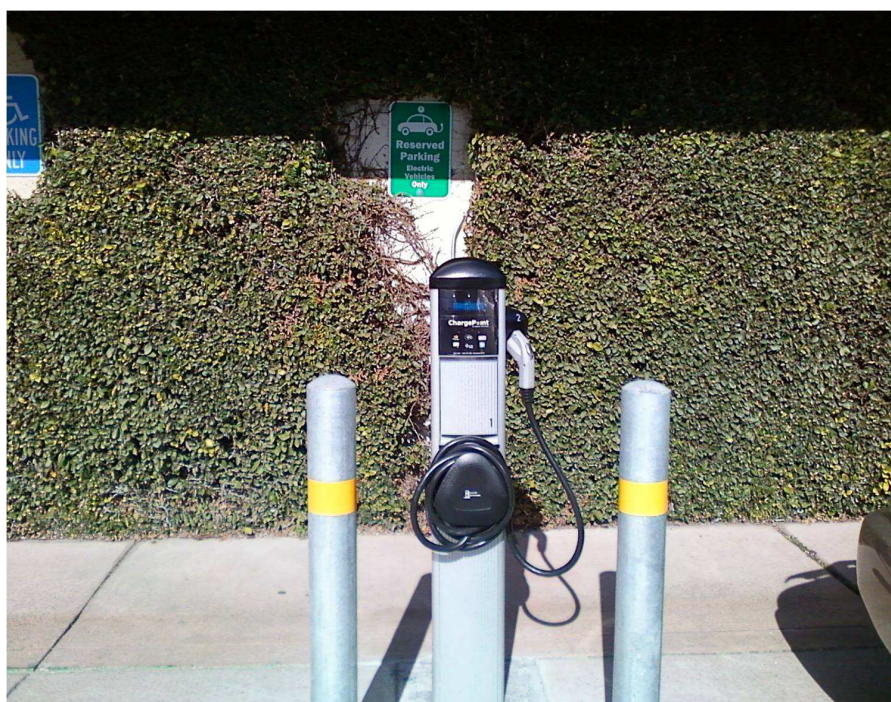
ASV ir sastopami trīs elektrospēkratu uzlādes ierīču veidi un, līdz ar to, ir pieejami trīs līmeņu, t.i., pirmā, otrā un trešā līmeņa pieslēgšanās/uzlādes mezgli (skat. 2.3. tab.).

2.3. tabula. Uzlādes līmeņu raksturojums ASV

Uzlādes līmenis	Spriegums U, V	Strāvas stiprums I, A
1. līmenis	120, maiņstrāva	12 - 16
2. līmenis	208/240, maiņstrāva	12 - 80
3. līmenis	300 - 600, līdzstrāva	400

Pirmā līmeņa uzlādes ierīce ir iebūvēta spēkratos, otrā līmeņa uzlādes ierīces ir stacionāras, bet komerciālās uzlādes ierīces ir otrā vai trešā līmeņa.

2. uzlādes līmenis paredzēts 240 V lielam maiņstrāvas spriegumam. 2. līmeņa uzlāde var būt pat divas reizes ātrāka nekā 1. līmeņa uzlāde, t.i., 2 - 6 stundas. Šā veida uzlādi izmantot publiskās vietās, piemēram, tirdzniecības centros, lidostās u.tml. (skat. 2.37. att.).



2.37. att. 2. līmeņa uzlādes stacija ASV

3. uzlādes līmenis ir paredzēts 480 V lielam līdzstrāvas spriegumam un ir daudz ātrāks par pārējiem uzlādes veidiem. Šis uzlādes veids var tikt izmantots šoseju malā, kā arī mājās, ja spēkratus nepieciešams uzlādēt īsā laikā, piemēram, pusdienu pārtraukumā (skat. 2.38. att.) (Blink charging station, S.a.). Uzlādes ātrums var būt atkarīgs no transportlīdzekļa veida - 16 A strāvas pieslēgums elektrovēlspējam nodrošinās ātro uzlādi, bet elektroautomobilim - tikai „normālo”. Elektroenerģijas standartpieslēguma strāvas stiprums var atšķirties, piemēram, Šveicē tas ir 10 A, Lielbritānijā 13 A, bet vienfāzes pieslēgums Francijā var sasniegt pat 80 A.



2.38. att. *Mitsubishi i-MiEV 3.* līmeņa līdzstrāvas lādēšanas stacija ASV

Ir automobiļi, kas ir pielāgoti visiem 3 uzlādes režīmiem, piemēram, *Nissan Leaf*. Zem tā uzlādes ligzdu vāka (skat. 2.39. att.) atrodas divi konektori - pa labi atrodas konektors, kuru izmanto gan 1., gan 2. līmeņa uzlādes režīmiem, bet pa kreisi - līdzstrāvas ātrās uzlādes ligzda (*Nissan Working on New Battery ...*, S.a.).



2.39. att. *Nissan Leaf* uzlādes konektori

Ātrās uzlādes punkti izmanto elektrības pieslēgumus, kas nav pieejami mājāsaimniecībām, un tie var būt gan līdzstrāvas, gan maiņstrāvas. Maiņstrāvas lādētāji pārsvarā ir iebūvēti automobilī un izmanto inverteru. Tiem nepieciešams tikai vads un uzlādes stacijas rozete. Līdzstrāvas lādētāji parasti ir stacionāri un krietni dārgāki. Ātrās uzlādes jauda var sasniegt 250 kW, kas ļautu akumulatorus uzlādēt 10 minūtēs, bet tam ir arī trūkumi (Pistoia, 2010):

- ļoti dārga infrastruktūra;
- zagšanas iespējamība, jo lielas jaudas pārvados izmanto varu;
- augstas izmaksas šādam elektrības pieslēgumam;
- akumulatori netiek pilnībā uzlādēti, nepieciešams ilgs uzlādes laiks ar mazu spriegumu, lai to izdarītu. Tā kā akumulators sastāv no atsevišķiem virknē savienotiem elementiem, uzlādes procesā ne visi elementi tiek slogoti vienādi, kas nozīmē, ka dažas sekcijas būs uzlādējušās ātrāk, bet pārējās - nepilnīgi uzlādētas.

Ātrās uzlādes punkti ļautu paplašināt elektromobiļa nobraukuma un tā uzlādes laika robežas.

2012. gada 18. jūnijā Igaunijā, Tallinas centrā atklāts pirmais ātrās uzlādes punkts Baltijā. Kopumā ABB izbūvēs 200 (skat. 2.40. att.) līdzstrāvas uzlādes staciju *Terra 51* tīklu Igaunijā, izveidojot pasaulē pirmo ātrās uzlādes infrastruktūru valstiskā mērogā. Pirmos 5 mēnešus stacija darbosies bez maksas, bet pēc tam tiks ieviesta mēneša maksa 10 eiro vai vienas uzlādes maksa - 3 eiro (ABB, KredEx un Igaunijas Ekonomikas lietu ministrija ..., B.g.).



2.40. att. Ātrās uzlādes staciju izvietojums Igaunijā

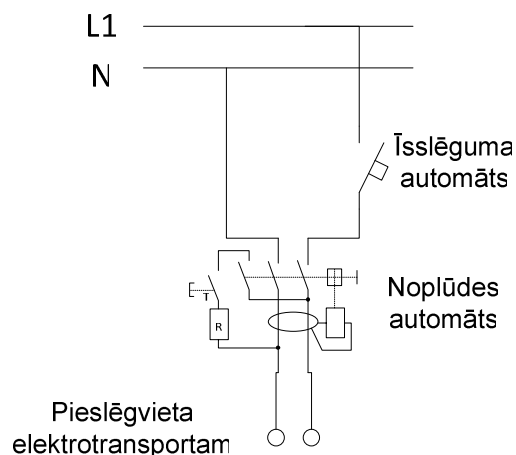
ASV pirmo publisko ātrās uzlādēšanas staciju atklāja 2010. gada 10. augustā Portlendā (skat. 2.41. att.). Šajā stacijā uzlādes jauda sasniedz 50 kW (50 - 500 V, 0 - 125 A), AC 200 V \pm 30 V un ir aprīkota ar *CHAdemo* spraudni (America's first public-use quick-charge station ..., S.a.).



2.41. att. Ātrās uzlādes stacija Portlendā

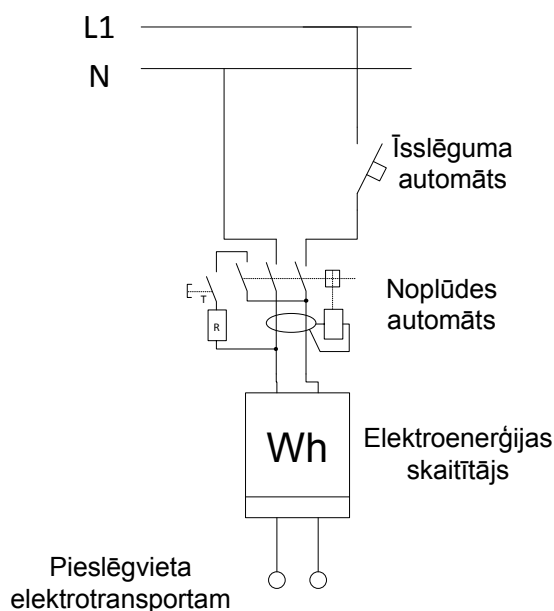
Uzlādes punkta konfigurācija

Uzlādes punktus var izstrādāt dažādus gan pēc fiziskās konstrukcijas, gan pēc elektrisko slēgumu konfigurācijas. Minimāla uzlādes punkta konfigurācija, kas būtu nepieciešama, lai varētu uzlādēt vienu elektrotransporta vienību parādīta 2.42. attēlā.



2.42. att. Minimāla uzlādes punkta konfigurācija

Šī konfigurācija sastāv no fāzu aizsardzības automāta, kas pasargā no īsslēgumiem, noplūdes automāta, kas nodrošina aizsardzību pret noplūdes strāvām un pieslēgvietas elektropēkratu lādētājam. Šāda veida slēguma elektriskā shēma nodrošina pieeju elektrotīklam bez patērētās enerģijas uzskaites. Ja nepieciešams uzskaitīt patērēto enerģiju ir nepieciešams elektroenerģijas skaitītājs (skat. 2.43. att.), kas uzskaitīs summāro patērēto elektroenerģiju.



2.43. att. Minimāla uzlādes punkta konfigurācija ar skaitītāju

Ja nepieciešams veikt precīzu patērētās elektroenerģijas uzskaiti, tad ir jāuzstāda uzskaites sistēma.

Korpusu izvēle

Pieejami daudz un dažāda veida uzlādes punktu korpusi. Pārsvārā tie tiek klasificēti pēc korpusa tipa un montāžas veida - pie sienas uzstādāmie, uz horizontāla pamata montējamie, kā arī pielāgoti montāžai pie vertikālas caurules (skat. 2.44. att.).



2.44. att. Uzlādes punktu korpusi

Var arī veidot vienkāršu sadales kārbas korpusu, kurā tiek iemontēta standarta pieslēguma rozete.

2.4. Akumulatoru apmaiņas sistēmas

Sērijveidā ražoto elektrisko automobiļu nobraukums ar vienu uzlādi vidēji sasniedz 140 - 160 km. Salīdzinot ar līdzīgas klases automobiļiem ar iekšdedzes motoru, tas rada lietošanas ierobežojumus. Atšķirībā no degvielas tvertnes uzpildes, pat ātrā bateriju uzlāde aizņem vismaz 20 minūtes. Pašreizējā tirgus situācijā tādi nosacījumi nostāda elektriskos automobiļos neizdevīgā situācijā.

Viens no iespējamajiem risinājumiem ir veikt izlādētās elektriskās jaudas baterijas nomaiņu pret uzlādētu. Bateriju nomaiņa ir ierasta prakse noliktavu saimniecībā, ekspluatējot elektriskos iekrāvējus.

Elektrisko iekrāvēju bateriju apmaiņas sistēmas

Mūsdienu elektrisko iekrāvēju baterijas parasti ir divu veidu: svina - skābes vai dzelzs - niķeļa. Mēģinājumi ieviest modernas konstrukcijas slēgta tipa baterijas līdz šim nav bijuši veiksmīgi. Modernajām želejas, AGM un citu veidu industriālajām baterijām bija pārāk augstas sākotnējās izmaksas un pārāk īss kalpošanas laiks.

Tā piemēram, pēc bateriju ražotāja *GP Batteries* sniegtās informācijas, augsti noslogotas modernas konstrukcijas industriālās baterijas kalpošanas laiks ir vidēji trīs gadi, bet līdzīgas jaudas un noslodzes klasiskās uzbūves svina - skābes baterijai - septiņi gadi (Frequently Asked Questions ..., 2008).

Lai nodrošinātu nepārtrauktu darbu, izlādētās baterijas ir jānomaina pret uzlādētām. Ņemot vērā ievērojamo svaru un izmērus, ir nepieciešama īpaša infrastruktūra bateriju drošai nomaiņai, apkopei, uzglabāšanai un lādēšanai. Nepastāv stingri industriāli standarti, kas noteiktu iekrāvēju un bateriju konstrukciju un izmērus. Vēlamo bateriju apkalpošanas infrastruktūras konfigurāciju nosaka gan apkalpojamo agregātu uzbūve, gan pastāvošie

vietējie drošības standarti, gan spēkratu parka apjoms un noslodze. Neliela uzņēmuma iekrāvēju parka apkalpošanai var izmantot mobilo bateriju nomaiņas iekārtu, kas parādīta 2.45. attēlā (EnerSys Battery ..., 2012).



2.45. att. Mobila bateriju apmaiņas iekārta

2.46. attēlā parādītā iekārta apvieno bateriju apmaiņu, glabāšanu un uzlādi. Ar tāda veida iekārtu var veikt līdz 100 bateriju apmaiņas operācijas diennaktī. Lai optimālāk izmantotu uzņēmuma telpas, bateriju glabāšanas un uzlādes plauktus var izvietot vairākos līmeņos (skat. 2.47. att.). Elektrisko iekrāvēju bateriju apmaiņas sistēma ir paredzēta lietošanai slēgtā, ierobežotas piekļuves zonā, piemēram, noliktavā, ražotnē un raktuvēs (Battery Handling Systems, S.a.).



2.46. att. Kompakta bateriju apmaiņas iekārta



2.47. att. Daudzlīmeņu bateriju apmaiņas iekārta

Lielos uzņēmumos var izveidot īpašas bateriju apkalpošanas telpas (skat. 2.48. att.), kurās pastāvīgi tiek veikta bateriju apkope, mazgāšana un uzlāde. Šādā specializētā telpā var izveidot nepieciešamos darba un drošības apstākļus, nodarbināt īpaši apmācītus darbiniekus, tādējādi palielinot bateriju kalpošanas laiku un samazinot risku, kas saistīts ar bateriju apmaiņu. Intensīvi izmantojot svina - skābes baterijas, tām regulāri jāpārbauda un jāpapildina elektrolīta līmenis (EnerSys Battery ..., 2012).



2.48. att. Bateriju apmaiņas nodaļa

Darbs ar elektrolītu rada augstu darba traumu risku. Darba vieta jāaprīko ar īpašu dušu un acu mazgāšanas iekārtu, kurā jāizmanto skābi neitralizējošs šķidrums. Bateriju lielais svars (līdz pat vienai tonnai) rada īpašu apdraudējumu. Tradicionālas konstrukcijas elektrisko iekrāvēju bateriju apmaiņa notiek izmantojot piekļuves lūku iekrāvēja sānos. Ērtākai baterijas izņemšanai un ielikšanai nodalījuma grīdu var aprīkot ar īpašiem ruļļiem. Alternatīvs risinājums ir bateriju apmaiņa ar piekļuvi no augšas. Tādā gadījumā bateriju apmaiņas stendu aprīko ar celtņi, kā parādīts 2.49. attēlā (EnerSys Battery ..., 2012).



2.49. att. Bateriju apmaiņas stends ar celtņi

Elektromobiļu bateriju apmaiņas stacija

Publiski pieejamas infrastruktūras izveide izvirza atšķirīgus uzdevumus. Lai praktiski realizētu šādu risinājumu, ir nepieciešams piemērotas konstrukcijas automobiļu parks, bateriju nomainas un uzlādes infrastruktūra, kā arī finansēšanas un apmaksas sistēma. Tas ir sarežģīts uzdevums, un viens no pirmajiem uzņēmumiem pasaulē, kas piedāvā publiski pieejamu bateriju nomainas pakalpojumu ir Izraēlas - ASV uzņēmums *Better Place*. 2008. gada 21. janvārī autoražotājs *Renault-Nissan* un *Better Place* parakstīja nodomu protokolu par elektromobiļu tirdzniecības modeļa un uzlādes infrastruktūras izveidi (*Renault-Nissan Press Information, S.a.*). Izmēģinot ieviešamo sistēmu, 2010. gadā Tokijā, Japānā, tika uzstādīta bateriju nomainas stacija, kurā tika apkalpoti taksometru operatora *Nihon Kotsu* trīs taksometri, par elektromobiļiem pārbūvēti *Nissan Dualis*. Eiropā šis automobiļu modelis ir pazīstams ar *Qashqai* nosaukumu. Viena no bateriju apmaiņas stacijām Japānā ir parādīta 2.50. attēlā (*Better Place Opens ...*, 2010; *Better Place swaps ...*, 2010; Yamamoto, 2010).



2.50. att. *Nissan Dualis* pie bateriju apmaiņas stacijas

Better Place pārstāvji savās publiskajās uzstāšanās reizēs izvirza apgalvojumu, ka kompānijas ieviestajās bateriju nomainas stacijās būs iespēja apkalpot dažādu marku elektromobiļus, ja vien to bateriju nomainas paredzēts veikt no spēkratu apakšas. Pirmā valsts, kurā uzsākta pastāvīga bateriju apmaiņas staciju tīkla izveide, ir Izraēla. 2012. gada maijā valstī darbojās četras bateriju apmaiņas stacijas, kurās pakalpojumus var saņemt 140 pārdoto *Renault Fluence ZE* elektromobiļu lietotāji. Viena no bateriju apmaiņas stacijām ir parādīta 2.51. attēlā (*Charge spots network in Israel, S.a.*). Līdz 2012. gada beigām ekspluatācijā nodotas 15 bateriju apmaiņas stacijas. *Better Place* bateriju apmaiņas staciju galvenās iezīmes:

- staciju tīkls nodrošina pārvietošanos visas valsts teritorijā;
- pilnībā automātiska darbība;
- tūlītēja elektromobiļa enerģijas krājumu atjaunošana;
- baterijas apmaiņa 5 minūšu laikā;
- veidojas elektroenerģijas rezerves, kuras var atgriezt sadales tīklā;
- bateriju uzlādi var veikt tīkla noslodzei piemērotā laikā;
- tiek nodrošināts saudzējošs baterijas temperatūras režīms.



2.51. att. Bateriju apmaiņas stacija Izraēlā

Bateriju apmaiņas process ir lietotājam vienkāršs. Nepieciešamības gadījumā elektromobiļa navigācijas sistēma piedāvā apmeklēt piemērotu uzlādes staciju, kurā tobrīd ir pieejama uzlādēta nomaināma baterija. *Better Place* saviem klientiem piedāvā adaptētu navigācijas un komunikācijas sistēmu *Oscar*, ar kuras palīdzību tiek koordinēts maršruta plānošanas, bateriju rezervēšanas, apmaiņas un uzlādes process. Pirms iebraukšanas stacijā ir jāveic autorizācija, izmantojot viedkarti, kā parādīts 2.52. attēlā.



2.52. att. Lietotāja autorizācija

Elektromobiļa kustību stacijā vada automatizēta konveijera sistēma, kas informē vadītāju par nepieciešamajām darbībām ar paziņojumiem uz stacijā izvietotiem ekrāniem un elektromobiļa navigācijas displejā. Apmaiņas procesu uzsākot, elektromobiļa vadītāja darbības ir tikai iebraukšana stacijā un apstāšanās norādītajā vietā (skat. 2.53. att.). Baterijas apmaiņas laikā nav nepieciešamības izkāpt no transportlīdzekļa vai komunicēt ar *Better Place* darbiniekiem. Apmaiņas sistēma darbojas automātiskā režīmā, nav paredzēta operatora klātbūtne tādu standartoperāciju laikā, kā elektromobiļa iebraukšana, pārvietošana, baterijas apmaiņa, pārvietošana un uzlāde.



2.53. att. Bateriju apmaiņas stacijas iebrauktuve

Baterijas apmaiņas stacijā tiek pārvietotas, izmantojot automātisku konveijeru (skat. 2.54. att.) (*Europe's first battery switch station ...*, S.a).



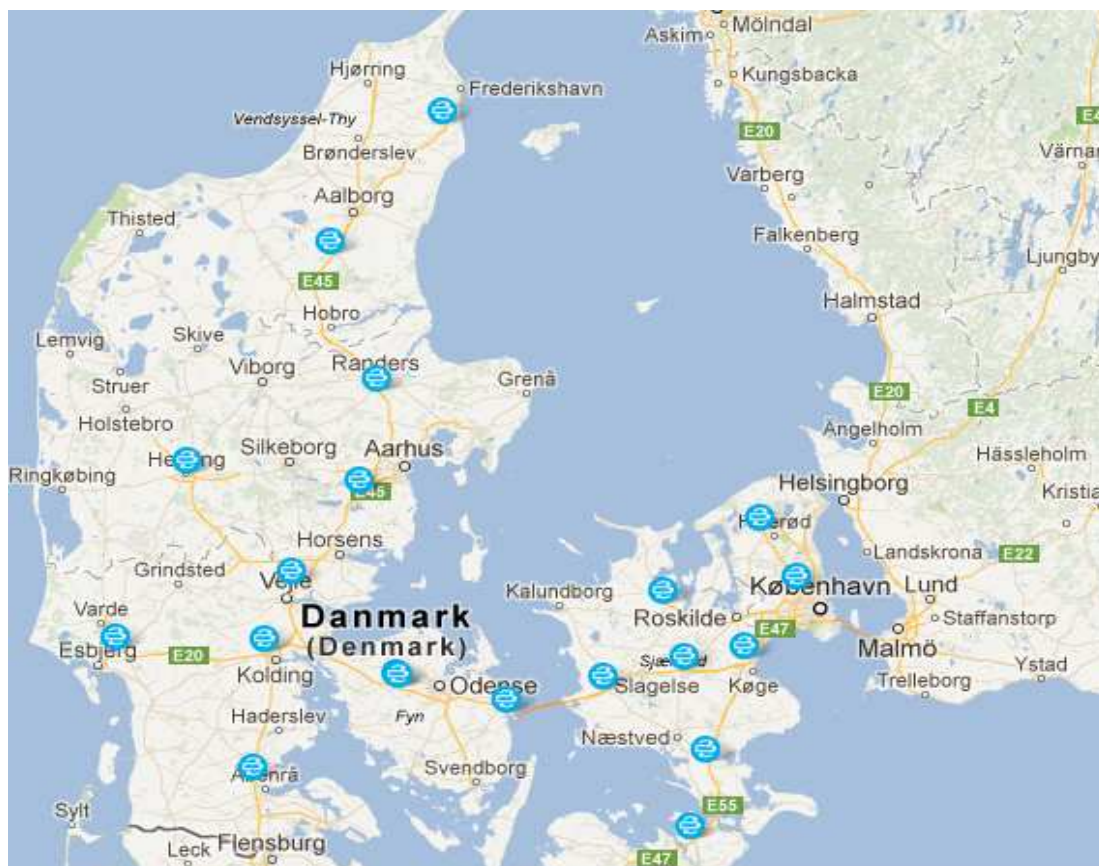
2.54. att. Bateriju apmaiņas stacijas konveijers

To uzlāde notiek īpaši piemērotos apstākļos, nodrošinot pietiekamu dzesēšanu. Tādējādi iespējams veikt bateriju uzlādi 30 līdz 60 minūšu laikā, neradot papildus bateriju resursa samazinājumu, kas rastos, veicot ātro uzlādi elektromobilī.

Pašreizējais apmaiņas staciju tīkls un attīstības plāns

Turpinot attīstību, *Better Place* ir izveidojis kopuzņēmumu ar Dānijas elektroenerģijas kompāniju *DONG Energy*. 2011. gada 28. jūnijā Gladsaksas pilsētā, Dānijā, *Better Place Denmark* svinīgi atklāja pirmo bateriju apmaiņas staciju.

2012. gadā atklātas 19 stacijas Dānijā (skat. 2.55. att.). Tādas valstis, kā Izraēla un Dānija, ir piemērotas šāda projekta realizācijai, jo nobraucamie attālumi nav lieli, ir pietiekami augsts labklājības līmenis. Dānijā ir spēcīgs valsts un sabiedrības atbalsts atjaunojamo energoresursu izmantošanai. Izraēlā liela nozīme tiek piešķirta centieniem mazināt atkarību no naftas un tās produktu importa. Kaut arī ar novēlošanos, nospraustie mērķi, kas pēc 2008. gadā publicētajiem preses paziņojumiem likās utopiski, faktiski ir sasniegti.



2.55. att. Uzbūvētās bateriju apmaiņas stacijas Dānijā

Kompānijas tālākie attīstības plāni ietver bateriju uzlādes un apmaiņas tīklu izveidošanu ASV, Austrālijā, Japānā un Ķīnas Tautas Republikā. 2010. gada 24. aprīlī *Better Place* un Ķīnas autoražotājs *Chery Automotive* parakstīja nodomu protokolu par bateriju uzlādes un apmaiņas sistēmu izveidi (*Better place & Chery ...*, S.a.).

Autoizstādē „AutoChina 2010” tika demonstrēts ar maināmu elektrisko bateriju aprīkots elektromobiļa prototips *BAIC C71 EV* (skat. 2.56. att.)



2.56. att. Prototips *BAIC C71 EV*

Bateriju apmaiņas staciju tīkla pārvaldība

Publiska bateriju apmaiņas staciju tīklā svarīga ir koordinēta sadarbība starp tīklu veidojošiem parametriem. Baterijas lietotājam ir jāpiedāvā optimāls braukšanas maršruts, pamatojoties uz esošo baterijas enerģijas rezervi, plānoto nobraucamo attālumu un ceļā pavadāmo laiku. Atkarībā no valstī izveidotās infrastruktūras attīstības līmeņa, var izrādīties, ka atsevišķi galamērķi ar izvēlēto elektromobili nav sasniedzami. Lietotājs ir jāinformē par baterijas uzlādes vai apmaiņas iespējām izvēlētajā maršrutā. Saņemot lietotāja apstiprinājumu, ir jāveic bateriju un apkalpošanas laika rezervēšana bateriju apmaiņas stacijās.

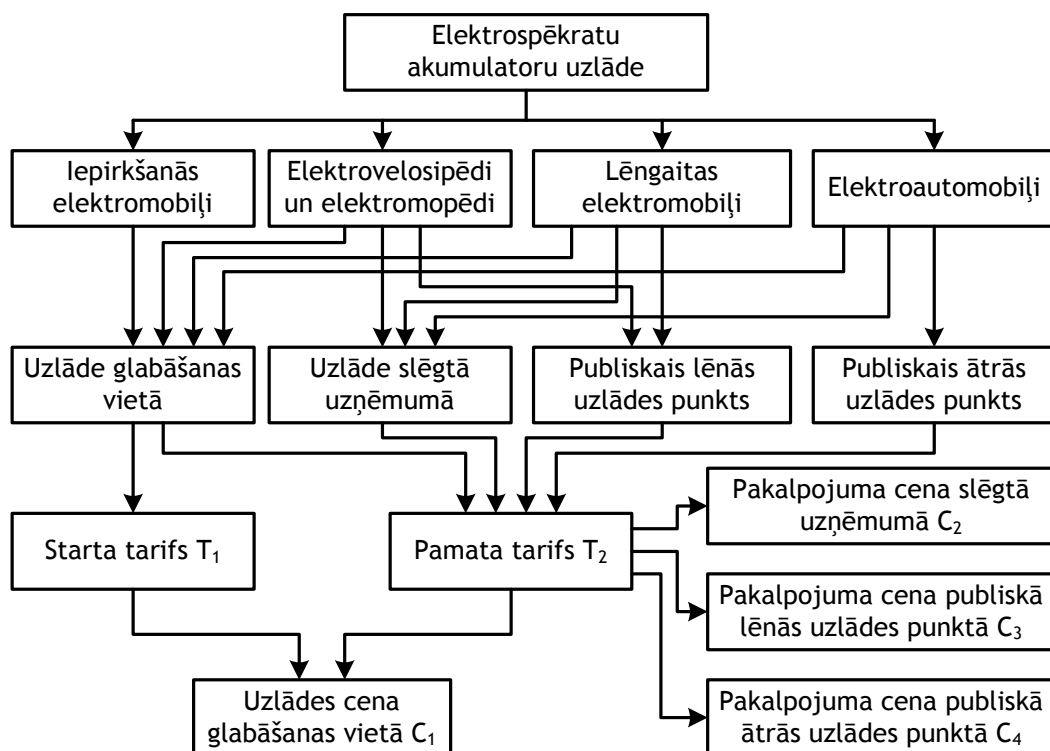
2.5. Uzlādes enerģijas izmaksas un norēķinu sistēmu varianti

Uzlādes enerģijas izmaksas veidojas no vairākiem faktoriem. Ievērtējot elektropēkratu uzlādei patērēto enerģijas daudzumu E (kWh), atbilstošo tarifu T_x (LVL), apkalpošanas izmaksas I_A (LVL), norēķinu sistēmas izmaksas I_O (LVL), nodokļus I_N (LVL), uzlādes punkta izbūves izmaksas I_{LP} (LVL) un uzlādes ciklu skaitu līdz uzlādes punkta iekārtu nomaiņai t , elektropēkratu uzlādes izmaksas I (LVL) var aprēķināt pēc sakarības:

$$I = T_x \cdot E + I_A + I_O + I_N + \frac{I_{LP}}{t}. \quad (2.1)$$

Elektropēkratu uzlādes iespējas dažādos uzlādes punktos un elektroenerģijas cenas veidošanās, uzlādējot dažāda veida elektrotransporta akumulatorus, parādītas 2.57. attēlā.

Uzlādes cena ir atkarīga no uzlādes punkta statusa. Lētākā elektrotransporta uzlāde ir glabāšanas vietās. Elektrotransporta attīstības veicināšanai dažos Latvijas uzlādes punktos uzlāde iespējama bez maksas. Tomēr šāda uzlādēšana ir orientēta vai nu uz īsu uzlādes periodu, piemēram, līdz 1 h, vai arī elektrotransportam, kura uzlādei nav nepieciešams liels elektroenerģijas daudzums, piemēram, elektrovēlosipēdiem.



2.57. att. Uzlādes cenas veidošanās

Uzlādes cena jebkurā gadījumā būs augstāka par elektroenerģijas tarifu. Parasti gan šajos gadījumos tiek pieņemts, ka cena C_1 (skat. 2.57. att.) tuvojas elektroenerģijas tarifam, tomēr šajā cenā ietilpst uzlādes punkta izbūves izmaksas, īpaši gadījumos, ja automobilis tiek glabāts vaļējās glabāšanas apstākļos un šī uzlādes vieta jāizbūvē speciāli elektromobilim. Šajā gadījumā vienkārša uzlādes punkta izbūve, ietverot elektrības kabeli un rozeti nepārsniedz 30 - 40 LVL, ieskaitot darbu, ja instalācija veikta paša spēkiem.

Elektroenerģijas tarifi

Atkarībā no valsts, kurā elektromobilis tiek ekspluatēts, uzlādes izmaksas ir atšķirīgas. Tās atkarīgas arī no elektroenerģijas tarifiem attiecīgajā valstī, pie kam elektroenerģijas tarifi pat ES valstīs var atšķirties daudz lielākā mērā nekā iekšdedzes motoru degvielu cenas. Latvijā elektroenerģijas pamata tarifs ir $0.1074 \text{ LVL kWh}^{-1}$ vai $0.1528 \text{ EUR kWh}^{-1}$. Šis tarifs ieņem 12. vietu starp Eiropas Savienības valstīm un ir lielāks nekā kaimiņu valstīs. Igaunijā tas ir $0.1141 \text{ EUR kWh}^{-1}$ un Lietuvā - $0.1309 \text{ EUR kWh}^{-1}$.

Ja intensīvi ekspluatē lieljaudas elektrotransportu ar vismaz 2 - 3 kW motoru, paredzams, ka starta tarifs tiks izsmelts jau pēc 3 - 4 mēnešiem, jo elektrotransporta uzlādei tiks patērēts 5 - 20 kWh elektroenerģijas dienā. Šīs izmaksas atkarīgas no elektrospēkratu izmantošanas intensitātes. Ekspluatējot elektromobili Latvijā, būtu izdevīgi pāriet uz T_3 tarifu, kas paredz abonēšanas maksu par šo tarifu 41.66 EUR gadā un maksu par ievadaizsardzības aparāta strāvas lielumu 1.68 LVL A^{-1} gadā. T_3 tarifs paredz, ka darba dienās no 23.00 līdz 7.00 elektrtoenerģijas starta tarifs ir $0.0993 \text{ EUR kWh}^{-1}$, bet pamata tarifs $0.1193 \text{ EUR kWh}^{-1}$, bet dienā no 7.00 līdz 23.00 attiecīgi starta tarifs ir $0.1220 \text{ EUR kWh}^{-1}$, bet pamata tarifs $0.1572 \text{ EUR kWh}^{-1}$ (Latvenergo elektorenerģijas tarifi, 2012)

Ņemot vērā, ka Vācijā 1 kWh izmaksas pārsniedz 0.25 EUR kWh⁻¹, bet Norvēģijā un Dānijā tuvojas 0.30 EUR kWh⁻¹, šajās valstīs elektromobiļu uzlādes izmaksas paaugstinās. Iepriekš analizētās elektroenerģijas izmaksas ir dotas, veicot uzlādi glabāšanas vietā.

Veicot uzlādi uzlādes punktos, elektroenerģijas izmaksas var būt augstākas, atkarībā no tā, kā to ir noteicis uzlādes punkta īpašnieks. Latvijā uz 25.10.2012. darbojas 9 uzlādes punkti, no kuriem sešos uzlādi var veikt bez maksas (Elektroautomobiļu un ..., 2012). Bez maksas uzlāde paredzēta elektrotransporta izmantošanas attīstībai, tomēr ar elektrospekratu skaita pieaugumu un līdz ar to, ar uzlādes pakalpojuma pieprasījuma pieaugumu, paredzams, ka uzlāde lielākajā daļā uzlādes punktu būs par maksu.

Cena $C_2 \geq C_1$, jo privātteritorijā veicot uzlādi transportam, kas nepieder uzņēmumam, cena parasti būs augstāka nekā vietējiem lietotājiem. Publiskās uzlādes vietās šī cena var būt vēl augstāka un spēkā būs sakarība $C_3 \geq C_2$. Sakarā ar ātrās uzlādes punktu izbūves paaugstinātajām izmaksām, šo punktu amortizācijas izdevumi jāiekļauj pakalpojuma cenā C_4 , līdz ar to, balstoties uz iepriekšējo analīzi, spēkā būs sakarība:

$$C_1 \leq C_2 \leq C_3 \leq C_4. \quad (2.2)$$

Iespējami speciāli gadījumi, kad cena var atšķirties, jo to nosaka arī uzlādes punkta ģeogrāfiskā atrašanās vieta, operatora (automātiskās vai manuālās uzskaites sistēmas esamība) atalgojums u.tml.

Elektrospekratu uzlādes izmaksu un iekšdedzes motoru spēkratu degvielas izmaksu aprēķina metodika

Elektrospekratu uzlādē nepieciešamās izmaksas atkarīgas no tā, kādā uzlādes punktā tas notiek. Latvijā uzlāde par maksu ir tikai trijos uzlādes punktos, pie tam, galvenokārt tiek uzlādēti elektrovelosipēdu akumulatori. Pēc provizoriskiem pētījumiem, par elektrovelosipēda akumulatora uzlādi prasa 0.05 LVL h⁻¹.

Tiešās uzlādes izmaksas I_U (LVL), ja neievērtē apkalpošanas, norēķinu sistēmas un nodokļu izmaksas, aprēķināmas pēc sakarības:

$$I_u = T_N \cdot E + \frac{I_{LP}}{t}, \quad (2.3)$$

kur T_N - tarifs attiecīgajā uzlādes punktā.

Ja uzlādes punktā netiek veikta elektroenerģijas uzskaitē, bet izmanto maksu par uzlādes ilgumu, tad spēkā ir sakarība:

$$I'_u = C_h \cdot t_L, \quad (2.4)$$

kur C_h - uzlādes cena, LVL h⁻¹;
 t_L - lādēšanai patērētais laiks, h.

Gadījumā, ja uzlādes strāva nepārsniedz 16 A, speciāls uzlādes punkts privātmājā nav jāizbūvē. Tad, izmantojot esošo rozeti, $I_{LP} = 0$ un $I_U = T_N \cdot E$.

Nosakot elektroenerģijas vai degvielas izmaksas uz konkrētu nobraukumu, elektrospekratiem izmanto elektroenerģijas patēriņu, W km⁻¹, bet iekšdedzes motoru spēkratiem - degvielas patēriņu, l km⁻¹.

lekšdedzes motoru spēkratu degvielas izmaksas I_d aprēķina pēc sakarības:

$$I_d = C_d \cdot Q, \quad (2.5)$$

kur C_d - degvielas cena, LVL;

Q - izmantotais degvielas daudzums, l.

Attiecinot uzlādes izmaksas pret nobraukto attālumu iegūst sakarību enerģijas (elektroenerģijas vai degvielas) izmaksām uz vienu km. Praksē biežāk izmanto rādītājus 100 km nobraukuma veikšanai.

Elektromobiļa 100 km nobraukuma izmaksas I_{IE} , ja izmanto elektroenerģijas uzskaiti, nosaka pēc sakarības:

$$I_{IE} = \frac{100 \cdot I_u}{l} = \frac{100 \cdot T_N \cdot E}{l} + \frac{100 \cdot I_{LP}}{t \cdot l}, \quad (2.6)$$

kur l - ar atbilstošo enerģijas daudzumu nobrauktais attālums, km.

Aprēķinot elektromobiļa 100 km nobraukuma izmaksas I'_{IE} , ja samaksu nosaka par uzlādes ilgumu, izmanto sakarību:

$$I'_{IE} = \frac{100 \cdot I'_u}{l} = \frac{100 \cdot C_h \cdot t_L}{l}. \quad (2.7)$$

lekšdedzes motoru spēkratiem degvielas izmaksas I_{IA} nosaka pēc sakarības:

$$I_{IA} = \frac{100 \cdot I_d}{l} = \frac{100 \cdot C_d \cdot Q}{l}. \quad (2.8)$$

Ja ir nepieciešamība noteikt enerģijas izmaksas uz 1 km nobraukumu, sakarībās (6), (7) un (8) koeficientu 100 neizmanto.

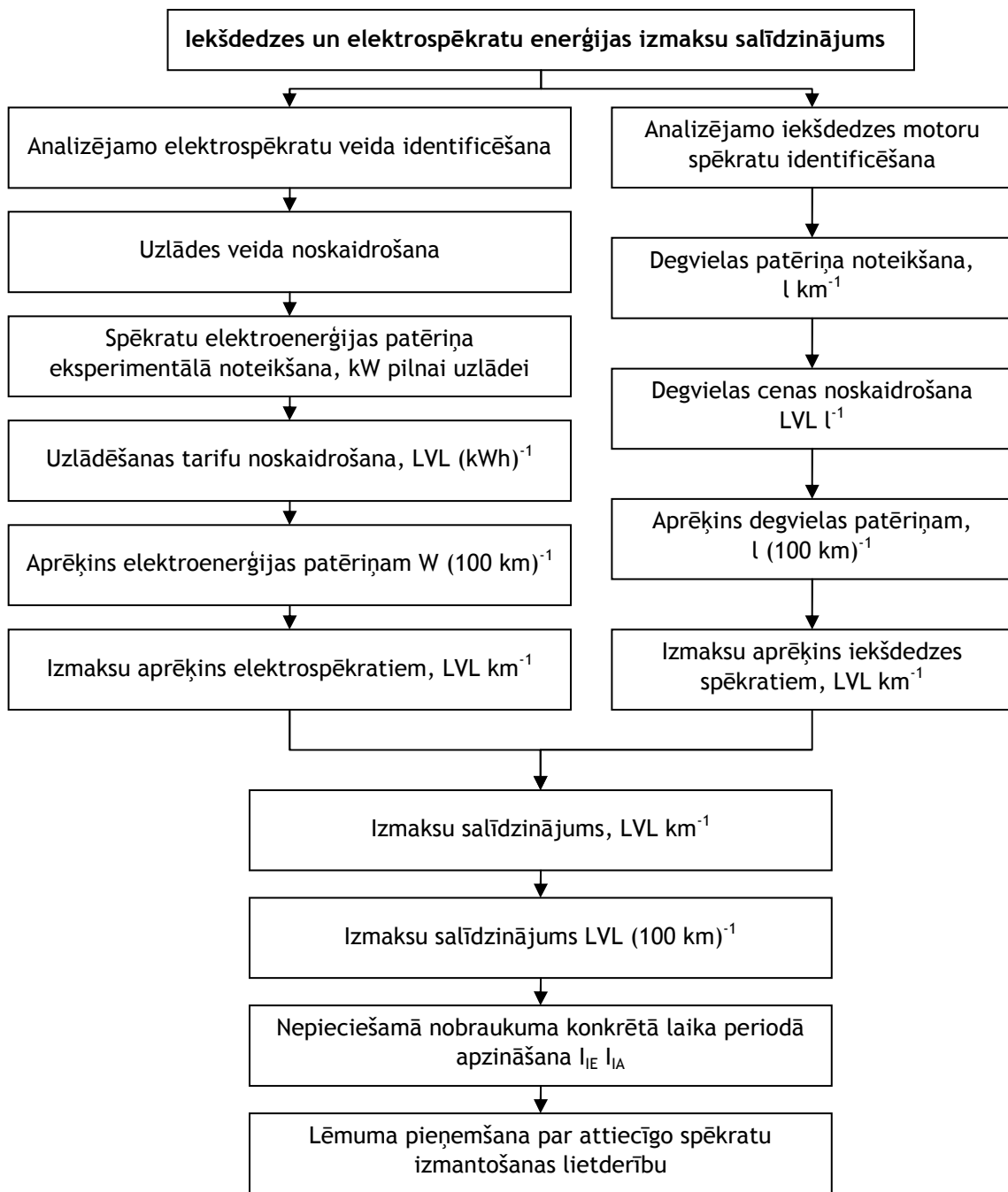
Spēkratu izmantotās enerģijas izmaksu noteikšanas algoritms parādīts 2.58. attēlā.

Dažādu grupu spēkratu ekspluatācijai patērētās elektroenerģijas izmaksas

Lai noteiktu faktisko enerģijas patēriņu elektrospekratu uzlādei, LLU Tehniskajā fakultātē veikti eksperimentālie pētījumi ar dažādiem spēkratiem. Braukšana pilsētas vai jauktajā kustības režīmā veikta līdz akumulatoru izlādei par 90 - 95%, nosakot nobraukto attālumu ar GPS datu uzkrājēju.

Eksperimenti veikti ar 5 dažādiem elektrovēlosipēdiem. To piedziņai izmantoti 180 W, 250 W un 500 W motori. Ar vēlosipēdiem ieturēts vidējais braukšanas ātrums 20 - 25 km h⁻¹ atkarībā no braukšanas apstākļiem. Pēc braukšanas testa veic akumulatoru uzlādi ar katram no elektrospekratiem paredzēto uzlādes ierīci. Visos testos izmantotās uzlādes ierīces atslēdzas automātiski, nodrošinot optimālo akumulatoru uzlādes laiku.

Paralēli veikti braukšanas un uzlādes testi arī ar lēngaitas elektromobili *Melex 963 DS* un elektroautomobili *Fiat Fiorino Elettrico HC-S*.



2.58. att. Spēkratu izmantotās enerģijas izmaksu noteikšanas algoritma blokhēma

Eksperimenti, kuros nosaka iekšdedzes spēkratu degvielas patēriņu, tiek veikti arī ar iekšdedzes motora elektromopēdu *YY50QT* un iekšdedzes motora automobili *Renault Clio* ar 1.2 l ottomotoru.

Ar mopēdu veic braukšanas līdzīgos apstākļos kā ar elektrovelosipēdiem, ieturot iespējamo augstāko kustības ātrumu $50 \pm 5 \text{ km h}^{-1}$.

Automobilim *Renault Clio* veic degvielas patēriņa testus uz veltnu stenda *Mustang 1750*, veicot IM-240 braukšanas ciklu.

Tā kā eksperimentu autoru rīcībā nav automobiļa *Fiat Fiorino* ar iekšdedzes motoru, šim automobilim degvielas patēriņš tiek ņemts no tehniskajiem datiem par Eiropas braukšanas kombinētajā ciklā patērēto degvielas daudzumu (*Fiat Fiorino Combi Car ...*, 2012).

Uzlādes laikā patērētās elektroenerģijas uzskaitēi izmantoti elektroenerģijas skaitītāji *ES-T9162*. Katram eksperimentam veikti pieci atkārtojumi. Eksperimentos fiksētie parametri elektrospēkratiem:

- elektrospēkratu nobraukums, km;
- uzlādes laikā patērētā elektroenerģija, kWh;
- maksimālā uzlādes jauda, W;
- uzlādes laiks, h.

Eksperimentos fiksētie parametri iekšdedzes spēkratiem:

- patērētais degvielas tilpums, ml;
- nobrauktais attālums, km;
- izejas parametrs - degvielas patēriņš, l (100 km)⁻¹.

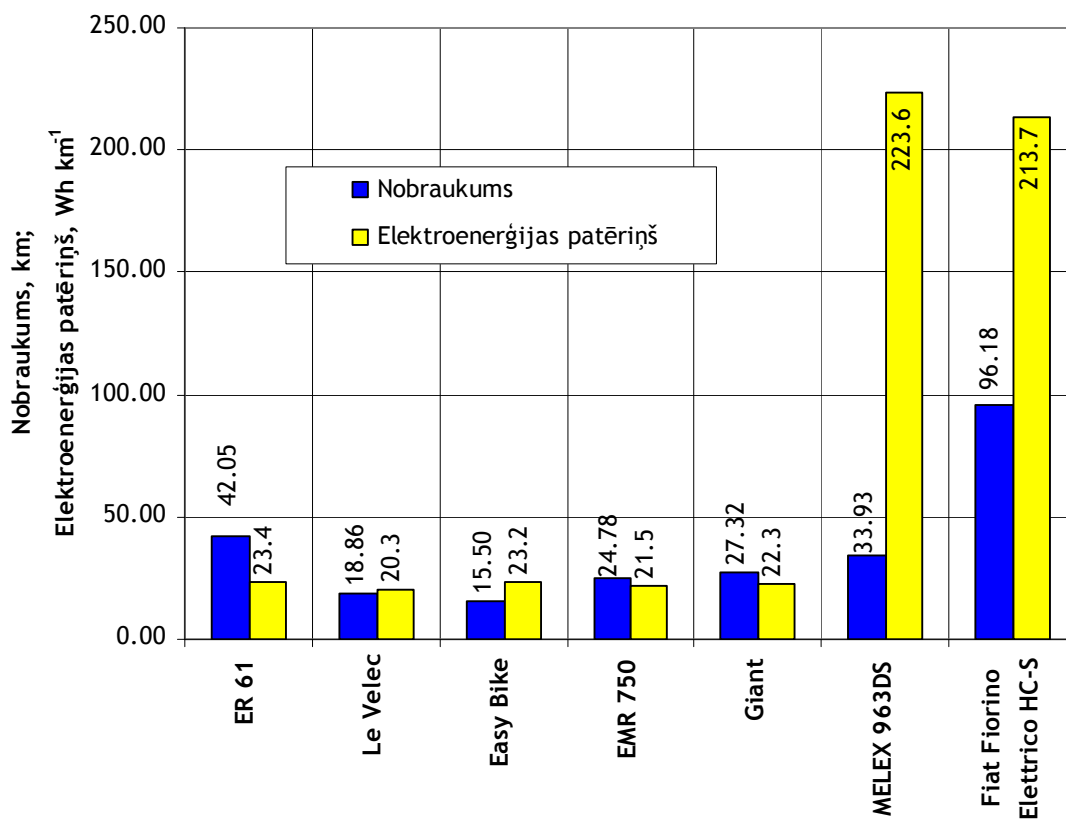
Eksperimentos iegūtās vidējās vērtības dažādām spēkratu grupām apkopotas 2.4. tabulā. Tabulā apkopotī dati gan no eksperimentiem ar elektrospēkratiem, gan arī paralēli veiktajiem iekšdedzes motoru spēkratu izmēģinājumiem.

2.4. tabula. Uzlādes eksperimentālie dati

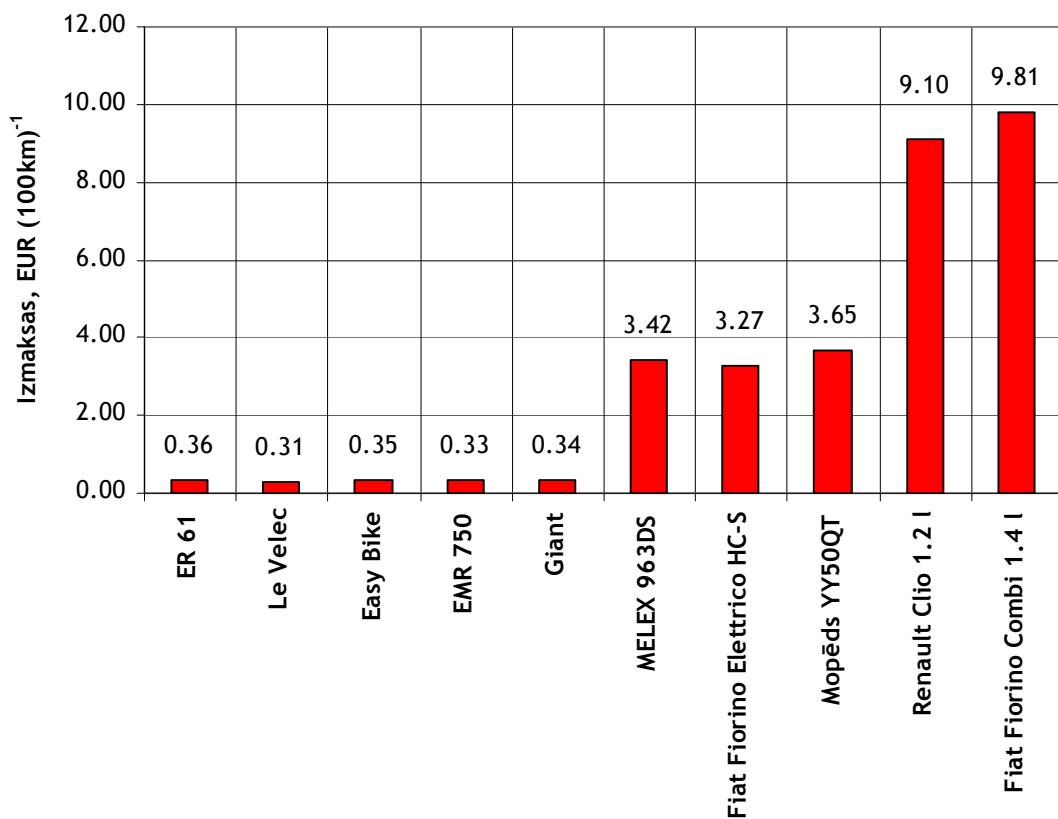
Nr.p.k.	Spēkratu veids, marka	Nobraukums ar pilnu uzlādi, km	Patērētā elektroenerģija, kWh	Elektroenerģijas patēriņš, Wh km ⁻¹	Enerģijas patēriņš, Wh (100km) ⁻¹ vai l (100km) ⁻¹	Izmaksas, EUR km ⁻¹	Izmaksas, EUR (100km) ⁻¹	Maksimālā uzlādes jauda, W	Uzlādes ilgums, h
1.	ER 61	42.05	0.99	23.45	2344.94	0.0036	0.36	115.3	7.5
2.	Le Velec	18.86	0.38	20.28	2028.10	0.0031	0.31	90.5	7.5
3.	Easy Bike	15.50	0.36	23.23	2322.58	0.0035	0.35	85.0	8.0
4.	EMR 750	24.78	0.53	21.47	2146.89	0.0033	0.33	63.8	7.4
5.	Giant	27.32	0.61	22.25	2225.48	0.0034	0.34	96.4	7.0
6.	MELEX 963DS	33.93	7.59	223.56	22356.48	0.0342	3.42	1855.8	7.8
7.	Fiat Fiorino Elettrico HC-S	96.18	20.55	213.68	21368.38	0.0327	3.27	2908.6	9.0
8.	Iekšdedzes mopēds YY50QT	-	-	-	2.57	0.0365	3.65	-	-
9.	Renault Clio 1.2 l	-	-	-	6.41	0.0910	9.10	-	-
10.	Fiat Fiorino Combi 1.4 l	-	-	-	6.90	0.0981	9.81	-	-

Elektrospēkratu nobraukuma un elektroenerģijas patēriņa grafiskais salīdzinājums atspoguļots 2.59. attēlā.

Pēc uzlādes laikā patērētā enerģijas daudzuma un nobrauktā attāluma veikts enerģijas izmaksu aprēķins 100 km nobraukumam (skat. 2.60. att.).



2.59. att. Elektropēkratu nobraukums un elektroenerģijas patēriņš



2.60. att. Spēkratu enerģijas izmaksas

Pēc 2.59. attēla datiem redzams, ka lielākais nobraukums no elektrovelosipēdiem - 42.05 km ir *ER 61*. Pārējo elektrovelosipēdu nobraukumi ir robežās no 18 līdz 27 km. Būtiski atšķirīgi ir elektroenerģijas patēriņa dati. Mazākais elektroenerģijas patēriņš - 20.3 Wh km⁻¹ ir elektrovelosipēdam *Le Velec*. Tas ir vienīgais elektrovelosipēds, kuram elektromotors tiek aktivizēts pēc tam, kad tiek mīti pedāļi. Līdz ar to nav iespējama kustības uzsākšana un inerciālo masu pārvarēšana tikai ar elektromotora palīdzību un enerģijas patēriņš ieskriešanās režīmā ir minimāls. Šī elektrovelosipēda koncepcija nodrošina vislētāko motorizētās pārvietošanās iespēju.

Lielākais elektroenerģijas patēriņš - 23.4 Wh km⁻¹ ir jaudīgākajam no eksperimentā izmantotajiem elektrovelosipēdiem (500 W motors) *ER 61*. *Meleks 963 DS* elektromobiļa elektroenerģijas patēriņš ir 223.6 Wh km⁻¹.

Mazākās izmantotās enerģijas izmaksas (skat. 2.60. att.) ir elektrovelosipēdiem un tās ir robežās no 0.31 līdz 0.36 EUR (100 km)⁻¹. Lielākās no elektrospekratiem ir elektromobiļu enerģijas izmaksas, bet tās eksperimentētajos režīmos nepārsniedz 3.50 EUR (100 km)⁻¹.

Interesants ir fakts, ka iekšdedzes mopēda patērētās enerģijas izmaksas - 3.65 EUR (100 km)⁻¹ ir augstākas nekā elektromobiļiem *Melex* un *Fiat Fiorino*.

Ar iekšdedzes motoru darbināma *Fiat Fiorino Combi* enerģijas izmaksas ir trīs reizes lielākas nekā analoga prototipa *Fiat Fiorino Elettrico* izmaksas - 9.81 EUR (100 km)⁻¹.

Šie pētījumi veikti, balstoties uz degvielas un elektroenerģijas cenām Latvijā 2012. gada februāra mēnesī. Citās valstīs šīs izmaksas un to attiecība var būt atšķirīga.

Esošā norēķinu sistēma Latvijā

Latvijā ir maz publisko uzlādes punktu, kur var veikt elektrospekratu uzlādi (skat. 2.5. tab.) (Elektroautomobiļu un divriteņu ..., 2012).

2.5. tabula. Publisko uzlādes punktu apkopojums uz 2012. gada aprīli Latvijā

Adrese	Maksa par stāvvietu	Maksa par uzlādi	Pieslēguma vietu skaits
Jomas iela 4, Jūrmala	Bezmaksas	Bezmaksas	4
Eksporta iela 3a, Rīga	Maksas	Maksas	1
Stacijas laukums 4, Rīga	Maksas	Bezmaksas	10
Z.A. Meierovica bulvāris 8, Rīga	Maksas	Bezmaksas	10
Elizabetes iela 55, Rīga	Maksas	Bezmaksas	5
Baznīcas iela 20/22, Rīga	Maksas	Bezmaksas	5
J. Čakstes bulvāris 5, Jelgava	Bezmaksas	Bezmaksas	4
Dzirnavu iela 67, Rīga	Maksas	Bezmaksas	2
Lielgabala iela 4, Rīga	Maksas	Bezmaksas	2

Kā redzams tabulā, lielākajā daļā publisko uzlādes punktu ir bezmaksas uzlādes iespēja, lai popularizētu bez izmešu un videi draudzīgāka transporta

izmantošanu, bet maksa tiek ņemta par elektropēkratu novietošanu pie šī uzlādes punkta. Šādu maksas politiku piekopi SIA „EuroPark Latvia” maksas autostāvvietu uzturētājs, kas balstās uz Somijā un Igaunijā gūto pieredzi šajā sfērā (Vairākās maksas autostāvvietās ..., 2011). Eksporta ielā 3a ir iespēja norēķināties ar specializētu maksājumu karti. Ar šo karti var norēķināties par patērēto elektroenerģiju arī citās valstīs, uzlādējot elektropēkratus. Var secināt, ka Latvijā uzlādes punktu atmaksas sistēma ir sākuma stadijā. Pieaugot elektrotransporta popularitātei Latvijā, šai jomai ir jāpievērš pastiprināta uzmanība.

Maksa par elektrotransporta uzlādi jeb maksa par pakalpojumu

Pakalpojuma maksu var veikt divējādi: ar priekšapmaksu un pēcapmaksu. Katram no šiem variantiem ir savas priekšrocības un trūkumi (Linkevičs, 2012).

Pirmais variants var būt ekvivalents tam, kā šobrīd tiek maksāts, novietojot automašīnu priekšapmaksas stāvvietā. Maksājot pirms uzlādes, ir šādi trūkumi:

- nav zināms, cik elektroenerģijas būs nepieciešams spēkratu uzlādē, līdz ar to priekšapmaksātās summas var pietrūkt;
- ja no samaksātās elektroenerģijas spēkratu uzlādē visa netiek iztērēta, nevar atdot atlikumu.

Kā vēl vienu priekšapmaksas veidu var minēt depozītu jeb vienreizēju iemaksu par uzlādes infrastruktūras izmantošanu. Šis veids ir vispiemērotākais Latvijas gadījumā, jo nav jāveic sarežģītas uzskaites, cik katrs klients ir patērējis elektroenerģiju. Tā ir konstanta maksa.

Viens no pēcapmaksas variantiem ir maksa par patērēto elektroenerģiju, kur netiek ierēķinātas citas izmaksas, kas saistītas ar infrastruktūras izveidi. Izmantojot šāda veida pieeju, pirms spēkratu uzlādes ir jāveic katra lietotāja identifikācija un patērētās elektroenerģijas uzskaitē.

Citā variantā maksā par patērēto elektroenerģiju, bet papildus pieskaita pakalpojuma maksu. Šī pakalpojuma maksa ietver sevī uzlādes punkta infrastruktūras izveidi un regulāro izdevumu segšanu. Pie regulārajām izmaksām, piemēram, var minēt sniega tīrīšanu ziemā pie uzlādes punkta.

Norēķināties par elektropēkratu uzlādi var vairākos veidos:

- apmaksājot rēķinu;
- maksājot ar īsziņu;
- skaidras naudas norēķinā;
- izmantojot bankas kartes;
- izmantojot specializētas priekšapmaksas vai pēcapmaksas kartes;
- ar „degvielas” kartēm.

2.6. Uzlādes kontroles sistēmas, kontrole no attāluma

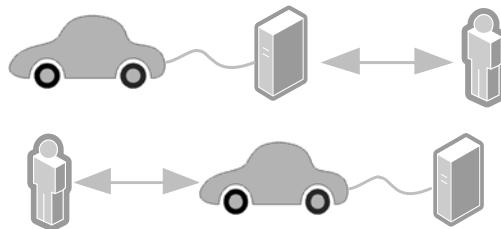
Elektrotransporta popularitāte pasaulē pieaug. To galvenokārt nosaka aizvien pieaugošās iedzīvotāju rūpes par apkārtējo vidi, energoekonomiju, kā arī pakāpeniski novērojama naftas produktu cenu kāpums. Daudzās Eiropas Savienības dalībvalstīs jau ir ieviesti finansiālie motivēšanas pasākumi, lai veicinātu iedzīvotāju interesi par elektrotransporta iegādi. Ir valstis, kurās

tiek strādāts pie elektrotransporta uzlādes un apmaiņas punktu tīklu izveides. Lai elektrotransporta kļūtu populārāks, ir nepieciešama piemērota infrastruktūras izveide. Maksimālais attālums, ko vidēji var nobraukt ar elektrotransportu, ir 100 km. Tāpēc, lai varētu nobraukt lielākus attālumus, ir nepieciešama pārdomāta elektrotransporta uzlādes punktu izvietošana un informāciju tehnoloģiju (IT) pielietošana šo punktu kontrolē.

Ir vairāki uzlādes kontroles un uzlādes saskarnes tipi, kurus var pielietot vai kuri tiek pielietoti elektrotransporta akumulatoru uzlādē. Tos var iedalīt divās grupās: tiešsaistes elektrotransporta uzlāde un elektrotransporta akumulatoru apmaiņa.

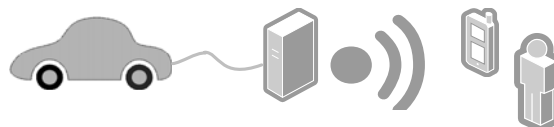
Tiešsaistes elektrotransporta uzlāde ir tā fizisks pieslēgums publiskajam elektrotīklam, izmantojot uzlādes punktu.

Vienkāršākais variants ir uzlādes pakāpes kontrole tieši uzlādes punktā vai elektrotransportā (skat. 2.61. att.).



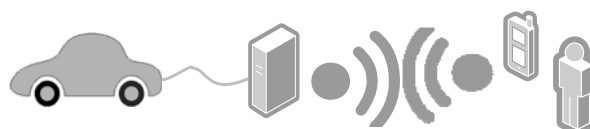
2.61. att. Uzlādes procesa vizuālās kontroles shēmas*

Šāda veida kontrole ir visdrošākā, jo tiek iegūta pārlicība par uzlādes procesa normālu darbību gan pēc uzlādes parametriem, gan vizuāli pārlicinoties, ka uzlāde notiek korekti. Kā trūkums šādam variantam ir patstāvīga vai periodiska klātbūtne procesa norises laikā. Papildinot minēto variantu, uzraudzību var veikt no attāluma, izmantojot GSM tīklu, un ar īsziņu palīdzību informēt lietotāju par uzlādes procesu (skat. 2.62. att.).



2.62. att. Bezvadu uzlādes procesa uzraudzība

Šis variants paredz vienvirziena informācijas iegūšanu no uzlādes procesa, bet, izmantojot abpusējo komunikāciju (caur GSM vai citiem bezvadu risinājumiem), ir iespēja panākt ne tikai uzraudzību, bet arī procesa vadīšanu (skat. 2.63. att.).

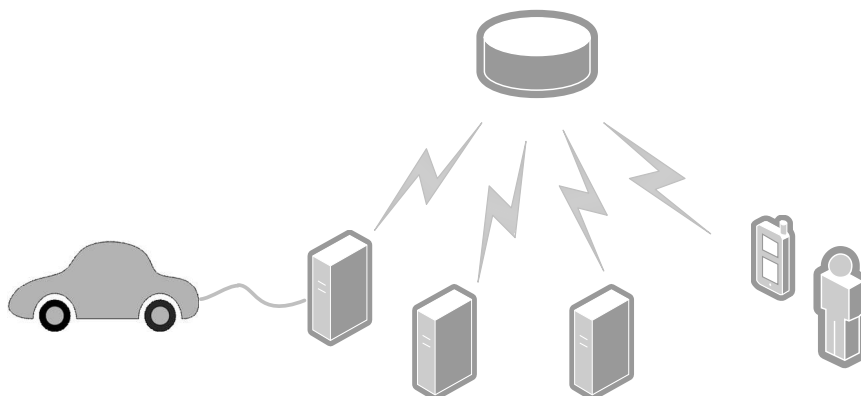


2.63. att. Bezvadu uzlādes procesa kontrole

* 2.61. - 2.72. attēlos izmantoto simbolu skaidrojums dots 1. pielikumā

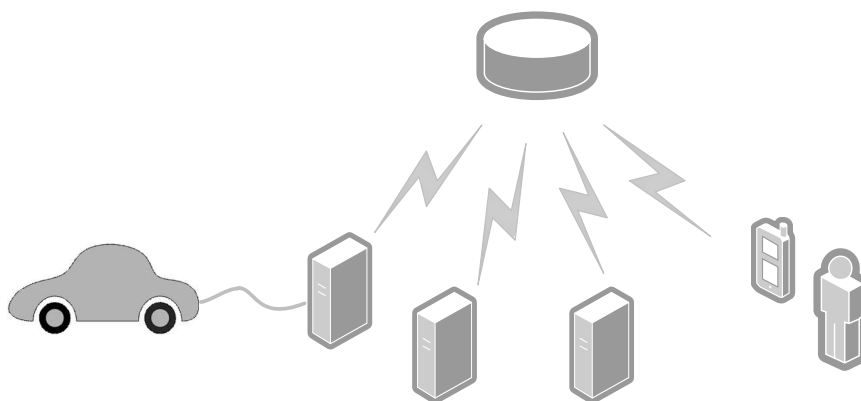
Visi iepriekšējie varianti ir tiešā saskarē ar uzlādes staciju vai elektrotransportu, kur nevajag pielietot sarežģītus tehnoloģiskos risinājumus. Katra uzlādes stacija darbojas autonomā režīmā un sazinās ar elektrotransporta lietotāju tieši uz vietas caur HMI (*Human Machine Interface*) vai caur vienkāršākiem bezvadu risinājumiem. Šādu uzlādes uzraudzības veidu var saukt par decentralizētu uzlādes punktu sistēmu.

Par centralizētajām uzlādes punktu sistēmām tās var dēvēt tad, ja uzlādes punkti ir saslēgti vienotā sistēmā (skat. 2.64. att.).



2.64. att. Centralizētā uzlādes punktu kontrole

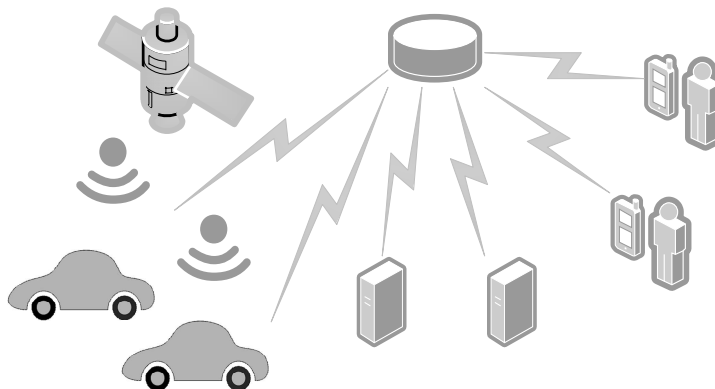
Ar šādas sistēmas palīdzību var ne tikai kontrolēt uzlādes procesu, bet iegūt informāciju no citiem uzlādes punktiem (iegūt statistiku, cenas, noslogojumu). Tiklīdz tiek pielietota centralizētas vadības sistēma, lietotājs var iegūt informāciju par uzlādes punktu, pirms ir uzsākta elektrotransporta uzlāde (skat. 2.65. att.).



2.65. att. Uzlādes punktu pieejamības kontrole

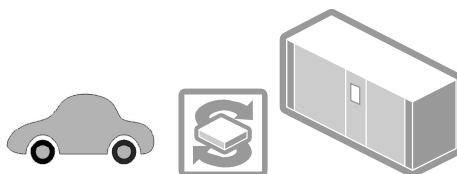
Sistēma dod informāciju ne tikai par uzlādes punktu noslogojumu un pieejamiem uzlādes tipiem, bet tiek uzraudzīti un glabāti arī telemetrijas dati no elektrotransporta, lai elektrotransporta lietotājs varētu centralizēti uzraudzīt transporta tehnisko stāvokli, piemēram, akumulatora ekspluatācijas ilgumu.

Iegūstot papildus informāciju par maršrutu un elektrotransporta atrašanās pozīciju, iespējams plānot uzlādes un veikt uzlādes punktu rezervēšanu (skat. 2.66. att.).



2.66. att. Uzlādes punktu un elektrotransporta kontrole

Elektrotransporta akumulatoru apmaiņa ir visātrākais no veidiem, kā maksimāli ātri iegūt nepieciešamo elektroenerģiju turpmākajam braucienam. Process parasti aizņem ne vairāk kā 5 minūtes, kur izņem izlādēto elektrotransporta akumulatoru bateriju un ievieto citu - uzlādētu (skat. 2.67. att.).

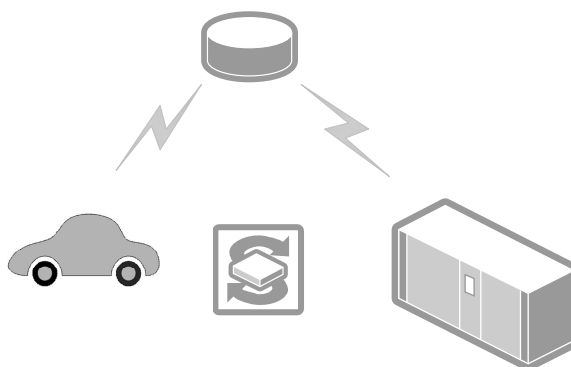


2.67. att. Elektrotransporta akumulatoru apmaiņas punkts

Līdzīgi kā tiešsaistes akumulatoru uzlādē, arī akumulatoru apmaiņā var izdalīt decentralizēto kontroles veidu (skat. 2.68. att.) un centralizēto apmaiņas punktu kontroles veidu (skat. 2.69. att.).



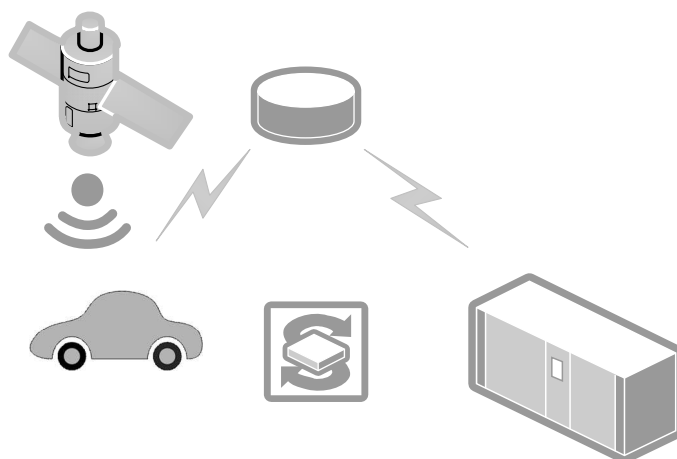
2.68. att. Elektrotransporta akumulatoru apmaiņas decentralizētais punkts



2.69. att. Akumulatoru apmaiņas centralizētais punkts

Izmantojot decentralizēto variantu, jau iepriekš jāzina, kurš apmaiņas punkts tiks izmantots.

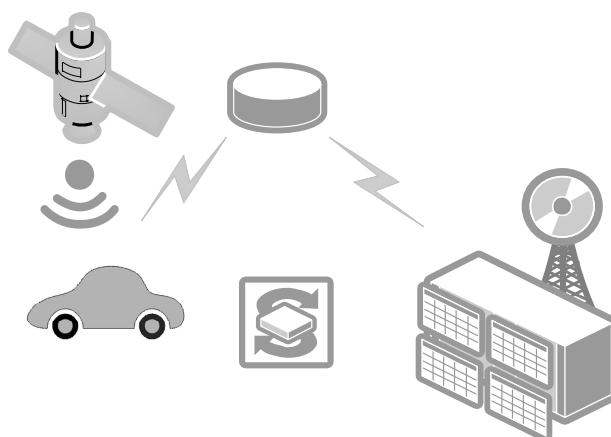
Centralizētajā variantā var iegūt informāciju par jebkuru sistēmā iesaistīto apmaiņas punktu. Plānojot maršrutus, var ierēķināt un rezervēt akumulatorus šajos punktos (skat. 2.70. att.), vai arī plānošanu veikt automātiski.



2.70. att. Elektrotransporta akumulatoru apmaiņas plānošana

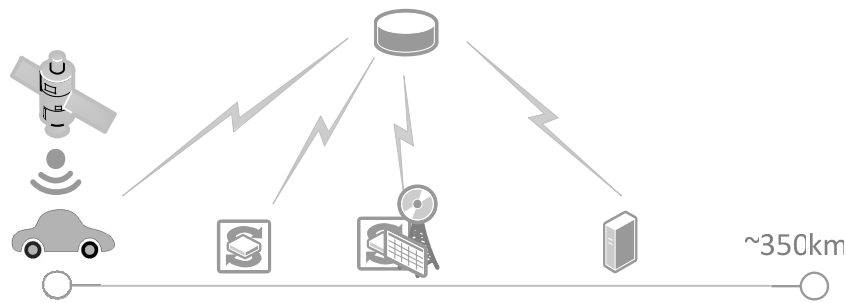
Būtiska loma akumulatoru apmaiņas plānošanā un kontrolē ir alternatīvās enerģijas ieguves stacijām. Šāda tipa stacijām nebūtu nepieciešams publiskā elektrotīkla pieslēgums un šīs stacijas var atrasties nomaļās vietās, kur nav pieejams publiskais elektrotīkls.

Alternatīvās enerģijas stacijām nebūtu vajadzības pēc rezerves akumulatoriem enerģijas uzkrāšanai, jo ar iegūto elektroenerģiju uzreiz var uzlādēt elektrotransporta akumulatorus (skat. 2.71. att.).



2.71. att. Alternatīvās enerģijas elektrotransporta akumulatoru apmaiņas punkts

Tiklīdz alternatīvās enerģijas stacijā tiek uzlādēts kāds akumulators, sistēma automātiski piedāvā to kādam elektrotransporta lietotājam apmaiņai. 2.72. attēlā dotajā piemērā plānots aptuveni 350 km maršruts ar elektroautomobili, kas ar vienu uzlādi var nobraukt tikai 90 km.



2.72. att. Piemērs elektrotransporta uzlādei, lai nobrauktu nepieciešamo attālumu

Ievadot maršrutu, uzlādes kontroles sistēmā automātiski tiek aprēķināti attālumi un, uzsākot braukšanu, uzlādes un apmaiņas punktos tiek rezervēti akumulatori.

2.7. Uzlādes punktu parametri, kabeļi un izstrādātās konstrukcijas

Ir vairāki elektropēkratu uzlādes punktu veidi (skat. 2.1. nodaļu). Galvenie parametri, pēc kuriem tiek izdarīts iedalījums no lietošanas viedokļa, ir uzlādes punktu novietojums, uzlādes jauda, elektriskā pieslēguma fiziskais izpildījums. Elektropēkratu uzlādes punktus raksturo:

- uzlādes punkta elektriskie parametri (strāvas veids, sprieguma, strāvas un jaudas pieļaujamās vērtības);
- pieslēguma fiziskā konfigurācija (savienojums, dakšas);
- elektriskā un elektromagnētiskā drošība;
- papildus funkcionālie bloki.

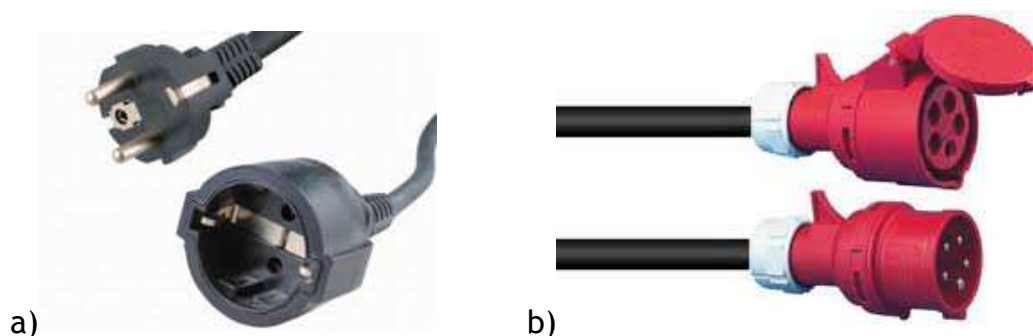
Lai nodrošinātu savstarpējo savietojamību dažādās valstīs ražotajiem elektropēkratiem un to aprīkojumam, tajā skaitā arī uzlādes infrastruktūrai, ir izstrādāta virkne starptautisko standartu, pie kuriem strādā Starptautiskā elektrotehniskā komisija (IEC) (IEC releases final draft standards ..., 2011). IEC ir vadošā organizācija pasaulē, kas izstrādā un publicē standartus saistībā ar plašu elektrotehnisku sistēmu un iekārtu klāstu, elektroenerģijas ģenerēšanas iekārtas, elektroenerģijas pārvadi un sadali, atjaunojamo resursu iekārtām, mājsaimniecības elektroiekārtām, elektropēkratiem u.c. IEC standarti apraksta un apkopo ne tikai lielo izstrādāto uzlādes veidu, metožu un paņēmienu skaitu elektropēkratu - uzlādes punkta sasaistē, bet arī tehniskos risinājumus un pieslēguma veidus reģionālajam elektriskajam tīklam, ņemot vērā vietējās elektroapgādes īpašības un saistītos standartus. Eiropas Savienībā ir saistošas Eiropas Padomes un Parlamenta direktīvas saistībā ar elektroaprīkojuma elektrisko un elektromagnētisko atbilstību, kā arī ietekmi uz apkārtējo vidi.

Uzlādes punkta elektriskos parametrus ar maksimums 690 V, 50 - 60 Hz, 250 A maiņstrāvu un 600 V, 400 A līdzstrāvu apraksta IEC 62196-1, IEC 62196-2 un IEC 62196-3 standarti. Standartos ir definēti 4 uzlādes režīmi, kuri iedalās pēc elektrisko kontaktu kapacitātes un maksimālās uzlādes jaudas. Galvenie uzlādes režīmiem atbilstošie elektriskie parametri apkopoti 2.6. tabulā.

2.6. tabula. Elektropēkratu uzlādes režīmi, elektriskie parametri un orientējošais elektropēkratu uzlādes laiks

Uzlādes režīms	Strāvas veids	Spriegums (1/3 fāzes), V	Strāva uz fāzi, A	Jauda (1/3 fāzes), kW	Aptuvenais uzlādes laiks (25 kWh akumulatoram), h
1.	Maiņstrāva	230/400	16	3.6/11	10...12
2.	Maiņstrāva	230/400	32	22	1...3
3.	Maiņstrāva	230/400	63	43.5	0.5...1
4.	Līdzstrāva	600/-	400	240/-	<0.5

1. režīmā uzlādējamie elektropēkrati tiek pieslēgti pie tīkla ar standarta mājsaimniecības kabeļu palīdzību. Maksimālā uzlādes strāva ir 16 A, taču tā nedrīkst pārsniegt katra konkrētā kabeļa norādīto strāvu. Piemēram, zemētais vienas fāzes CEE 7/4 tipa savienojums (skat. 2.73. att. a) nodrošina līdz 230 V, 16 A, 3.6 kW uzlādes jaudu, bet trīsfāzu CEE 16 savienojums - līdz 230/400 V, 16 A, 11 kW (skat. 2.73. att. b). Tāpat standarts definē, ka lietotāja aizsardzībai ir jāizmanto strāvas noplūdes automāts. 1. režīma uzlādes tehnoloģija, pateicoties standartizēta aprīkojuma izmantošanai, ir visplašāk izmantojama un nodrošina lēno uzlādi (10...12 h) jebkuriem elektropēkratiem.



2.73. att. Standarta mājsaimniecības kabeļi elektropēkratu uzlādei:
a - CEE 7/4; b - CEE 16

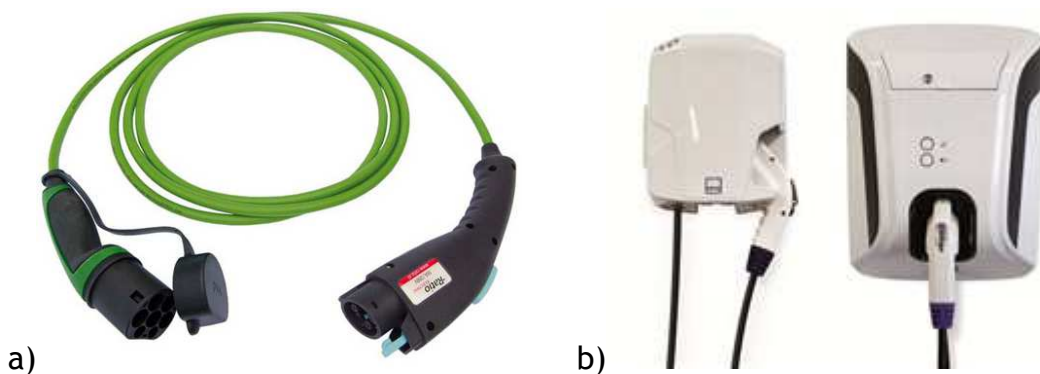
2. režīmā tiek izmantoti specializēti uzlādes kabeļi ar iebūvētu aizsardzības iekārtu (maksimālās strāvas aizsardzība, noplūžu automāts), kā arī vadības bloku paaugstinātas drošības un uzlādes jaudas kontrolei, kuram ir impulsa platuma modulētu signālu izmantojošs komunikācijas kanāls ar elektropēkratu uzlādes kontrolleri. Abas komponentes apvienotas kabeļa vadības blokā (ICCB - *In Cable Control Box*).

Elektropēkratu pusē ir IEC 62196-2 standartā aprakstīta pieslēgvietā, kas uzlādes laikā fiksē kabeli. Tīkla pusē izmanto vienas vai 3 fāzu standarta mājsaimniecības (CEE u.c., atkarībā no reģiona) savienotājus ar maksimālo strāvu līdz 32 A, kas nodrošina uzlādi ar jaudu līdz 22 kW. Šajā režīmā iespējama vidēji ātra elektropēkratu uzlāde (1...3 h). Uzlādes kabelis, kas paredzēts 2. režīmam ar ICCB, CEE 7/4 un specializētu IEC 62196-2 savienotāju J1772 pie elektropēkratiem, parādīts 2.74. attēlā.



2.74. att. Kabelis IEC 62196 2. uzlādes režīmam (*Ratio Electric*)

3. režīmā ir noteikta kabeļa un elektrisko savienojumu konfigurācija gan elektropēkratu pusē, gan maiņstrāvas tīkla pusē, t.i., maiņstrāvas tīkla pieslēgumam uzlādes punktā ir jābūt aprīkotam ar kādu no IEC 62196 definētiem 3. režīma savienotājiem vai arī jābūt stacionārā izpildījumā (ar no tīkla neatvienojamu uzlādes kabeli). Abu veidu kabeļi parādīti 2.75. attēlā. Līdzīgi kā 2. režīmā, ir paredzēta gan noplūžu strāvas, gan īsslēguma strāvas aizsardzība. 3. režīmā pieļaujama 3 fāzu maiņstrāvas uzlāde ar strāvu līdz 63 A uz katru fāzi, kas nodrošina elektropēkratu uzlādi ar jaudu līdz 43.5 kW. Šajā režīmā iespējama vidēji ātrā un ātrā uzlāde (elektropēkrata uzlādes laiki 0.5...1 h).



2.75. att. Kabeļi IEC 62196 3. uzlādes režīmam: a - no uzlādes punkta un spēkratiem atvienojams kabelis (*Ratio Electric*); b - uzlādes punktam stacionāri pievienots kabelis (*PDS Wallbox*)

4. režīms paredzēts ātrai elektropēkratu uzlādei, izmantojot 200 - 600 V līdzstrāvu, līdz 400 A, maksimālā uzlādes jauda - 240 kW, kas nodrošina elektropēkratu uzlādes laiku mazāku par 6 min. Šis ir vienīgais režīms, kad uzlādes ierīce neatrodas spēkratos, bet ir iestrādāta uzlādes punkta konstrukcijā. Elektriskā tīkla maiņstrāvu iztainsno uzlādes punktā. Uzlādes jaudas palielināšanai var izmantot uzlādes punktā lokāli stacionāri novietotus akumulatorus, lai atslogotu elektriskā tīkla pieslēgumu (IEC releases final draft standards ..., 2011). 4. režīma uzlādes punkti ir īpaši izplatīti Japānā:

līdz 2011. gada beigām darbojās 800 līdztāvas ātrās uzlādes punkti (Electric Car Quick Charging in Japan ..., 2011). Vairākas japāņu autoražotāju kompānijas (*Tepeco, Nissan, Mitsubishi, Fuji Heavy Industries un Toyota*) kopīgiem spēkiem izstrādāja *CHAdemo* protokolu, kas apraksta IEC 62196 standarta 4. uzlādes režīmam atbilstošu kabeli un savienotāju (skat. 2.76. att.). Savienotājs paredzēts 500 V 100 A līdztāvai (50 kW uzlādes jauda). Bez spēka vadiem kabelis satur dzīslas uzlādes procesa vadībai (atslēgšana/ieslēgšana, savienojuma pārbaude) un standarta diferenciālo CAN (*Controller Area Network*) kopni ciparu datu apmaiņai.



a)



b)

2.76. att. Aprīkojums IEC 62196 5. uzlādes režīmam: a - līdztāvas uzlādes kontaktdakša (*CHAdemo*); b - 3. un 4. režīmu un *CHAdemo* savienotāju atbalstošs uzlādes punkts (*Evolt Ultra DC*)

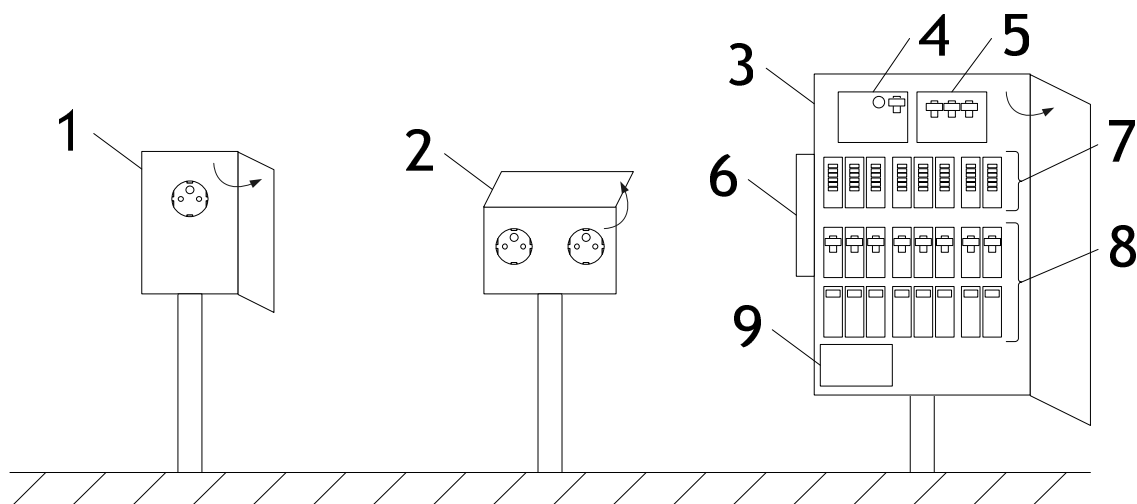
Pēc IEC 62196-2 standarta uzlādes kabeli 2. - 3. režīmam iedalās 3 tipos: uzlādes kabelis stacionāri pievienots elektrospēkratiem (A), uzlādes kabelis nav pievienots ne spēkratiem, ne uzlādes punktam (B), uzlādes kabelis ir stacionāri pievienots uzlādes punkta konstrukcijai (C).

Eiropas Savienībā uzlādes punktiem kā elektrotehniskam aprīkojumam ir jāatbilst elektroaprīkojuma elektriskās un elektromagnētiskās drošības, kā arī ietekmes uz vidi prasībām, kuras aprakstītas Eiropas Padomes un Parlamenta direktīvās: Vispārējā preču drošuma direktīva (2001/95/EC), Zemsprieguma direktīva (2006/95/EC) un Elektromagnētiskās saderības direktīva (2004/108/EK).

Kaut arī uzlādes punkta bāzes komplektācijā elektrospēkratu uzlādes vajadzībām jābūt tikai spēka kabelim ar elektriskās aizsardzības iekārtām (pret pārspriegumiem, īsslēgumiem, noplūžu strāvām), tas nav iedomājams bez papildus aprīkojuma: lietotāja saskarnes, piekļuves kontroles funkcionalitātes, patērētās elektroenerģijas uzskaites, pieslēguma globālajam tīmeklim. Uzlādējamo spēkratu īpašnieka identifikācijas un automātiskās apmaksas funkcija pamatā tiek piedāvāta kā papildaprīkojums. Visbiežāk izmanto radioidentifikācijas kartes (RFID). Šāda veida identifikāciju izmanto arī pirmajā publiski pieejamā elektrospēkratu uzlādes punktā Latvijā, Rīgā, Brīvības 299 (*ELTUS ...*, S.a.). Lietotāja interfeisā darbības režīmu, avārijas

situāciju, lietošanas instrukciju, autentifikācijas informācijas, uzlādes telemetrijas u.c. vizualizācijai izmanto gan vienkāršus diskretus indikatorus, gan dažādu sistēmu (LCD, VFD, LED, OLED) grafiskos, punktu matricu un simbolu displejus. Kā vadības informācijas ievades elementus izmanto gan spiedpogas (elektromehāniskās, kapacitatīvas u.c. elektriskās sistēmas), gan skārienjutīgus interaktīvus displejus. Uzlādes stacijās izmanto iegultus datorus, kuri veic gan visu stacijas komponentu vadību, gan uzlādes parametru monitoringu: kopējo uzlādes laikā patērēto elektroenerģiju, pašreizējo tīkla spriegumu un uzlādes strāvu, uzlādes laiku, kā arī izmaksas. Uzlādes infrastruktūras punkti (uzlādes stacijas) ir apvienoti datu tīklā, izmantojot globālā tīmekļa tehnoloģijas, kas ļauj veikt centralizētu lietotāju (elektroenerģijas patērētāju uzlādes punktus) autentifikāciju, datu uzkrāšanu un pakalpojuma apmaksu. Kopējā uzlādes infrastruktūras datu tīklā paredzēts iekļaut arī elektroenerģijas piegādātāju kompānijas, organizējot viedā elektriskā tīkla darbībai nepieciešamo datu apmaiņu starp piegādātājiem, patērētājiem un vadību.

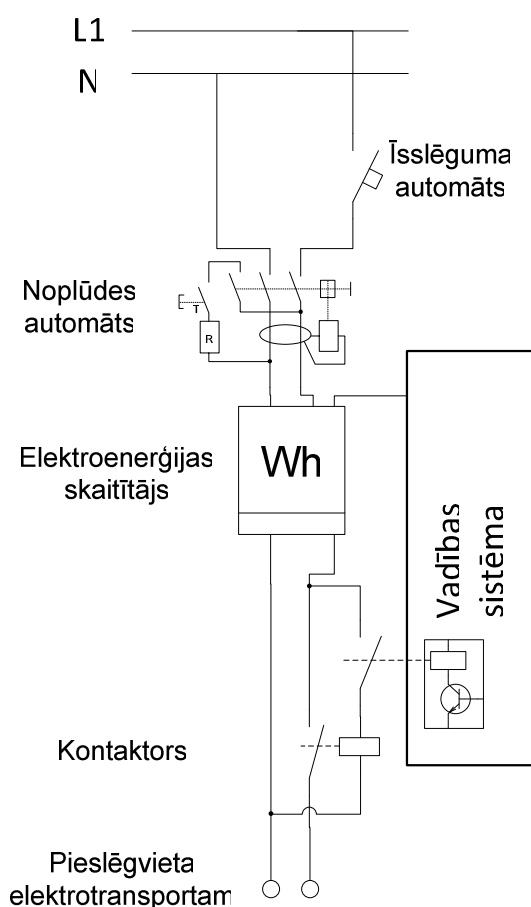
Projekta ietvaros infrastruktūras modelī ir izstrādāts kombinēts uzlādes punkts divriteņu un četrriteņu elektrosūkriem atbilstošām jaudām (skat. 2.77. att.). Uzlādes punkts paredzēts gan bezmaksas publiski pieejamai elektrosūkri uzlādei, gan arī nobraukuma eksperimentiem ar divriteņu sūkriem. Uzlādes punktā paredzēta un realizēta viena IEC 62196 1. režīma uzlādes pieslēgvietā četrriteņu elektrosūkriem (230 V, 16 A, līdz 3.7 kW) un līdz 7 divriteņu elektrosūkri pieslēgvietām (230 V, 5 A, līdz 1.1 kW uzlādes jauda), no kurām atsevišķā korpusā realizētas divas. Pārējo pieslēgvietu skaitu var realizēt atkarībā no uzlādes punkta izmantošanas noslodzes. Elektriskais aprīkojums montēts korpusos ar IP65 aizsardzības klasi. Korpusos iebūvētās elektriskās pieslēgvietas ir ar IP44 aizsardzības klasi.



2.77. att. Elektrosūkri uzlādes infrastruktūras modeļa iekārtu komponenti: 1 - 230 V, 16 A, līdz 3.7 kW pieslēgvietā; 2 - 230 V, 5 A, līdz 1.1 kW pieslēgvietā; 3 - aizsardzības un vadības aprīkojuma skapis; 4 - noplūdes strāvas automāts; 5 - ieejas aizsardzības automāts; 6 - identifikācijas karšu lasītājs; 7 - elektroenerģijas skaitītāju rinda; 8 - pieslēgvietu individuālās aizsardzības automāti un distances vadības releji; 9 - releju vadības bloks

Visām pieslēgvietām nodrošināta atbilstošas pārslodzes strāvas aizsardzība, kā arī ir izmantots kopējais trīs fāžu ieejas automāts 3C-40A PL6-C10/1 un 30 mA noplūdes strāvas automāts 4p-40A PFI6-40/4/003 lietotāju papildus elektrodrošībai.

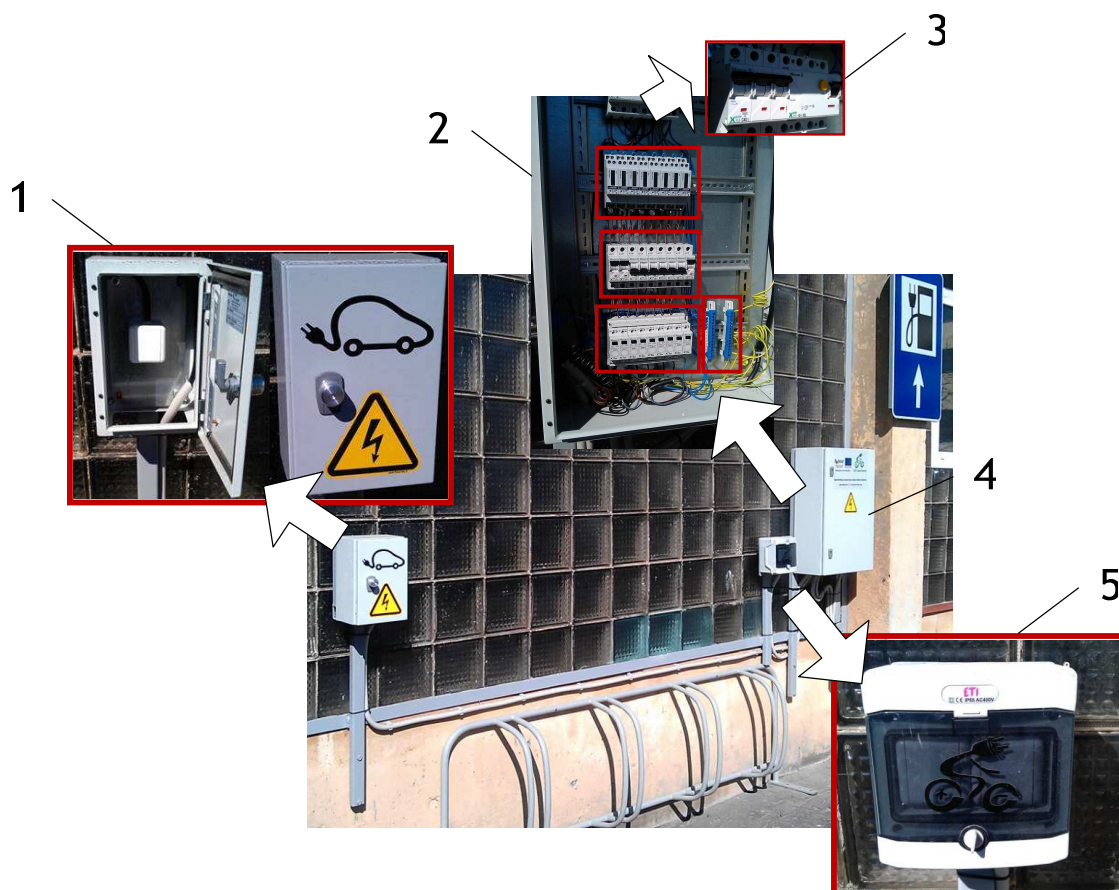
Visas pieslēgvietas un korpusi ir zemēti. Izejas stāvoklī, kamēr nenotiek elektrotransporta uzlāde, pieslēgvietas ir atslēdzamas no attāluma, izmantojot kontaktorus (relejus). Vienas pieslēgvietas principiālā elektriskā shēma parādīta 2.78. attēlā. Katrai pieslēgvietai ir atsevišķs elektroenerģijas skaitītājs, 16 A pieslēgvietai skaitītājs izmantots kopā ar strāvas transformatoru. Vadības sistēma paredzēta uzlādes punkta lietotāju identifikācijai un uzlādes datu uzkrāšanai par katru individuālu lietotāju. Identifikācija tiek veikta ar RFID karti, pēc kuras aktivizēšanas lietotājam tiek nodrošināts pieslēgums vienā no pieslēgvietām.



2.78. att. Vienas pieslēgvietas principiālā elektriskā shēma

Kad lietotājs pieslēdz spēkratus pie pieslēgvietas un caur vadības sistēmu autorizējas (piemēram, ar RFID karti), vadības sistēma saslēdz kontaktoru un sāk uzlādēt elektrospekratus. Informācija par to, cik elektrospekratu akumulatori uzlādes laikā patērē elektroenerģiju, tiek iegūta no elektroenerģijas skaitītāja un saglabāta sistēmas atmiņā. Līdz ar to katram elektrospekratu lietotājam tiek uzskaitīta izlietotā elektroenerģija.

Uzlādes punkta kopskats J. Čakstes bulvārī 5 LLU Tehniskās fakultātes pagalmā parādīts 2.79. attēlā.

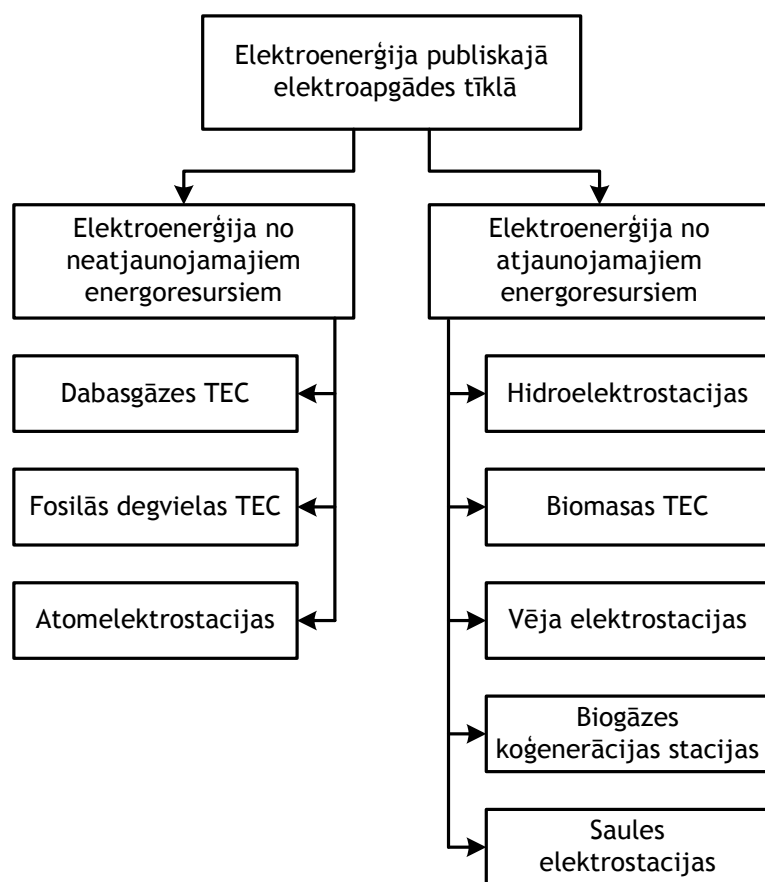


2.79. att. Elektropēkratu uzlādes infrastruktūras modelis J. Čakstes bulvārī 5 LLU Tehniskās fakultātes pagalmā: 1 - 230 V, 16 A, līdz 3.7 kW pieslēgvietā (atbilst IEC 62196 1. uzlādes režīmam); 2 - pieslēgvietu individuālās aizsardzības automāti, distances vadības releji un elektroenerģijas skaitītāji; 3 - ieejas aizsardzības automāts un noplūdes strāvas automāts; 4 - aizsardzības un vadības aprīkojuma skapis; 5 - 230 V, 5 A, līdz 1.1 kW pieslēgvietas

3. ELEKTROSPĒKRATU UZLĀDE, IZMANTOJOT ALTERNATĪVO ENERĢIJU LATVIJĀ

3.1. Alternatīvās enerģijas veidu klasifikācija elektropēkratu uzlādei Latvijā

Elektropēkratu uzlādei tradicionālajā risinājumā izmanto publisko elektroapgādes tīklu (skat. 3.1. att.). Tas ir spējīgs nodrošināt nepieciešamo pieslēguma jaudu un elektroenerģijas kvalitāti. Latvijā daļa no saražotās un piegādātās elektroenerģijas ir iegūta no atjaunojamajiem energoresursiem, tādiem kā hidroenerģijas (pārsniedz 50%), vēja enerģijas (ap 2%). Elektroenerģija, kas iegūta no saules un pārdota publiskajā tīklā, šobrīd nav vērtēta.



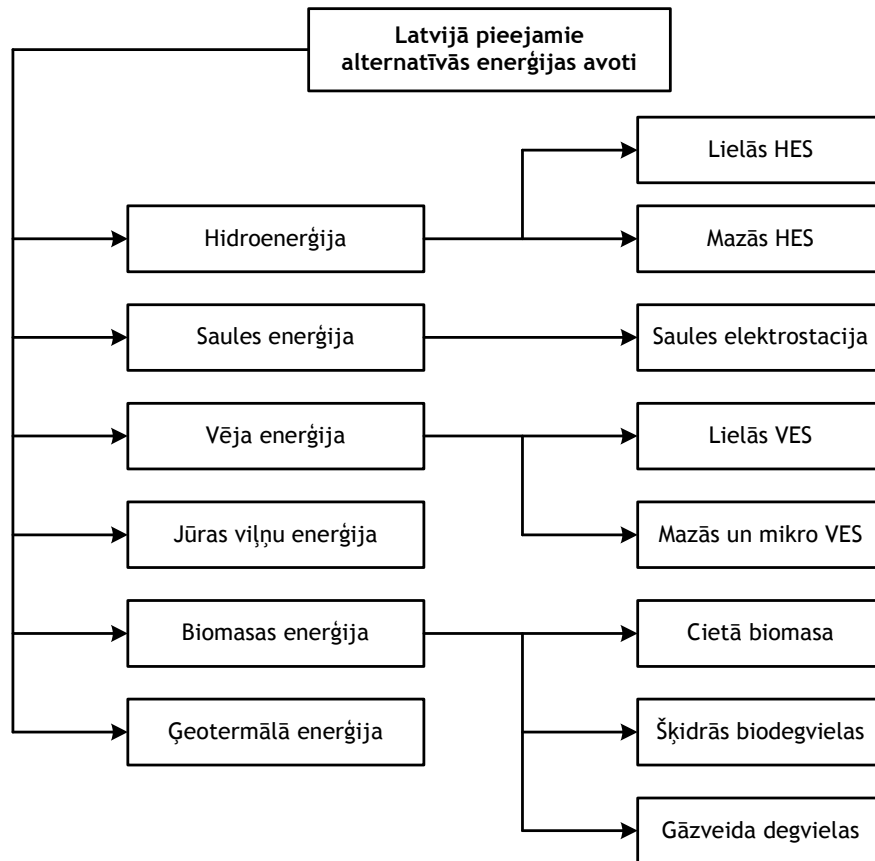
3.1. att. Elektroenerģija publiskajā elektriskajā tīklā

Autonomajās elektropēkratu uzlādes sistēmās visērtāk var izmantot tādas alternatīvās enerģijas avotus, kā vēja ģeneratorus un foto elektriskos ģeneratorus - saules baterijas.

Hidroenerģijas izmantošanu autonomajās uzlādes sistēmās ierobežo hidroenerģijas resursu pieejamība. To var izmantot, ja ir pieejams strauts vai upīte, kurai iespējams uzstādīt elektrību ģenerējošās iekārtas.

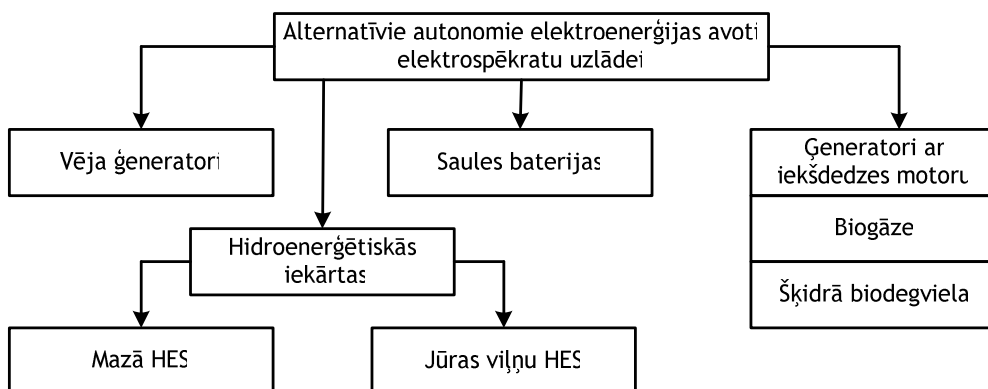
Latvijā plaši pieejamie alternatīvie enerģijas avoti ir upju un strautu hidroenerģija. Vēja ģeneratoru izmantošana autonomās elektroapgādes

sistēmās paplašinās. Latvijā ir uzbūvēta arī pirmā saules elektrostacija. Saules bateriju pielietojumu ierobežo iekārtu cena, bet tai ir tendence samazināties. Biomasas enerģijas izmantošanā ir uzplaukums, tiek attīstīta biogāzes ražošana un izmantošana koģenerācijā, kur iegūst siltumu un elektroenerģiju. No biomasas tiek ražotas arī šķidrās biodeģvielas, ar kurām var darbināt koģenerācijas iekārtas un iekšdedzes motorus. Ģeotermālās enerģijas pielietojums elektrības ražošanai šobrīd sevi neattaisno, šo enerģiju var lietot apsildei. Elektroenerģijas ieguvei var būt izmantoti arī citi alternatīvie enerģijas resursi, tādi kā jūras viļņu enerģija, biodeģvielas - šķidrās biodeģvielas un biogāze, ūdeņradis, saspīests gaiss u.c. (skat. 3.2. att.).



3.2. att. Latvijā pieejamie alternatīvās enerģijas avoti

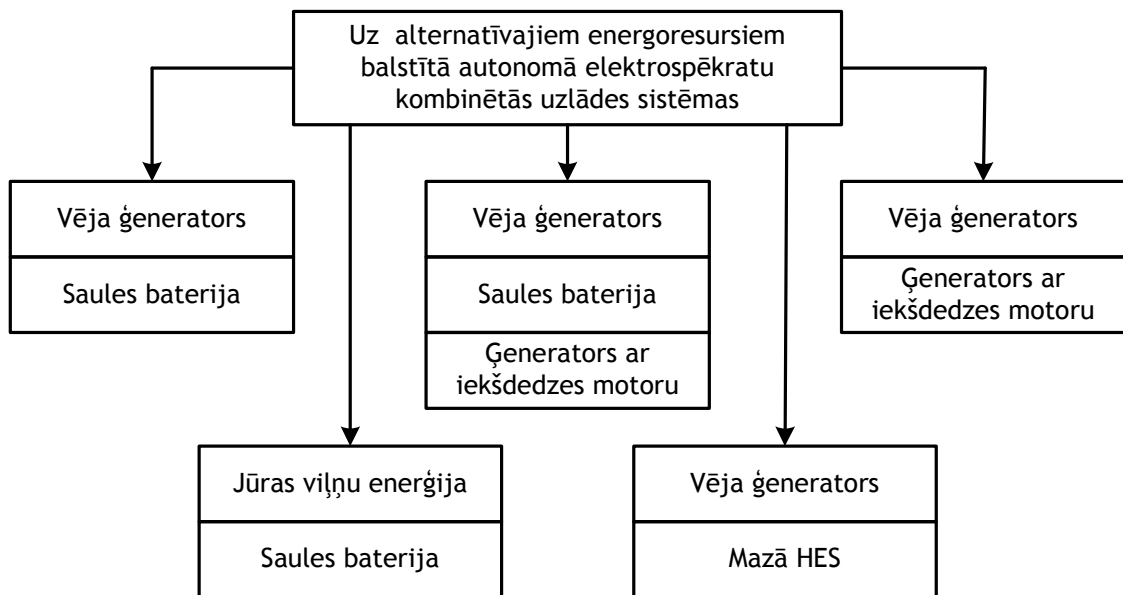
Autonomie alternatīvās enerģijas avoti klasificēti 3.3. attēlā.



3.3. att. Autonomie alternatīvās enerģijas avoti

Lai nodrošinātu nepārtrauktu elektroenerģijas padevi autonomajai elektropēkratu uzlādes stacijai, ir izdevīgi veidot kombinētas sistēmas, kas sastāv no vairākiem alternatīvajiem elektroenerģijas avotiem, apvienojot tos vienotā sistēmā.

Autonomu uzlādes sistēmu izveidei šobrīd vispiemērotākā ir kombinētā sistēma (skat. 3.4. att.), kas sastāv no vēja enerģētiskās iekārtas un saules baterijas. Perspektīvā varētu būt izmantojama arī lokāli saražotās biogāzes un šķidro biodegvielu izmantošana uzlādes stacijas darbināšanai. Inovatīvas tehnoloģijas tādas kā, degvielas elementi un ūdeņraža izmantošana tiešai elektroenerģijas ieguvei, iespējams, nākotnē iegūs pielietojumu elektropēkratu darbināšanai.



3.4. att. Uz alternatīvo enerģiju balstītās kombinētās uzlādes sistēmas

3.2. Vēja enerģija

Viens no potenciālajiem elektrotransporta akumulatoru autonomās uzlādes staciju atjaunojamajiem enerģijas avotiem ir vēja enerģija.

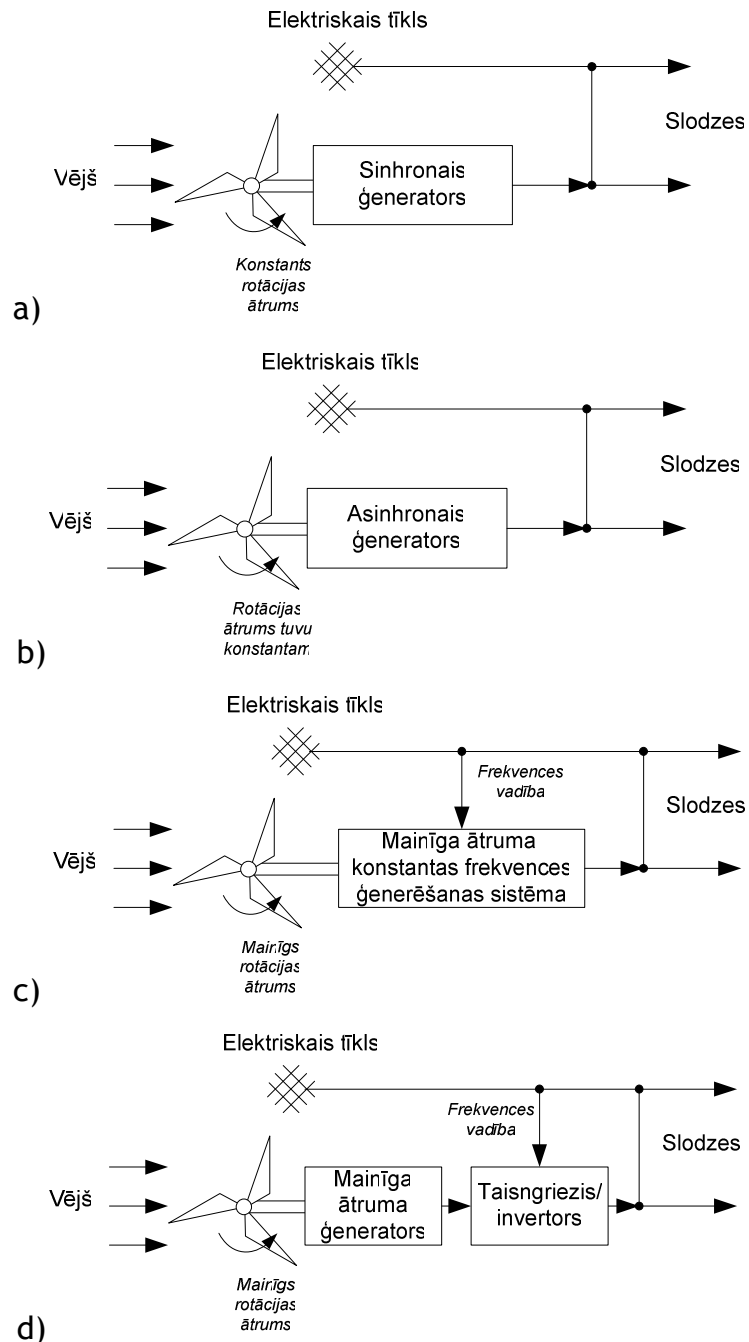
Lielākās daļas vēja ģeneratoru konstrukcijas pamatā ir rotors, kurš pārveido lineāro vēja plūsmu vārpstas rotācijas kustībā. Vārpsta savukārt savienota ar ģeneratoru, izmantojot mehānisko pārvadu. Izplatītākie ir horizontāla novietojuma 3-lāpstiņu rotor, taču speciālos gadījumos tiek izmantoti rotor ar lielāku lāpstiņu skaitu, kā arī horizontālo rotoru konstrukcijas. Vēja enerģiju pārvērš elektriskajā ar elektrisko mašīnu palīdzību. Biežāk lietotie ir līdzstrāvas sinhronais un asinhronais ģeneratori. Jaunākās konstrukcijās pārsvarā tiek lietoti daudzpolu pastāvīgo magnētu sinhronie ģeneratori. Mūsdienās izmantotās vēja iekārtas pēc jaudas klasificē mazās (10 - 25 kW), vidējās (50 - 150 kW), lielās (250 - 1000 kW) un ļoti lielās (2 - 4 MW) (Galiņš u.c., 2008), kuras biežāk tiek lietotas vēja parkos elektroenerģijas ražošanai rūpnieciskos apjomos pārdošanai tīklā. Praksē individuālām vajadzībām autonomu vai rezerves elektroapgādes sistēmu izveidei attālos lauku rajonos tiek lietoti arī ļoti mazas jaudas vēja ģeneratori (1 - 5 kW un mazāki).

Pieejamo vēja jaudu, kuru vēja ģeneratora sistēma var izmantot, raksturo rotora šķērsriezuma laukums jeb laukums (riņķis), kuru rotoram griežoties apzīmē tā lāpstiņas. Vēja izmantošanas koeficients parāda, kādu daļu no caurplūstošās gaisa plūsmas jaudas rotors var izmantot mehāniskā momenta radīšanai uz ģeneratoru un mehāniskās enerģijas iegūšanai. Vēja izmantošanas koeficientu raksturo rotora konfigurācija: horizontāla vai vertikāla novietojuma rotors, lāpstiņu skaits, forma un to leņķis pret vēju. Maksimālo vēja izmantošanas koeficienta vērtību $C_p = 0.5926$ nosaka Betca kritērijs, kurš nosaka izmantotās vēja jaudas līmeni, pie kura rotoram caurplūstošā gaisa plūsma tiek bremsēta. No rotora konfigurācijas ir atkarīgs arī minimālais iegriešanās vēja ātrums, kas ir aktuāli Latvijas apstākļiem. Gada vidējais vēja ātrums Baltijas jūras piekrastē nepārsniedz $5.1 - 5.8 \text{ m s}^{-1}$ 10 m augstumā. Teritorijas vidienē tas ir aptuveni 4.4 m s^{-1} pie svārstībām atsevišķos gados $\pm 20\%$ (Latvijas vēja enerģijas..., 2001). Vairāklāpstiņu horizontālajām un vertikālajām turbīnām iegriešanās vēja ātrums ir sākot ar $1.5 - 2 \text{ m s}^{-1}$, trīslāpstiņu turbīnām - no $3 - 3.5 \text{ m s}^{-1}$ ar maksimālo jaudu attiecīgi pie $5 - 6 \text{ m s}^{-1}$ un $9 - 12 \text{ m s}^{-1}$. Pie tam visaugstākais vēja izmantošanas koeficients ir trīslāpstiņu turbīnām. Līdz ar to praksē vēja ģeneratoru vidējā jauda gadā nepārsniedz 25 - 30% no nominālās (Galiņš u.c., 2008, Klemen, 2001), kas ir jāierēķina, projektējot vēja ģeneratoru uzstādīšanu. Dotā efektivitāte ir attiecināma tikai uz mehānisko jaudu. Kopējā elektriskās sistēmas lietderībā ir jāievērtē arī ģenerators un atkarībā no sistēmas arhitektūras arī elektriskie spēka pārveidotāji - taisngrieži, invertori (Lara et al., 2011).

No vēja iegūto elektrisko enerģiju ir iespējams izmantot gan pieslēgumā ar elektrisko tīklu, gan pilnībā autonomā režīmā. Tīklam pieslēgtās vēja ģenerēšanas sistēmas tiek iedalītas pēc enerģijas plūsmas virziena: no vēja iegūtā elektriskā enerģija tiek novirzīta tikai tīklam, paralēli gan tīklam, gan lokālajiem patērētājiem vai tikai lokālajiem patērētājiem. Pēdējie divi veidi pie saskaņotas vēja enerģijas pieejamības un patēriņa, kā arī, izmantojot papildus lokālos avotus vai uzkrājējus, dod iespēju darbināt vēja sistēmu autonomā režīmā, veidojot lokālo mikrotīklu (Jiayi et.al., 2008; Hatziargyrio et al., 2006). Maiņstrāvas tīklam pieslēgto vēja elektriskās enerģijas ģeneratoru sistēmu veidi parādīti 3.5. attēlā (Gipe, 2004).

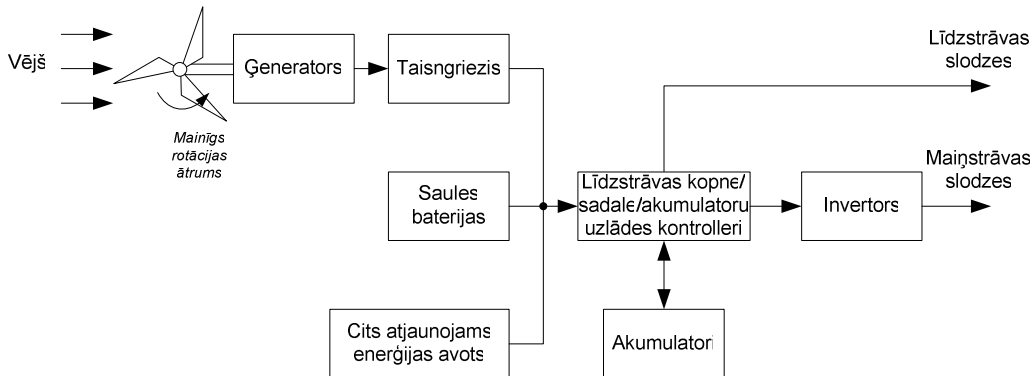
Visos gadījumos ir nepieciešams saskaņot no vēja ģeneratoriem iegūtās elektroenerģijas un kopējā elektriskā tīkla parametrus: saskaņot sprieguma amplitūdu un sinhronizēt no ģeneratoriem pieejamo elektroenerģiju ar maiņstrāvas tīkla frekvenci. Šim nolūkam var izmantot konstanta ātruma sinhronais ģenerators, kurš ir tieši pieslēgts tīklam (skat. 3.4. att. a). Vēja rotora ātrums tiek noturēts konstants ar vēja izmantošanas koeficienta regulēšanu (mainot turbīnas lāpstiņu leņķi pret vēju) un liela vēja ātruma gadījumā, mainot rotora ass leņķi pret vēju vai mehāniski bremsējot. Starp elektrisko mašīnu un vēja rotoru tiek izmantots mehāniskais pārnēsums. Līdzīgi tiek panākta sinhronizācija ar tīklu, izmantojot kā ģeneratoru asinhrono mašīnu (skat. 3.4. att. b), taču šajā gadījumā ir nepieciešama rotora ātruma regulēšana plašākā diapazonā, lai pieskaņotu ģeneratora slīdi tīkla slodzei. Abi apskatītie gadījumi pamatā tiek realizēti vidējas un lielas jaudas vēja ģeneratoros. Galvenā priekšrocība ir iespēja tieši pieslēgties elektriskajam tīklam, neizmantojot spēka elektronikas iekārtas, trūkums - dēļ

vēja izmantošanas koeficienta izmaiņām netiek izmantota visa pieejamā vēja enerģija. Savukārt gadījumos (c) un (d) (skat. 3.4. att.) tiek iemantots spēka elektronikas aprīkojums, kas nodrošina vēja ģenerators izejas elektroenerģijas parametru elektronisku pārveidošanu un sinhronizēšanu ar elektrisko tīklu. Šajos gadījumos priekšrocības ir iespēja izmantot daudzpolu elektriskās mašīnas, realizēt autonomās darbības iespēju elektriskā tīkla avāriju gadījumā jeb veidot mikrotīklu, kā arī realizēt algoritmus optimālam vēja rotora rotācijas ātrumam, lai izmantotu maksimālo pieejamo jaudu (Koutroulis and Kalaitzakis, 2006). Šī pieeja bieži tiek izmantota arī maza mēroga vēja ģeneratoros.



3.5. att. Tīklam pieslēgto vēja elektriskās enerģijas ģeneratoru sistēmu veidi

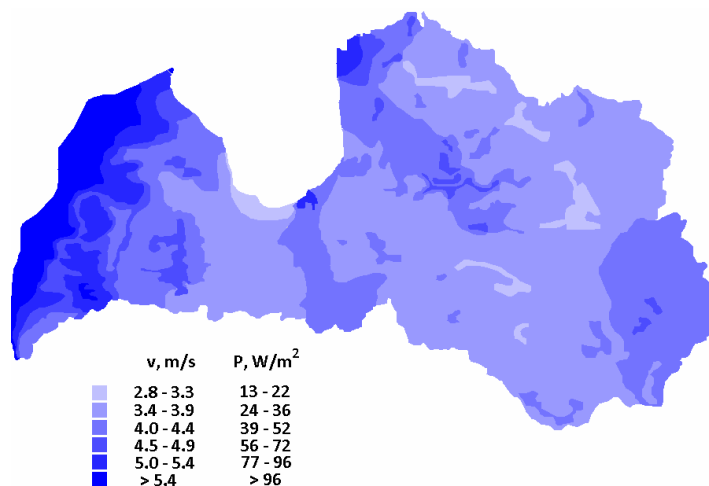
Sakarā ar vēja enerģijas nepastāvīgo pieejamību, autonomā režīmā izmantojamam ģeneratoram ir jābūt kombinētam vienā sistēmā ar akumulatoru baterijām un citām uzkrājošām iekārtām, kā arī iespēju robežās ar citiem atjaunojamajiem resursiem: saules un hidroenerģiju. Kombinētu sistēmu priekšrocības autonomas elektroapgādes nodrošināšanai ir pamatotas daudzos avotos (Bernal-Agustin and Dufo-Lopez, 2009). Kombinēta sistēma ar centralizētu līdzstrāvas kopni un spēka elektronikas elementiem (vēja ģenerators taisngriezis un invertors) mainīga rotācijas ātruma vēja ģenerators, piemēram, ar daudzpolu sinhrono mašīnu ar pastāvīgo magnētu ierosmi, saskaņošanai ar citām ģenerējošām un uzkrājošām iekārtām, kā arī ar dažāda veida elektroenerģijas patērētājiem, parādīta 3.6. attēlā.



3.6. att. Autonoma kombinēta elektroapgādes sistēma

Uz atjaunojamajiem resursiem balstītu autonomu elektroapgādes sistēmu vispārīgi un tajā skaitā elektrotransporta uzlādes infrastruktūras punktu uzstādīšana, salīdzinot ar no kopējā elektriskā tīkla pieejamo enerģiju, ir ekonomiski pamatota vietās, kur atjaunojamo ģenerēšanas iekārtu kopējās uzstādīšanas un ekspluatācijas izmaksas aprēķinātajā atjaunojamo iekārtu ekspluatācijas periodā ir zemākas par pieslēgumu tīklam un summāro elektroenerģijas tarifu.

Vēja resursu pieejamību, kas ir galvenais kopējo vēja elektroapgādes sistēmas potenciālo efektivitāti ietekmējošais faktors, raksturo ar gada vidējo vēja ātrumu (skat. 3.7. att.).



3.7. att. Vēja ātrums Latvijas teritorijā 10 m augstumā

Līdzīgi, kā tas ir ar citiem atjaunojamiem resursiem, vēja enerģijas pieejamība laikā ir nepastāvīga. Salīdzinoši spēcīga vēja ātruma periodiem var sekot ilgstošs bezvējš, kas ir ar spēcīgi izteiktu sezonālu meteoroloģisko raksturu.

Vēja enerģijas izmantošanas efektivitātes paaugstināšanai ir nepieciešams rūpīgi izvēlēties vēja stacijas uzstādīšanas vietu, kas elektrotransporta uzlādes gadījumā liek ievērot ne tikai klasiskus vēja staciju ierīkošanas tehniskos un sociāli-ekonomiskos ierobežojumus (vēja resursu pieejamība gada griezumā un periodiskums, meža, ēku, reljefa nelīdzenumu u.tml. tuvums, dabas rezervācijas un nacionālie parki, dzīvojamo zonu tuvums utt.), bet arī papildus apstākļus. Pie papildus apstākļiem šajā gadījumā ir pieskaitāmi autoceļu tuvums, kā arī plānotā elektrotransporta satiksmes intensitāte, kā arī to veicinošo faktoru esamība (tūrisma objekti, industriālie, dzīvojamie un atpūtas kompleksi utt.). Viens no risinājumiem ir plānot vēja enerģijas izmantošanu elektrotransporta uzlādes vajadzībām, izmantojot precīzās telpiskās analīzes līdzekļus (Osadčuks un Galiņš, 2010).

3.3. Saules enerģija

Saules starojuma enerģiju izmanto, lai iegūtu:

- siltumu - izmantojot gan pasīvās (siltumnīcas, logi māju dienvidu pusē), gan aktīvās saules (solārās) sistēmas (kolektoru iekārtas);
- elektrību - foto elektrisko pārvērtību rezultātā (saules baterijas);
- biomasu - fotosintēzes ceļā.

Saules enerģijas izmantošanu aktīvajās un pasīvajās sistēmās ietekmē vesela virkne konkrētai vietai raksturīgu faktoru. Tie nosaka ne tikai ēkas veidolu, kolektoru un citu iekārtu izvietojumu, bet arī to saimniecisko pielietojumu - visas sistēmas tehnisko izpildījumu un ekonomisko lietderību. Ar saules starojuma enerģiju iespējams ražot tvaiku, kuru tālāk izmanto turboģeneratoru piedziņai un elektroenerģijas ieguvei.

Par pasīvo sauc saules starojuma izmantošanu, piemēram, siltumnīcās, māju būvēšanu ar logiem dienvidu pusē, lai vairāk saules gaismas un siltuma nokļūtu istabās, žāvēšanu saules staru ietekmē utt. Saules siltuma aktīvas izmantošanas gadījumā pielieto speciālas iekārtas, piemēram, saules kolektorus ūdens sildīšanai, vai saules baterijas elektroenerģijas ražošanai (Ziemelis un Kanceviča, 2005).

Saule ir gigantisks enerģijas avots ar diametru $1391 \cdot 10^3$ km un masu ap $2 \cdot 10^{30}$ kg. Pēc ķīmiskā sastāva saules vielu veido gāzveida stāvoklī esošs ūdeņradis - 92.1%, hēlijs - 7.8% un slāpekļis - 0.1% (Aschwanden, 2007). Vidējais vielas blīvums Saulei ir 1409 kg m^{-3} (Quaschnig, 2005; Aschwanden, 2007), bet vielas blīvums Saules centrā sasniedz $76 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, tāpēc tās iekšienē notiek nepārtrauktas kodoltermiskas reakcijas, kuru rezultātā ap $4 \cdot 10^{10}$ kg saules vielas ik sekundi pārvēršas enerģijā (Харченко, 1991). Temperatūra saules masas virspusē sasniedz 5777-6400 K (Quaschnig, 2005; Aschwanden, 2007), bet starojuma jauda ir $3.8 \cdot 10^{23}$ kW (Kalogirou Soteris, 2009). Neliela šī starojuma daļa (ap $1.5 \cdot 10^{18}$ kWh gadā) sasniedz zemeslodes atmosfēru, no kuras virsējiem slāņiem 30-35% enerģijas atstarojas atpakaļ kosmiskajā telpā (Streicher, 2003). Rezultātā zemeslodes virsma saņem ap

$1.05 \cdot 10^{18}$ kWh enerģijas gadā (Харченко, 1991; Garg and Prakash, 2000). Ūdeņradim pārvēršoties hēlijā, atbrīvojas starojuma enerģija, kas uz Saules virsmas sasniedz intensitāti $70000\text{-}80000 \text{ kW m}^{-2}$ (Streicher, 2003).

Starojuma plūsmai noejot attālumu no saules līdz zemei, kas ir aptuveni $150 \cdot 10^6 \text{ km}$ (Aschwanden, 2007), tās intensitāte samazinās un zemes atmosfēras virspusē vidēji ir tikai 1367 W m^{-2} (Garg and Prakash, 2000; Tiwari, 2006; Sen, 2008). Šis lielums tiek definēts kā saules konstante - I_{SC} . Tā kā Zemes orbītai ir elipses forma, ārpus zemes atmosfēras saules starojuma intensitātes vērtība I_{ON} svārstās no maksimālās 1413 W m^{-2} - 3. janvārī, kad zeme atrodas tuvāk saulei (perihēlijs), līdz 1332 W m^{-2} - 4. jūlijā, kad zeme atrodas tālākajā orbītas punktā (afēlijs) (ASHRAE, 2005; Sen, 2008).

Saules starojuma intensitāte, ko uztver tai perpendikulāra plakne, virs zemes atmosfēras, gada n -tajā dienā tiek noteikta ar saules konstantes palīdzību sekojoši (Tiwari, 2006; Garg and Prakash, 2000; Duffie and Beckman, 2006):

$$I_{ON} = I_{SC} \left[1.0 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right], \quad (3.1)$$

kur I_{ON} - saules starojuma intensitāte virs zemes atmosfēras, W m^{-2} ;
 I_{SC} - saules konstante, W m^{-2} ;
 n - gada dienas secīgais numurs, skaitot no 1. janvāra.

Saules starojuma frekvenču spektrs aptuveni atbilst absolūti melna ķermeņa starojuma spektram pie temperatūras $5700 \text{ }^\circ\text{C}$. Tā ultravioletā starojuma daļa ar viļņu garumu $0.2\text{-}0.38 \text{ }\mu\text{m}$ sastāda 7% no kopējā starojuma, redzamā gaisma ar viļņu garumu $0.38\text{-}0.78 \text{ }\mu\text{m}$ veido 47% un infrasarkanā starojuma daļa ar viļņu garumu lielāku par $0.78 \text{ }\mu\text{m}$ ($0.78\text{-}3.2 \text{ }\mu\text{m}$) - 46%. Starojuma intensitātes maksimums ir ar viļņa garumu $0.5 \text{ }\mu\text{m}$ (Kaltschmitt et al., 2007).

Zeme apgriežas ap Sauli gada laikā. Zemes ass virziens paliek fiksēts izplatījumā zem leņķa 23.45° pie normāles pret griešanas plakni. Leņķis starp virzienu pret Sauli un ekvatoriālo plakni tiek dēvēts par deklināciju δ un ir sezonālu izmaiņu mērs. Ziemeļpuslodē δ mainās no $+23.45^\circ$ 21. jūnijā (vasaras saulgriežu periodā) līdz -23.45° 21. decembrī (ziemas saulgriežu periodā) un $\delta = 0^\circ$ ekvinokcijas laikā (pavasara un rudens saulgriežu laikā, kas ir attiecīgi 21. martā un 21. septembrī). Tādējādi δ (grādos) var noteikt sekojošā veidā (ASHRAE, 2007; Sen, 2008):

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right], \quad (3.2)$$

kur n - gada dienas secīgais numurs skaitot no 1. janvāra.

Reizi 24 stundās Saule nokļūst meridiāna plaknē. Tas ir saules pusdienlaiks pēc saules laika, pie tās maksimālā augstuma, noteiktās vietas ģeogrāfiskajā garumā. Zemes orbītas elipse noved pie tā, ka periods starp saules pusdienlaikiem nesastāda tieši 24 stundas, kaut arī vidēji ir 24 h. Kā jau tika minēts iepriekš, šī starpība nepārsniedz 16 minūtes. Stundu leņķis ω , ir leņķis, par kuru Zeme pagriežas no saules pusdienlaika momenta (Twidell and Weir, 2006). Stundu leņķis, vienāds ar nulli pie maksimālā saules novietojuma

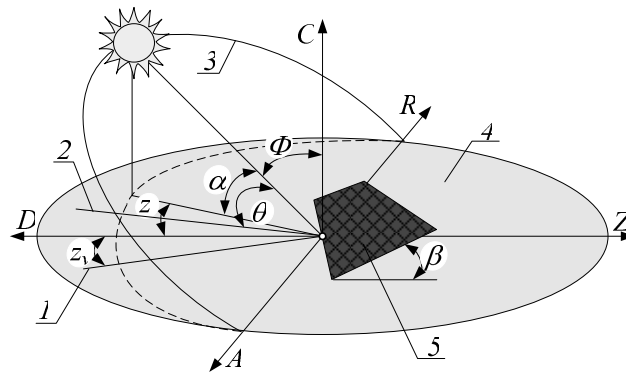
augstuma, katrai stundai atbilst 15° , pie tam stundu leņķa lielumu līdz saules maksimālam augstuma brīdim pieņem par negatīvu, bet pēc tam - par pozitīvu (piemēram, $\omega = -15^\circ$ plkst. 11.00 un $\omega = +37.5^\circ$ plkst.14.30). Tā kā Zeme pagriežas par 360° $24 \text{ h}^{-1} = 15^\circ$ stundā, tad stundu leņķi izsaka sekojoši:

$$\omega = 15 \cdot (t_{sol} - 12). \quad (3.3)$$

Saules starojums var būt izkliedēts un tiešs. Saules gaisma, kura tiek izkliedēta tai ejot cauri mākoņiem, dūmakai un miglai, sasniedz zemes virsmu kā izkliedētais starojums. Tiešais saules starojums sasniedz zemes virsmu bez iepriekšējas izkliedēšanās. Abi veidi kopā veido tā saukto globālo starojumu.

Izkliedētais starojums ir radies, kad taisni saules stari ir izkliedēti no atšķirīgām molekulām un daļiņām atmosfērā visos virzienos. Izkliedētā starojuma daudzums ir atkarīgs no klimatiskiem un ģeogrāfiskiem nosacījumiem. Izkliedētā starojuma daļa vasarā sastāda aptuveni 40-50%, ziemā šī daļa ir daudz augstāka. Atkarībā no ģeogrāfiskā novietojuma jūras krastu apgabalos parasti ir mazāk apmācies nekā valsts iekšienē - ikgadējs globāls izstarojums uz horizontālas virsmas, tāpēc izmainās starp 900 un 1100 kWh m⁻². Saules gaismas stundu daudzums Baltijas apgabalos sastāda aptuveni 1200 stundas gadā. Vasaras laikā ir saņemts aptuveni 80% no saules starojuma (Kaškarova, 2003).

Ģeometriskās sakarības, kas apraksta noteiktā veidā orientētas plaknes atrašanos attiecībā pret Zemi kādā no laika momentiem (neatkarīgi no tā, vai šī plakne ir nekustīga, vai tiek pārvietota attiecībā pret Zemi), un tiešā saules starojuma, t.i., Saules izvietojumu attiecībā pret šo plakni, var tikt pierakstītas ar virkni dažādu leņķu palīdzību. Apkopojot vairāku autoru datus (Харченко, 1991; Garg and Prakash, 2000; Twidell and Weir, 2006), tika izveidota saules leņķu izvietojuma shēma, kas parādīta 3.8. attēlā.



3.8. att. **Saules leņķu izvietojuma shēma:** 1 - normāles (pret slīpo virsmu) projekcija; 2 - normāle pret slīpo virsmu; 3 - saules trajektorija; 4 - horizonts; 5 - slīpā virsma

Saules augstuma leņķis α ir leņķis starp saules stariem un to projekciju horizontālā plaknē. Šis leņķis ir saistīts ar saules zenīta leņķi Φ , kas ir leņķis starp saules stariem un vertikāli pret horizontālo plakni. Tādējādi $\Phi + \alpha = 90^\circ$. Šos leņķus var izteikt ar sekojošu vienādojumu (Tiwari, 2006; Twidell and Weir, 2006):

$$\sin \alpha = \cos \Phi = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega. \quad (3.4)$$

Lielums φ šajā formulā ir vietas ģeogrāfiskais platuma grāds. Pozitīvs tas ir punktiem, kas atrodas uz ziemeļiem no ekvatora. Stundu leņķis ω ir vienāds ar nulli pie maksimālā saules novietojuma augstuma, katrai stundai atbilst 15° , pie tam stundu leņķa lielumu līdz saules maksimālam augstuma brīdim pieņem par negatīvu, bet pēc tam - par pozitīvu (piemēram, $\omega = -15^\circ$ plkst. 11.00 un $\omega = +37.5^\circ$ plkst. 14.30).

Saules azimuts z ir leņķis horizontālā plaknē starp saules staru projekciju un dienvidu virzienu. Par atskaites punkta sākumu pieņem dienvidu virzienu. Novirze uz austrumiem tiek uzskatīta par pozitīvu, uz rietumiem - par negatīvu. Jāmin arī saules enerģijas kolektora (3.8. attēlā apzīmēts kā slīpā virsma) azimuts, turpmāk virsmas azimuts z_v - tiek mērīts kā leņķis starp normāles projekciju pret saules enerģijas kolektoru un dienvidu virzienu. Matemātiska izteiksme, kas izsaka saules azimutu (Garg and Prakash, 2000):

$$\sin z = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \alpha}. \quad (3.5)$$

Pusdienlaikā saule atrodas tieši meridiāna plaknē, saules azimuts ir 0° , tādējādi saules augstuma leņķis pusdienlaikā ir izsakāms sekojoši:

$$\alpha_n = 90^\circ - \varphi + \delta, \quad (3.6)$$

kur α_n - saules augstuma leņķis pusdienlaikā, grādos.

Saullēkts un saulriets norisinās, kad saule šķērso zemes horizonta līniju, jeb kad saules augstuma leņķis $\alpha = 0^\circ$. Saulrieta stundu leņķi ω_{sr} , izsakot no (3.4):

$$\cos \omega_{sr} = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta, \quad (3.7)$$

kur ω_{sr} - saulrieta stundu leņķis, grādos.

Saullēkta un saulrieta laiku, no pētāmās vietas pusdienlaika (ņemot vērā dotās vietas ģeogrāfisko platumu), izsaka vienādojums:

$$t_{sr} = -t_{sl} = \frac{1}{15} \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta), \quad (3.8)$$

kur t_{sr} - saulrieta laiks, h;

t_{sl} - saullēkta laiks, h.

Dienas garumu starp saullēktu un saulrietu, pielietojot (3.8) vienādojumu, var izteikt:

$$t_{dg} = \frac{2}{15} \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta), \quad (3.9)$$

kur t_{dg} - dienas garums, h.

Saules staru krišanas leņķis θ ir viens no svarīgākajiem lielumiem, kas ir jāņem vērā pie saules enerģijas kolektoru parametru aprēķiniem. Tas ir leņķis starp saules stariem un normāli pret saules enerģijas kolektoru (slīpo virsmu 3.8. attēlā). Horizontāli novietotai virsmai staru krišanas leņķis ir vienāds ar saules zenīta leņķi Φ . Tas tiek izteikts šādi (Duffie and Beckman, 2006):

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos z_v + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos z_v \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin z_v \sin \omega, \quad (3.10)$$

kur β - leņķis starp izvērtējamo virsmu un horizontālo plakni (horizontu 3.8. attēlā), grādos.

Lietojot vairāku autoru (Duffie and Beckman, 2006) doto formulējumu, iespējams noteikt saules starojuma intensitāti uz horizontāli novietotas virsmas virs zemes atmosfēras I_{OH} ($W m^{-2}$) sekojošā veidā:

$$I_{OH} = I_{ON} \cos \Phi = I_{SC} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] [\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega]. \quad (3.11)$$

Summāro saules starojuma enerģiju, ko laika periodā no saullēkta līdz saulrietam uztver ārpus atmosfēras horizontāli novietotā virsma izsaka sekojošā veidā:

$$E_0 = \frac{24 \cdot 3600 I_{SC}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \cdot \left[\left(\frac{\pi \omega_{sr}}{180} \right) \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega_{sr} \right], \quad (3.12)$$

kur E_0 - summārā dienas laikā uztvertā ārpus atmosfēras saules starojuma enerģija, $J m^{-2}$.

Globālo starojumu daudzi autori aizstāj ar terminu summārais starojums (ASHRAE, 2005), ko nosaka pēc sakarības:

$$I = I_B + I_D, \quad (3.13)$$

kur I - summārā starojuma intensitāte, $W m^{-2}$;
 I_B - tiešā starojuma intensitāte, $W m^{-2}$;
 I_D - izkliedētā starojuma intensitāte, $W m^{-2}$.

Saules enerģijas sadalījums pa Zemes virsmu nav vienmērīgs. Enerģijas daudzums, ko gada laikā saņem $1 m^2$ Zemes virsmas, svārstās no $850 kWh m^{-2}$ ziemeļu rajonos līdz $2240 kWh m^{-2}$ tuksnešu rajonos. Gadā vidējais enerģijas daudzums, ko dienas laikā saņem Zemes virsmas m^2 , ir $2 kWh m^{-2}$ ziemeļos līdz $6 kWh m^{-2}$ tuksnešu rajonos. Gada vidējā Saules starojuma intensitāte ir $210-250 W m^{-2}$ subtropiskos un tuksneša rajonos, $130-210 W m^{-2}$ vidējos platuma grādos un $80-130 W m^{-2}$ ziemeļu rajonos (Twidell and Weir, 2006; Duffie and Beckman, 2006).

Tā kā saules enerģijas baterijas uzstāda dažādos slīpumos, lai saņemtu pēc iespējas lielāku saules enerģijas daudzumu, kā arī mazinātu virsmas atstarošanu, nepieciešams veikt saules starojuma intensitātes aprēķinus uz dažāda slīpuma novietotām virsmām. Plakana virsma uztver tiešo (I_{Bv}), izkliedēto (I_{Dv}) un no zemes atstaroto (I_{Gt}) saules starojumu (Twidell and Weir, 2006):

$$I_v = I_{Bv} + I_{Dv} + I_{Gv}, \quad (3.14)$$

kur I_v - summārā starojuma intensitāte, ko uztver slīpā virsma, $W m^{-2}$;
 I_{Bv} - tiešā starojuma intensitāte, ko uztver slīpā virsma, $W m^{-2}$;
 I_{Dv} - izkliedētā starojuma intensitāte, ko uztver slīpā virsma, $W m^{-2}$;
 I_{Gv} - no zemes virsmas atstarotā starojuma intensitāte, ko uztver slīpā virsma, $W m^{-2}$.

Tiešā starojuma intensitāte uz slīpās virsmas izsakāma:

$$I_{Bv} = I_B \cos \theta, \quad (3.15)$$

bet uz horizontāli novietotas virsmas:

$$I_H = I_B \cos \Phi, \quad (3.16)$$

kur I_H - horizontālās virsmas saņemtā starojuma intensitāte, $W m^{-2}$.

Mehāniskās enerģijas iegūšana iedalāma divos etapos; pirmajā, izmantojot saules siltumu, sagatavo siltumnesēju (saražo un pārkarsē, piemēram, ūdens vai freona tvaiku), otrajā etapā, ievadot siltumnesēju siltuma dzinējā, iegūst mehānisko enerģiju, kuru var izmantot arī elektrības ražošanai.

Tiešā ceļā elektrisko enerģiju iegūst, izmantojot fotoelektriskos (pusvadītāju p-n tipa pārejas) pārveidotājus - saules baterijas. Elektrību var iegūt arī ar termoelektriskiem pārveidotājiem (termopāriem) (Мак - Вейч, 1981). Saules enerģiju var pārveidot elektroenerģijā, izmantojot silīcija fotoelementus. Silīcija fotoelementi ir tā sauktās saules baterijas. Sauli efektīvi izmantot par elektroenerģijas avotu traucē saules enerģijas nelielais blīvums (aptuveni 150 kWh uz 1 m² zemeslodes virsmas gadā), kā arī starojuma maiņas atkarība no diennakts stundas un meteoroloģiskajiem apstākļiem. Rajonos ar lielu saulaino dienu skaitu darbojas nelielas Saules elektrostacijas (SES) pēc viena no šādiem principiem:

- ieliekts spogulis koncentrē saules starus uz tvaika katlu;
- izmanto fotoelektrisko efektu: no silīcija fotoelementiem veido baterijas, kurām pieslēdz slodzi.

Saules baterijas jeb PV (*photovoltaics*) sākotnēji uzskatīja par samērā eksotisku tehnoloģiju, ko pielietoja galvenokārt kosmosā vai ļoti attālos apvidos. 20. gadsimta pēdējā desmitgadē strauji pieauga šo tehnoloģiju izmantošana elektroenerģijas ražošanā, un ir parādījušās perspektīvas nākamo 20 gadu laikā samazināt izmaksas un panākt vēl lielāku to izplatību.

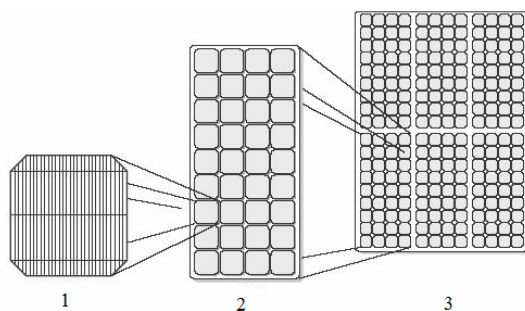
Statistika rāda, ka laika posmā no 1990. - 2000. gadam PV izaugsme bijusi vidēji 20% gadā, pēc 1997. gada sasniedzot pat 30%. Plānots, ka šī tendence saglabāsies arī turpmāk. Līdz 2000. gadam kopējā uzstādīto PV jauda pasaulē tika rēķināta ap 1000 MWp (iegūtās solārās enerģijas mērvienība) un šobrīd attīstītajās valstīs vairāk nekā pusmiljons mājokļos tiek izmantota PV iegūtā elektroenerģija. PV sistēmu attīstīšanā iesaistās arvien vairāk organizāciju - energokompānijas apvieno spēkus ar ražotājiem, pašvaldībām un dažādiem fondiem, lai realizētu aizvien lielākus projektus - gūstot praktisku pieredzi, izglītojot sabiedrību, kā arī strādājot pie tehnoloģiju izmaksu samazināšanas. 2002. gadā apjomīgākais projekts tika realizēts Nīderlandē, kur Florides dārzkopības izstādē *Noun Energy Company* uz izstādes ēkas jumta uzstādīja 26 100 m² Saules baterijas ar jaudu 2.3 MW. 2001. gadā uzstādīto PV jauda sasniedza jau 390 MWp. Šobrīd PV tirgus apgrozījums ir vairāk nekā 2 miljardi USD gadā. Nozarē jau iesaistījušās tādas pazīstamas kompānijas kā *BP Amoco*, *Shell*, *Kyocera*, *Mitsubishi*, *Sanyo* un *Sharp*. Līdz 2002. gada beigām kopējā uzstādīto Saules bateriju jauda sasniedza jau vairāk nekā 2000 MWp (Viļķina, 2003).

Saules enerģijas izmantošanai elektroenerģijas ražošanā ir nozīmīgi panākumi. Tā jau pašlaik apgādā simtiem tūkstošu cilvēku ar elektrību visā pasaulē, nodrošina darbavietas desmitiem tūkstošu iedzīvotāju un jau rada ikgadējus ienākumus vairāk nekā 1 miljarda Eiro vērtībā. Kopējais enerģijas radiācijas daudzums, kas nāk no Saules uz zemes virsmu, ir pietiekams un vairāk nekā 10 000 reizes pārsniedz ikgadējo pasaules enerģijas patēriņu. Prognozes rāda, ka Saules enerģija varētu veidot galveno ieguldījumu pasaules elektroenerģijas ražošanā un līdz 2020. gadam ik gadu sasniegt saražotās

enerģijas apjomu 75 miljardu Eiro apmērā. Saules elektroenerģiju galvenokārt izmanto telekomunikāciju sfērā, it īpaši savienojot attālus lauku rajonus. Specifiskām mobilo telefonu stacijām, kuras baro saules baterijas vai apvienotie avoti (baterija/dīzēlis), ir augsts izmantošanas potenciāls. Pārējās izmantošanas iespējas ir dažādas: satiksmes luksoforu gaismas signāli, jūras navigācijas līdzekļi, rācības, laika apstākļu vai vides piesārņojuma monitoringa sistēmas, lielceļa zīmes un notekūdeņu attīrīšanas stacijas. Šis ir komerciālais tirgus segments. Paredz saules elektroenerģijas tehnoloģiju attīstību komunikācijām to valstu industrializācijai, kurām nav attīstīti elektrotīkli. Elektroenerģija šajā gadījumā tiek izmantota apgaismojumam ēkās, Saules laternām, televizoriem, ūdens sūkņiem, saldēšanas un dzesēšanas iekārtām, kā arī apgaismojumam veikalos, veselības vai mazos tirdzniecības centros. Saules elektroenerģija paver iespējas uzlabot sociālekonomisko labklājību, paaugstināt izglītības līmeni un mazināt atšķirības starp laukiem un pilsētām. Plaša mēroga patēriņa produkti un mazas elektroenerģijas ierīces ietver pulksteņus, kalkulatorus un rotaļlietas, arī mašīnu jumtus, uz kuriem ir uzstādītas saules baterijas. Papildus saules enerģija tiek izmantota vēl šādiem pakalpojumiem: ūdens smidzinātājiem, ceļazīmēm, apgaisme, taksofonu būdām. Iespējas ir plašas un tirgus ir liels (EREC, 2010).

Kā Eiropā, jo īpaši Vācijā, tā arī citviet tehnoloģiski attīstītajā pasaules daļā deviņdesmitajos gados radušās daudzas jaunas, nelielas kompānijas, kas gan ražo iekārtas, gan veic pētniecības darbu šajā nozarē (Zauers, 2004). Vācijā pašlaik ir vairāk nekā 300 tūkstošu fotogalvanisko sistēmu, kaut atjaunojamās enerģijas likums bija paredzējis simts tūkstošus. Tie ir atrodami visā valstī, jo valdības atbalstu atjaunojamajai enerģijai izmanto tūkstošiem namīpašnieku, fermeru un mazo uzņēmēju. Lielajiem elektroenerģijas uzņēmumiem 20 gadus tā jāiepērk par trīskāršu cenu. Taču, izmantojot dienas gaismu peļņas palielināšanai, Vācijas iedzīvotāji arī ir kļuvuši par cīnītājiem pret globālo sasilšanu (Kiršbaums, 2007).

Pastāv trīs paņēmieni saules starojuma tiešai pārveidošanai elektriskajā enerģijā: foto-elektriskais, termo-elektriskais un termo-elektroniskais. Visplašāk pielieto foto-elektriskos pārveidotājus - foto-elektriskos moduļus, kuri sastāv no atsevišķiem, parasti virknē saslēgtiem pusvadītāju foto-elektriskiem elementiem, kuru izmērus un skaitu nosaka strāvas stiprums un sprieguma lielums, kuriem paredzēts attiecīgais modulis. Savienojot virknē un paralēli foto-elektriskos moduļus, veido foto-elektrisko moduļu saules baterijas. Saules baterija parasti izskatās pēc paralēli savienotu moduļu kombinācijas (skat. 3.9. att.).

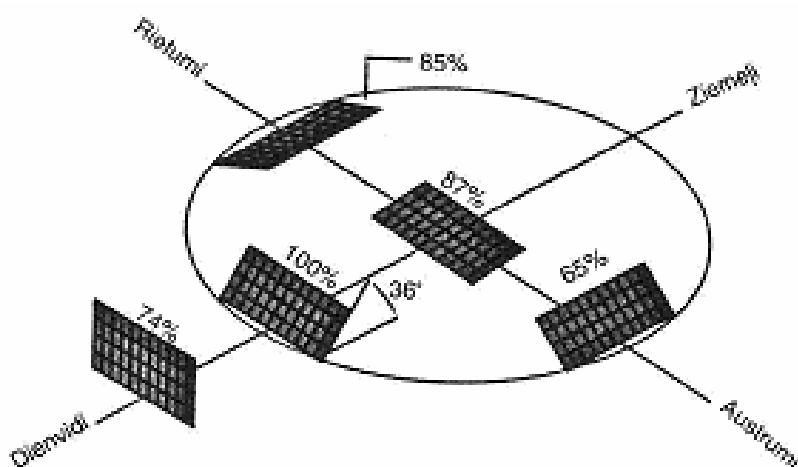


3.9. att. Tipisku foto elementu iekārtu shēmas: 1 - šūna (elements);
2 - modulis; 3 - saules baterija

Pasaulē visizplatītākie ir silīcija (Si) saules elementi, kuri atkarībā no izgatavošanas tehnoloģijas (atkarībā no silīcija atomu izkārtojuma kristālā), var būt mono-kristāliskie, poli-kristāliskie un amorfie.

Lai noteiktu un salīdzinātu Saules elementu un moduļu nominālās jaudas, testēšanas laikā to izejas jaudu mēra pie standartizētiem testēšanas nosacījumiem: starojuma intensitāte - 1000 W m^{-2} , starojums spektrs - AM 1.5 (nosaka gaismas tipu un krāsu), elementa temperatūra $+25^\circ \text{C}$. AM 1.5 atbilst saules staru frekvenču spektram, ja staru krišanas leņķis pret horizontu ir 45° . Jaudu, kuru baterija ražo pie šiem nosacījumiem, apzīmē ar W_p (pīķa jauda) un tā ir jauda, kuru saules baterija ražo optimālos apstākļos.

Saules bateriju uztvertais saules enerģijas daudzums ir atkarīgs no to izvietojanas (slīpuma leņķa, novietojuma). Uzskatāmi saules bateriju efektivitāte atkarībā no saules bateriju izvietojuma parādīta 3.10. attēlā.



3.10. att. Saules bateriju efektivitāte atkarībā no izvietojuma (EA, 2003)

Fotoelektriskā enerģijas ģenerācija notiek ar pozitīvu un negatīvu lādiņnesēju telpiska sadalījuma elektromagnētiskā starojuma absorbciju pusvadītājā. Elektriskā lauka klātbūtnē šie lādiņi izveido elektrisko strāvu ārējā laukā. Pāreju vai neviendabīgu materiālu vietās pastāv iekšējie elektrostatiskie lauki. Fotoelementu iekšējie lauki, uz sekojošo struktūru - pusvadītājs - pusvadītājs, metāls - pusvadītājs, pamata veido potenciālu starpību ap 0.5 V un strāvas blīvumu līdz 200 A m^{-2} pie saules starojuma plūsmas blīvuma ap 1 kW m^{-2} . Rūpnieciskajiem fotoelementiem lietderības koeficients pie vidējā apstarojuma sastāda no 10 līdz 20% un var saražot no 1 līdz 2 kW m^{-2} elektroenerģijas dienā (Galiņš u.c., 2008).

3.4. Hidroenerģija

Hidroenerģijas pielietojumu elektrosūkrtu autonomajām uzlādes stacijām ierobežo hidroenerģijas avotu ģeogrāfiskais novietojums un to pieejamība. Ja hidroenerģijas resursi ir pieejami - strauti, upītes, tad elektroenerģijas ražošanai ir iespējams izmantot mikro enerģētiskās iekārtas. Tās var būt pārvietojamas iekārtas ar jaudu līdz dažiem kilovatiem, kas neprasa lielus kapitālieguldījumus uzstādīšanai. Tie varētu būt peldoši straumes rati, caurulē iebūvēta hidroturbīna u.c.

Ja elektropēkratu uzlādes punkts ir pieslēgts publiskajam elektroapgādes tīklam, tad daļa no pieejamās elektroenerģijas ir saražota, izmantojot hidroenerģiju. Hidroenerģija ir vislielākais no atjaunojamās enerģijas veidiem, ko šobrīd izmanto cilvēce: 63 pasaules valstīs, tai skaitā arī Latvijā, hidrostacijās saražotā elektroenerģija pārsniedz 50% no kopējās energobilances, bet 23 valstīs - pat 90%. Hidroelektrostacijas ir viens no visefektīvākajiem elektroenerģijas ražošanas veidiem. Modernās hidroturbīnas nodrošina ap 90% efektivitāti - divas reizes augstāka efektivitāte, salīdzinājumā ar visaugstāko efektivitāti, ko piedāvā ar fosilo kurināmo darbināmas spēkstacijas. No hidroenerģijas ražotās elektroenerģijas izmaksas ir vienas no viszemākajām. Ūdens enerģētikas iekārtas tiek uzskatītas par videi nekaitīgām, jo nerada piesārņojumu. Turbīnas darbojas ilgstoši, daudzus desmitus gadu, kā atjaunojamu energoresursu izmanto ūdens kustību dabā.

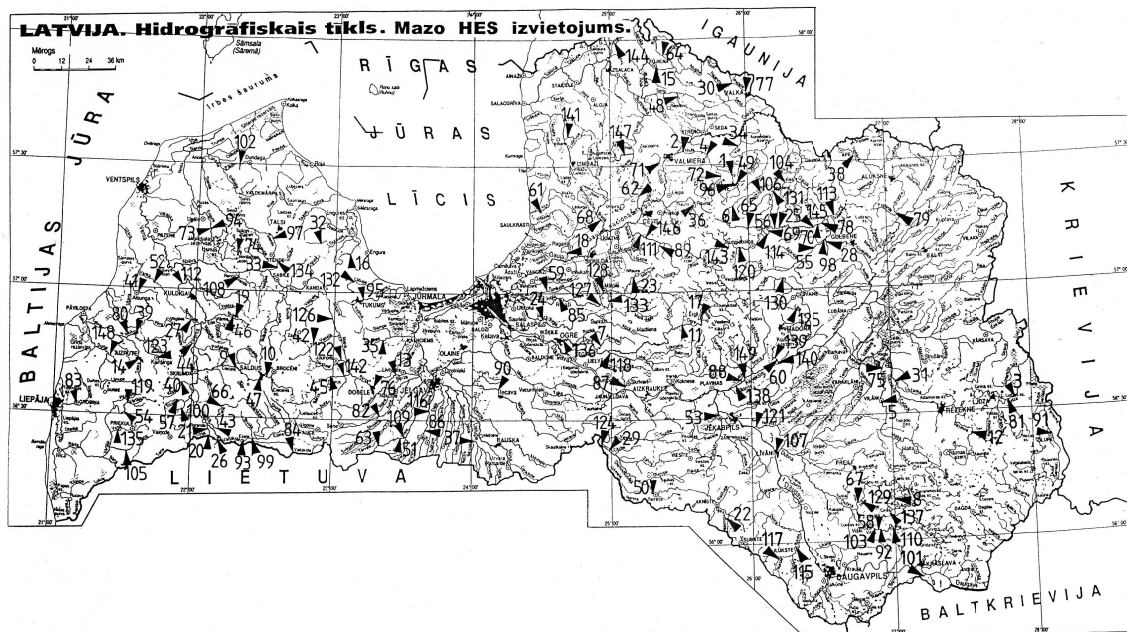
Energoierīču uztādīšana atstāj arī negatīvu ietekmi uz vidi, appludina teritorijas, aizsprostu un dambju dēļ mainās vides ekoloģiskie parametri, izmainās zivju resursi, mainās sugu struktūra, tiek traucēti to migrācijas ceļi, tiek izjauktas cilvēku ierastās dzīves vietas.

Latvijā 98% no atjaunojamajiem energoresursiem iegūtās elektroenerģijas saražo trīs lielās Latveņgo Daugavas kaskādes hidroelektrostacijas (Ķeguma HES - 266 MW, Pļaviņu HES - 870 MW un Rīgas HES - 402 MW) un 149 mazās hidroelektrostacijas (skat. 3.1. tabulu) (Elektroenerģētika, 2013).

3.1. tabula. Hidroelektrostacijās saražotā elektroenerģija, GWh

	2000	2005	2008	2009	2010	2011	2012
Lielās HES	2794	3263	3038	3391	3445	2823	3630
Mazās HES	25	62	71	66	75	64	76

Latvijā vēsturiski ir izveidojies ievērojams skaits vietu, kur ir iespējams izmantot hidroenerģiju. 3.11. attēlā redzams mazo HES izvietojums.



3.11. att. Mazo HES izvietojums Latvijā

Elektroenerģijas izstrādes pieauguma cēlonis mazajās stacijās 2003. gadā ir straujš HES skaita pieaugums. 2001. un 2002. gadā tika nodotas vairāk kā 40 HES ar kopējo jaudu vairāk nekā 10 MW, jo valsts bija noteikusi atbalstu divkārtšā tarifa veidā. Joprojām Latvijā ir daudzas piemērotas vietas, kur netiek izmantota hidroenerģija, piemēram, autonoma mikroHES izveidei, kas būtu izmantojams kā elektroenerģijas avots elektrospēkratu akumulatoru uzlādei.

3.4.1. Ūdens enerģijas pielietojuma teorētiskie pamati

3.4.1.1. Potenciālā enerģija

Ūdens enerģijas izmantošanas pamatā ir ūdens kustības enerģijas izmantošana. Jebkuram gravitācijas laukā augstumā h paceltam miera stāvoklī esošam ķermenim ar masu m piemīt potenciālā enerģija E_p , kuru var aprēķināt pēc sakarības:

$$E_p = m \cdot g \cdot h, \quad (3.17)$$

kur E_p - potenciālā enerģija, J;
 m - ķermeņa masa, kg;
 g - gravitācijas konstante jeb brīvās krišanas paātrinājums (uz Zemes vidēji $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$);
 h - ķermeņa pacelšanas augstums, m.

Šī formula nosaka, ka maksimālā enerģija, kuru ūdens var atdot, pārvietojoties (plūstot, krītot) no augstākas vietas uz zemāku, ir aprēķināma pēc formulas:

$$P = q \cdot \rho \cdot g \cdot h, \quad (3.18)$$

kur P - potenciālās enerģijas izmaiņa laikā jeb jauda, W;
 q - ūdens plūsma, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$;
 ρ - ūdens blīvums, kg m^{-3} (normālos apstākļos ūdens blīvums ir 1000 kg m^{-3});
 h - ūdens krišanas augstums (augstumu starpība starp tā kustības sākumu un beigām), m.

Izmantojot (3.18) formulu, var aprēķināt, ka ūdens straume ar plūsmu $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sākot kustību no miera stāvokļa un pārvietojoties 1 m uz leju, var atdot maksimāli 9810 J enerģijas.

3.4.1.2. Kinētiskā enerģija

No (3.18) formulas redzams, ka konkrētos apstākļos esošas ūdens masas jauda ir atkarīga no plūsmas un ūdens krišanas augstuma h .

Papildus likumsakarības jāņem vērā tad, ja ūdens masa ir kustībā - jāņem vērā tās kinētiskā enerģija,

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (3.19)$$

kur E_k - kinētiskā enerģija, J;
 m - ūdens masa, kg;
 v - ūdens kustības ātrums, m s^{-1} .

Enerģija piemīt arī ūdenim, ja tas atrodas zem spiediena, piemēram, starp zemes iežu slāņiem, aiz sūkņa caurulē u.c. Šo enerģiju parasti izsaka caur teorētisko ūdens pacelšanas augstumu h_t , un aprēķina pēc formulas:

$$h_t = \frac{p}{\rho \cdot g}, \quad (3.20)$$

kur h_t - teorētiskais ūdens pacelšanas augstums, m;
 p - spiediens, kg m^{-2} .

3.4.1.3. Ūdens masas enerģija

Vispilnīgāk enerģiju, kas piemīt ūdenim kā šķidrumam no mehānikas viedokļa, apraksta Bernulli vienādojums, kas apvieno gan potenciālo enerģiju, gan kinētisko enerģiju, gan arī spiediena ietekmi uz šķidrumu (šajā gadījumā ūdeni). Tas parāda kopējo teorētisko konkrētām gadījumam raksturīgo ūdens staba augstumu H :

$$H = h + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (3.21)$$

kur h - reālais ūdens pacelšanas augstums, m.

Tad, izmantojot (3.18) un (3.21) formulas, iegūst paplašinātu ūdens masai piemītošās maksimālās enerģijas formulu:

$$P_{\max} = q \cdot \rho \cdot g \cdot H = q \cdot \rho \cdot g \cdot \left(h + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} \right), \quad (3.22)$$

kur P_{\max} - maksimāli iespējamā ūdens enerģijas izmaiņa laikā jeb jauda, W;
 q - ūdens plūsma, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;
 h - ūdens krišanas augstums (augstumu starpība starp tā kustības sākumu un beigām), m.

Ja kāda no (3.22) formulas komponentēm neeksistē, piemēram, ūdens neatrodas zem spiediena, vai tas atrodas miera stāvoklī ($v = 0$), tad atbilstošā maksimāli pieejamās mehāniskās enerģijas komponente arī būs vienāda ar nulli.

Projektējot ūdens enerģētikas iekārtas, jāņem vērā vairāki būtiski faktori, kas samazina pieejamās enerģijas daudzumu. Galvenie no tiem ir enerģijas pārveides procesā esošie zudumi, un zudumi starpposmā no ūdens kustības uzsākšanas līdz tā nonākšanai enerģijas pārveides iekārtā.

3.4.1.4. Enerģijas pārveides zudumi

Katrai ierīcei, kuru izmanto enerģijas saņemšanai un izmantošanai, ir savs lietderības koeficients η - attiecība starp pievadīto un aizvadīto enerģijas daudzumu:

$$\eta = \frac{P_1}{P}, \quad (3.23)$$

kur η - iekārtas lietderības koeficients;
 P_1 - tālāk aizvadītā jauda, W;
 P - pievadītā jauda, W.

Vēsturiski vissenākajiem - ūdens straumes piedziņas ūdensratiem lietderības koeficients nepārsniedza 0.2 jeb 20%, turpretī modernās Frensis un Kaplāna turbīnas lietderības koeficients tuvojās 0.8...0.90 (80...90%).

Izmantojot ūdensratus un turbīnas kā primārās enerģijas pārveides iekārtas, un ievērtējot to lietderības koeficientus, nedrīkst aizmirst arī par enerģijas pārvades iekārtām un ierīcēm - zobratu pārvadiem, iegultņotām vārpstām, siksnu pārvadiem u.c., kā arī par sekundāro enerģijas pārveides iekārtu - elektroģeneratoru. Katram starposmam - elektroģeneratoram, pārvadam, ir savs lietderības koeficients. Kopējo ūdens enerģētikas iekārtas lietderības koeficientu aprēķina kā visu virknē slēgto pārvadītās enerģijas zudumus radošo iekārtu un elementu lietderības koeficientu reizinājumu:

$$\eta_{kop} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n, \quad (3.24)$$

kur η_{kop} - kopējais ūdens enerģētikas iekārtas lietderības koeficients;
 $\eta_1 \dots \eta_n$ - atsevišķu ūdens enerģētikas iekārtas sastāvdaļu lietderības koeficienti.

Ir svarīgi izvēlēties minimālu elementu skaitu ar augstiem lietderības koeficientiem, jo, piemēram, divas virknē saslēgtas iekārtas ar lietderības koeficientiem 70% ir labākas nekā četras iekārtas ar lietderības koeficientiem 80% (attiecīgi $\eta_{kop\ 70\%} = 0.70^2 = 0.49$ un $\eta_{kop\ 80\%} = 0.80^4 = 0.4096$).

3.4.1.5. Hidrauliskie zudumi

Enerģijas zudumi veidojas ne tikai turbīnā, bet arī starposmā no ūdens kustības uzsākšanas sākuma līdz tā nonākšanai līdz turbīnai. Tie ir hidrauliskie zudumi. Ūdenim kustoties, tas saskaras gan ar cauruļu, gan ar atvērto kanālu sienām, gan ar jebkura tajā iegremdēta ķermeņa virsmu. Virsmas nav absolūti gludas, saskares virsmā rodas berze. Ja pieņemam, ka ūdens plūsma ir lamināra, tās kustības ātrums ir mazs, savstarpējā berze starp ūdens slāņiem niecīga, ūdens plūsmas ātrums samazinās no maksimālā cauruļvada centrā līdz nullei pie cauruļvada sienas, konkrētās plūsmas Reinolda skaitlis ir mazs. Zudumus no berzes pret cauruļvada sienām var izteikt ar ūdens staba augstuma samazinājumu:

$$h_b = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (3.25)$$

kur h_b - ūdens staba augstuma samazinājums no berzes, m;
 L - cauruļvada garums, m;
 D - cauruļvada diametrs, m;
 f - berzes koeficients, kas atkarīgs no cauruļvada materiāla un tā apstrādes kvalitātes;
 v - ūdens kustības ātrums, m s⁻¹.

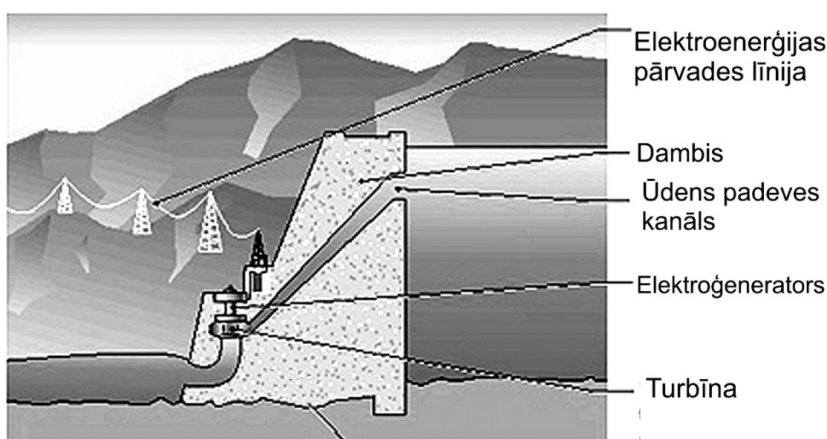
Enerģijas zudumi rodas arī tad, ja izmainās ūdens plūsmas kustība - plūsmai jāturpinās paplašinātā vai sašaurinātā cauruļvadā, jāpārvar pārgāznes, cauruļvadi vai atvērtais kanāls ir ar liekumiem, tajos ir iebūvēti aizvari vai tml. Veidojas turbulences zudumi, enerģija tiek patērēta, ūdens slāņiem beržoties vienam pret otru. Turbulence būtiski bremsē ūdens plūsmu. Šo zudumu aprēķinu veic, izmantojot specifiskas hidraulikas formulas un datu tabulas. Galvenā tendence visiem turbulences zudumiem ir vienāda - tie ir tieši proporcionāli šķidrums plūsmas ātruma kvadrātam.

3.4.2. Hidroelektrostacija

Ūdens enerģijas izmantošanai lieto hidroenerģētikas iekārtas. Tās ietver sevī ēkas, būves (dambjus, aizsprostus), ūdens padeves sistēmas, enerģijas uztveres un pārveides iekārtas - turbīnas un elektroģeneratorus.

Lai varētu izmantot ūdens enerģiju, ir nepieciešama nepārtraukta un pietiekoši apjomīga ūdens plūsma, kuru nodrošina upes un strauti ar pietiekošu kritumu, lai būtu nepieciešamais ūdens straumes ātrums.

Hidroelektrostācijas galvenais uzdevums ir pārvērst ūdens mehānisko enerģiju elektroenerģijā. Tās darbības princips ir vienkāršs - ūdens, plūstot pa kanālu vai cauruļvadu no ūdenskrātuves, griež turbīnu, un tā savukārt elektroģeneratoru, kas ražo elektroenerģiju (skat. 3.12. att.).



3.12. att. Hidroelektrostācijas shēma

Hidroelektrostācijas galvenās sastāvdaļas:

- ūdenskrātuve ar dambi;
- ūdens padeves kanāls vai cauruļvads;
- turbīna ar elektroģeneratoru;
- elektroenerģijas pārvades līnijas.

Ūdenskrātuvē uzkrājot ūdeni, tiek uzkrāta enerģija. Dambji un aizsprosti aptur ūdens plūsmu un izveido ūdenskrātuves. Izmantojot kustīgus aizvarus ir iespējams regulēt ūdens līmeni ūdenskrātuvē, tā regulējot uzkrātās enerģijas daudzumu un vadot tās pārveidošanu.

Atverot aizvarus, kas izveidoti ūdens padeves kanālos vai cauruļvados, ūdenskrātuvē uzkrātais ūdens ar tā potenciālo enerģiju uzsāk kustību, pārvēršot savu potenciālo enerģiju kinētiskajā enerģijā. Ar aizvariem ir iespējams regulēt nepieciešamo enerģijas pārveides intensitāti.

Ūdens plūsma, kas ieguvusi kinētisko enerģiju, iedarbojas uz ūdens turbīnas lāpstiņām, nododot savu kinētisko enerģiju tām. Ūdens pats būtiski zaudē vai nu ātrumu, vai spiedienu, vai arī abus šos parametrus, iegriežot turbīnu, kas savukārt nodod mehānisko griezes enerģiju elektroģeneratora vārpstai. Elektroģenerators ražo atbilstoša apjoma elektroenerģiju.

Ūdens enerģijas apjoms ir atkarīgs gan no ūdens plūsmas ātruma, gan arī no spiedienu starpības un ūdens līmeņu starpības ieplūdē un izplūdē.

3.4.3. Turbīnu un ūdensratu veidi

Ūdens enerģijas uztveršanai un pārveidei izmantojamās piedziņas iekārtas iedala divās grupās - ūdensratos un turbīnās. Šāds sadalījums ir veidojies vēsturiski, ūdensrati ir visvecākās ūdens enerģijas izmantošanas ierīces, savukārt turbīnu izmantošana sākusies tikai 19. gadsimtā. Ūdensratus izmanto arī šobrīd, to lietderības koeficients ir salīdzinoši zems un jauda nepārsniedz 50 kW.

Ūdens enerģijas izmantošanai nepieciešamo ierīču attīstība ļoti strauji notika 19. gs., jo industriālajai sabiedrībai bija nepieciešami arvien lielāki energoresursi. Līdz pat mūsdienām tiek pieminēti ievērojamākie izgudrotāji Benuā Furneirons (*Benoit Fourneyron*), Džeimss Frensiss (*James B. Francis*), Samules Naitss (*Samuel Knight*), Lesters Peltons (*Lester Pelton*) un Viktors Kaplans (*Viktor Kaplan*), kurus var uzskatīt par mūsdienu ūdensturbīnu teorijas un praktiskās izmantošanas pamatlicējiem.

3.4.3.1. Ūdensrati

Hidroenerģijas pārveidošanai lietotie ūdensrati vēsturiski bija pazīstami jau pirms 1000 gadiem. Tos būvēja gan ar vertikālu, gan horizontālu vārpstas izvietojumu, tika veidotas gan stacionāras, gan peldošas hidroenerģētiskās iekārtas un izmantoja galvenokārt mehāniskās enerģijas ieguvei.

Galvenās šādu ratu priekšrocības:

- vienkāršā uzbūve - tos varēja uzbūvēt jebkurš galdnieks;
- mazs ieguldījumu apjoms - nav nepieciešams veikt apjomīgus zemes darbus, vienkārša uzstādīšana un palaišana.

Lielākie ūdensratu trūkumi:

- tie attīsta ļoti mazu jaudu;
- lietderības koeficients straumes enerģijas izmantošanai nepārsniedz 40%;
- mazs vārpstas rotācijas ātrums.

Būtiska problēma - vasaras periodā, kad sausuma dēļ samazinājās ūdens līmenis upē, šādu ūdens ratu jauda ievērojami samazinājās, reizēm rati pat vispār apstājās, jo ūdens līmenis bija zem to lāpstiņām. Risinājums - ūdens ratus būvēja zem tiltiem vai blakus tiem, izmantoja peldošo kuģu principu.

Vietās, kur to pielāva upes krasti, tika veidoti arī nelieli aizsprosti, lai nodrošinātu nepārtrauktu ūdens plūsmu uz ūdens rata lāpstiņām gan vasarā, gan pavasaros un rudenos.

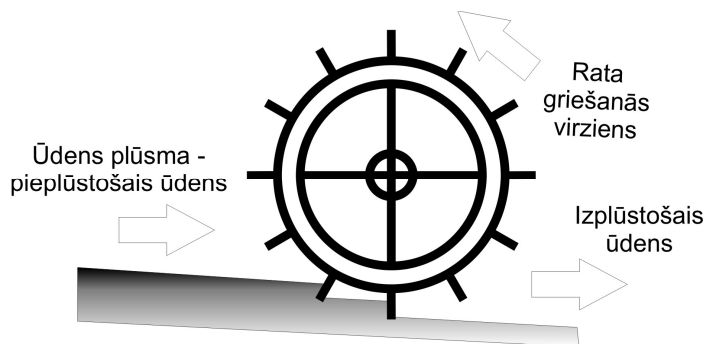
Vietās, kur to pielauj ģeogrāfiskā konfigurācija, tika izvietoti ūdens rati ar augšējo ūdens padevi. To jauda bija ievērojami lielāka, un arī efektivitāte augstāka. Tomēr to darbībai bija vajadzīgas vai nu īpašas slūžas un dambji, vai arī jau minētie ģeogrāfiskie un ģeoloģiskie apstākļi - ūdenskrātuves paaugstinājumos, kalnos u.c.

Pēc konstrukcijas ūdensratus iedala horizontālajos un vertikālajos. Horizontālajiem ūdensratiem griešanās ass ir vertikāla, bet vertikālajiem tā ir novietota horizontāli. Pēc veida, kā tiek paņemta enerģija no ūdens, ūdensratus iedala straumes ūdensratos, kas uzņem ūdens kinētisko enerģiju,

un ūdensratos ar ūdens padevi no augšas - enerģija tiek iegūta, ūdens masai pārvietojoties no augstākas vietas uz zemāku vietu.

3.4.3.2. Straumes ūdensrati

Vissenākais ir straumes ūdensrats. To iegriež ūdens straume. Kustībā esošais ūdens triecas pret rata lāpstiņām, atdod daļu no kinētiskās enerģijas un griež ūdensratu (skat. 3.13. att.) (Galiņš u.c., 2008).



3.13. att. Straumes ūdensrats

Šāda tipa ūdensrata priekšrocības:

- vienkārša konstrukcija bez sarežģītām detaļām;
- lēti materiāli (parasti koks, retāk metāls);
- nav nepieciešama augsta izgatavošanas precizitāte;
- nav nepieciešamas īpašas zināšanas izgatavošanai un izmantošanai;
- nav nepieciešamas lielas investīcijas.

Galvenie trūkumi:

- lietderības koeficients ap 20%;
- pētījumi rāda, ka visaugstākā efektivitāte šādam ūdensratam ir tad, kad tā lāpstiņas kustības ātrums ir 50% no ūdens straumes kustības ātruma. Latvijas upēs straumes ātrums ir zem 1 m s^{-1} . Tas nozīmē, ka ūdensrata rotācijas ātrums ir zems ($1 \dots 5 \text{ min}^{-1}$).

Jauda uz jebkuras rotējošas sistēmas, arī uz straumes ūdensrata, vārpstas ir aprēķināma pēc formulas:

$$P = F \cdot v = M \cdot \omega, \quad (3.26)$$

kur P - ūdensrata jauda, W;
 F - spēks, kas darbojas uz straumes ūdensrata lāpstiņu, N;
 v - lāpstiņas kustības ātrums, m s^{-1} ;
 M - griezes moments uz straumes ūdensrata vārpstas, N m;
 ω - straumes ūdensrata griešanās frekvence, rad s^{-1} .

No (3.26) formulas var secināt, ka mazu kustības ātrumu gadījumā vērā ņemamu jaudu iegūšanai jābūvē liela diametra ūdensrats ar lielām lāpstiņām. Būtisku iespaidu uz straumes ūdensrata darbību atstāj mainīgs ūdens līmenis upē.

Optimālais straumes ūdensrata darbības režīms ir gadījumā, kad apakšējā lāpstiņa ir pilnīgi iegremdēta ūdenī, bet ūdens līmenis nesniedzas pāri tai. Tad tiek iegūta maksimālā jauda.

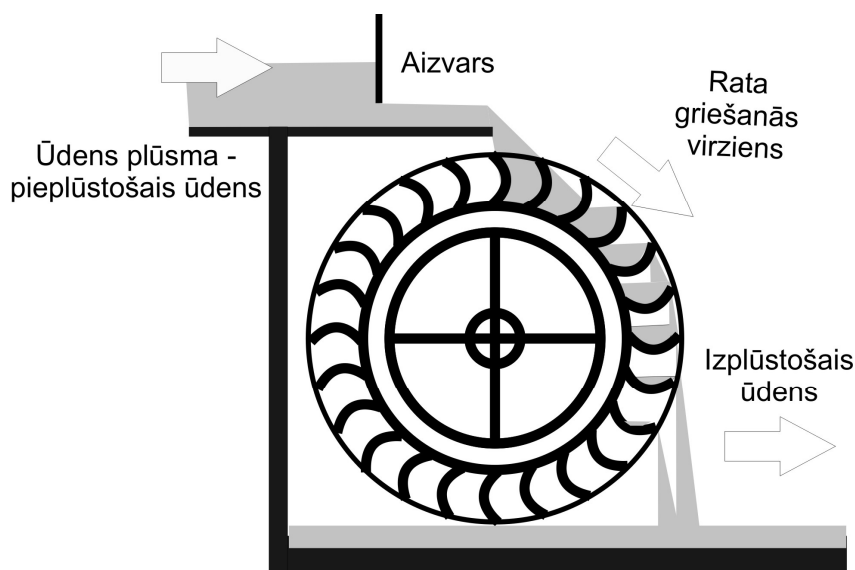
Lietus periodā un plūdu periodā ūdens līmenis upē ceļas, un ar ūdeni pārklājas ne tikai lāpstīņas, kas saņem ūdens kinētisko enerģiju, bet arī tās lāpstīņas, kas vai nu vēl nav iegrimušas ūdens straumē, un tās, kuras atrodas tiešu plūsmas enerģiju saņemošo lāpstīņu aizmugurē, līdz ar to bremsējot ūdensratu un radot zudumus. Līdzīgi zudumus rada arī ūdensrata sānu malas un citas virsmas, kas saskaras ar ūdens straumi.

Sausuma periodos, kad nokrišņi samazinās, samazinās arī ūdens līmenis upē, un samazinās arī straumes un lāpstīņas saskares laukums un arī straumes ātrums. Līdz ar to ļoti būtiski samazinās jauda uz straumes ūdensrata vārpstas.

Neskatoties uz augstākminētajiem trūkumiem, vietās ar pietiekoši lielu straumes ātrumu un ierobežojumiem citu tipu ūdens enerģijas iekārtu uzstādīšanai (ģeoloģiskie, ģeogrāfiskie, investīciju), kur nav nepieciešamas lielas jaudas, šāda tipa iekārtas joprojām tiek izmantotas.

3.4.3.3. Ūdensrats ar augšējo ūdens padevi

Vietās, kur ir dabiski izveidojusies ūdens līmeņu starpība, vai arī viegli ierīkot aizsprostus, kas ļauj pacelt ūdens līmeni (dziļas gravas ar atbilstošu grunts struktūru u.c.), kā arī vietās, kur ūdens straumes ātrums bija ļoti mazs, bet ūdens pieplūde pietiekoša, tika uzstādīti ūdensrati ar augšējo ūdens padevi (skat. 3.16. att.) (Galiņš u.c., 2008).



3.14. att. Ūdensrats ar augšējo ūdens padevi

Ūdensratā ūdens ieplūst nedaudz aiz tā augšējā punkta, piepildot starplāpstīņu telpu, kas atšķirībā no straumes ūdensrata starplāpstīņu telpas ir izveidota no vienas puses atvērta trauka veidā. Ūdens masa gravitācijas spēka ietekmē griež ūdensratu, tā apakšējā daļā izplūstot no starplāpstīņu telpas, jo starplāpstīņu telpas atvere ir pavērsta uz leju.

Ūdensratā tiek paņemta gan ūdens plūsmas kinētiskā enerģija, bremsējot plūsmu starplāpstīņu telpā, gan potenciālās enerģijas izmaiņa, ūdens masai pārvietojoties no augstāka punkta uz zemāku punktu. Galveno enerģijas daļu sastāda potenciālās enerģijas izmaiņas izmantošana.

Maksimālo teorētisko jaudu, ko var iegūt ar šāda veida ūdensratu, aprēķina, izmantojot formulu:

$$P = m \cdot g \cdot h, \quad (3.27)$$

kur P - maksimālā teorētiskā jauda, W;
 m - ūdens masa, kas tiek pārvietota no augstākā līmeņa uz zemāko līmeni, kg;
 h - augstumu starpība starp augšējo uz apakšējo līmeni.

Jāņem vērā tas, ka starplāpstiņu tilpuma aizpildījums mainās, ūdensratam griežoties - kustoties lejup, ūdens pakāpeniski iztek no starplāpstiņu telpas, tā samazinot ūdensrata jaudu.

Teorētiskie un praktiskie pētījumi rāda, ka ūdensrats ar augšējo ūdens padevi darbojas ar vislielāko efektivitāti, ja tas griežas ar vismazāko iespējamo rotācijas frekvenci, un vienlaicīgi spēj pārnest visu pienākošo ūdens plūsmu. Šādi izveidots ūdensrats samazina ienākošā ūdens kustības ātrumu līdz pat 10 reizēm. Efektīvai starplāpstiņu tilpuma aizpildīšanai nepieciešams, lai ieplūstošā ūdens ātrums būtu vismaz 3 reizes lielāks par ūdensrata aploces kustības ātrumu.

Galvenās priekšrocības ūdensratam ar augšējo ūdens padevi:

- augsta efektivitāte - 60-80%;
- vienkārša konstrukcija bez sarežģītām detaļām;
- lēta konstrukcija (parasti koks, retāk metāls);
- nav nepieciešama augsta izgatavošanas precizitāte;
- nav nepieciešamas īpašas zināšanas ne tā izgatavošanā, ne arī izmantošanā;
- nav nepieciešamas lielas investīcijas rata izgatavošanā.

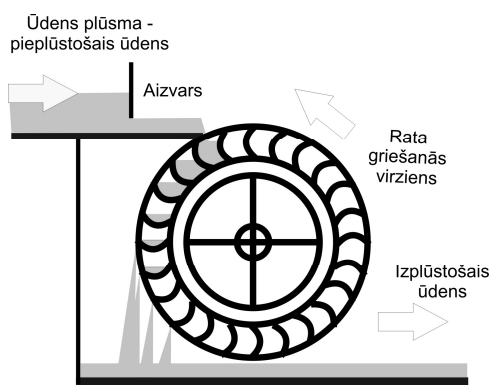
Galvenie trūkumi:

- jābūt ievērojamai ieejošā un izejošā ūdens augstumu starpībai, lai iegūtu vērā ņemamu enerģijas apjomu - nepieciešami papildus būvdarbi un citas investīcijas šādas iekārtas uzstādīšanai;
- ūdensrata diametram jābūt mazākam nekā izejošā un ieejošā ūdens augstumu starpībai, lai nodrošinātu ieplūdi no augšas, un brīvu ūdens izplūdi no starplāpstiņu telpas - tas samazina gan ūdensrata efektivitāti, gan arī pieprasa pielāgot pārvades iekārtas (piemēram, lai izveidotu ūdensratu ar 3 m diametru, nepieciešama ūdens līmeņu starpība vismaz 3.50 m);
- efektivitāti samazina konstrukcijas, kurās ūdens izplūde no starplāpstiņu telpas sākas, pirms lāpstiņas sasniedz apakšējo pozīciju;
- efektivitāti samazina arī konstrukcijas, kurās ūdens nepaspēj izplūst no starplāpstiņu telpas līdz pozīcijai, kad lāpstiņas sāk pārvietoties augšup;
- līdzīgi kā straumes ūdensratam, vērā ņemamu jaudu iegūšanai nepieciešami liela izmēra ūdensrati, kas ir materiālietilpīgi, ar mazu jaudas un iekārtas svara attiecību;

- šāda ūdensrata griešanās virziens apakšējā tā punktā ir pretējs aizplūstošā ūdens virzienam. Paaugstināta ūdens līmeņa gadījumā izplūdes pusē var izrādīties, ka ūdensrats saskaras ar izplūstošā ūdens straumi, un tiek bremsēts (rodas zudumi).

Augstās efektivitātes un mazo investīciju dēļ arī šādi ūdensrati joprojām tiek izmantoti gan atpūtas vietās, gan arī enerģijas ieguvei.

Lai pielāgotos svārstīgam ūdens līmenim, tika izveidoti ūdensrati ar pretēju griešanās virzienu (skat. 3.15. att.) (Galiņš u.c., 2008).

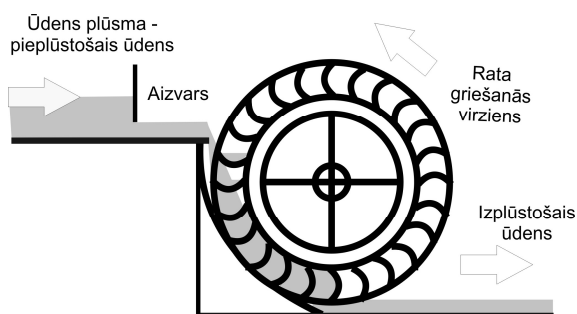


3.15. att. Ūdensrats ar pretplūsmas griešanās virzienu

Ūdens šādā ūdensratā tiek padots nedaudz pirms augšējā punkta. Starplāpstiņu tilpnes aizpildās ar ieplūstošo ūdeni, tā svars smaguma spēka ietekmē griež ūdensratu, tikai griešanās notiek pretējā virzienā. Rata apakšējā daļa kustās tajā pašā virzienā, kā aizplūstošais ūdens. Šāda konstrukcija nodrošina mazākus zudumus no rata un aizplūstošā ūdens saskares. Ūdensrata diametrs var būt vienāds vai pat lielāks par ieplūstošā un izplūstošā ūdens līmeņa starpību. Šāds ūdensrata tehniskais risinājums neļauj izmantot ieplūstošā ūdens kinētisko enerģiju, jo tā virziena vektors ir vērsti pretēji rata griešanās virzienam un pat zināmā mērā bremsē rata griešanos.

Šāda tipa ūdensrati var strādāt pie ļoti lielām ūdens līmeņa svārstībām un darbojas, pat ja izplūstošā ūdens līmenis sasniedz ūdensrata ass līmeni. Tiek izmantota arī aizplūstošās ūdens straumes enerģija. Kā priekšrocību var atzīmēt mazākas izmaksas izplūdes kanālu izbūvei.

Vietās, kur ir ievērojama ūdens plūsma, bet nav iespējams izveidot lielu ieplūstošā un izplūstošā ūdens līmeņa starpību, bet nepieciešams liels griezes moments, izmanto ūdensratus ar ūdens padevi rata vārpstas augstumā (skat. 3.16. att.) (Galiņš u.c., 2008).



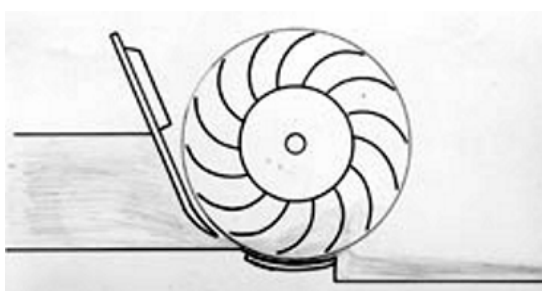
3.16. att. Ūdensrats ar ūdens padevi rata vārpstas augstumā

Galvenie ieguvumi - tiek izmantots liels ūdensrats un iegūts palielināts griezes moments, pilnībā izmantota straumes enerģija, īpaši izveidotā gultne neļauj ūdenim izplūst no rata pirms tas sasniedz zemāko punktu.

Galvenais trūkums - palielinātie hidrauliskie zudumu saskarvirsmā starp ratu un gultni. Šādu ūdensratu efektivitāte ir ap 40...60% - lielāka nekā straumes ūdensratu efektivitāte, bet mazāka kā pretplūsmas ūdensratu efektivitāte.

3.4.3.4. Ponselota turbīna

Par visievērojamāko atklājumu ūdens ratu izmantošanā, var uzskatīt francūža Žana Viktora Ponselota turbīnu (skat. 3.17. att.), tās efektivitāte sasniedza pat 60...70% ierasto 30% vietā, tā darbojas pat četrkārtīgā ūdens līmeņa svārstību diapazonā un to izmanto arī šobrīd vietās ar nelielu ūdens līmeņu starpību.



3.17. att. Ponselota turbīna

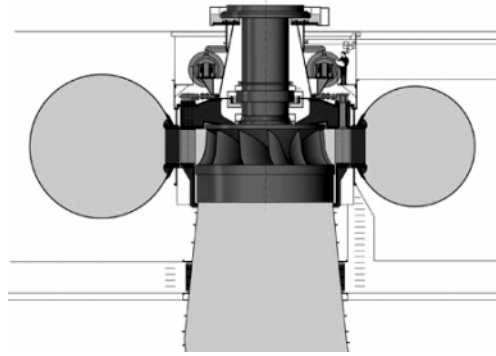
Tā ir pirmā hidroturbīna, kas izmanto ne tikai ūdens svaru, bet arī kinētisko enerģiju. Atšķirībā no ūdensratiem ar augšējo ūdens padevi, tai nav slēgtu starplāpstiņu tilpumu. Lāpstiņu izliekums Ponselota turbīnā ir izveidots ar tādu formu, ka ūdens plūsma, ieplūstot starplāpstiņu telpā, maina kustības virzienu, un nobremzējas, atdodot visu enerģiju lāpstiņai, tajā pašā laikā, tā kā starplāpstiņu telpa nav noslēgta, samazinās zudumi no savstarpējās berzes un ieplūstošajai ūdens plūsmai pretī darbojošās starptelpā esošā ūdens plūsmas. Arī izplūde no starplāpstiņu telpas nav ierobežota, tā notiek brīvi.

Ponselota turbīnas augstā efektivitāte un vienkāršā konstrukcija nodrošināja plašu tās pielietojumu 19. gadsimtā. Arī šobrīd vietās ar nelielu ūdens līmeņu starpību (līdz 2 m) un ievērojamām ūdens plūsmas svārstībām tā ir labs risinājums.

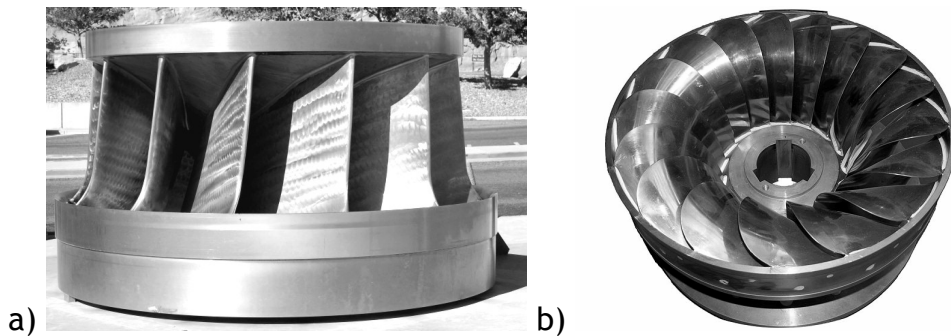
3.4.3.5. Frensisa turbīna

Izpētot Ponselota turbīnu ar uz turbīnas centru virzītu ūdens plūsmu un Furneirona turbīnu ar no turbīnas centra uz ārpusi vērstu ūdens plūsmu, Džeimss B. Frensiss (*James B. Francis*) 1849. gadā piedāvāja savu reakcijas turbīnu (skat. 3.18. att.).

Frensisa turbīna izmanto gan radiālo, gan aksiālo plūsmu, kaut gan tā tiek saukta par radiālās plūsmas turbīnu, kurā ūdens plūst visapkārt turbīnai, triecas pret turbīnas lāpstiņām, gar liektajām lāpstiņām izejot cauri turbīnai, bremsējoties, un turpinot kustību aksiālā virzienā, nonākot izplūdes pusē (skat. 3.19. att.). Turbīnai ir 9 līdz 19 nemainīga profila, īpaša liekuma lāpstiņas. Frensisa turbīnas efektivitāte saniedza 90%.



3.18. att. Frensisa turbīnas sānskats ar ūdens vadotnēm



3.19. att. Modernas Frensisa turbīnas rotors:
a) pretskats, b) skats no apakšas

Dž. Frensisa ieguldījums turbīnu attīstībā saistīts ar sistēmiskās pieejas un zinātnisko pētījumu metožu izmantošanu turbīnu pētīšanā. Viņa pielietotās matemātiskās un grafiskās metodes ļāva industrializēt turbīnu izstrādi, ļaujot izveidot augsti efektīvas turbīnas projektus atbilstoši katras konkrētas vietas prasībām.

Frensisa turbīnas vadotņu un turbīnas kopskats dots 3.20. attēlā. Vadotnes var būt gan nekustīgi piestiprinātas, gan arī ar iespēju mainīt to leņķi attiecībā pret rotora lāpstiņām.



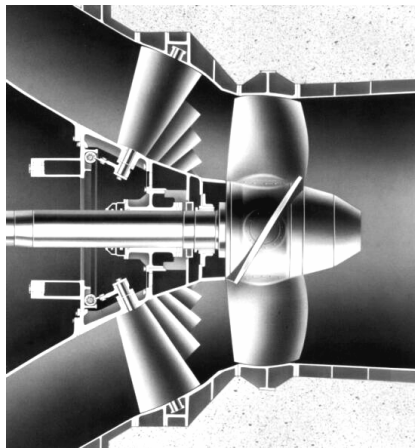
3.20. att. Frensisa turbīna - rotors un vadotnes

Svarīgs Dž. Frensisa atklājums bija gliemežnīcas tipa ūdens plūsmas vadotnes izveide turbīnas ūdens padevei. Samazinot liekuma rādiusu, tiek iegūts pieaugošs ūdens plūsmas kustības ātrums, un samazinot cauruļvada diametru, tiek nodrošināta vienmērīga ūdens padeve pa visu turbīnas aploci. Vienlaicīgi izveidojas ūdens virpulis, kurš, iedarbojoties uz turbīnu, atdod enerģiju turbīnai. Turbīnas izejā ūdens plūst ārā ar nelielu kinētisko enerģiju. Ūdens spiediens samazinās līdz atmosfēras spiedienam.

Frensisa turbīnas ir visplašāk lietotās turbīnas mūsdienās, un darbojas ļoti plašā ūdens staba augstuma diapazonā - no dažiem metriem līdz pat vairākiem simtiem metru (8...700 m), un plašā jaudu diapazonā - no dažiem kilovatiem līdz pat 1000 megavatiem. Frensisa turbīna var darboties arī sūkņa režīmā, nepieciešamības gadījumā sūknējot ūdeni augšā uz rezervuāru, un brīdī, kad nepieciešama enerģija, pārslēgties enerģijas savākšanas režīmā.

3.4.3.6. Propellera turbīna

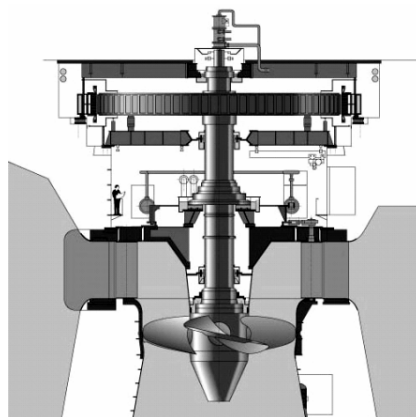
Propellera turbīnām izmanto propelleri ar nemainīgu lāpstiņas slīpuma leņķi. Lieto vietās ar mazu ūdens staba spiedienu, sākot ar 0.5 m. Jaudas diapazons ir no dažiem simtiem vatu līdz 100 MW. Šādu turbīnu priekšrocība - mazs izmērs, iespēja ievietot tieši cauruļvadā. Populārākās ir tubulārās turbīnas (skat. 3.21. att.), kur propellera un elektroģeneratora vārpstas ir tiešā veidā savienotas. Lai iegūtu augstākus apgriezienus turbīnas izejā, tiek izmantotas arī tubulārās turbīnas ar pārnēsūmkārību. Ja ģenerators jāpasargā no ūdens iedarbības, izmanto atdalītas sistēmas, kurās turbīna atrodas zem ūdens, bet ģenerators virs ūdens. Straflo turbīnās rotors apvienots ar ģenerators rotoru.



3.21. att. Tubulāra propellera turbīna

3.4.3.7. Kaplāna turbīna

Kaplāna turbīna ir reakcijas turbīna ar propellera tipa rotoru, kuram lāpstiņu leņķis ir maināms (skat. 3.22. att.).



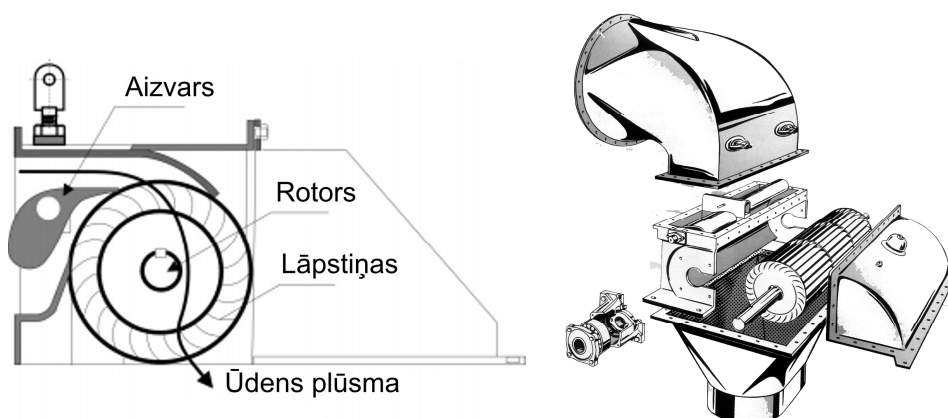
3.22. att. Vertikālā Kaplāna turbīna - kopskats (Voith-Siemens)

To 1913. gadā izgudroja austriešu profesors Viktors Kaplāns (*Viktor Kaplan*). Turbīna labi darbojas ar ļoti zemu ūdens staba augstumu un lielu plūsmu. Sākot ar 1922. gadu firma *Voith* Kaplāna turbīnas ar 800 kW jaudu sāka plaši ieviest upju spēkstacijās.

Kaplāna turbīna ir iekšplūsmas (plūsma no ārpuses uz iekšpusi) reakcijas turbīna, kurā veiksmīgi kombinētas radiālā un aksiālā ūdens plūsma. Līdzīgi kā Frensisas turbīnai, arī Kaplāna turbīnai ir spirālveida ieplūdes kanāls, kas aptver turbīnu no visām pusēm, un nodrošina gan tangenciālu ūdens plūsmu, gan arī vienmērīgu ūdens padevi uz visām turbīnas lāpstiņām, liekot tai griezties. Izplūdes kanāls ir ar īpašu profilu, kas veicina nobremzētā ūdens ātrāku aizvadīšanu no turbīnas telpas. Ja turbīnas pieplūdes un izplūdes puses ir piepildītas ar ūdeni, tai nav jāatrodas apakšējā līmenī, lai tā darbotos. Vienīgi jāņem vērā tas, ka augstāks turbīnas novietojums radīs sūkšanas efektu ieplūdes pusē, kas var radīt kavitācijas efektu, kas savukārt var radīt nopietnus bojājumus gan turbīnai, gan iesūkšanas kanālam. Jāņem vērā arī tas, ka iesūkšanas kanālam jāiztur gan pārspiedieni, gan spiediens zem atmosfēriskā. Maināmais turbīnas lāpstiņu leņķis ļauj tai strādāt ar augstu efektivitāti - ap 90%, plašā spiedienu un plūsmu diapazonā. Ļoti zemu ūdens staba spiedienu zonā efektivitāte samazinās. Būtiska Kaplāna turbīnas iezīme ir zemais zivju traumēšanas rādītājs, kura dēļ daudzos gadījumos moderno spēkstaciju projektos Kaplāna turbīnas aizstāj Frensisas turbīnas.

3.4.3.8. Šķērsplūsmas turbīna

Šķērsplūsmas turbīnas autori ir austrālietis Entonijs Mičels, ungārs Donāts Banki un vācietis Fricis Osbergers. E. Mičels iesniedza savu pirmo patentu 1903. gadā, un kompānija *Weymouth* ražoja šķērsplūsmas turbīnas ilgu laiku. Osbergers pieteica savu patentu 1922. gadā, nodibināja savu uzņēmumu un uzsāka šo turbīnu ražošanu. Šobrīd kompānija *Ossbergers* ir vadošā šķērsplūsmas turbīnu ražotāja pasaulē. Šķērsplūsmas turbīnas darbības princips un konstrukcija parādīts 3.23. attēlā.



3.23. att. Šķērsplūsmas turbīnas darbības princips un konstrukcija

Turbīna ir līdzīga Ponselota ūdensratam, tikai atšķirībā no tā izmanto ne tikai smaguma spēka darbu, bet arī ūdens plūsmas kinētisko enerģiju, ūdenim izplūstot caur turbīnas tukšo centrālo daļu un turbīnas lejasdaļā atkal iedarbojoties uz turbīnas lāpstiņām. Arī griešanās virziens šai turbīnai ir pretējs Ponselota ūdensrata griešanās virzienam. Turbīna novietota šķērsām

visai ūdens plūsmai, un tiek veidota pēc iespējas platāka, lai nodrošinātu pietiekamu jaudu. Ievērojama ir turbīnas pašattīrīšanās spēja - ejot caur turbīnai un nonākot tās apakšējā daļā, ūdens kustas pretēji ieplūdes virzienam, tādējādi iztīrot starplāpstiņu telpu un lāpstiņu virsmas. Tā kā tiek izmantots ūdens caurplūdes princips caur turbīnai, tā ir lēngaitas turbīna, jo lielu apgriezīenu ietekmē strauji pieaug hidrauliskie zudumi - turbīna pašbremzējas.

Turbīnas rotorā ievietotas liektas lāpstiņas (skaitā līdz 37). Lāpstiņu malas ir noasinātas, lai minimizētu berzi pret ūdeni. Ūdens ieplūst rotorā 45° leņķī, atdodot daļu kinētiskās enerģijas lāpstiņām. Regulējošais aizvars izmaina plūsmas šķērsgriezuma laukumu, regulējot ūdens plūsmu caur rotoru. Lielākā daļa ūdens enerģijas tiek uztverta, ūdens plūsmai pirmo reizi iedarbojoties uz lāpstiņām. Plūstot ārā no rotora vidus, tiek iegūti vēl ap 30% enerģijas.

Galvenās priekšrocības:

- lietderības koeficients robežās no 80 līdz 82%;
- kaut arī šķērslūsmas lietderības koeficients ir mazāks kā Kaplāna, Frensisa vai Peltona turbīnām, tas ir nemainīgs dažādu slodžu un dažādu ūdens plūsmas režīmu gadījumā (nemainīga efektivitāte pie slodzes 15...100%);
- vienkārša konstrukcija, lēta izgatavošana un uzturēšana;
- efektīvākais risinājums mazu upju energoiekārtās;
- pašattīrīšanās, ūdens plūsmai kustoties divos virzienos - rotorā iekšā, un no rotora ārā. No rotora tiek iztīrītas jebkuras sanesas - lapas, zari, dūņas u.c.;
- darbojas pie ūdens staba spiediena augstuma no 2 līdz 200 m, ūdens plūsmas no 0.04 līdz 12 m³ s⁻¹ un jaudu diapazonā no 1 līdz 2 000 kW.

3.5. Citi zaļās enerģijas veidi un to potenciālā izmantošana Latvijā spēkratos

Par zaļo enerģiju tiek uzskatīti videi draudzīgi un neizsīkstoši enerģijas veidi pretēji fosilas izcelsmes enerģijas veidiem. Spēkratos biežāk nākas saskarties ar tādiem zaļās enerģijas veidiem kā bioetanol, biodīzeļdegviela, augu eļļa, biogāze, ūdeņradis u.c., bet pastāv arī iespēja par enerģijas avotu izmantot, piemēram, saspiestu gaisu.

Tā kā visā pasaulē ir ļoti liels to spēkratu skaits, kas kā pamatenerģiju izmanto fosilas izcelsmes produktus, tad alternatīvas enerģijas meklējumiem un izpētei ir ļoti liela nozīme. Tiek meklēti risinājumi, kā izveidot jaunus spēkratus, kas būtu darbināmi ar zaļo enerģiju. Tāpat notiek pētījumi, lai esošajā transporta parkā varētu izmantot kādu no zaļās enerģijas veidiem. Tomēr tikpat nozīmīgs jautājums, kā zaļās enerģijas izmantošanas iespēju pētījums, ir arī šīs enerģijas efektīvas izmantošanas jautājums. Nepārtraukti norit pētījumi ar mērķi uzlabot gan spēkratu konstrukcijas, lai efektīvāk un ekonomiskāk izmantotu šos enerģijas veidus, gan arī atklāt un izpētīt jaunus zaļās enerģijas veidus. Kopš pagājušā gadsimta pēdējās desmitgades plaši pētītas un arī izmantotas pirmās paaudzes biodegvielas, kas iegūtas no eļļu, cieti vai cukuru saturošiem augiem, tomēr ierobežotais izejvielu daudzums

liek domāt par jaunas paaudzes degvielas iegūšanu un ieviešanu. Paralēli pirmās paaudzes degvielu izmantošanai daudzās pasaules valstīs zinātnieki aktīvi strādāja arī pie tādiem degvielu veidiem, kā biosintētiskās jeb BTL (*Biomass to liquid*) degvielas, FT (Fišera - Tropša) degvielas, Bio-Dimetil-Ēteris (DME), biūdeņradis u.c. biodegvielas, kuras dēvē par otrās paaudzes biodegvielām. Otrās paaudzes degvielas tiek iegūtas no bioloģiskas izcelsmes izejvielām, kuras nav piemērotas pārtikas vajadzībām (koksne, salmi, zaļā zāle, organiskie atkritumi). Tomēr dažādu apsvērumu dēļ vairums otrās paaudzes biodegvielas nav guvušas plašāku pielietojumu transporta sektorā. Dotajā brīdī notiek plašāki pētījumi par trešās un ceturtās paaudzes biodegvielu iegūšanu un izmantošanu. Pie trešās paaudzes biodegvielām var pieskaitīt biodegvielas, kas iegūtas no aļģēm, celulozes un jūras zālēm, savukārt ceturtās paaudzes biodegvielas paredzēts iegūt no ģenētiski modificētiem augiem.

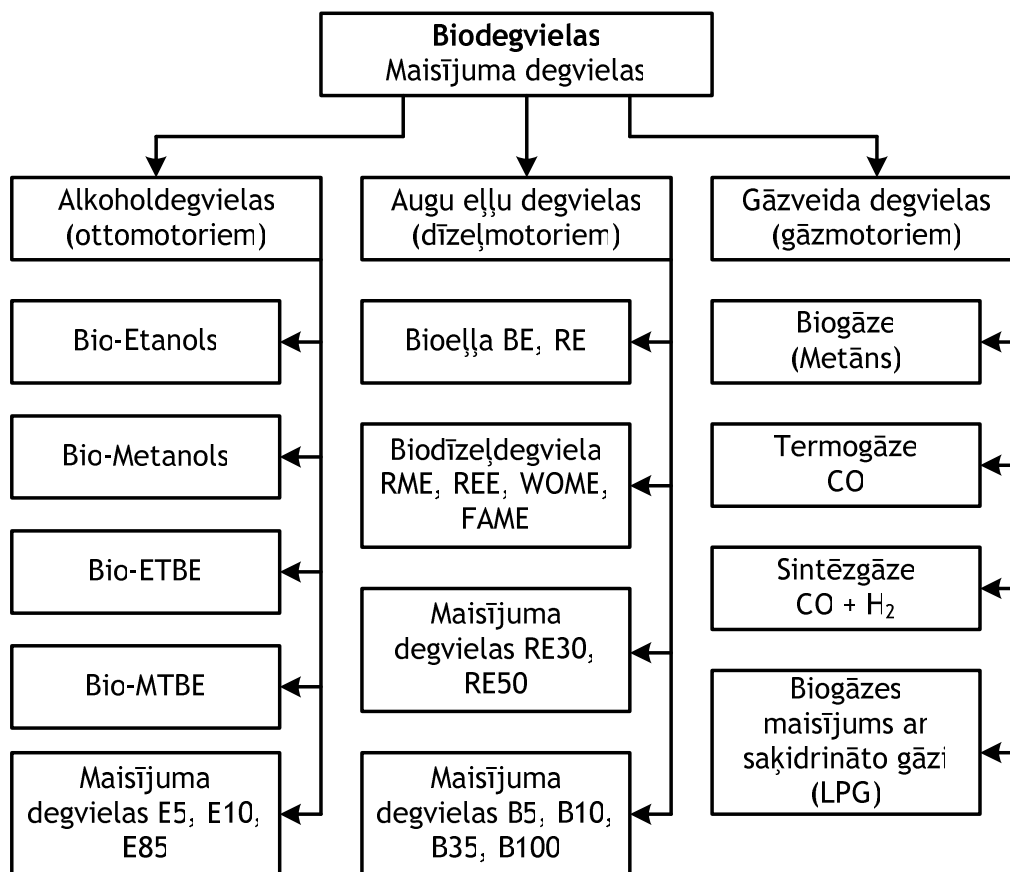
Viens no būtiskākajiem un šobrīd pasaulē plašāk pielietotajiem zaļās enerģijas veidiem transporta sektorā ir biodegvielas. Apskatīsim galvenos biodegvielu veidus un to izmantošanas iespējas spēkratos.

Biodegvielu likumā ar biodegvielu apzīmē iekšdedzes motoros izmantojamo šķidro vai gāzveida degvielu, ko iegūst no biomasas. Savukārt biomasa ir bioloģiski noārdāma frakcija lauksaimniecības, mežsaimniecības un ar tām saistīto nozaru produktos, atkritumos un atliekās (tostarp augu un dzīvnieku izcelsmes vielas), kā arī bioloģiski noārdāma frakcija rūpniecības un sadzīves atkritumos (Directive 2003/30/EC ..., 2003).

Biodegvielu likumā definēti četri galvenie biodegvielu veidi (Directive 2003/30/EC ..., 2003; Biodegvielas likums, 2005):

- **biodīzeļdegviela** - metilesteris vai etilesteris, ko iegūst no tīras augu eļļas vai dzīvnieku taukiem, kam ir dīzeļdegvielas īpašības un ko var izmantot iekšdedzes motoros par degvielu;
- **bioetanol** - etanols, ko iegūst no biomasas vai bioloģiski noārdāmas atkritumu frakcijas, lai izmantotu degvielas ražošanā vai par biodegvielu;
- **biogāze** - gāze, ko iegūst no biomasas vai bioloģiski noārdāmas atkritumu frakcijas un ko var attīrīt līdz tādai kvalitātei, lai izmantotu kā degvielu vai koksnes gāzģeneratora gāzi;
- **tīra augu eļļa** - spiežot, ekstrahējot vai izmantojot līdzvērtīgu paņēmienu, no eļļas augiem iegūta augu eļļa, kas ir nerafinēta vai rafinēta, bet nav ķīmiski modificēta un kā degviela ir piemērota izmantošanai noteiktu veidu iekšdedzes motoros, kā arī atbilst emisijas prasībām.

Biodegvielu klasifikācijas shēma dota 3.24. attēlā (Gulbis, 2008). Kā redzams, bez galveno degvielas veidu izmantošanas plaši tiek lietoti arī šo degvielu maisījumi ar fosilo degvielu. Latvijā plaši pazīstami ir divi galvenie iekšdedzes motoros izmantojamie biodegvielu veidi: biodīzeļdegviela (augu eļļas metilēsteris) un bioetanol (no augu biomasas iegūts etilspirts). Dīzeļmotoros, kas apgādāti ar degvielas priekšsildīšanas sistēmu, kā degvielu izmanto arī tīru augu eļļu, galvenokārt, rapšu sēklu eļļu (bioeļļu), kas savu fizikāli - ķīmisko īpašību dēļ ir viens no piemērotākajiem bioeļļu veidiem.



3.24. att. Plašāk pielietotie biodegvielu veidi

Kopš 2009. gada 1. oktobra Latvijā stājās spēkā likums par obligāto biodegvielas piejaukumu 95 markas benzīnam un dīzeļdegvielai 5% apjomā no kopējā tilpuma. LR Ekonomikas ministrija ir paredzējusi izvērtēt iespējas palielināt obligāto biodegvielas piejaukumu līdz 7% dīzeļdegvielai un līdz 10% benzīnam.

3.5.1.1. Biodīzeļdegviela

Biodīzeļdegviela ir dīzeļmotoru degviela, ko iegūst, pāresterificējot rapša eļļu kopā ar 100% spirtu (metanolu vai etanolu) ķīmiskā reaktorā katalizatora, kālija vai nātrija hidroksīda (KOH vai NaOH) klātbūtnē. Iegūtā biodīzeļdegviela pēc savām īpašībām ir ļoti tuva fosilajai degvielai (Gulbis, 2008).

Biodīzeļdegvielas tiek apzīmētas ar vairākiem burtiem - atkarībā no tā, vai degvielas izgatavošanas procesā izmantots metilspirts vai etilspirts. Iegūtos esterus apzīmē attiecīgi kā ME (metilesteris) vai EE (etilesteris). Šiem burtiem priekšā vēl pieliek burtu, kas apzīmē izmantoto augu eļļu, piemēram: RME (rapša eļļas metilesteris), REE (rapša eļļas etilesteris), SME (saulespuķu eļļas metilesteris) u.c. (Gulbis, 2008).

Latvijā vispiemērotākais eļļas augs, kas vislabāk padodas vietējos apstākļos, ir rapsis, kas dod labas kvalitātes eļļu, piemērotu biodīzeļdegvielas ražošanai. Tādēļ Latvijā biodīzeļdegvielas RME ražošanai izmanto rapša eļļu un metilspirtu, jo tas pagaidām ir gandrīz divreiz lētāks kā etilspirts (bioetanols no graudiem).

Biodīzeļdegvielu var pielietot motoros gan tīrā veidā (kā 100 procentīgu metilesteri), gan arī maisījumos ar fosilo dīzeļdegvielu jebkurā proporcijā pēc tilpuma. Dīzeļmotoros izmantojamo degvielu raksturojums dots 3.2. tabulā (Gulbis, 2008).

3.2. tabula. Dīzeļmotoros izmantojamo degvielu raksturojums

Rādītāji	Rapšu eļļa	RME	REE	Dīzeļdegviela
Blīvums, kg m ⁻³	916	884	880	835
Kinematiskā viskozitāte, mm ² s ⁻¹				
pie 20 °C	77.8	7.5	7.4	5.1
pie 50 °C	25.7	3.8	3.7	2.6
Sadegšanas siltums, MJ L ⁻¹	34.3	36.2	36.2	38.4
Cetānskaitlis	44 - 51	52 - 56	52 - 56	48 - 51.5
Sasalšanas temperatūra, °C	-6	< -10	< -10	-20
Uzliesmošanas temperatūra, °C	317	150 - 170	150 - 170	5
Limitējošā filtrēšanas temperatūra, °C	20	-12	-15	-18

Šobrīd Latvijas degvielas uzpildes stacijās iespējams iegādāties dīzeļdegvielu, kurai piejaukta 5% biodīzeļdegviela. Atsevišķās degvielas uzpildes stacijās iespējams iegādāties arī 100% biodīzeļdegvielu.

No biodīzeļdegvielas izmantošanas viedokļa ir gan pozitīvas iezīmes, gan negatīvas iezīmes, ar ko jāstopas biodīzeļdegvielas lietotājiem. Sākotnēji viena no galvenajām problēmām biodīzeļdegvielas izmantošanai bija šīs degvielas apgrūtinātā izmantošana ziemas apstākļos. Ja biodīzeļdegvielai netiek pievienotas speciālas piedevas, tad to tīrā veidā praktiski nebija iespējams izmantot pie zemām apkārtējās vides temperatūrām. Pēdējos gados biodīzeļdegvielai tiek pievienotas piedevas, kas ļauj šo degvielu ekspluatēt pat līdz -15 °C temperatūrai. Otrs galvenais biodīzeļdegvielas trūkums ir tās negatīvā ietekme uz atsevišķām automobiļu barošanas sistēmas komponentēm, it sevišķi vecāka izlaiduma automobiļiem. Tā rezultātā automobilim var iestāties dažādi atteikumi, kas saistīti ar degvielas noplūdi vai atsevišķu elementu pastiprinātu izdilšanu. Galvenais iemesls šādiem atteikumiem ir biodīzeļdegvielas sastāvā ietilpstošais metanols, kas agresīvi iedarbojas uz dažādiem materiāliem.

Savukārt, ja automobiļa barošanas sistēmas elementi ir piemēroti biodīzeļdegvielas izmantošanai, tad iegūstam vairākas priekšrocības, salīdzinot ar fosilās dīzeļdegvielas izmantošanas gadījumu. Pirmkārt, lietojot biodīzeļdegvielu, tiek izmantota atjaunojamā enerģija, mazinās atkarība no fosilās degvielas tirgotājiem. Otrkārt, automobiļa izplūdes gāzes, motoram darbojoties ar biodīzeļdegvielu ir mazāk kaitīgas - samazinās CO, CO₂ un HC izmešu daudzums atgāzēs, turpretī NO_x izmešu daudzums vairumam zinātnieku pētījumos mainās uz negatīvo pusi. Ja ievērtē biodīzeļdegvielas ražošanas procesu, t.i., rapša izaudzēšanu, tad var uzskatīt, ka biodīzeļdegvielai ir neitrāls siltumnīcas efektu izraisīošo atgāzu piesārņojums, jo tas atgāzu daudzums, kas izdalās, sadedzinot biodīzeļdegvielu, tiek absorbēts, izaudzējot izejmateriālu biodīzeļdegvielas iegūšanai. Treškārt, biodīzeļdegvielas cena ir zemāka par fosilās degvielas cenu.

Arī LLU Alternatīvo degvielu zinātniskajā laboratorijā veikti daudzi un dažādi pētījumi saistībā ar biodīzeļdegvielas izmantošanas iespējām un to ietekmi uz pašu automobili un apkārtējo vidi (skat. 3.25. att.).



3.25. att. Biodīzeļdegvielas izmantošanas eksperimentālie pētījumi LLU Alternatīvo degvielu zinātniskajā laboratorijā

Laboratorijas testi parāda, ka biodīzeļdegvielu ir iespējams izmantot kā alternatīvu degvielu fosilai degvielai. Pārsvārā tiek iegūts neliels jaudas un griezes momenta samazinājums (dažu procentu robežās), ko principā automobiļa vadītājs pat neizjūt, tāpat, automobili ekspluatējot ar biodīzeļdegvielu, par dažiem procentiem palielinās degvielas patēriņš, taču to kompensē biodīzeļdegvielas zemāka cena. Jārēķinās arī ar biežāku apkopju veikšanu un pirmreizējo automobiļa sagatavošanu, kurā jānovērtē automobiļa barošanas sistēmas komponentu tehniskais stāvoklis un atbilstība biodegvielu izmantošanai.

Ilgstošāka pieredze darbā ar biodīzeļdegvielu no tās ekspluatēšanas viedokļa liek secināt, ka piemērotākais biodīzeļdegvielas ekspluatācijas periods Latvijas apstākļos ir siltais gadalaiks, kad apkārtējās vides temperatūra nenokrīt zem 0 °C atzīmes, tāpat līdz galam neizpētīta ir biodīzeļdegvielas ekspluatācija pie zemākām temperatūrām automobiļos ar modernām barošanas sistēmām, kur degviela tiek iesmidzināta ar augstu spiedienu. Līdzšinējā pieredze pamato bažas, ka biodīzeļdegvielas izmantošana šādā transportā var samazināt barošanas sistēmas agregātu darba mūžu. Sakarā ar biodīzeļdegvielas augstāku viskozitāti, ziemas periodā pastāv risks, ka tiks apgrūtināta motora iedarbināšana, vai ekspluatācijas laikā nosprostosies degvielas filtrs. Tāpat īpaša uzmanība jāpievērš arī biodīzeļdegvielas uzglabāšanas termiņiem un apstākļiem, kas būtiski var ietekmēt degvielas īpašības un tās ekspluatācijas drošumu.

3.5.1.2. Bioetanols

Bioetanols atšķiras no parastā etanola (graudu spirta) ar to, ka tas netiek pilnībā attīrīts no papildvielām - esteriem, metilspirta, aldehīdiem un augstākiem spirtiem (sīveļļām jeb fūzeļiem), bet tiek dehidrēts tā, lai ūdens

saturs bioetanolā būtu tikai 0.2 - 0.4%. Pēc spirta satura bioetanolis ir tuvs absolūtam (100%) spirtam. Parastajā metanolā, ko var iegūt ar vienkāršu destilēšanu, spirta saturs ir 96% un tas satur 4% ūdens. Lai šos 4% atdalītu, nepieciešama spirta dehidrācija, izmantojot īpašas metodes un iekārtas (Pīrs, 2011).

Būtisks ierobežojums bioetanola izmantošanai ottomotoros ir nepieciešamība to dehidrēt maisījuma degvielu E5, E10 u.c. ieguvei. Ja izmanto bioetanolu ar zemāku etanola koncentrāciju, iespējama degvielas noslāņošanās, kas var radīt traucējumus motora darbībā. Tikai valstīs ar karstu klimatu degvielu maisījuma līdz E20 veidošanai var izmantot standarta spirtu - rektifikātu ar 96% etanola saturu. Dažādu alkoholdegvielu un benzīna maisījumu raksturojums dots 3.3. tabulā (Gulbis, 2008).

3.3. tabula. Bioetanola un tā maisījumu ar fosilo degvielu fizikālo īpašību raksturojums

Rādītāji	Bio- etanolis E100	E85	E10	Bio-ETBE 100	Benzīns
Viskozitāte, $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$	1.19	1.07-1.08	0.45-0.53	-	0.37-0.44
Blīvums 15 °C, g cm^{-3}	0.79	0.78	0.73-0.76	0.75	0.72-0.78
Vārīšanās temperatūra, °C	78	49-80	25-210	70	35-195
Zemākā siltumspēja, MJ kg^{-1}	26.8	28.7	41.9	36.3	44.0
Iztvaikošanas siltums, KJ kg^{-1}	930	836	465	-	286-306
Piesātinātu tvaiku spiediens, kPa	16	38-83	44-110	30	65-92
Oktānskaitlis (pētnieciskais)	106-111	107-109	94-96	116-120	80-98
Gaisa un degvielas maisījuma stehiometriskā attiecība	9.0	9.9	14	13	14.7

Bioetanolis ir dzidrs šķidrums ar raksturīgu, bet ne stipru smaržu. Tā viskozitāte ir $1.19 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, kas ir gandrīz trīsreiz lielāka nekā benzīnam. Bioetanola vārīšanās temperatūra ir 78 °C. Šī temperatūra iekļaujas benzīna vārīšanās temperatūru diapazonā. Šī īpašība kopā ar zemu piesātinātu tvaiku spiedienu pasliktina degvielas iztvaikošanu un uzliesmošanu motorā pazeminātā gaisa temperatūrā. Izmantojot E100, parastā, ar benzīnu darbināmā ottomotorā, motoru nav iespējams iedarbināt jau pie gaisa temperatūras 7 °C, jo degviela cilindros neuzliesmo. Tas ir iemesls, kāpēc parastos motoros ar dzirksteles aizdedzi bioetanolu var lietot tikai valstīs ar karstu klimatu, piemēram, Brazīlijā. Lai samazinātu šīs problēmas ietekmi, Ziemeļamerikā un Eiropā izmanto maisījuma degvielu E85, nevis E100. Degvielai E85 ir 15% benzīna piemaisījums, kas nodrošina stabilu motora iedarbināšanu pazeminātās gaisa temperatūras apstākļos. Atšķirībā no benzīna un dīzeļdegvielas, bioetanolis ļoti labi un pilnīgi šķīst ūdenī. Tas rada zināmas

problēmas degvielas uzglabāšanas un sadales sistēmām, jo parastās sistēmas, ko izmanto benzīna un dīzeļdegvielas iepildei, nav pilnībā pasargātas no ūdens piekļuves. Iztvaikošanas siltums bioetanolam (930 kJ kg^{-1}) ir vairāk kā trīsreiz lielāks nekā benzīnam ($286 - 306 \text{ kJ kg}^{-1}$). Šīs īpašības dēļ ieplūdes procesā E100, patērējot siltumu iztvaikošanai, trīsreiz vairāk atdzesē ieplūstošo degmaisījumu nekā benzīns. Tas, savukārt, uzlabo cilindru pildījumu ar degmaisījumu pēc masas, kas, savukārt, palielina motora jaudu. Šis faktors, līdz ar skābekļa klātbūtni biodegvielā un E100 augsto oktānskaitli, izskaidro faktu, ka dzirksteles aizdedzes motora jauda, strādājot ar E100 vai E85, var būt pat nedaudz lielāka nekā ar benzīnu, kaut arī benzīna siltumspēja ir lielāka (Gulbis, 2008). Zemākā degvielas siltumspēja benzīnam ir aptuveni $42 - 44 \text{ MJ kg}^{-1}$, savukārt, bioetanolam E100 tā ir par 37% zemāka un sastāda 26.8 MJ kg^{-1} . Līdz ar to, lai motors attīstītu tādu pat jaudu ar bioetanolu, kā ar benzīnu, motora cilindros nepieciešams ievadīt vairāk bioetanola degvielas (Koç et al., 2009). Abām degvielām ir arī atšķirīgs uzliesmošanas punkts (MacLean and Lave, 2003). Uzliesmošanas punkts ir zemākā temperatūra, pie kāda degmaisījums var tikt aizdedzināts no aizdedzes avota, jeb ottomatora gadījumā, t.i. no aizdedzes sveces (Ford Tehnical ..., 2008).

Hammonda 2008. gada publikācijā (Hammond, Kallu and McManus, 2008) minēts, ka bioetanola piejaukums fosilajam benzīnam par katriem 10%, paaugstina degvielu maisījuma oktānskaitli par ~ 2.5 vienībām. No motoru konstrukcijas un regulējuma viedokļa tas pieļauj augstāku motora kompresijas pakāpes lietošanu, kā arī noteiktos motora darbības režīmos iespēju regulēt agrāku aizdedzes apstieidzes leņķi. Kompresijas pakāpes paaugstināšana ļauj paaugstināt motora lietderības koeficientu, kā arī motora efektīvo jaudu, tajā pašā laikā samazinot degvielas patēriņu. Palmer F.H. pētījumos „*Vehicle performance of gasoline containing oxygenates*” (Palmer, 1986) parādīts, ka maisījumu degvielās, paaugstinot bioetanola koncentrāciju, motora attīstītā jauda palielinās par 5% un arī oktānskaitlis palielinās par 5% uz katriem 10% bioetanola koncentrācijas pieauguma.

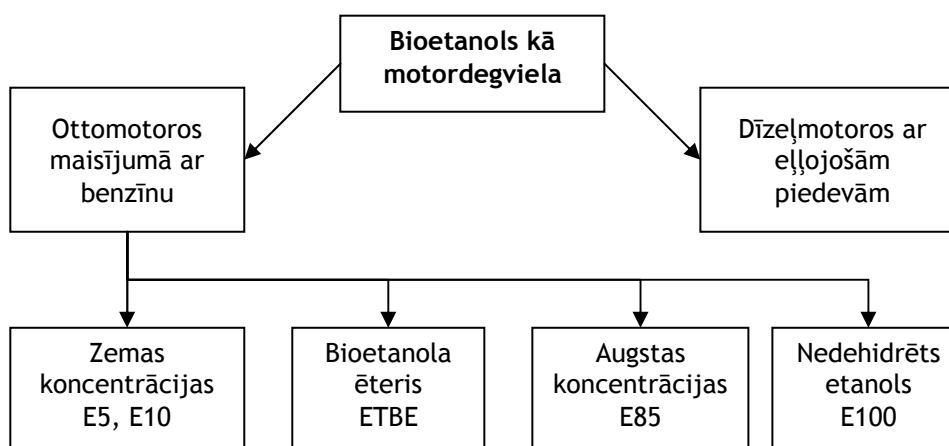
Iztvaikošanas siltums bioetanolam E100 ir lielāks par benzīna iztvaikošanas siltumu. Šī īpašība nodrošina motora ieplūdes trakta, kā arī cilindru galvas, vārstu, virzuļu u.c. sastāvdaļu labāku dzesēšanu.

Bioetanola un to maisījuma degvielai ar benzīnu ķīmiskais sastāvs sekmē dažādu barošanas sistēmu mehānisko komponentu koroziju, it sevišķi tiem, kas izgatavoti no vara, misiņa vai alumīnija. Lai mazinātu šīs problēmas, degvielas padeves sistēmā vajadzētu izvairīties no iepriekšminēto materiālu izmantošanas. Etanola degvielas tāpat var negatīvi iedarboties uz daudzām gumijas daļām un veidot izšķīdušo materiālu sablīvējumus degvielu cauruļvados vai filtrā. Tādēļ būtu nepieciešams vienkāršās barošanas sistēmas gumijas sastāvdaļas nomainīt ar šim nolūkam piemērotām gumijas vai plastmasas sastāvdaļām (Yüksel and Yüksel, 2004).

Atšķirībā no benzīna, bioetanols labi sajaucas ar ūdeni jebkurās proporcijās (Yüksel and Yüksel, 2004; Ķirsis, 2007). No vienas puses šī īpašība ir negatīva, jo bioetanols absorbē mitrumu no apkārtējās vides. Tādēļ nav pieļaujama bioetanola degvielas ilgstoša uzglabāšana vaļējās tvertnēs. No otras puses, ir samazināta iespēja aizsālt kādai motora barošanas sistēmas sastāvdaļai, kas nereti notiek aukstos laika apstākļos, lietojot nekvalitatīvu benzīnu ar ūdens piemaisījumu.

Bioetanolu un tā maisījuma degvielas ar benzīnu ottomotoros var lietot dažādās attiecībās. Dažādās valstīs šie maisījumu veidi var atšķirties. Profesors V. Gulbis bioetanolu kā ottomotoru degvielu iedalīja četros izmantošanas veidos (skat. 3.26. att.) (Gulbis, 2008):

- kā zemas koncentrācijas (5 - 10%) maisījumu ar benzīnu (maisījuma degvielas E5 un E10);
- kā bioetanola ētera ETBE 15 % maisījumu ar benzīnu (ETBE15);
- kā augstas koncentrācijas maisījumu ar benzīnu (E85) modificētos motoros;
- kā tīru nedehidrētu bioetanolu nedaudz adoptētos sērijveida ottomotoros (Brazīlijā). Izmantojot īpašas eļļojošas piedevas, bioetanolu var izmantot arī dīzeļmotoros (to pielieto Zviedrijā).



3.26. att. Bioetanola motordegvielu iedalījums pēc lietošanas iespējām

Bioetanolu kā motordegvielu nevarētu uzskatīt par pašu optimālāko degvielu transporta jomā. Bioetanola ražošana prasa salīdzinoši lielus resursus (Hammond, Kallu and McManus, 2008). Tā izmantošanas rezultātā vidē nonāk kaitīgi izmeši, kas veicina globālo sasilšanu. Perspektīvāks un videi mazāk kaitīgs enerģijas resurss transportam un arī citām jomām varētu būt elektroenerģija, tomēr elektroenerģijas pilnvērtīga izmantošana autotransportā ir mazāk izpētīta. Tās globāla ieviešana autotransportā prasa lielus kapitālieguldījumus un laiku. Dotajā brīdī bioetanola izmantošana autotransportā ir daudz vieglāk īstenojama. Šajā gadījumā nav nepieciešamība izstrādāt jaunu degvielas izdales infrastruktūru, tāpat nav jāizstrādā konstruktīvi pilnīgi jaunas tehnoloģijas spēkratu motoriem. Bioetanolu, kā arī citas biodegvielas, varētu uzskatīt par starpposmu starp pastāvošo transporta infrastruktūru un iespējams nākotnes transportu, kura pamatā dominēs elektroenerģija. Līdz ar to var secināt, ka biodegvielai, tostarp arī bioetanolam, tuvākajos gadu desmitos ir liela perspektīva. Šo degvielu lielā mērā iespējams ieviest esošajā autoparkā, tomēr jāpilnveido esošās iekšdedzes motoru tehnoloģijas, jāattīsta jaunas tehnoloģijas, jāveic pētījumi gan biodegvielu iegūšanas, gan izmantošanas jomā, lai veicinātu tā ekoloģiskāku un ekonomiskāku izmantošanu.

Plaša biodegvielu izmantošana nodrošinātu gan CO₂ emisijas samazināšanu, gan naftas un tās produktu importa samazināšanu, gan vērā ņemamu tautsaimniecības reorganizāciju. ES pievērš lielu uzmanību

biodegvielu īpatsvara palielināšanai. Ir izveidota un sekmīgi darbojās Eiropas biodegvielu tehnoloģijas komisija (*European Biofuels Technology Platform*), kuras darba grupa analizē visus jautājumus sākot ar izejvielu ieguvu, un degvielas ražošanas tehnoloģijām un beidzot ar biodegvielu attīstību veicinošu likumdošanu. Ir izvirzīti mērķi, no kuriem daļa ir kļuvusi par direktīvām un tātad būtu obligāti jāizpilda visām dalībvalstīm (Kampars, 2008).

Kopš pagājušā gadsimta pēdējās desmitgades daudzi autoražotāji savos modeļu klāstos iekļauj rūpnieciski ražotus automobiļus, kas paredzēti darbināšanai gan ar fosilo degvielu - benzīnu, gan arī bioetanolu un abu šo degvielu maisījumiem. Šādus automobiļus mēdz dēvēt arī par maināmas degvielas automobiļiem (MDS). Maināmas degvielas automobiļus pirmoreiz sērijveidā sāka ražot 1992. - 1993. gadā „General Motors” (Flexible-Fuel Vehicle, S.a.). Pēc būtības motori, kas paredzēti darbināšanai ar fosilo benzīnu un degvielu E85, ir identiski, tomēr pastāv zināmas pielāgošanas izmaiņas, kas nepieciešamas, lai motors varētu ilgstoši un kvalitatīvi darboties ar bioetanolu un tā maisījumu degvielām ar benzīnu. 3.27. attēlā dots 2009. gada *Dacia Sandero* automobilis, kas paredzēts E85 degvielas izmantošanai, ar atšķirīgajiem motora un barošanas sistēmas elementiem.



3.27. att. **Dacia Sandero E85 maināmas degvielas automobilis** (Nouvelles motorisations ..., 2009): 1 - degvielas tvertne; 2 - degvielas filtrs; 3 - degvielas cauruļvadi; 4 - sprauslas; 5 - aizdedzes sveces; 6 - vārsti un vārstu sēžas; 7 - virzuļi un gredzeni; 8 - skābekļa devējs; 9 - vadības bloks

Tā kā etanolam ir augstāks uzliesmošanas punkts nekā benzīnam (Yüksel and Yüksel, 2004), pie vienas un tās pašas temperatūras benzīns iztvaiko labāk par etanolu. Palielinot etanola saturu etanola-benzīna degvielas maisījumā, degvielas spēja veidot degmaisījumu pie zemas apkārtējās vides temperatūras samazinās. Lai uzlabotu auksta motora iedarbināšanas spējas, daudziem maināmas degvielas automobiļu modeļiem tiek uzstādīti cilindru bloka elektriskie sildītāji. Šādi sildītāji ļauj iedarbināt motoru pat pie temperatūras, kas zemāka par $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ford Tehnical ..., 2008).

Tā kā etanols ir šķīdinātājs, visām sastāvdaļām, kas ir tiešā kontaktā ar degvielu (degvielas tvertnei, degvielas cauruļvadiem, blīvslēgiem un degvielas sūkņim), jābūt īpaši izturīgām pret koroziju. Maināmas degvielas automobiļiem atšķirīgi var būt arī degvielas sūkņi. Tā, piemēram, *Ford*

maināmas degvielas automobiļos tiek lietoti degvielas sūkņi, kas darbojas ar maiņspriegumu nevis līdzspriegumu. Tādā veidā tiek novērsts elektrolīzes process un detaļu materiāla pārnešana. Maināmas degvielas automobiļiem tiek uzstādītas sprauslas ar aptuveni 30% lielāku iesmidzināšanas ražīgumu. Turklāt maināmas degvielas automobiļa vadības blokam jānodrošina nepieciešamais degmaisījums, motoram darbojoties gan ar tīru benzīnu, gan E85 degvielu, gan arī abu šo degvielu maisījumiem. Tiek izmantoti dažādi unikāli principi, pēc kā tiek noteikts benzīna un bioetanola proporciju sajaukums degvielas tvertnē.

Pašlaik bioetanola benzīna maisījums ar augstu bioetanola saturu plaši tiek pielietots autosportā, jo pie atbilstošiem motora un barošanas sistēmas regulējumiem iespējams iegūt labākus motora darba rādītājus, turklāt bioetanola cena ir ievērojami mazāka par speciālās sportam paredzētās degvielas cenu.

LLU Alternatīvo degvielu zinātniskajā laboratorijā pētīta gan bioetanola izmantošana nepārbūvētos automobiļos, gan arī tā izmantošana speciāli pielāgotos automobiļos. Tāpat noteikta arī dažādu attiecību bioetanola benzīna maisījumu ietekme uz motora darba rādītājiem. Eksperimentos izmantotais automobilis redzams 3.28. attēlā.



3.28. att. Eksperimentālais automobilis bioetanola benzīna maisījumu degvielu izpētei

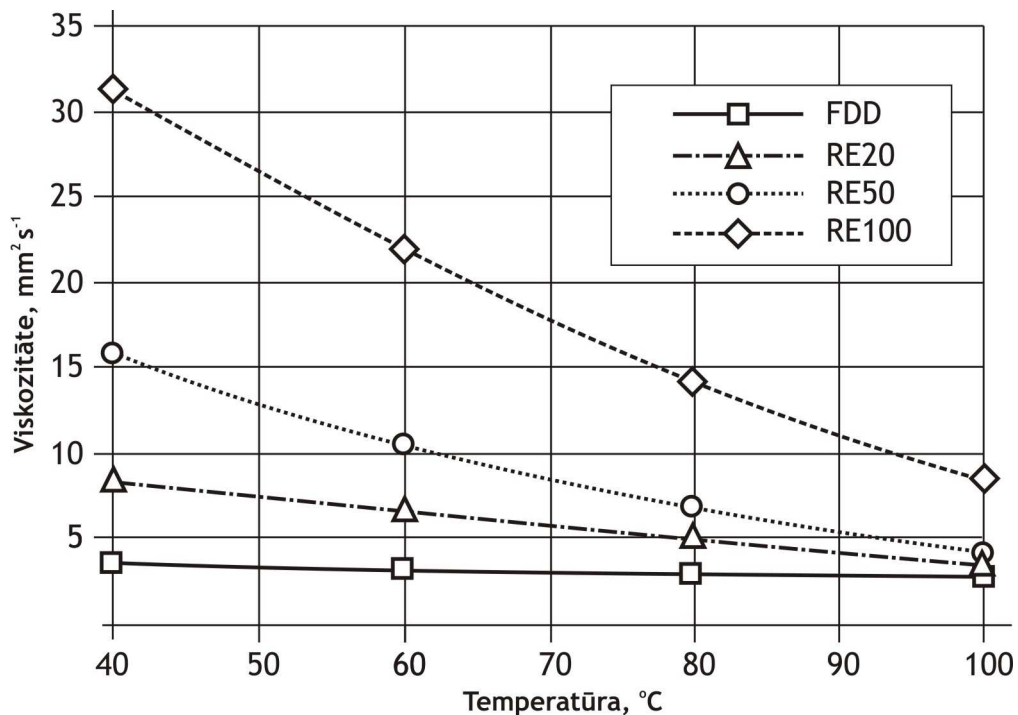
3.5.1.3. Rapša eļļa

Kompresijas aizdedzes iekšdedzes motoros fosilās dīzeļdegvielas vietā kā motordegvielu var izmantot arī attīrītu (filtrētu vai nosēdinātu) bioeļļu. Latvijā rapša eļļu kā degvielu ar likumu apstiprināja 2006. gada 5. maijā, un to var izmantot dīzeļmotoros, ievērojot noteiktās emisijas prasības. Kvalitātes prasības rapša eļļai ir noteiktas Ministru kabineta noteikumos Nr. 515, kas stājās spēkā 2007. gada 24. jūlijā (Noteikumi par biodegvielas ..., 2007).

Bioeļļas fizikālo īpašību dēļ pastāv vairākas nianšes, kuras jāievēro darbinot motoru ar bioeļļu. Lai parastu kompresijas aizdedzes iekšdedzes motoru darbinātu ar tīru rapša eļļu, tam jāveic barošanas sistēmas pielāgošanas darbi.

Rapša bioeļļas siltumspēja pēc masas (37.4 MJ kg^{-1}) ir par aptuveni 13% zemāka kā dīzeļdegvielai (42.1 MJ kg^{-1}), bet, tā kā bioeļļas blīvums (0.916 g cm^{-3}) ir lielāks nekā dīzeļdegvielai (0.835 g cm^{-3}), tad siltumspēja pēc tilpuma abām degvielām ir līdzīga - attiecīgi 34.3 MJ l^{-1} un 35.2 MJ l^{-1} .

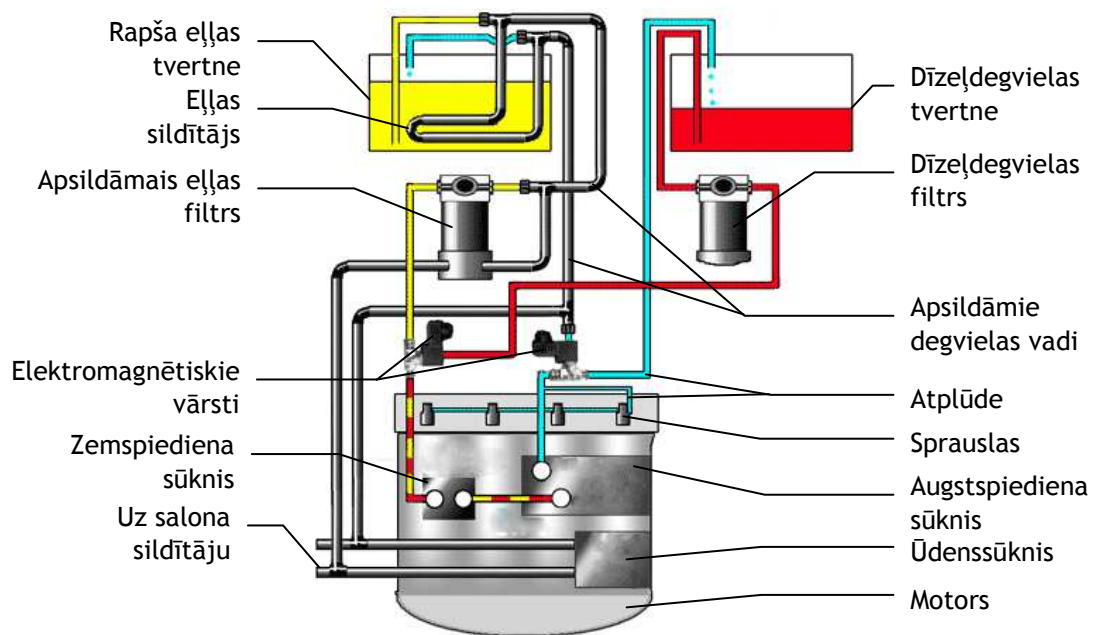
Pie zemām temperatūrām rapša eļļas viskozitāte ir būtiski lielāka par dīzeļdegvielas viskozitāti, kā arī uzliesmošanas temperatūra rapša eļļai ir augstāka. 3.31. attēlā parādīti Turcijā veiktā pētījuma rezultāti - viskozitātes izmaiņas atkarībā no temperatūras fosilajai dīzeļdegvielai (FDD), rapša eļļai (RE100) un divām maisījumdegvielām RE20 (20% rapša eļļa un 80% fosilā dīzeļdegviela), un RE50 (50% rapša eļļa un 50% fosilās dīzeļdegviela) (Hazar and Aydin, 2010).



3.29. att. Dažādu degvielu viskozitāte atkarībā no temperatūras

Šī iemesla dēļ bioeļļu nevar tieši izmantot kā degvielu dīzeļmotoros. Bioeļļas augstās uzliesmošanas temperatūras un lielās viskozitātes dēļ, aukstu motoru praktiski nevar iedarbināt. Degvielas filtra pretestības dēļ zemspiediena sūknis nespēj degvielu padot un hidrauliskās pretestības dēļ degvielas augstspiediena sūknis un sprauslas var iziet no ierindas. Lai uzlabotu bioeļļas caurplūstamību, nepieciešams samazināt tās viskozitāti, tuvinot to parastās dīzeļdegvielas viskozitātei. To var panākt vai nu veicot rapša eļļas priekšsildīšanu, vai arī rapša eļļu atšķaidot ar mazāk viskozu degvielu, piemēram, dīzeļdegvielu, petroleju vai benzīnu. Otrais paņēmiens ir neērtāks un mazāk ekonomisks, jo prasa divu dažādu degvielu izmantošanu. Uzsildot rapša eļļu līdz 70 - 80 °C, tās viskozitāte līdzinās dīzeļdegvielas viskozitātei un to var izmantot dīzeļmotoru normālai darbībai.

Darbinot motoru ar tīru rapša eļļu, jāveic motora modificēšana. Praksē pastāv divas galvenās sistēmas, pēc kurām tiek veikta motoru modificēšana: vienas tvertnes sistēma un divu tvertņu sistēma. Klasiska divu tvertņu sistēmas shēma dota 3.30. attēlā (Heating the Oil, 2004).



3.30. att. Divu degvielas tvertņu sistēmas shēma motora darbināšanai ar rapša eļļu

Divu tvertņu sistēmu biežāk lieto kravas un lieljaudas lauksaimniecības tehnikai, kur paralēli esošai dīzeļdegvielas barošanas sistēmai tiek uzstādīta otra rapša eļļas tvertne, pievadoši cauruļvadi, eļļas apsildes u.c. elementi. Šādas sistēmas izmantošana prasa arī īpaša režīma uzturēšanu, t.i., auksta motora iedarbināšana parasti tiek veikta, par motordegvielu izmantojot dīzeļdegvielu. Kad motors ir uzsilis līdz vajadzīgajai darba temperatūrai, tad manuāli vai automātiski motora darbība tiek pārslēgta no barošanas ar dīzeļdegvielu uz barošanu ar rapša eļļu. Neilgi pirms motora noslāpēšanas, barošanas sistēma atkal jāpārslēdz uz darbību ar tīru dīzeļdegvielu, lai degvielas filtri un augstspiediena sūknis piepildītos ar dīzeļdegvielu.

Lietojot vienas tvertnes sistēmu, galvenā vērība jāpievērš motora iesmidzināšanas un aizdedzes sistēmas komponentu pārbūvei vai nomaiņai. Šādu sistēmu var lietot lielākai daļai dīzeļmotoru ar priekškamerām, izņemot degvielas sistēmas, kurās ir rotācijas tipa augstspiediena sūkņi (*Lucas, CAV, Stanadyne, RotoDiesel, Delphi*). Lietojot šādu sistēmu, ir jāizmanto īpašas konstrukcijas smidzinātāji, kuri paredzēti darbībai ar viskozāku degvielu un arī kvēlsveces. Vienas tvertnes sistēmas automobiļi tiek aprīkoti arī ar vairākiem eļļas priekšsildītājiem.

Vienas tvertnes sistēmas priekšrocība ir tā, ka nav vajadzīga vieta otras degvielas tvertnes novietošanai. Tāpēc netiek aizņemts kravas nodalījums, nav vajadzīga sarežģīta vārstu pārslēgšanās sistēma, ko parasti izmanto divu tvertņu sistēmā, lai pārslēgtos no fosilās dīzeļdegvielas uz rapša eļļu un nav nepieciešams pirms dīzeļmotora apstādināšanas degvielas sistēmu piepildīt ar fosilo dīzeļdegvielu.

Tajā pašā laikā dīzeļmotoru drīkst darbināt ne tikai ar rapša eļļu, bet arī ar fosilo dīzeļdegvielu un biodīzeļdegvielu vai arī ar dažādiem šo degvielu maisījumiem. Atkarībā no tā, kura no šīm degvielām ir pieejama, to arī var izmantot dīzeļmotora darbināšanai. Uzmanība jāpievērš aukstā laikā, kad

gaisa temperatūra noslīd zem $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tīra rapša eļļa pie šādas gaisa temperatūras sāk sastingt. Tāpēc, lai pazeminātu viskozitāti un varētu iedarbināt motoru, tai jāpielej ziemas dīzeļdegviela.

Tipiskai vienas tvertnes sistēmai vajadzīgas šādas papildinošas vai aizvietojošas detaļas (skat. 3.31. att.) (Converting cars ..., S.a.):

- iesmidzināšanas sprauslas vai smidzinātāji;
- kvēlsveces;
- apsildāmais degvielas filtrs;
- papildus degvielas sūknis (atsevišķās konstrukcijās);
- siltummainis dzesēšanas sistēmā;
- termoslēdzis;
- releji un vadi.



3.31. att. Vienas degvielas tvertnes sistēmai nepieciešamās komponentes

Rapša eļļai kā motordegvielai ir arī dažas negatīvas iezīmes, kas var radīt neērtības automobiļa ekspluatācijā. Biežāk jāmaina eļļa motorā (apmēram ik pēc 10000 km), jāseko eļļas līmeņa svārstībām karterī, pie zemām gaisa temperatūrām rapša eļļa jāatskaidā ar ziemas dīzeļdegvielu. Rapša eļļai ir jābūt iegūtai ar aukstās spiešanas metodi, lai tajā saglabātos dabiskie antioksidanti.

Arī LLU Tehniskās fakultātes spēkratu institūta darbinieki pārbūvējuši automobili *VW Golf 3* (skat. 3.32. att.) rapša eļļas izmantošanai. Šim automobilim izmantota vienas tvertnes sistēma.



3.32. att. Ar vienas tvertnes sistēmu aprīkots automobilis *VW Golf3*

Iepriekš izklāstītie trīs biodegvielu veidi - biodīzeļdegviela, bioetanolš un rapša eļļa ir galvenie Latvijā šobrīd izmantotie biodegvielu veidi. To popularitāte sabiedrībā nav īpaši augsta, sakarā ar atsevišķām problēmām, kas saistītas gan ar nepieciešamību pārveidot automobiļa barošanas sistēmu, gan veikt biežākas apkopes, gan arī ir ierobežotas šo degvielu izmantošanas iespējas pie zemām apkārtējās vides temperatūrām, kā arī cenu politika nav īpaši labvēlīga no patērētāju viedokļa.

Neskatoties uz visu iepriekš minēto, pastāv noteikti transporta sektori, kurā biodegvielas būtu lietderīgi un ekonomiski pamatoti izmantot. Tāpat jāatceras, ka biodegvielu izmantošanas galvenā būtība nav vis iegūt lētāku transporta degvielu, bet gan videi draudzīgāku. Biodegvielu ražošana un izmantošana rada papildus darba vietas, attīsta lauksaimniecisko ražošanu, optimizē energoresursu izmantošanu.

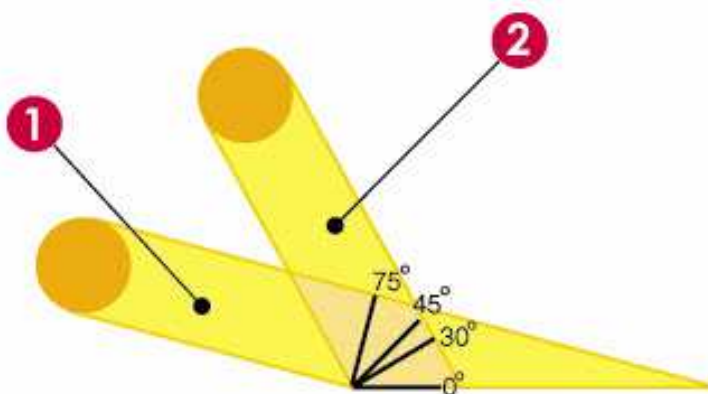
Tuvākajā nākotnē būtiska vērībā jāpievērš jaunāko paaudžu biodegvielu ražošanai un izmantošanai, jo Latvijā ir pietiekami daudz resursu.

3.6. Saules un vēja alternatīvā elektropēkratu uzlādes stacija un tās parametru pētījumi

3.6.1. Stacijas vietas izvēle

Stacijas efektīvākai darbībai ir ļoti svarīgi noteikt tās novietojumu. Orientējoša saules bateriju efektivitāte, atkarībā no izvietojuma ir attēlota 3.10. attēlā.

Saules paneļi visefektīvāk darbojas, ja to virsma ir perpendikulāra saules stariem. Tā kā sekošanas sistēma sadārdzina sistēmu kopumā, izvēlēts stacionārs novietojums ar optimālo pagrieziena leņķi (skat. 3.33. att.).

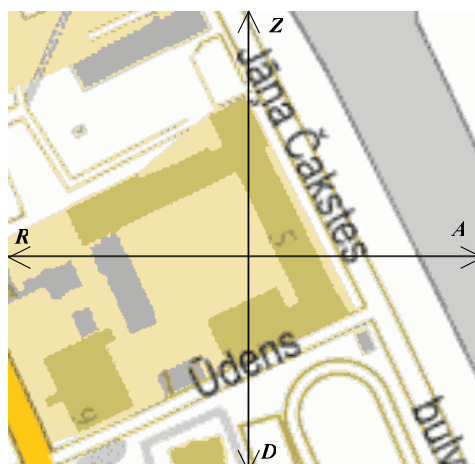


3.33. att. Aptuvenie pagrieziena leņķi: 1 - saule ziemā; 2 - saule vasarā (Угол наклона..., Б.г.)

Pagriešanas leņķis lielā mērā atkarīgs no gadalaika. Vasaras mēnešos, saules baterijas jānovieto zem 45 grādiem, bet, ziemā - starp leņķi no 45 līdz 90 grādiem. Ir jāveic precīzāki aprēķini, lai noteiktu šos leņķus. Tāpēc stacijas konstrukcija izveidota ar iespēju leņķi vienā plaknē mainīt. Parasti pavasara un rudens mēnešiem pagrieziena leņķi pieņem vienādu ar platuma grādu, mūsu gadījumā - 57 grādi. Ziemā šim lielumam pieskaita 10-15 grādus (67-72 grādi) un vasarā atņem 10-15 grādus (42-47 grādi).

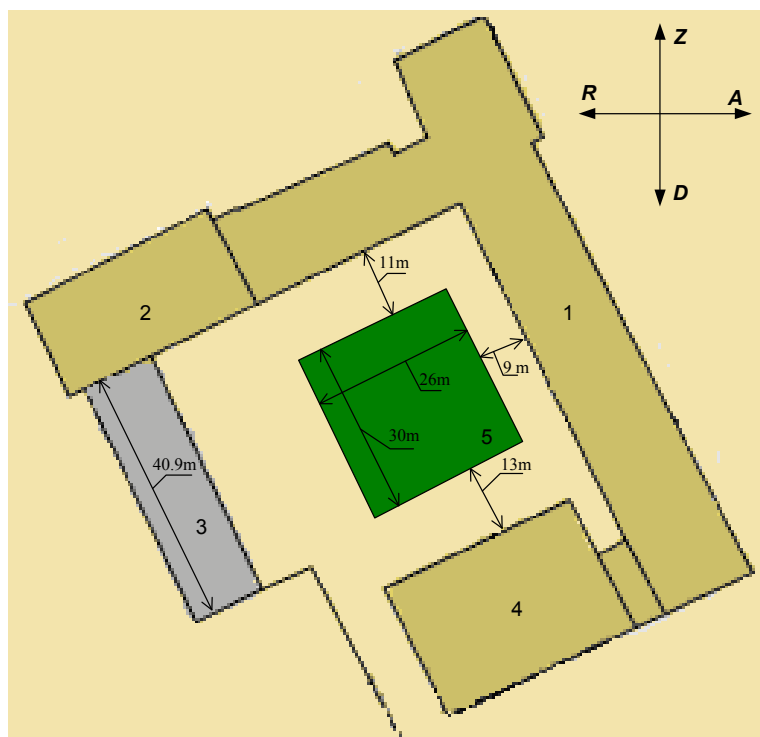
Tā kā alternatīvās enerģijas uzlādes staciju paredzēts izvietot Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskās fakultātes pagalmā, nepieciešams noteikt stacijas optimālāko novietošanas vietu. Pagalmu ietver fakultātes ēkas, tāpēc svarīgi, lai izvietoto staciju pēc iespējas mazāk apēno celtnes un koki.

Pirmais uzdevums, kas veikts - izpētīta Tehniskās fakultātes ēku izvietojuma shēma (skat. 3.34. att.).



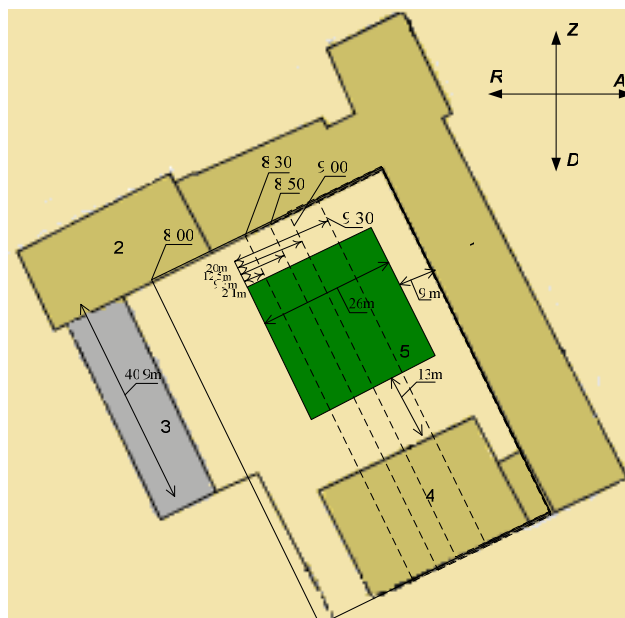
3.34. att. Tehniskās fakultātes ēku izvietojums (Jelgavas pilsētas karte, 2012)

Tehniskās fakultātes pagalma zaļā zona, kā arī citi, vērā ņemami parametri (attālumi no ēkām līdz zaļajai zonai, garāžu garums) parādīti 3.35. attēlā.



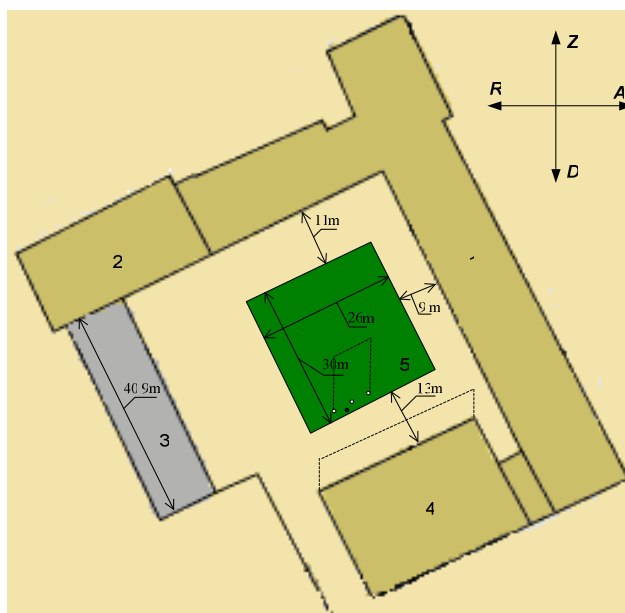
3.35. att. TF ēku izvietojuma shēma: 1 - vecais korpuss; 2 - jaunais korpuss; 3 - garāžas; 4 - darbnīcas; 5 - zaļā zona

Marta mēnesī veikti eksperimentālie pētījumi ar mērķi noteikt ēnu krišanas attālumus no fakultātes ēkām tās iekšpagalmā. Ēnu krišana rīta pusē shematiski parādīta 3.36. attēlā. Attēlā parādīti ēnu attālumumi no zaļās zonas (5) sākuma, metros, attiecīgajā laikā. Marta mēnesī jau 9.00 ēna krīt līdz zaļās zonas vidusdaļai (skatoties no fakultātes vecā korpusa). 8.00 ēna no fakultātes korpusa (1) krīt līdz elektrotransporta uzlādes punktam, kas novietots uz fakultātes jaunā korpusa (2) sienas. 8.30 ēna krīt līdz zaļās zonas apmalei.



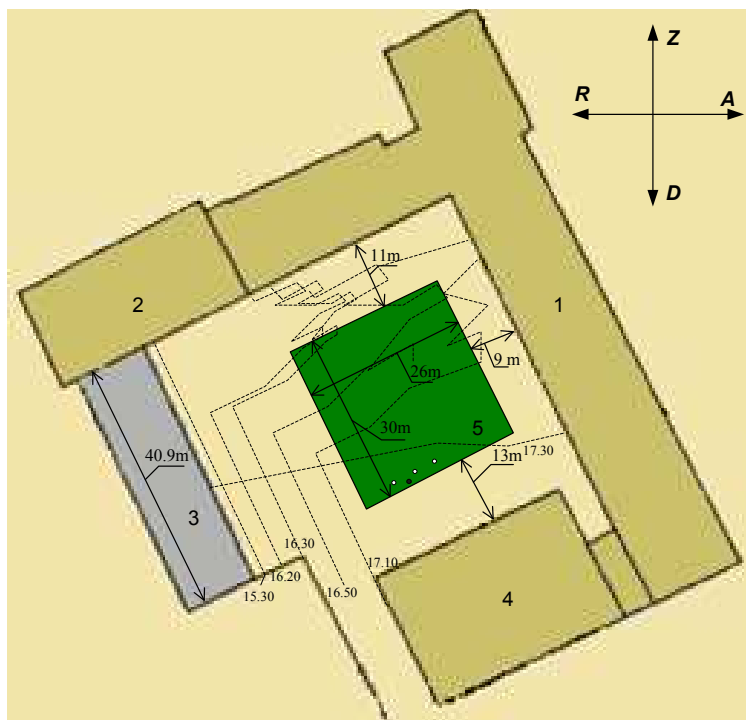
3.36. att. Ēnu noteikšana 23. martā (rīta pusē)

3.37. attēlā parādīta ēnas krišana (ar raustītu līniju) no ēkas (4) un zaļajā zonā (5) augošajiem kokiem. No kokiem krītošā ēna nepārsniedz zaļās zonas (5) vidusdaļu.



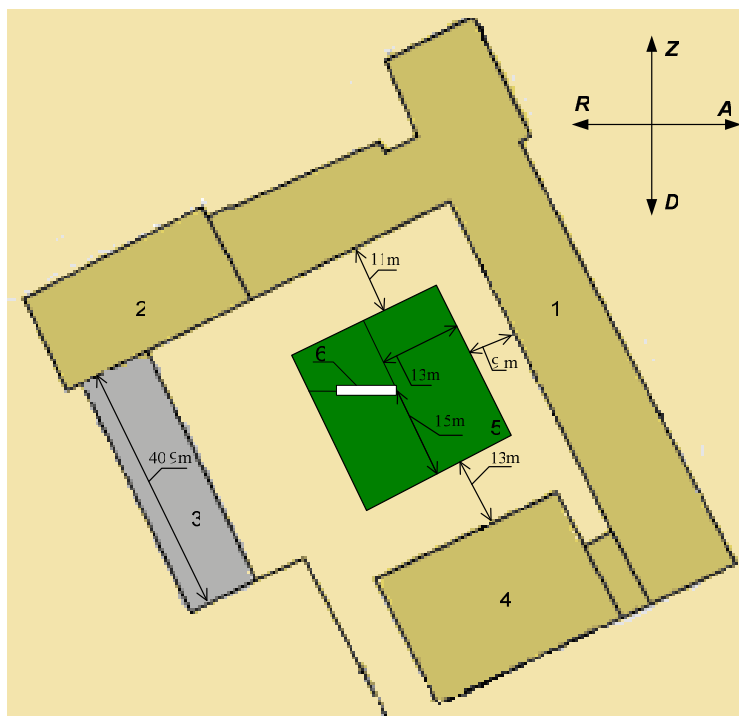
3.37. att. Ēnu noteikšana 23. martā pusdienlaikā (12.00)

3.38. attēlā redzams, kā ēna krīt no rietumu puses, marta mēnesī. Ņemot vērā to, ka saules augstums mainās, un dienas garums palielinās, ēna attiecīgi samazināsies. Tāpēc svarīgi ņemt vērā ēku (1) un ēkas (4) ēnas, kā arī zaļajā zonā (5) esošos kokus (skat. 3.37. att.).



3.38. att. Ēnu noteikšana 23. martā pēcpusdienā

Ieteicamais uzlādes stacijas izvietojums shematiski ir parādīts 3.39. attēlā.



3.39. att. Alternatīvās uzlādes stacijas izvietojuma shēma

Uz Zemes saules starojuma plūsmas vērtība mainās vairāku faktoru dēļ:

- Zeme maina pozīciju;
- Zeme rotē;
- ietekmē Zemes atmosfēra (gāzes, mākoņi un putekļi).

Zeme apgriežas ap sauli gada laikā. Zemes ass virziens ir fiksēts izplatījumā zem leņķa 23.45° pie normāles pret griešanas plakni (Goswami et al., 2000). Leņķis starp virzienu pret sauli un ekvatoriālo plakni tiek dēvēts par deklināciju δ un ir sezonālu izmaiņu mērs (ASHRAE, 2005). Ziemeļpuslodē δ mainās no $+ 23.45^\circ$ 21. jūnijā (vasaras saulgriežu periodā) līdz $- 23.45^\circ$ 21. decembrī (ziemas saulgriežu periodā) (Goswami et al., 2000).

Saules augstumu (augstāko punktu pusdienlaikā) var noteikt, izmantojot sekojošu vienādojumu:

$$\alpha_n = 90^\circ - \varphi + \delta, \quad (3.27)$$

kur α_n - saules atrašanās leņķis pusdienlaikā;
 φ - vietas platuma grāds;
 δ - deklinācija.

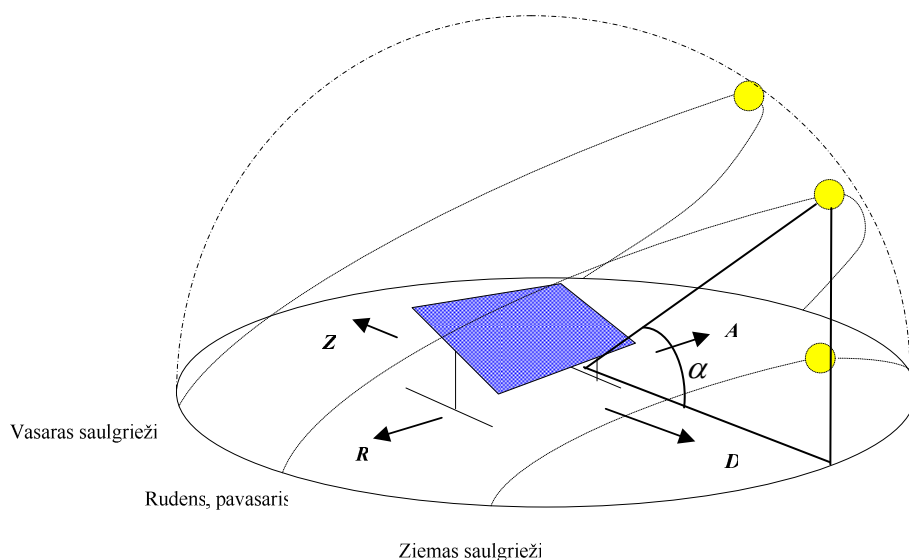
Izmantojot vienādojumu (3.27), iespējams noteikt saules augstumu pusdienlaikos, attiecīgi katram gada laikam, Jelgavā (56.39 pl. grādos):

Vasarā (21. jūnijā): $\alpha_n = 90^\circ - \varphi + \delta = 90 - 56.39 + 23.45 = 57.06^\circ$.

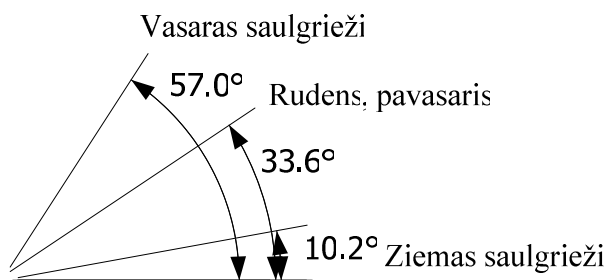
Ziemā (21. decembrī): $\alpha_n = 90^\circ - \varphi + \delta = 90 - 56.39 - 23.45 = 10.16^\circ$.

Pavasārī (21.03), rudenī (21.09): $\alpha_n = 90^\circ - \varphi + \delta = 90 - 56.39 + 0 = 33.61^\circ$.

3.40. attēlā shematiski parādīta Saules kustības trajektorija un stacijas izvietojums, bet 3.41. attēlā apskatāms Saules atrašanās augstums attiecīgos saulgriežos (pusdienlaikā). Izvēloties uzlādes stacijas izvietojumu, ir jāņem vērā arī fakts, ka laiks, tā saucamais saules laiks, nesakrīt ar vietējo joslas laiku, respektīvi, standarta laiks (ko reģistrē pulkstenis) atšķiras no saules laika (Muneer, 2004). Šī starpība tiek definēta kā laika vienādojums.

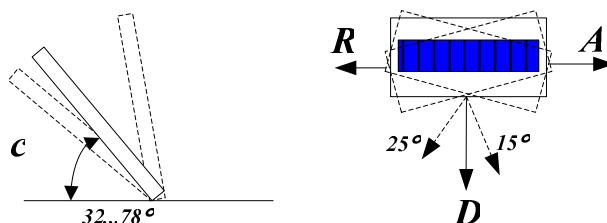


3.40. att. Saules atrašanās saulgriežu laikā



3.41. att. Saules augstākais punkts

Laika vienādojuma vērtība nepārtraukti mainās, jo Saules diennakts kustība gada laikā nav vienmērīga. Šīs nevienmērības cēlonis ir Zemes kustība pa orbītu ar mainīgu ātrumu, kā arī Saules kustības īpatnības. Šo abu iemeslu dēļ laika vienādojuma vērtība var sasniegt 16 minūtes (Aschwanden, 2007). Tādējādi vairāki autori pieļauj saules foto elektrisko paneļu izvietojuma nobīdi no dienvidiem par dažiem grādiem. Atbilstoši noteiktajiem lielumiem, un literatūras pētījumiem, 3.42. attēlā parādīti iespējamie novietošanas parametri. Attēlā pa kreisi - slīpuma leņķi, attēlā pa labi, stacijas iespējamā novirze no dienvidu virziena.



3.42. att. Saules foto elektrisko paneļu izvietojuma shēmas

Tā kā alternatīvās enerģijas uzlādes staciju paredzēts izveidot kā nojumi un regulējams ir tikai viens leņķis, tad staciju novieto ar nobīdi no D virziena par 15° uz rietumiem, lai vasaras periodos varētu efektīvāk izmantot saules izstaroto enerģiju.

3.6.2. Stacijas rāmja konstruktīvie risinājumi

Lai gan elektrodzinēju izmantošana transportlīdzekļos nav nekas jauns, to uzlādes stacijas nav īpaši populāras. Vēl retāk sastopamas tādas uzlādes stacijas, kurās tiek izmantota alternatīvā enerģija. Izstrādājot alternatīvās enerģijas uzlādes stacijas rāmja prototipu tiek analizētas dažādas pasaulē izgatavotās konstrukcijas. Tā, piemēram, tipiskas elektrisko transportlīdzekļu uzlādes stacijas (Charging Systems, S.a.; The EV PROJECT, S.a.; Electric Bikes, S.a.) parādītas 3.43. attēlā.

Tā kā Eiropas valstis elektrisko transportlīdzekļu uzlādes stacijās tiecas izmantot alternatīvo enerģiju, kā vienu no veiksmīgiem piemēriem var minēt „E-Move Charging Station”, kas izvietota Bozenā, Dānijā. Tajā par galveno enerģijas avotu izmanto saules enerģiju. Vienlaicīgi šajā stacijā var uzlādēt līdz pat astoņiem elektrificētiem spēkratiem (skat. 3.44. un 3.45. att.) (Solar Filling Station, 2009). Ārēji šī uzlādes stacija līdzinās sabiedriskā transporta pieturai.



3.43. att. Tipiskās elektrisko transportlīdzekļu uzlādes stacijas



3.44. att. *E-Move* uzlādes stacija Dānijā



3.45. att. *E-Move* uzlādes stacijas pieslēguma punkts

Šī konstrukcija aprīkota ar astoņiem monokristāliskiem fotoelektriskajiem moduļiem, kas nodrošina staciju ar elektroenerģiju. Kopējais sarāžotais elektroenerģijas daudzums, ko nodrošina šie moduļi, sastāda 1.76 kWp saules enerģijas. Aprēķināts, ka gada laikā šāda veida stacija spēj nodrošināt 2000 kWh elektroenerģijas.

2010. gadā Korejas izstādē „Atjaunojamās enerģijas EXPO” tika prezentēts solārās enerģijas uzlādes stacijas koncepts „EV Plug-N-Go”, ko pēc pasūtījuma ražo uzņēmumā *SunPod Inc.* Tas paredzēts sabiedrisku organizāciju, institūtu un uzņēmumu vajadzībām (Singh, 2010).

Šāda tipa uzlādes stacija ir izvietota arī Sanhosē, Kalifornijā (Schwarz, 2009). Tā ir pilnīgi autonoma (skat. 3.46. att.).

Uzlādes stacijas aptuvenās izmaksas par saules bateriju paneļiem ir 14000 USD un 3000 USD - par lādētāju (Ramachandran, 2012). Uzlādes stacija paredzēta divu spēkratu vienlaicīgai uzlādei. Tā satur 12 saules moduļus.



3.46. att. Solārās enerģijas uzlādes stacija SP-300 EV „Plug-N-Go” Kalifornijā

Kasai rūpnīcas Zaļās enerģijas parks ietver 1 MW „Mega Solar System” un 1.5 MWh litija-jonu akumulatoru sistēmu, kas ir pasaulē lielākā lādēšanas kapacitāte (Photos..., 2011).

Elektriskā strāva, ko ražo saules bateriju moduļos, tiek uzglabāta litija-jonu akumulatoros un tiek izmantota, lai uzlādētu elektromobiļu akumulatorus. Tajā integrētas trīs lādēšanas sistēmas: ātra, vidēja un lēna (Solar Charging Station, S.a.).

SOLALIB saules bateriju izvietojuma sistēma parādīta 3.47. attēlā.



3.47. att. *SOLALIB* saules enerģijas uzlādēšanas stacija

SOLALIB uzlādes stacijas fotoelektrisko moduļu kopējais diametrs sasniedz 12.6 m, bet to augstākā daļa - apmēram 12 m. Tam ir 60 fotoelektriskie moduļi ar kopējo jaudu 12300 W.

Līdzīgs princips izmantots arī *Geotectura* konceptuālajā uzlādes stacijā, kurā paredzēts uzlādēt ne tikai elektromobiļus, bet arī uzpildīt ar degvielu hibrīda tipa transportlīdzekļus, kas aprīkoti ar iekšdedzes motoriem (Jolly, 2010) (skat. 3.48. att.).



3.48. att. *Geotectura* zaļās enerģijas uzlādes stacija

Zaļās enerģijas parkā Osakā, Japānā, ir izveidota fotoelektrisko moduļu stāvvietā elektrisko velosipēdu lādēšanai (Solar Parking Lot, S.a.) (skat. 3.49. att.). Izveidotā elektrovēlosipēdu uzlādes stacija aprīkota ar 20 fotoelektriskajiem moduļiem. Fotoelektrisko moduļu aptuvenā jauda ir 8100 W, un ik gadu tā saražo apmēram 9 MWh elektroenerģijas. Uzglabāšanas jauda ir aptuveni 42.0 kWh.



3.49. att. Elektrovelosipēdu novietne

Inovateus Solar izstrādātajā elektroautomobiļu uzlādes stacijā tiek izmantots līdzīgs princips (skat. 3.50. att.). Tā izvietota Pleinvilā, Konektikutā, ASV. Šī uzlādes stacija saražo elektroenerģiju, ar kuru dienā var uzlādēt 13 elektroautomobiļus (Cowan, 2011).



3.50. att. Saules enerģijas stacija ar automobiļu novietni

Toyota ir izstrādājusi uzlādes staciju elektromobiļu un hibrīdauto akumulatoru uzlādei (skat. 3.51. att.), kas pārstrādā saules enerģiju elektriskajā.



3.51. att. **General Electric** Saules uzlādes stacija elektromobiļiem (General Electric..., S.a.)

Šīs stacijas apkalpos 20 hibrīdauto *Toyota Prius Plug-in Hybrid*. Katra šāda veida stacija satur saules elektrisko paneli (saules bateriju) un enerģijas uzglabāšanas sistēmu. Stacijai ir pieslēgums elektriskajam tīklam. Saules panelis izstrādā enerģiju, kas tiek uzglabāta akumulatorā. Elektromobiļi, pieslēdzoties, uzlādē savus akumulatorus no stacijas baterijas. Gadījumā, ja baterijas tilpums nav pietiekošs uzlādei, elektromobilis saņem elektroenerģiju no kopējā tīkla. Rezultātā dotā stacija var tikt izmantota jebkuros laika apstākļos un visu diennakti. Pie pilnas saules staciju bateriju uzlādes, ja to neizmanto elektromobiļiem, tā atdod lieko enerģiju tīklā kā parasta elektrostacija. Dotās uzlādes stacijas saules paneļu jauda ir 1.9 kW, bet akumulatoru kapacitāte - 8.4 kWh.

2009. gadā Čikāgā, ASV, uzstādīja solāro paneļu uzlādes staciju „ChargePoint”, kas paredzēta pilsētas elektrisko transportlīdzekļu uzlādei. Tās darbības princips ir vienkāršs - saules enerģija tiek pārvērsta elektrībā, kas viegli pieejama lai lādētu elektriskos transportlīdzekļus (Future Now..., 2009) (skat. 3.52. att.).



3.52. att. *ChargePoint* uzlādes stacija Čikāgā, ASV

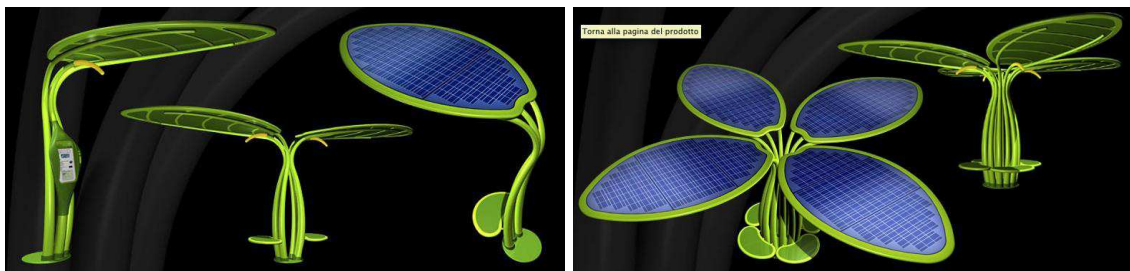
Kā vēl viens variants uzlādes stacijas rāmja konstrukcijai tiek izskatīts klasiskais solārā paneļa stiprinājums (skat. 3.53. att.), ko parasti izmanto solārajās elektrostacijās (*power plants*) (Kelman, 2011; Marino, 2010).



3.53. att. Solāro paneļu stiprinājumi uz vienas statnes

Šāda tipa konstrukcijās fotoelektriskie moduļi tiek stiprināti uz vertikālas statnes, kuras augšējā daļā izveidots mehānisms, ar kura palīdzību tiek regulēta fotoelektrisko moduļu orientācija, lai no saules iegūtu maksimāli daudz enerģijas. Jāņem vērā, ka šādus solāro paneļu stiprinājumus izmanto elektrostacijās elektrības ražošanai lielos apjomos un tajos nav nepieciešamo barošanas bloku patērētāju nodrošināšanai ar elektroenerģiju, jo visa saražotā enerģija tiek novadīta uz kopējo lielo elektrostacijas akumulatoru.

Ja fokusējas uz stacijas dizainu, jāpiemin arhitekta Žankarlo Zemas (*Giancarlo Zema*) projektētā un kopīgi ar *Luminexence* radītā solārās enerģijas uzlādes stacija *Lotus* lapas formā, kas paredzēta privātai lietošanai. *Lotus* pieejams dažādās krāsās un izmēros un ir savstarpēji kombinējams, vienlaicīgi no mazākajām un lielākajām lapām iegūstot ūdensrozes izskatu. Lielākajam modelim ir 19 m² fotoelektrisko paneļu (Naaz, 2012) (skat. 3.54. att.).



3.54. att. LOTUS saules enerģijas uzlādes stacija

No iepriekš aplūkotajām konstrukcijām var secināt, ka optimālai saules enerģijas iegūšanas konstrukcijai ir jābūt ar kustīgu daļu, kurai piestiprināti fotoelektriskie elementi jeb saules baterijas, kā arī tai jābūt pietiekami izturīgai un stabilai. Iepriekš aplūkoto konstrukciju principi ir līdzīgi - ir rāmis vai karkass, kam piestiprināti fotoelektriskie moduļi noteiktā leņķī attiecība pret sauli, un saražotā enerģija uzkrāta akumulatoros, kas tālāk caur barošanas bloku tiek nodota patērētājam.

Jaunizveidotā konstrukcija ir:

- pietiekami izturīga, lai noturētu gan fotoelektriskos paneļus (saules baterijas), gan iespējamus nokrišņus (sniegu, ledu, u.tml.);
- ar kustīgu augšdaļu, lai būtu iespējams pielāgot saules staru krišanas leņķim un tādējādi uztvert maksimāli daudz saules atkarībā no sezonas;
- vizuāli pievilcīga, lai iekļautos pilsētvides ainavā;
- ērta lietošanai.

Paredzēts, ka elektroenerģija tiks iegūta tikai no atjaunojamajiem energoresursiem un lādēšanas stacija būs pilnībā autonoma - nepieslēgta publiskajam elektriskajam tīklam. Tā kā tiek lietoti elektrovelosipēdi ar dažāda tipa akumulatoriem un dažādu akumulatoru sekciju skaitu, izveidota tāda uzlādes stacija, kas ir universāla un piemērota dažādu elektrisko velosipēdu akumulatoru lādēšanai. Lai nodrošinātu iepriekš minēto, vispiemērotākais uzlādes stacijas izejā ir 50 Hz, 220 V sinusoidāls maiņspriegums. Tas atbilst standarta zemsprieguma tīkla spriegumam, kas ir vienkārši salāgojams ar jebkura tipa akumulatora lādēšanas ierīci. Atdoto elektroenerģiju var vienkārši izmērīt un reģistrēt ar elektroenerģijas skaitītāju. Alternatīvās enerģijas uzlādes stacija izgatavota no karsti velmētiem dažāda profila kvadrātcauruļu stieņiem. Tās elementi ir viegli samontējami un tā ir izturīga pret apkārtējās vides iedarbību. Izveidotā konstrukcija aprīkota ar 10 fotoelektriskajiem moduļiem, kas izvietoti pa pieciem divās rindās. Izveidotā moduļu platforma ar divu šarnīru palīdzību piestiprināta pie diviem 2.5 m gariem vertikāliem balstiem. Izveidotās konstrukcijas paneļu platforma ir regulējama attiecībā pret sauli, tādējādi iegūstot vairāk saules enerģijas, un var kalpot kā nojume elektrovelosipēdiem (skat. 3.55. att.).



3.55. att. Alternatīvās enerģijas uzlādes stacija rāmja konstrukcija

Izveidotā alternatīvās enerģijas uzlādes stacijas konstrukcija novietota LLU Tehniskās fakultātes pagalmā. Konstrukcijas izmēri ir:

- platums 5.02 m;
- augstums 3.60 m (atkarībā no paneļu leņķa - līdz 3.04 m);
- dziļums 2.02 m (atkarībā no paneļu leņķa - līdz 0.97 m).

Metāla konstrukcijas kopējais virsmas laukums ir 9.1 m². Solāro paneļu virsmas laukums ir 15 m². Konstrukcijas svars bez saules baterijām (fotoelektriskajiem paneļiem) ir 378.6 kg.

Alternatīvās enerģijas uzlādes stacijas fotoelektriskie moduļi stiprināti pie kvadrātcauruļu karkasa ar stiprinājumu skavām (skat. 3.56. att.). Lai regulētu fotoelektrisko moduļu orientāciju, izveidots regulēšanas mehānisms (skat. 3.60. att.).



3.56. att. Fotoelektrisko moduļu stiprinājumi



3.57. att. Regulēšanas mehānisms

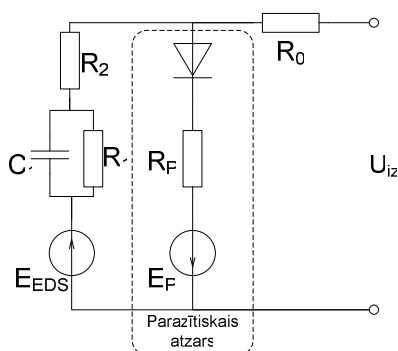
Regulēšanas mehānisms sastāv no divām kvadrātprofila svirām 1, kuru viens gals stiprināts ar šarnīra 2 palīdzību pie fotoelektrisko moduļu platformas, bet otrs gals - pie vertikālām statnēm. Mehānisms nofiksēts ar uzgriežņiem 3, bet platformas leņķi regulē ar vītņstieņa 4 palīdzību.

Izveidotajā alternatīvās uzlādes stacijā izveidotas četras pieslēgšanās vietas un to papildus var aprīkot vēl ar četrām pieslēguma vietām.

3.6.3. Akumulatoru bateriju slēgumi un elektroenerģijas parametru pārveidošana

Saules un vēja alternatīvai elektrospēkratu uzlādes stacijai ir iespējami dažādu veidu akumulatoru slēgumi. Slēgumi ir atkarīgi no staciju spriegumu sistēmas kopnes, nepieciešamajām jaudām un enerģijas uzkrāšanas parametriem. Atkarībā no stacijas akumulatoru bateriju slēguma sprieguma pielieto dažāda veida elektroenerģijas parametru pārveidošanas iekārtas. Lai varētu aprēķināt slēgumus, var aplūkot pašu akumulatoru baterijas slēgumu.

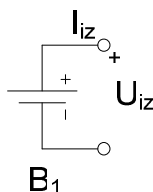
Akumulatoru bateriju ir iespēja aprakstīt ar ekvivalentu iekšējo shēmu, kuru var aplūkot 3.58. attēlā.



3.58. att. Akumulatoru ekvivalentā iekšējā shēma

Shēma reprezentē vienas akumulatoru baterijas šūnas iekšējo slēgumu. Piemērām, 12 V dziļizlādes akumulatoram ir sešas šūnas, kuras saslēgtas virknē, katra šūna ir attiecīgi ~ 2 V. Katru elementu shēmā var aprakstīt ar nelineāru matemātisko vienādojumu, jo vienādojumu lielumi ir dinamiski atkarīgi no dažādiem parametriem (piemērām, elektrolīta temperatūras, strāvas, sprieguma, uzkrātā lādiņa u.c.). Slēgumā var izcelt divus atzarus - pamata un parazītisko. Pamata atzars satur: E_{EDS} (elektrodzinējspēks) avotu, kurš raksturo akumulatora spriegumu; R_1 - pretestību, kas mainās no akumulatora gala uzlādes un izlādes pakāpēm; C_1 - kapacitāti, kas norāda uz laika aizturi starp strāvas un sprieguma izmaiņas attiecību sakarības; R_2 - pretestību, kas mainās no akumulatora uzlādes un izlādes pakāpēm, kā arī no strāvas; R_0 - pretestību, kas nemainās atkarībā no temperatūras, bet mainās no uzlādes pakāpes. Parazītiskais atzars norāda uz zudumiem lādēšanas procesā (Jackey, 2007).

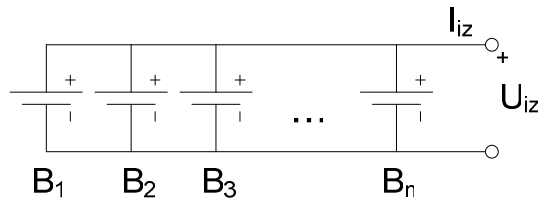
Veicot akumulatoru bateriju aprēķinus, uztādīšanu un ekspluatēšanu, pielieto akumulatorus raksturojošus lielumus - uzlādes un izlādes strāva, nominālais spriegums un ietilpība (kapacitāte) u.c. Pielieto vienkāršotu akumulatoru bateriju šūnu shematisko apzīmējumu (skat. 3.59. att.).



3.59. att. Akumulatora baterijas šūnas apzīmējums

Akumulatoru baterijas ir pieejamas ar visdažādāko ķīmisko sastāvu. Līdz ar to izšķir vairākus akumulatoru tipus. Ar vienāda sastāva akumulatoru baterijām var veidot dažādus slēgumus, lai varētu mainīt un pielāgot spriegumus, strāvas un ietilpības parametrus.

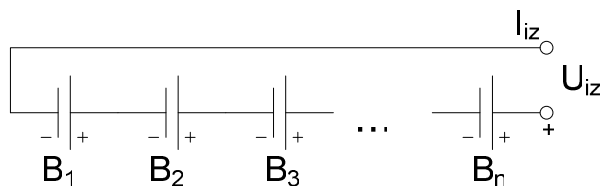
Viens no akumulatoru bateriju slēguma veidiem ir, kad akumulatora šūnas saslēgtas paralēli (skat. 3.60. att.).



3.60. att. Akumulatoru bateriju šūnu paralēlais slēgums

Saslēdzot šūnas paralēli, spriegums nemainās, bet mainās kopējā akumulatoru kapacitāte, uzlādes un izlādes strāva. Izejot no ierindas kādai no šūnām, palielinās akumulatoru bateriju pašizlāde, bet kopējā akumulatoru bateriju šūnu uzlāde netiks ietekmēta, izņemot bojāto šūnu.

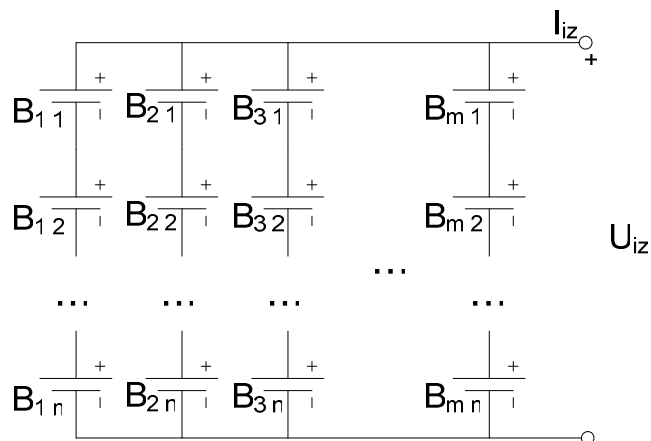
Akumulatoru bateriju šūnas slēdzot virknes slēgumā (skat. 3.61. att.), tiek palielināts akumulatoru bateriju sistēmas kopējais spriegums.



3.61. att. Akumulatoru bateriju virknes slēgums

Kopējā akumulatoru bateriju uzlādes un izlādes strāva un kapacitāte šādā slēgumā nemainās. Sabojājoties kādai no šūnām, lādējot un izlādējot akumulatora bateriju sistēmu, tiek bojātas veselās šūnas.

Pārsvarā alternatīvās uzlādes stacijās izmanto jaukto akumulatoru bateriju šūnu slēgumus (skat. 3.62. att.).



3.62. att. Jauktais akumulatoru bateriju slēgums

Tas nepieciešams, lai varētu izveidot noteiktu stacijas kopnes spriegumu sistēmu (piemēram, 12 V, 24 V, 48 V u.c.) un nepieciešamās kapacitātes, kā arī palielināt nepieciešamo uzlādes un izlādes strāvu. Šādam slēgumam piemīt visi iepriekšminētie trūkumi.

Veidojot akumulatoru bateriju šūnu slēgumu alternatīvajās uzlādes stacijās, tiek izveidota viena centrālā līdzstrāvas kopne. Atkarībā no līdzstrāvas kopnes sprieguma, pievienotie kopnes elementi (PV, vēja turbīna, invertori, DC/DC pārveidotāji u.c.) tiek pielāgoti ar attiecīgajiem elektroenerģijas parametru pārveidotājiem. Izšķir divu veidu līdzstrāvas pārveidotājus: līdzstrāva uz līdzstrāvu un līdzstrāva uz maiņstrāvu (1-fāzu, 3-fāzu). Līdzstrāvas pārveidotājus attiecīgi iedala: pazeminošos, paaugstinošos un universālos (Dali et al., 2010).

3.6.4. Automatizācijas iespējas un to risinājumi

Projekta ietvaros pētīti elektrotransporta lēnās uzlādes punkti, kuri izmanto atjaunojamo resursu enerģiju. Maksimālā uzlādes jauda vienai uzlādes pieslēgvietai ir līdz 3.6 kW, kas atbilst IEC 62196 standartā aprakstītajam 1. uzlādes režīmam.

Ja vienā uzlādes punktā tiek realizētas 3 - 4 šādas vai mazākas jaudas pieslēgvietas ar atbilstošu kopējo jaudu, tad tas ir pieskaitāms pie maza mēroga autonomām elektroapgādes sistēmām. Maza mēroga autonomās atjaunojamās resursus izmantojošās elektroapgādes sistēmās visbiežāk tiek izmantota centralizētās līdzstrāvas kopnes arhitektūra, kuras galvenās priekšrocības salīdzinājumā ar maiņstrāvas kopni ir vienkāršota elektroenerģijas avotu ieslēgšana un galvenais regulējamais parametrs ir tikai kopnes spriegums. Turklāt līdzstrāvas kopnē ir iespējams tieši slēgt ķīmiskos akumulatorus, kuri atvieglo pārejas procesu vadību, kad izmainās no atjaunojamajiem resursiem pieejamais enerģijas daudzums vai elektriskā slodze. Tiek prognozēts, ka, pateicoties spēka elektronikas attīstībai, līdzstrāvas kopnes izmantošana kombinētu resursu elektroapgādes sistēmu realizācijā tuvākajos gados tikai paplašināsies (Manwell et.al., 2006).

Centralizētās līdzstrāvas kopnes arhitektūras piemērotību mikro mēroga kombinētām sistēmām efektīvai enerģijas plūsmas vadībai no dažādiem avotiem ir pamatota vairāku autoru darbos (Omari et.al., 2003, Paska et.al., 2009, Zhou and François, 2011).

Autonomajās elektroapgādes sistēmās, kuras patērētāju nodrošināšanai ar elektroenerģiju izmanto vairāku veidu atjaunojamās resursus, būtiska loma ir sistēmas vadības automatizācijai. Ņemot vērā atjaunojamo resursu nepastāvīgo dabu, kā arī nosacīti haotisku elektrotransporta uzlādes procesu, autonomajās elektroapgādes sistēmās ir nepieciešams izmantot enerģijas uzkrājējus. Kā enerģijas uzkrājēji var kalpot gan ķīmiskie akumulatori, gan citi enerģijas uzkrāšanas veidi: superkondensatori, sparrati, ūdeņradis u.c. (tieši slēgti elektriskajā sistēmā līdzstrāvas kopnes gadījumā vai ar spēka pārveidotāju palīdzību neatbilstoša līdzsprieguma vai maiņsprieguma gadījumā).

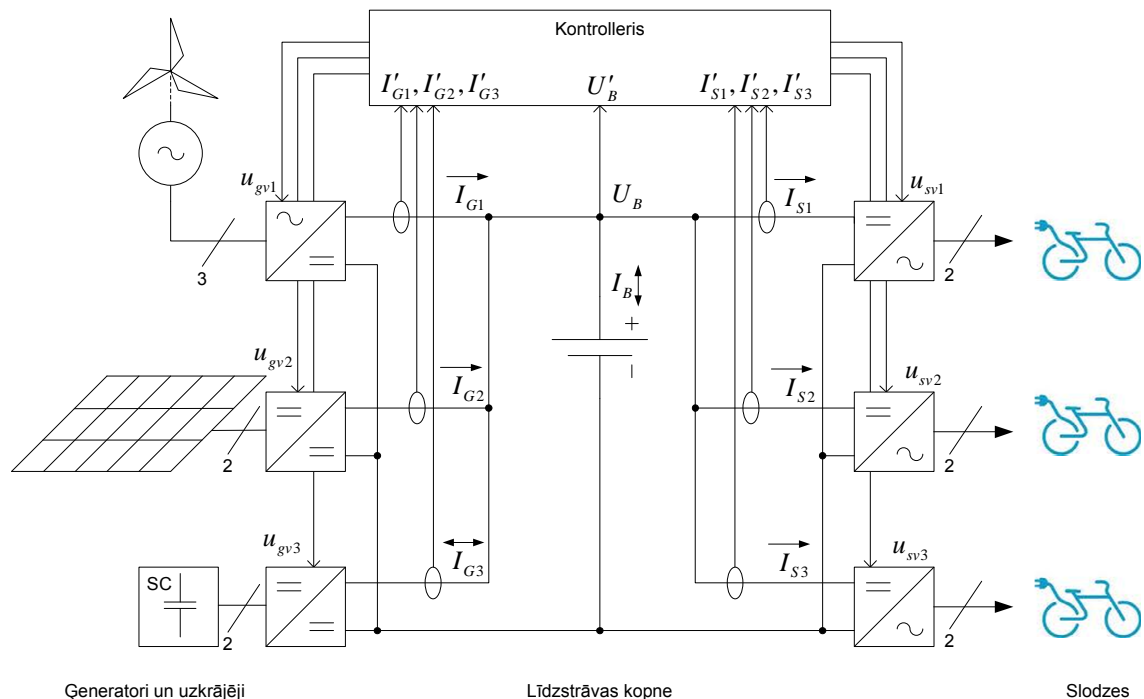
Galvenais automātiskās vadības sistēmas uzdevums ir veikt enerģijas plūsmas pārdali starp atjaunojamās resursus izmantojošiem ģeneratoriem,

enerģijas uzkrājējiem un patērētājiem, pie tam nodrošinot pastāvīgu elektroenerģijas pieejamību elektriskajām slodzēm - elektrotransporta uzlādes pieslēgvietām, maksimālu atjaunojamo resursu izmantošanu un uzturot uzdotos enerģijas uzkrājēju uzlādes līmeņus. Atkarībā no izmantojamā aprīkojuma var tikt realizētas tādas papildus funkcijas kā periodiska ķīmisko akumulatoru izlādes/uzlādes ciklu izpilde un kapacitātes izlīdzināšana, elektrisko slodžu atslēgšana pie kritiskiem akumulatoru uzlādes līmeņiem, darbības datu uzkrāšana, attālināta piekļuve informācijai par pašreizējo sistēmas stāvokli, piekļuves kontrole u.c.

Automātiskās vadības objekts ir līdzstrāvas kopne, kurā nepieciešams noturēt uzdoto spriegumu. Spriegums kopnē tiek noturēts, regulējot pieejamo strāvu no primārajiem enerģijas avotiem: nevienmērīgi pieejamajiem atjaunojamajiem (saule, vējš) un uzkrājējiem (spararats, degvielas elements, akumulatoru vai superkondensatoru baterija). Papildus regulējošo efektu var panākt ieslēdzot vai atslēdzot elektrisko slodzi vai veicot enerģijas uzkrāšanu.

Sprieguma stabilizēšanai un augstas frekvences svārstību kompensēšanai tiek izmantoti kopnē tieši slēgti akumulatori. Turklāt ir jābūt iespējai dinamiski regulēt primārā avota saražoto un uzkrājējā patērēto enerģiju. Piemēram, (Fakham et al., 2011) piedāvā izmantot caur spēka interfeisu pieslēgtu superkondensatoru bateriju īslaicīgu slodzes lēcieni kompensēšanai, neizlādējot ķīmisko akumulatoru, kas pagarina tā ekspluatācijas laiku.

Shematiski vadības signāli konceptuālam autonomam atjaunojamos resursus izmantojošam elektrotransporta uzlādes punktam parādīti 3.63. attēlā.



3.63. att. Autonoma atjaunojamos resursus izmantojoša elektrotransporta uzlādes punkta vadības signāli

Uzlādes punktā izmantota centralizētā līdzstrāvas kopne ar tieši slēgtu akumulatoru. Iekļautie ģeneratori ir vēja ģenerators un saules (fotoelektriskā)

baterija, kuri piegādā enerģiju kopnē. Bez tam tiek izmantots viens papildus uzkrājējs - superkondensatoru baterija, kura atdalīta ar līdzstrāvas pārveidotāju un nodrošina abpusēju enerģijas plūsmu. Iekļautie patērētāji ir 3 invertori elektrotransporta uzlādei.

Vadības realizēšanai izmanto elektrisko parametru - sprieguma un strāvas signālus no dažādiem līdzstrāvas kopnes zariem (U'_B, I') un vadības iedarbes signālus uz izpildiekārtām - spēka elektronikas pārveidotājiem, taisngriežiem, invertoriem un līdzstrāvas pārveidotājiem (u). Dotie signāli ļauj realizēt gan reaktīvo vadību (ar negatīvu atgriezenisko saiti), gan modeļa balstītu vadību. Strāvas sensori ģeneratoros un patērētājos, kā arī tiešais kopnes sprieguma U_B mērījums, dod iespēju aprēķināt akumulatora uzlādes pakāpi, noteikt momentāno jaudu un uzskaitīt no atjaunojamajiem resursiem iegūto un elektrotransporta uzlādei patērēto elektroenerģiju.

Praktiskā realizācijā 3.63. attēlā apskatītās komponentes var tikt apvienotas vienā vai vairākās reālās iekārtās. Piemēram, ir pieejami hibrīdie saules bateriju uzlādes kontrolleri, kuri apvieno kopējo sistēmas kontrolleri, akumulatoru uzlādes kontrolleri, saules bateriju spēka pārveidotāju un pieslēgvietas papildus strāvas sensoru pievienošanai, lai dotu atgriezeniskās saites signālu no citiem akumulatoru uzlādes kontrolleriem.

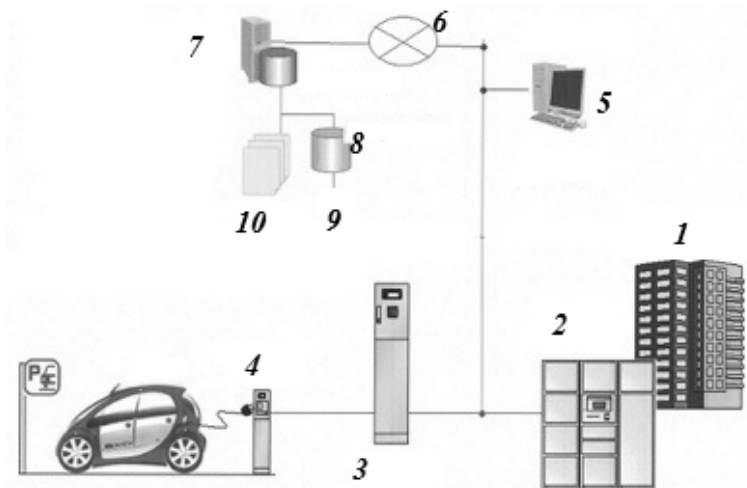
Bez apskatītajiem elektriskajiem signāliem autonoma uzlādes punkta vadībā proaktīvu (perturbācijas kompensācijas) un invariantās automātiskās vadības algoritmu realizēšanā var tikt izmantoti arī citi ģeneratoru izejas jaudu, slodžu u.c. sistēmas komponentu darbību ietekmējošie parametri, piemēram, vēja ātrums, saules starojuma intensitāte, saules bateriju un akumulatora temperatūra, paredzamais slodžu izmaiņas grafiks u.c.

3.6.5. Uzlādes vietas organizācija

Elektroautomobiļu uzlādes staciju infrastruktūra ir nepieciešama, jo uzlādēts elektromobilis spēj veikt attālumu 120-150 km. Cilvēki, kas lielpilsētās un to pierobežās izmanto privāto automobili, dodoties uz darbu un atpakaļ, dienā nobrauc no 50-80 km. Tādēļ, lai netiktu ierobežota autobraucēju pārvietošanās brīvība, nepieciešams izveidot elektroautomobiļu uzlādes punktus jeb staciju tīklu un elektroauto uzlādes punktiem jābūt izvietotiem dzīves vietā, auto stāvvietās, pie darbavietas, izglītības, ārstniecības, atpūtas un iepirkumu centriem u.c.

Pieslēgums ir vienkāršais - vienfāzes 230 V kontaktligzda (rozete), montējama uz sienas vai staba. Pieeja šādām uzlādes stacijām ir ierobežota (tikai mājas iedzīvotājiem), bet parasti neprasa identifikācijas kartes un norēķina iespējas. Gadījumam, lai nerastos konflikta situācijas ar mājas iedzīvotājiem, kas nelieto uzlādes stacijas, katrai uzlādes reizei jābūt uzskaitītai, jo šādos gadījumos elektroenerģija tiek ņemta no dzīvojamās mājas koplietošanas elektroenerģijas. Iedzīvotāji, kas lieto elektrouzlādes staciju, godprātīgi fiksē patēriņu, ko vēlāk ņem vērā aprēķinot kopējo patēriņu.

Lai nerastos konfliktsituācijas, Japānā *Mitsubishi* ieviesa uzskaites sistēmas uzlādes stacijām daudzdzīvokļu namiem (skat. 3.64. att.).



3.64. att. Japāņu prakse uzlādes staciju izmantošanā daudzdzīvokļu namu pagalmos: 1 - daudzdzīvokļu ēka; 2 - sadales skapis (sadalne); 3 - galvenā uzlādes stacija; 4 - uzlādes punkts; 5 - dators; 6 - interneta tīkls; 7 - JDS serveris; 8 - rēķinu sistēma; 9 - rēķins; 10 - atskaites

Kā parāda japāņu prakse, kur elektromobiļu skaits ir pietiekoši liels, kā arī iedzīvotāji dzīvo pamatā daudzdzīvokļu ēkās, atrodot brīvu vietu mājas stāvlaukumā, tuvumā ne vienmēr atradīsies uzlādes punkts. Tādējādi *Mitsubishi* sadarbībā ar *Japan Delivery System (JDS)* ir izveidojuši uzlādes staciju punktus daudzdzīvokļu mājām. Šie uzlādes punkti nodrošina uzlādi lielākam iedzīvotāju skaitam. Uzlādes punkti ir aprīkoti ar identifikācijas sistēmām. Elektromobiļu īpašnieki pa pastu pasūta identifikācijas kartes, kas ļauj ar PIN koda palīdzību atslēgt uzlādes skapi un veikt uzlādi, tādējādi lietotājs tiek identificēts, un elektroenerģija, kas tiek patērēta elektromobiļa uzlādei, tiek uzskaitīta, lai vēlāk varētu sastādīt rēķinu.

Nissan Leaf elektromobiļiem uzstādīta uzlādes stacija pie *Seward Park* daudzdzīvokļu mājas Manhetenas *Lower East Side*, ASV, 2011. gada maijā (skat. 3.65. att.). Jāatzīmē, ka amerikāņi joprojām dod priekšroku hibrīda automobiļiem.



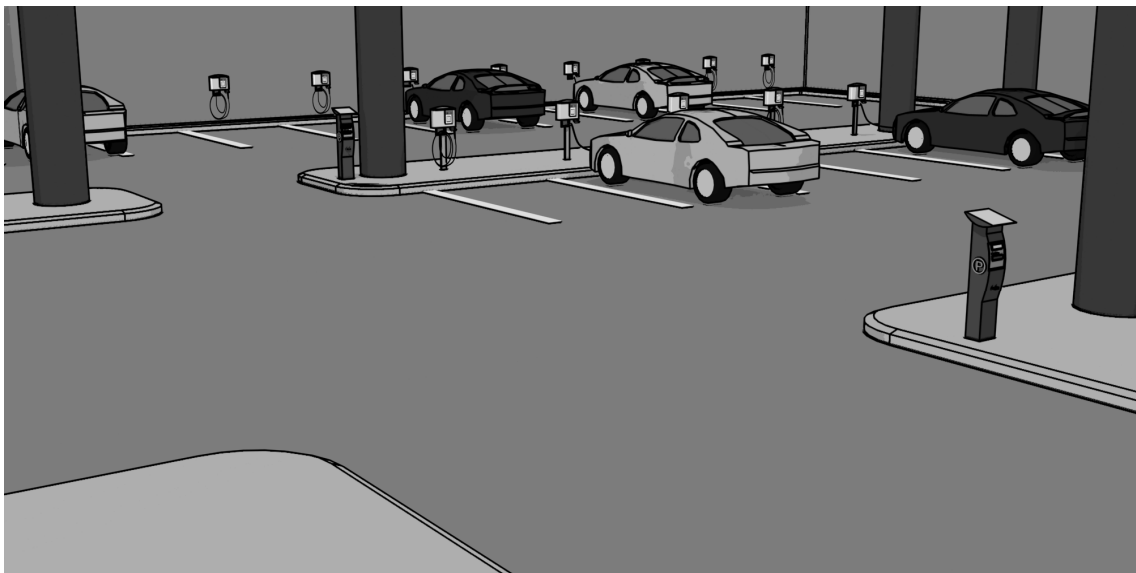
3.65. att. *Nissan Leaf* uzlādes stacija

Čikāgā 2011. gadā pie daudzdzīvokļu mājām tika uzstādīti vairāki maksas saules bateriju jumtiņi (skat. 3.66. att.), kas dod iespēju, uzlādēt vairākus elektromobiļus vienlaikus.



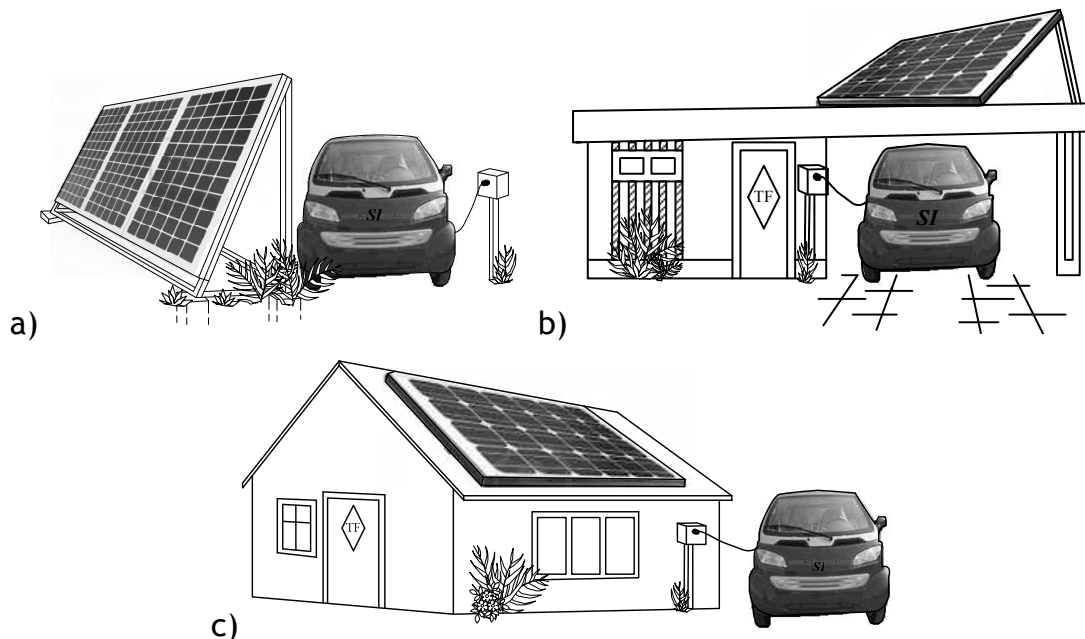
3.66. att. Saules bateriju uzlādes stacija ar jumtiņu

Liberty Plugs, Inc. (LPI) ir izpētījuši, ka daudzu daudzdzīvokļu ēku garāžās nav kontaktligzdu, lai īrnieki un viesi varētu uzlādēt savus elektromobiļus. LPI ir vienkāršs risinājums (skat. 3.67. att.): instalēt zemu izmaksu digitālo maksas staciju, kas var kontrolēt visus elektromobiļu lādētājus. Īrnieki var saņemt savus pastāvīgos lādēšanas licencēšanas kodus vai izmantot viedkartes, ko parasti izsniedz garāžu apsardze. Viesi var maksāt par pakalpojumiem turpat garāžu apsardzei.



3.67. att. *Liberty Plugs, Inc.* uzlādes staciju risinājums

Līdzīgi organizē uzlādes stacijas privātmājām. Gadījumā, ja uzlādes stacijā kā enerģijas avotu lieto saules baterijas - jāizvēlas to novietojuma vieta. 3.68. attēlā parādīti vairāki piemēri saules bateriju novietojumiem uz zemes un uz ēku jumtiem. Svarīgi, lai uzlādes punkts atrastos pēc iespējas tuvāk enerģijas avotam.



3.68. att. Uzlādes staciju izvietojums privātmājām:
 a - uz zemes; b - uz palīgēkas vai garāžas jumta; c - uz mājas jumta

3.6.6. Uzlādes iekārta nelielas jaudas elektropēkratiem ar noņemamiem akumulatoriem

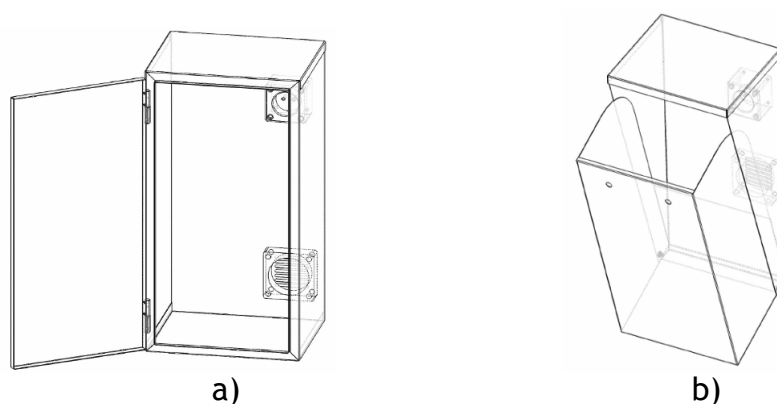
Latvijā pēdējos gados palielinās elektropēkratu, tajā skaitā elektrovelosipēdu un mopēdu izmantošana. Balstoties uz iepriekšējo analīzi, elektropēkratus var uzlādēt mājās vai stāvvietās, respektīvi, glabāšanas vietā, kā arī publiskajos uzlādes punktos. Ja uzlādi veic glabāšanas vietā, lādēšanas apstākļus var piemērot konkrētam elektropēkratu veidam - lādēšanas procesu individualizēt. Ja lādēšana notiek publiskajā uzlādes punktā, lādēšana notiek pēc konkrētajā lādēšanas punktā paredzētajiem uzlādes principiem, kas ietver spēkratu novietošanas, uzlādes pieslēgšanas, kā arī aizsardzības funkcijas.

Elektropēkratu uzlādēšanai izmanto ārējās un iebūvētās lādēšanas iekārtas. Elektrovelosipēdiem parasti izmanto ārējās lādēšanas iekārtas jeb akumulatoru lādētājus. Šie lādētāji parasti ievietoti plastmasas korpusā, kurš nav aizsargāts no apkārtējās vides, piemēram, lietūs, ietekmes. Šādas konstrukcijas ārējā lādētāja izmantošana publiskajā uzlādes punktā ir apgrūtināta vai pat neiespējama vairāku iemeslu dēļ:

- pieslēdzot ārējo lādētāju un to atstājot darbojošos uz vairākām stundām, velosipēda īpašnieks nevar paredzēt turpmākos laika apstākļus. Lietus gadījumā var tikt bojāts lādētājs, iestāties īsslēgums, kas var bojāt vai atslēgt lādēšanas punkta drošinātājus, vai arī sabojāt uzlādējamus akumulatorus;
- pieskaroties lietū izmirkušai akumulatoru lādēšanas ierīcei, velosipēda īpašnieks var saņemt elektrisko triecienu, kas var beigties letāli;
- ārējo lādēšanas iekārtu citas personas var paņemt (nozagt). Tādā veidā velosipēda īpašnieks paliek bez akumulatoru lādētāja;

- ja akumulatoru lādētājs, sargājot no lietus, tiek ievīstīts polietilēna maisā, tam var būt nepietiekama dzesēšana un tas var tikt bojāts;
- velosipēdam apgāžoties, var tikt izrauta kontaktu dakša, pārtraucot lādēšanu vai bojājot pieslēguma vadus;
- ziemā, zemās temperatūrās uzlādes iekārtas vadi var kļūt trausli un pārlūzt, jo parasti šo vadu ekspluatācija nav paredzēta zemās temperatūrās;
- veicot elektrovelosipēda uzlādi, iespējama arī akumulatoru bateriju zādzība.

Lielu daļu iepriekš aprakstīto nepilnību var novērst, publiskajos uzlādes punktos izmantojot speciālus akumulatoru uzlādēšanas skapjus (skat. 3.69. att.). Skapji pēc konstrukcijas var atšķirties. Var izmantot gan horizontālās, gan vertikālās durtiņas, kā arī divdaļīgu konstrukciju ar speciālu ievietošanas kustīgu plauktu (skat. 3.69. att. b).



3.69. att. Akumulatoru uzlādēšanas skapja konstruktīvie risinājumi:
a) - konstrukcija ar vertikālajām durtiņām; b - konstrukcija ar izvirzāmo kustīgo plauktu

Skapis var būt aprīkots ar parasto atbilstošas drošības klases (ne zemāk par IP 50) 230 V 16 A rozeti. Lai nodrošinātu akumulatoru un lādētāja dzesēšanu, lādēšanas iekārtu ieteicams aprīkot ar dzesēšanas ventilatoru. Dzesēšanu var nodrošināt gan gaisu ievadot iekārtā, gan izvadot no tās.

Šāda veida konstruktīvais risinājums tika izgatavots projekta „Elektroenerģijas izmantošana fizisko personu spēkratos” ietvaros. Turpmāk analizēta uzlādes skapja izgatavošanu.

Lai izstrādātu lādēšanas skapja izmērus, nepieciešams apzināt biežāk sastopamo elektrovelosipēdu noņemamo akumulatoru bloku izmērus. Pēc šiem izmēriem var noteikt minimāli nepieciešamo telpu uzlādes skapī. Atkarībā no uzlādes skapja konstrukcijas, ņem vērā tādu elementu izmērus kā rozetes, dzesēšanas ventilators, slēdži u.c. Jāņem vērā arī standarta velosipēdu lādētāju konstrukcija. Gadījumā, ja elektrovelosipēdiem uzlādes iekārtas būtu unificētas, varētu izmantot šajā lādēšanas skapī iebūvētu lādētāju ar standarta spraudņiem vai arī ar iespēju izvēlēties vairākus spraudņus. Šajā gadījumā braucējam nevajadzētu vadīt līdz akumulatoru lādēšanas iekārtu, kas uzlabotu ekspluatācijas rādītājus (samazinātos pārvadājamās bagāžas svars un tilpums).

Tā kā uzlādes parametri katram velosipēdam var atšķirties un nav panākta spraudņu unifikācija, tad projekta ietvaros izstrādātajā uzlādes skapja konstrukcijā uzlādes pārveidotāju stacionāri neuzstāda, bet paredz tam brīvu vietu, kurā novieto velosipēda standarta lādēšanas iekārtu.

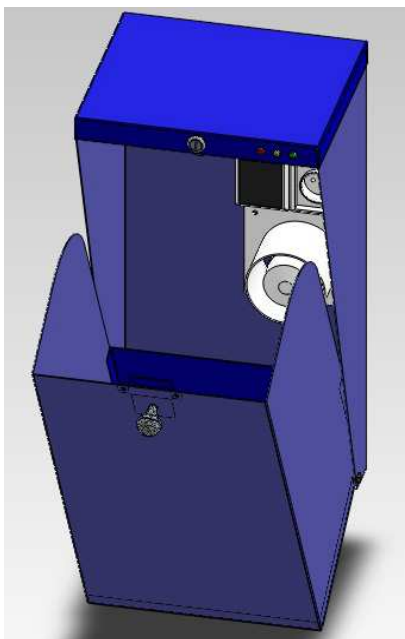
Izstrādātajam uzlādes skapim definētas galvenās vispārīgās prasības:

- uzlādes skapim jānodrošina aizsardzība no apkārtējās vides iedarbības, t.i., no lietus, sniega u.tml.;
- uzlādes skapī jābūt drošam elektropievadam, kas ļautu pieslēgt uzlādes pārveidotāju jeb spēkratu standarta lādēšanas iekārtu;
- jānodrošina pietiekoša ventilācija un dzesēšana. Uzlādes procesā silst gan akumulatoru bateriju bloks, gan arī lādēšanas iekārta. Uzlādes skapis ir noslēgta telpa, kurā iespējama iepriekšminēto mezglu pārkaršana. Šī iemesla dēļ jānodrošina papildus gaisa cirkulācija, kas aizvadīs radušos siltumu. Šim nolūkam uzlādes skapī paredzēts uzstādīt ventilatoru, kurš automātiski ieslēdzas uzlādes procesa uzsākšanas brīdī;
- tā kā uzlādes skapi paredzēts novietot brīvi pieejamās vietās, tad tam jābūt slēdzamam, lai nepieļautu akumulatoru nozagšanu vai bojāšanu. Pastāv vairākas iespējas kā organizēt skapja aizslēgšanu - iespējams ierīkot vienkāršu mehānisku slēdzeni, vai arī izveidot slēdzeni ar karšu lasītāju, kas automātiski tiek aktivēta ar pieejas kartes palīdzību.

Pēc akumulatoru bloku izmēru primārās mērīšanas noskaidrots, ka lādēšanas skapja gabarīti nedrīkst būt mazāki kā:

- augstums 600 mm;
- platums 250 mm;
- garums 300 mm.

3.70. attēlā redzams uzlādes skapja kopskats.



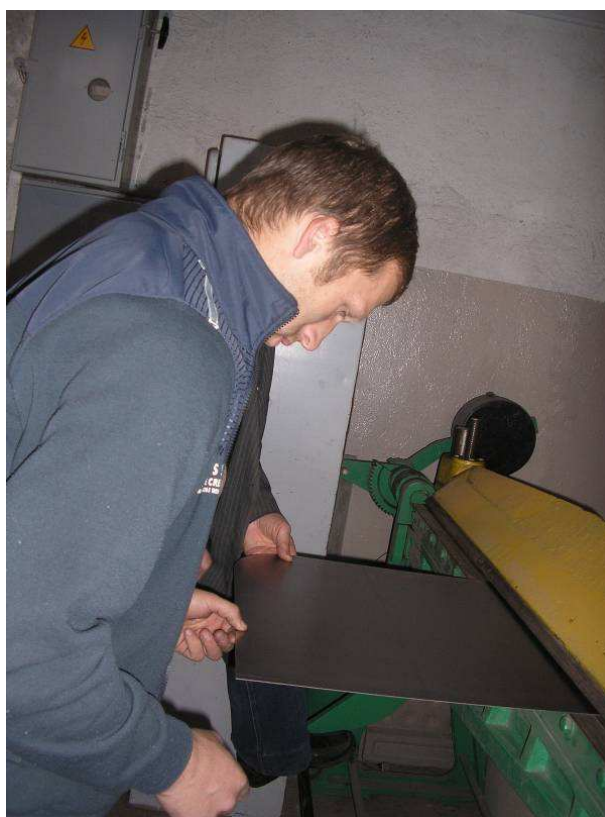
3.70. att. Izstrādātā uzlādes skapja kopskats

Uzlādes skapis izgatavots no lokšņu tērauda, kura biezums 1.2 mm. Tā kā šāda biezuma tēraudu kvalitatīvi iespējams salocīt tikai uz speciālas lokšņu locīšanas iekārtas, tad uzlādes skapja konstrukcijai jābūt izstrādātai tā, lai visus nepieciešamos elementus pēc tam arī tehnoloģiski varētu izlocīt.

Kā redzams 3.70. attēlā, uzlādes skapis sastāv no vairākām daļām. Nosacīti varētu iedalīt sekojošas daļas: pamatnes korpuss, kam piestiprināts vāks ar slēdzeni un kontrollampiņām, atgāžama atvilktnē ar atsevišķi piestiprināmu grīdu, kā arī rokturis un slēdzenes atbalsta plāksne. Pie pamatnes korpusa stiprinās slēdzis ar kontaktdakšu un elektriskais ventilators.

Iepirktajiem mezgliem - rozetēm, dzesēšanas ventilatoram, lādēšanas aktivizēšanas indikatoriem un iebūvējamai atslēgai veic mērījumus, lai pēc montāžas izmēriem veiktu urbumus uzlādes skapja atbilstošajos mezglos.

Uzlādes skapja mezglu locīšanas process parādīts 3.71. attēlā.



3.71. att. Uzlādes skapja mezglu locīšana

Uzlādes skapi iespējams izvietot pie tradicionālā elektrosūkru uzlādes punkta. Velosipēdists var veikt uzlādi gan izmantojot tradicionālo lādēšanas vietu, gan arī veicot uzlādi speciālajā skapī.

Mainot skapja izmērus, šādu uzlādes skapi iespējams pielāgot arī citiem elektrosūkriem, kuriem ir ārējās uzlādes iekārtas. Šajā gadījumā akumulatori atrodas uz elektrosūkriem, bet lādēšanas iekārtu ievieto skapī, kurš pasargā lādētāju no nokrišņiem un nozagšanas.

Izmantojot lādēšanas skapjus, vienkāršā un lētā veidā tiek atrisinātas vairākas neērtības un paplašinās lādēšanas punkta izmantošanas iespējas dažādām sūkru grupām.

Lādēšanas skapis, montēts uzlādes punktā, parādīts 3.72. attēlā.



3.72. att. Uzlādes skapis, montēts elektroskāpju lādēšanas punktā

Skapja īsa izmantošanas tehnoloģija:

- pēc akumulatora demontēšanas no velosipēda, to, kopā ar lādētāju ievieto uzlādes skapī (skat. 3.73. att.);



3.73. att. Lādēšanas iekārtas un akumulatoru bloka ievietošana uzlādes skapī

- pievieno standarta lādēšanas ierīci pie akumulatoru bloka;
- savieno lādētāja kontaktdakšu ar skapja rozeti un ieslēdz slēdzi (skat. 3.74. att.). Lādēšanas process ir sācies;



3.74. att. Uzlādes uzsākšana, ieslēdzot slēdzi

- aizslēdz skapi. Lādētājs un akumulatori ir pasargāti no nokrišņiem un lādēšanas procesam tiek nodrošināts optimāls mikroklimats;
- ja skapis aprīkots ar uzlādes indikatora diodēm, ieslēdzas sarkanā diode. Ja lādēšanas process pabeigts, ieslēdzas zaļā diode;
- lādēšanas laikā velosipēdu var izmantot ar citu akumulatoru bloku vai arī kā parastu velosipēdu, bez motora piedziņas.

LLU zinātnieki izstrādājuši šāda uzlādes skapja konstrukciju un par to saņēmuši Latvijas patentu (skat. 2. pielikumu).

3.7. Kombinētās alternatīvās enerģijas elektropēkratu akumulatoru uzlādēšanas stacijas eksperimentālie pētījumi

LLU TF izveidotā autonomās kombinētās alternatīvās enerģijas elektropēkratu uzlādes stacija paredzēta mazjaudas elektropēkratu uzlādei. Stacija sastāv no divu veidu atjaunojamajiem elektroresursu ieguves avotiem: 2 kW fotoelektriskajām baterijām (skat. 3.75. att.) un 300 W vēja ģeneratora.



3.75. att. 2 kW fotoelektriskās baterijas

Iegūto elektroenerģiju uzglabā 24 V 300 Ah svina-skābes akumulatoru baterijās un ar invertora palīdzību transformē lādēšanai nepieciešamos sadzīves tīkla parametros (220 V, 50 Hz, līdz 1.6 kW). Stacija ir pilnībā autonoma un spēj sevi uzturēt arī ziemas apstākļos, nodrošinot nepieciešamo temperatūru stacijas iekārtām. 3.76. attēlā parādīti akumulatoru bateriju, komutāciju skapji un stacijas vadības iekārta.



3.76. att. Elektrisko iekārtu novietojums: E1 - fotoelektrisko bateriju uzlādes kontrolleris; E2 - invertors; E3 - akumulatoru bateriju skapis; E4 - vēja ģenerators uzlādes kontrolleris

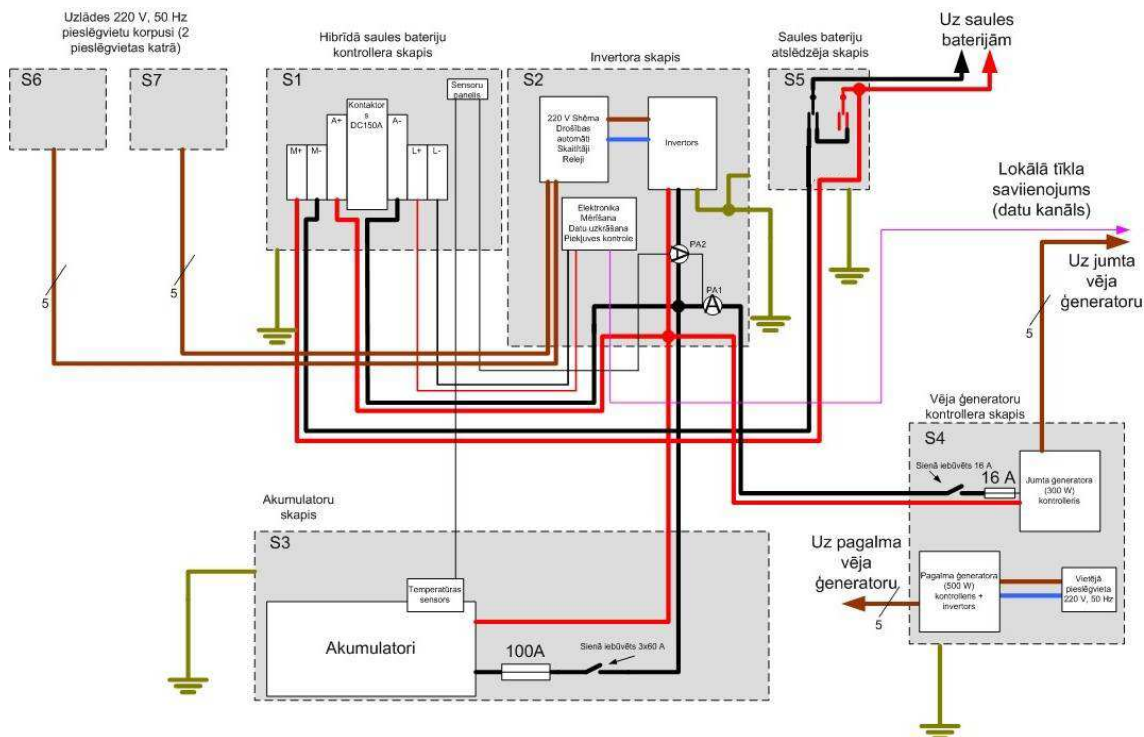
Akumulatoru uzlādi nodrošina divi paralēli darbojošies kontrolleri: hibrīdais saules bateriju kontrolleris *Steca Power tarom 2140* un 300 W vēja ģenerators kontrolleris. Kā slodze tiek izmantots 1600 W invertors. Hibrīdais kontrolleris papildus iekšējam mērīšanas aprīkojumam izmanto divus ārējos strāvas sensorus, lai precīzi noteiktu akumulatora uzlādes pakāpi pēc sprieguma, slodzes strāvas un no vēja ģenerators nākošās akumulatoru uzlādes strāvas.

Eksperimentālo pētījumu vajadzībām izveidota stacijas uzraudzības sistēma. Sistēma veic elektrisko un ietekmējošo laika apstākļu parametru datu glabāšanu, elektrisko pieslēgvietu pieejas kontroli, attālinātu datu piekļuvi un skapju temperatūras regulēšanu. Elektrisko parametru iegūšanai tiek izmantotas iegultās iekārtas (sensori, datu uzkrājēji), kuras ir neatkarīgas no uzlādes stacijas.

3.7.1. Uzlādes stacijas konstruktīvā uzbūve un elektroslēgumi

Uzlādes stacijas elektrisko komponentu izvietojuma shēma skapjos ir parādīta 3.77. attēlā.

Komponentes izvietotas atbilstoši nākamajās sadaļās aplūkotajai elektriskā slēguma shēmai ar vienotu 24 V līdzstrāvas kopni ar tieši pieslēgtām 300 Ah akumulatoru baterijām.



3.77. att. Uzlādes stacijas elektrisko komponentu izvietojuma shēma

Alternatīvās enerģijas uzlādes stacijas iekārtas ir izvietotas 7 skapjos:

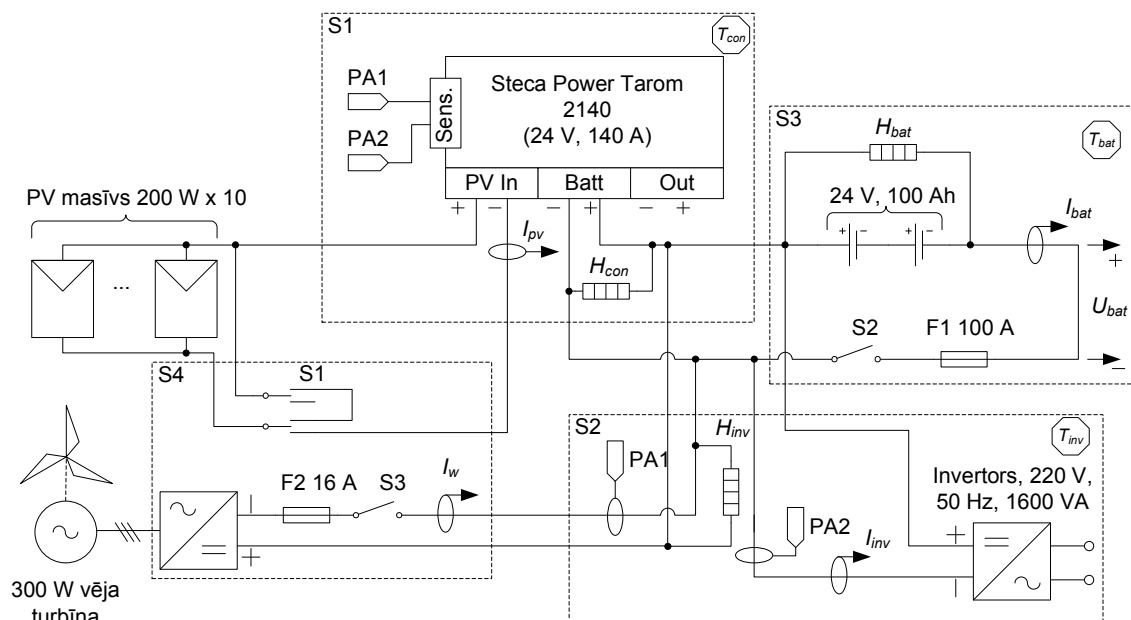
- S1 - hibrīdā saules bateriju kontrollera skapis;
- S2 - invertora skapis;
- S3 - akumulatoru skapis;
- S4 - vēja ģenerators kontrollera skapis;
- S5 - saules bateriju atslēdzēja skapis;
- S6 un S7 - divriteņu elektrospekratu uzlādes pieslēgvietas (kopā četras 220 V, 50 Hz rozetes).

Skapī S1 izvietots saules bateriju kontrolleris, tā HMI (*Human-Machine Interface*) interfeiss, drošinātāji, 150 A līdzstrāvas automātslēdzis un savienotāji akumulatoru, saules bateriju un slodzes kabeļu pieslēgšanai. Skapī visās elektriskās daļās maksimālais spriegums ir 30 V. Kā iepriekš tika minēts, slodzes invertors ir pievienots tieši galvenajai līdzstrāvas kopnei, bet saules bateriju regulētās 24 V slodzes izeja tiek izmantota tikai vadības elektronikas barošanai skapī S2. Skapis S2 satur galvenās līdzstrāvas kopnes sadales, strāvas sensorus, invertoru un 220 V maiņsprieguma komponentes (drošības automātus, skaitītājus, uzlādes pieslēgvietu vadības relejus).

Skapī S3 uzstādītas akumulatoru baterijas, rokas slēdzis to atslēgšanai no galvenās kopnes un 100 A drošinātājs. Drošinātāja un slēdža izvietojumam izvēlēts negatīvās polaritātes kabelis, jo sistēmā kā kopējais vads tiek izmantots pozitīvais. Skapis S3 līdžās ar uzlādes pieslēgvietām S6 un S7 ir vienīgie moduļi ar 220 V sprieguma komponentēm.

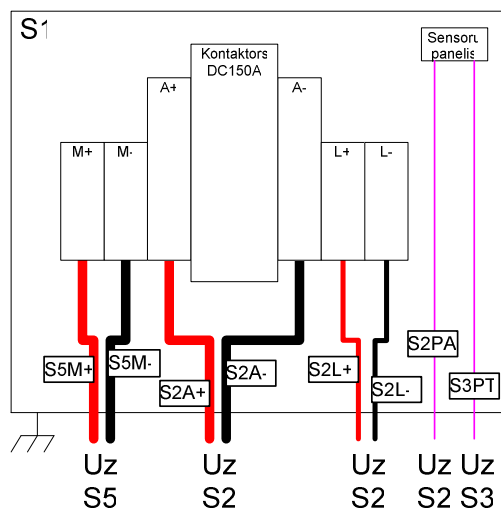
Skapī S4 izvietotas komponentes vēja ģeneratoru vadībai: uzlādes kontrolleri, drošinātāji un rokas vadības atslēdzēji.

Skapis S5 satur rokas vadības atslēdzēju saules baterijai. Visu skapju korpusi ir zemēti. Stacijas enerģijas ieguves elektriskā slēguma shēma parādīta 3.78. attēlā.



3.78. att. Stacijas elektriskā slēguma shēma

Kontrollera skapja S1 un akumulatoru skapja S3 elektrisko komponentu izvietojuma shēma parādīta 3.79. un 3.80. attēlā.

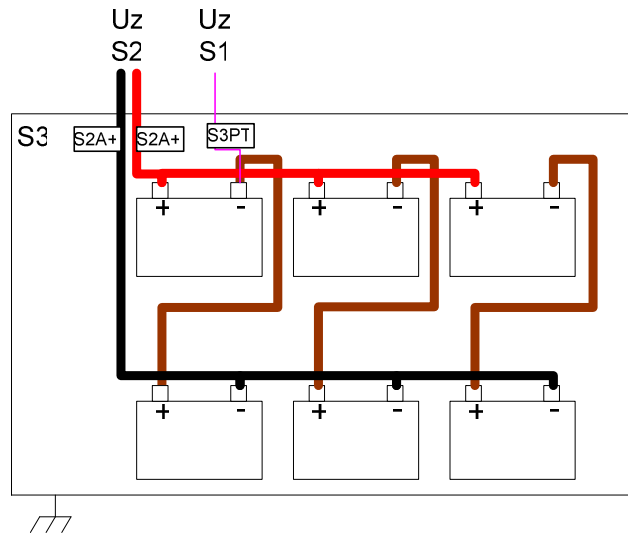


3.79. att. Kontrollera skapja S1 elektrisko komponentu izvietojuma shēma

Skapī S1 ir 2 pāri ieejošo spēka kabeļu ar 25 mm² šķērsgriezuma laukumu, katrs ievietots 32 mm diametra gofrētā caurulē. Tāpat izmantoti trīs standarta 5e kategorijas kabeļi:

- uz skapi S2 vadības elektronikas barošanai ar 24 V spriegumu, un maksimālo strāvu līdz 0.1 A, kā arī vadības datu komunikācijai (RS485 tīkls, 1 vītains pāris);

- uz skapi S2 saules bateriju uzlādes kontrolera strāvas sensoru kabeli;
- uz skapi S3 RS485 komunikācijas līnijai un hibrīdā saules bateriju uzlādes kontrolera temperatūras sensoram akumulatoriem.



3.80. att. Akumulatoru skapja S3 elektrisko komponentu konstruktīvā izvietojuma shēma

Alternatīvās enerģijas uzlādes stacija paredzēta četru elektropēkratu vienlaicīgai uzlādei. Šī nepieciešamā elektroenerģija tiek iegūta no saules un vēja uzkrātās enerģijas akumulatoros. Stacija izmanto tikai no atjaunojamiem resursiem iegūto enerģiju un nav pieslēgta publiskajam elektrotīklam. Stacijas akumulatoru baterijās uzkrāto enerģiju kontrolē atsevišķa sistēma, kas kontrolē un atbild par sasaisti starp PV, vēja turbīnu un akumulatoriem.

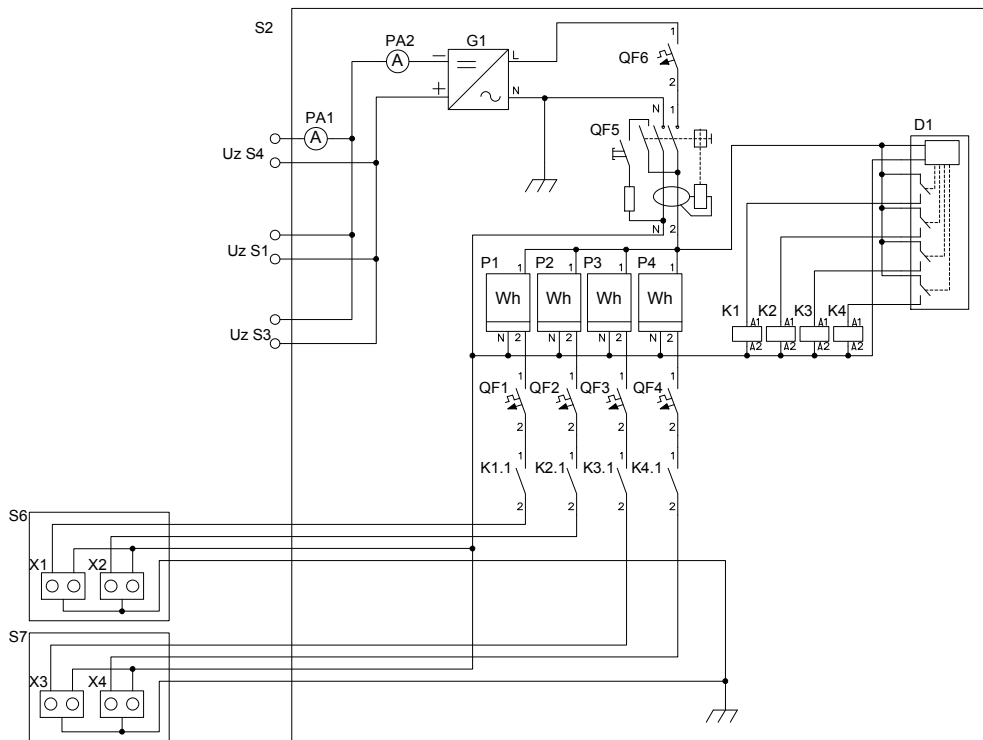
Pirms iekārtu uzstādīšanas ir veikta sākotnējā projektēšana - izstrādāta shematiskā un izvietojuma shēmas. Invertora skapja S2 un uzlādes pieslēgvietu S6 un S7 principiālā elektriskā shēma parādīta 3.81. attēlā.

Lai varētu veikt spēkratu uzlādi, ir nepieciešams nodrošināt līdzvērtīgus elektroenerģijas parametrus kā publiskajam tīklam. Šo parametru nodrošināšanai tiek izmantots sprieguma invertors (*MEAN WELL TN/TS-1500*) (skat. G1 3.81. attēlā), kas pārveido 24 V līdzenspriegumu 220 V maiņspriegumā. Invertora maksimālā pieslēdzamā jauda 1.6 kW.

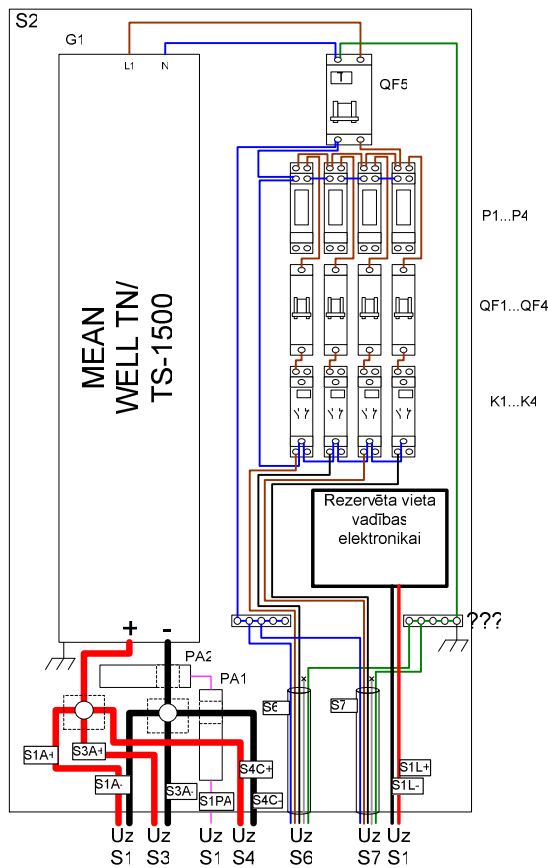
Komponentes, kuras papildina uzlādes stacijas aizsardzību un funkcionalitāti, ir (skat. 3.81. att.):

- QF6 - sistēmas kopējais īsslēguma automāts (īsslēgumu gadījumiem);
- QF5 - strāvas noplūdes automāts;
- P1-P4 - patērētās elektroenerģijas skaitītāji;
- QF1-QF4 - individuālie īsslēguma automāti;
- K1-K4 - kontaktori pieslēguma aktivizēšanai;
- D1 - vadības bloks;
- X1-X4 - pieslēguma punkti;
- PA1, PA2 - alternatīvās stacijas uzlādes kontrolera sensori.

Kontrolera skapja S2 elektrisko komponentu konstruktīvā izvietojuma shēma parādīta 3.82. attēlā.



3.81. att. Invertora skapja S2 un uzlādes pieslēgvietu S6, S7 principiālā elektriskā shēma

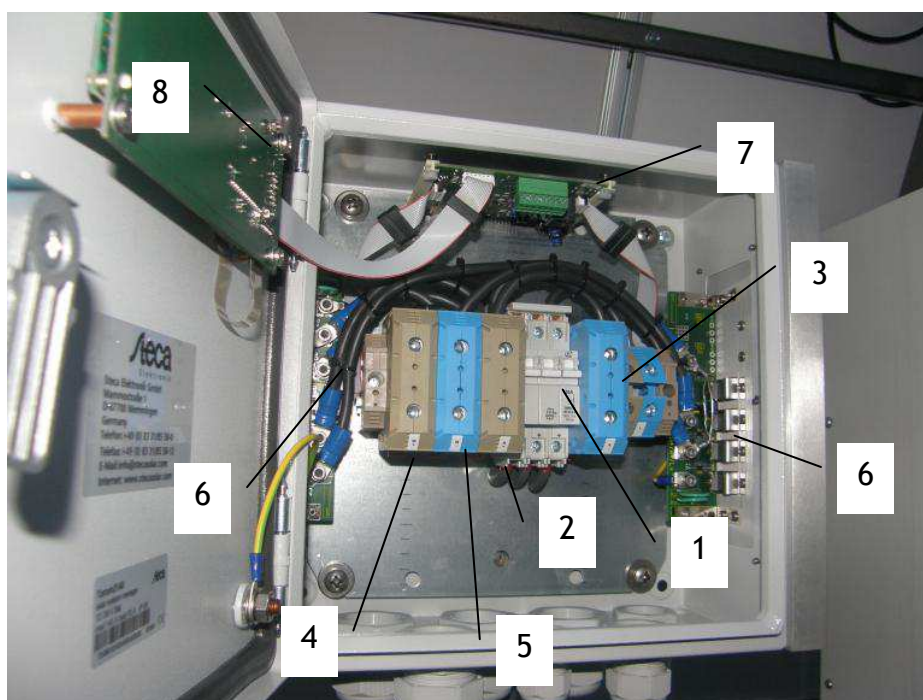


3.82. att. Kontrollera skapja S2 elektrisko komponentu izvietošanas shēma

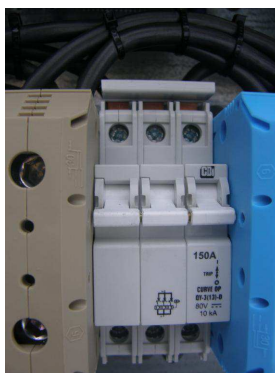
Komponenšu fiziskais izvietojums uz alternatīvās enerģijas uzlādes stacijas parādīts 3.83. - 3.90. attēlā.



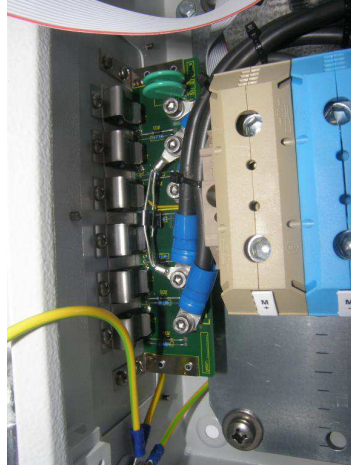
3.83. att. Saules bateriju uzlādes kontrolera *Steca Tarom 2140* skapis



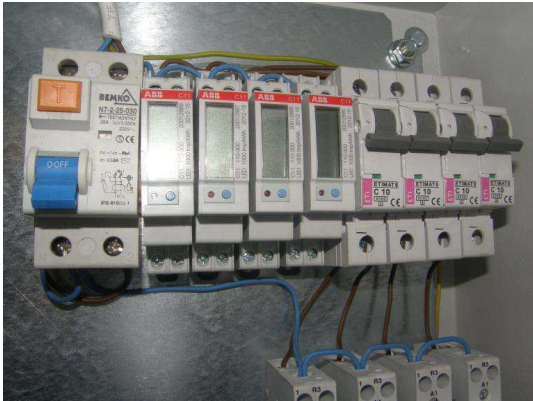
3.84. att. Saules bateriju uzlādes kontrolera *Steca Tarom 2140* skapja iekšējo komponentu izvietojuma shēma: 1 - 150 A līdzstrāvas automātslēdzis; 2 - akumulatora pozitīvā pola pieslēgvietā; 3 - akumulatora negatīvā pola pieslēgvietā; 4 - saules bateriju pozitīvā pola pieslēgvietā; 5 - saules bateriju negatīvā pola pieslēgvietā; 6 - spēka pusvadītāju bloki; 7 - *Steca Tarom 2140* kontrolera vadības bloks ar sensoru un komunikācijas pieslēgvietām; 8 - HMI panelis



3.85. att. 150 A automātslēdzis līdzstrāvas kopnes atslēgšanai



3.86. att. Spēka pusvadītāju bloki kopnes sprieguma un akumulatora uzlādes strāvas regulēšanai



3.87. att. Noplūžu, īsslēguma un skaitītāju izvietojums



3.88. att. Kontaktoru izvietojums



3.89. att. Invertora izvietojums

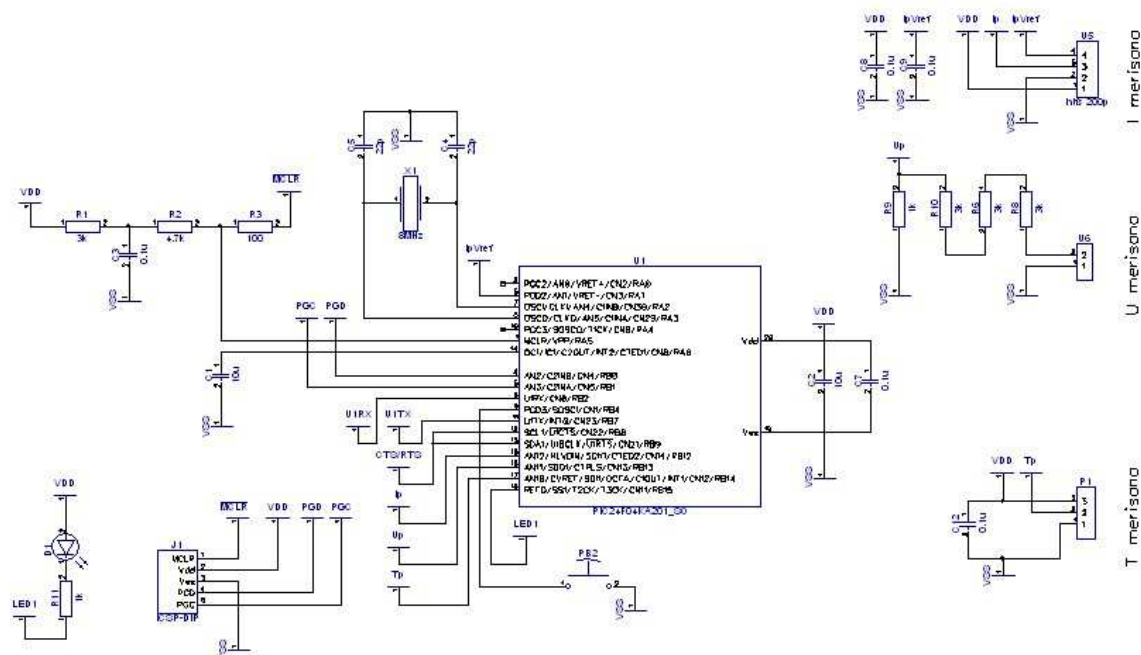


3.90. att. Uzlādes kontrolera sensoru izvietojums

3.7.2. Uzlādes stacijas ekspluatācijas parametru iegūšana un uzturēšana

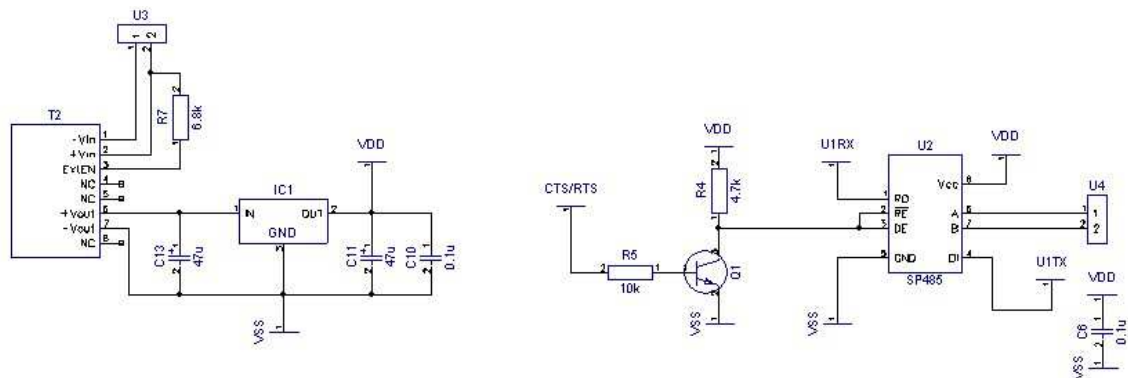
3.7.2.1. Iekārtas projektēšana un izstrāde

Lai dinamiski uzraudzītu alternatīvās stacijas spriegumus, strāvas un temperatūras (UIT) ir izstrādāta specializēta šim mērķim paredzēta iekārta. UIT iekārta spēj mērīt: spriegumu 0...30 V, strāvu -200...200 A un temperatūru -10...50°C. Izstrādātās iekārtas shēma parādīta 3.91. attēlā.



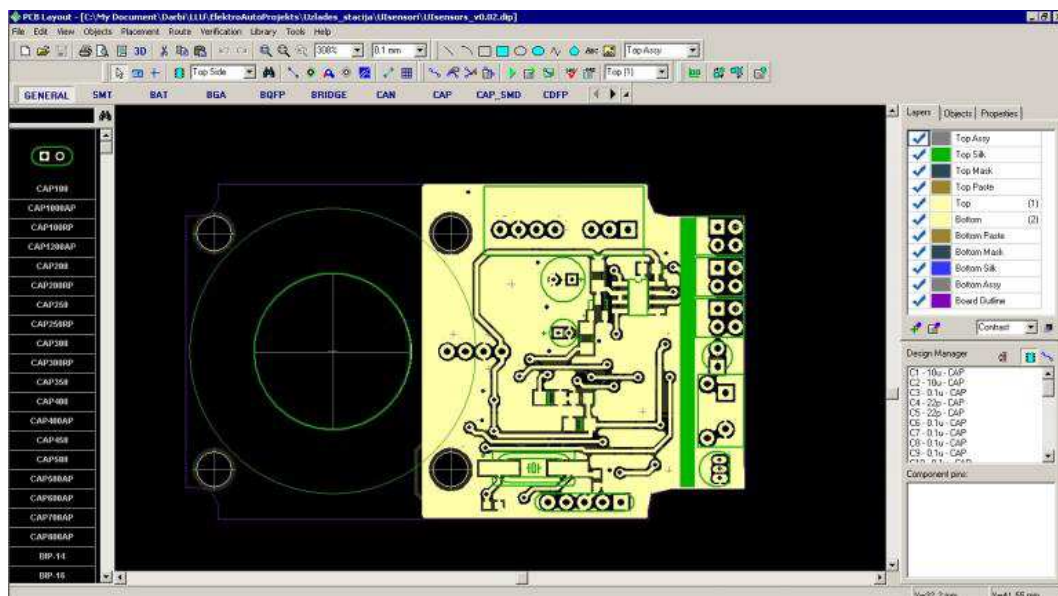
3.91. att. Mērīšanas iekārtas shēma

Papildus vadības shēmai ir nepieciešama atsaistītas barošanas nodrošināšana un specializēta komunikācija, kas izmanto RS-485 fizisko savienojumu un IEC 870 datu posma savienojumu. Shēma parādīta 3.92. attēlā.



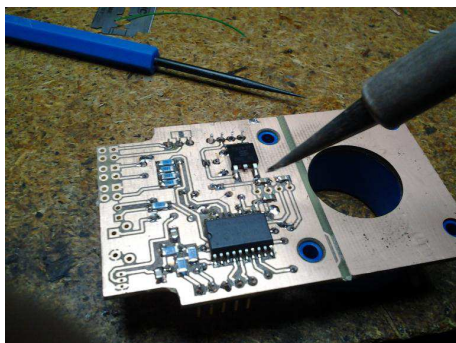
3.92. att. Komunikācijas un barošanas shēma

Pēc shēmas slēguma nepieciešamo mezglu aprēķiniem un pārbaudes, tika meklētas nepieciešamās komponentes. Atbilstoši komponentu fizikālajiem izmēriem un iezīmēm tika izstrādāta spiestā plate, kura parādīta 3.93. attēlā.



3.93. att. Spiestās shēmas projektējums

UIT mēriekārtu elektriskās shēmas komponentu lodēšana veikta ar 0.4 mm regulētas temperatūras lodāmu, bezsvina alvu un pastas veida kusni. Lielākā daļa komponentu (mikroshēmas un pasīvie elementi) ir virsmas montāžas izpildījumā. Caurejošo celiņu savienošanai izmantoti 0.3 mm vienas dzīslas vadi. Bezkontakta strāvas sensora gredzens papildus tika nostiprināts ar superlīmes palīdzību. 3.94. un 3.95. attēlā parādīts lodēšanas process, bet 3.96. attēlā - gatava UIT iekārta.



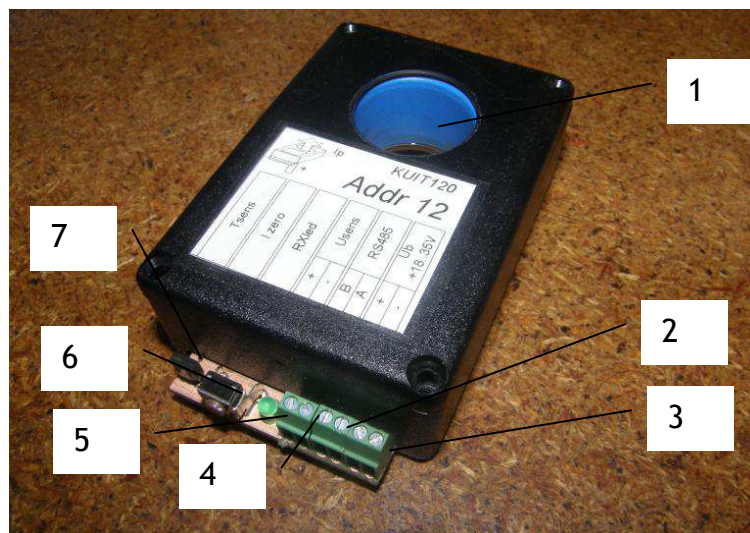
3.94. att. Paraugshēmas lodēšanas process



3.95. att. Pārējo shēmu lodēšanas process

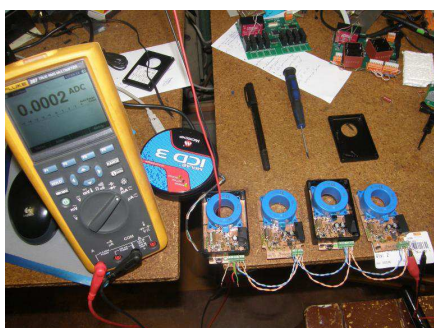


3.96. att. Gatava UIT mēriekārtas elektriskā shēma (bez pievienošanas termināļiem)



3.99. att. Gatava samontēta UIT mērīšanas iekārta: 1 - sensors strāvas mērīšanai vadā; 2 - RS485 tīkla savienojums (A un B izvadi); 3 - barošanas pieslēgvietas (18 - 36 V); 4 - sprieguma mērīšanas savienojums; 5 - sakaru aktivitātes indikators; 6 - strāvas sensora rādījuma nullēšanas poga; 7 - Tsic506 temperatūras sensors

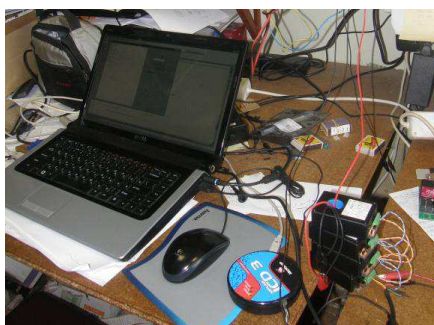
Iekārtas programmatūra tika izstrādāta C valodā ar brīvi pieejamo *Microchip C30* kompilatoru. Strāva un spriegums mērīti ar *PIC24FV16KA301* kontrolerī iebūvēto 12 bitu analogciparu pārveidotāju (ACP). Kods mērīšanai organizēts atsevišķā failā un saņem neapstrādātus datus no ACP caur atbilstošo sistēmas pārtraukumu. UIT mērīšanas iekārtu programmēšanas un atklūdošanas process parādīts 3.100. - 3.103. attēlā.



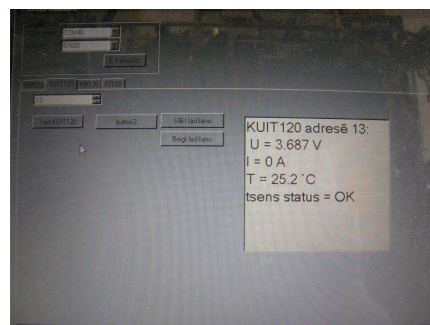
3.100. att. UIT mērīšanas iekārtu komunikācijas kanāla testēšana



3.101. att. UIT mērīšanas iekārtas ievietotas korpusos



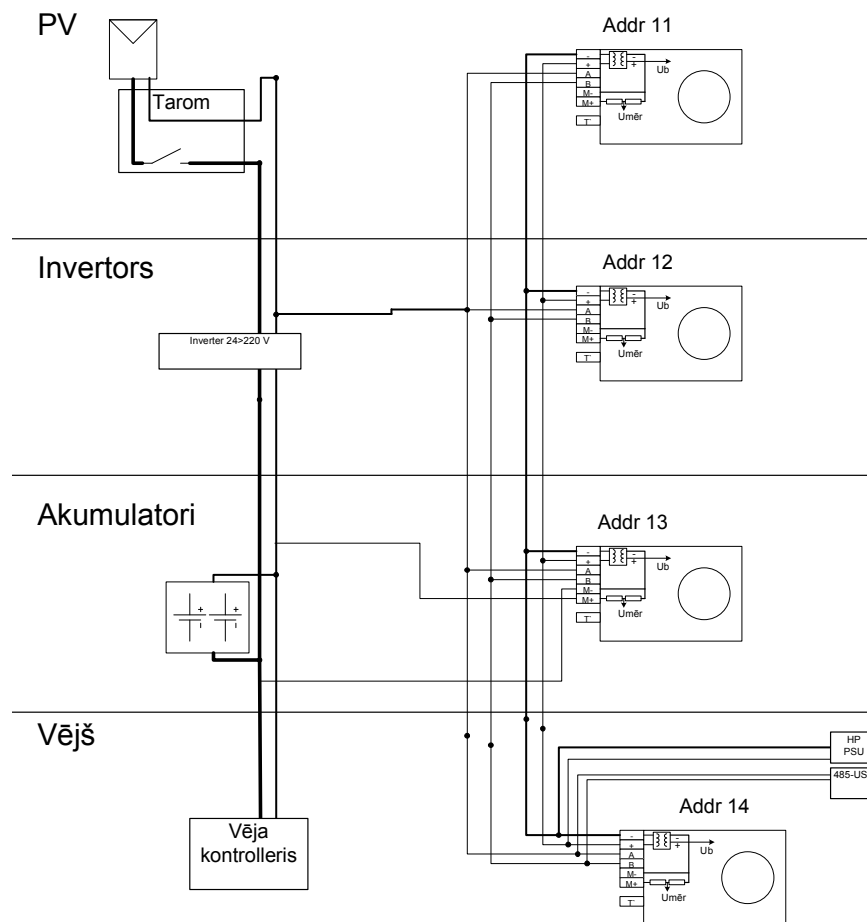
3.102. att. Testēšanas stenda kopskats



3.103. att. Iekārtas rādījumu nolasišana datora ekrānā

3.7.2.2. Mērīšanas iekārtu uzstādīšana

Izstrādātie strāvas, sprieguma un temperatūras sensori tika izvietoti kopējā iekārtas shēmā (skat. 3.104. att.).

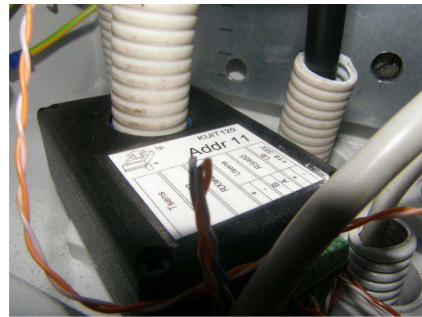


3.104. att. Mērīšanas iekārtu slēgumu shēma

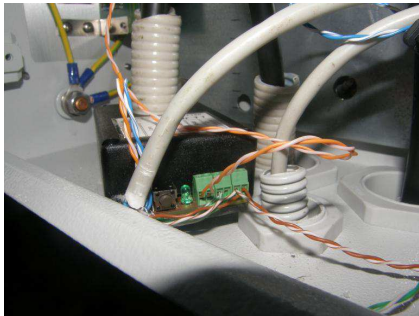
Visu UIT mērīšanas iekārtu izejas sistēmā tika uzstādītas paralēli un savienotas ar datu uzkrāšanas datoru, kas novietots blakus esošajā LLU Tehniskās fakultātes ēkā. Saules bateriju uzlādes kontrolera korpusā S1 UIT mērīšanas iekārta pieslēgta pie saules bateriju pieslēguma negatīvā spēka vada (skat. 3.105. att.). Lai nejauktu mērītāju IEC870 adreses, tad adrešu pēdējais cipars sakrīt ar skapja identifikatoru, piemēram, skapī S1 uzstādīta iekārta ar IEC870 adresi 11, S2 - 12 utt. (skat. 3.106. att.). Mērītājam tika pievienoti arī barošanas un IEC870 datu vadi (viens vītāis pāris RS485 komunikācijas tīklam) (skat. 3.107. att.). Tā kā *Steca Tarom* hibridajās sistēmās tiek izmantots kopējais pozitīvais vads un negatīvais vads tiek atdalīts ar regulējošiem slēdžiem un aizsardzības iekārtām (elektroniskie drošinātāji), tad saules bateriju sprieguma mērīšana pastāvīgi nav pieļaujama. Līdz ar to izmēģinājuma mērījumiem, saules baterijām darbojoties atslēgti no pārējā sistēmas (kad atslēgts S1 skapja kontaktors), tika izmantots sprieguma mērīšanas pārtraucējs (skat. 3.108. att.). Temperatūras sensors tika novietots attālināti no UIT iekārtas, lai mazinātu tās elektronikas siltuma ietekmi uz mērījuma rezultātu (skat. 3.109. att.). Līdzīgi UIT mērīšanas iekārta tika uzstādīta invertora skapī S2 (skat. 3.110. att.).



3.105. att. UIT mēritāja uzstādīšana saules bateriju kontrolera skapī



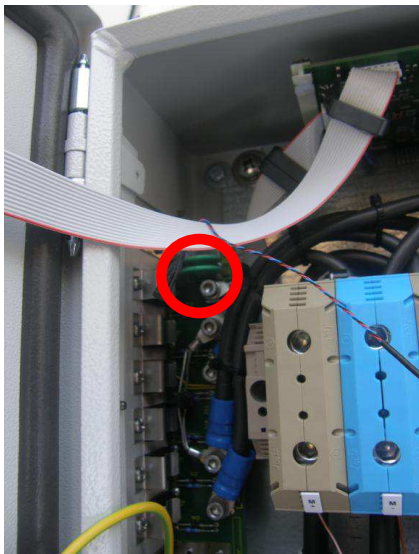
3.106. att. Uzstādīts UIT mēritājs ar IEC870 adresi 11



3.107. att. Datu un barošanas vadu pievienošana UIT mēritājam



3.108. att. UIT mēritājs ar pievienotu atslēdzēju saules bateriju sprieguma mērīšanai

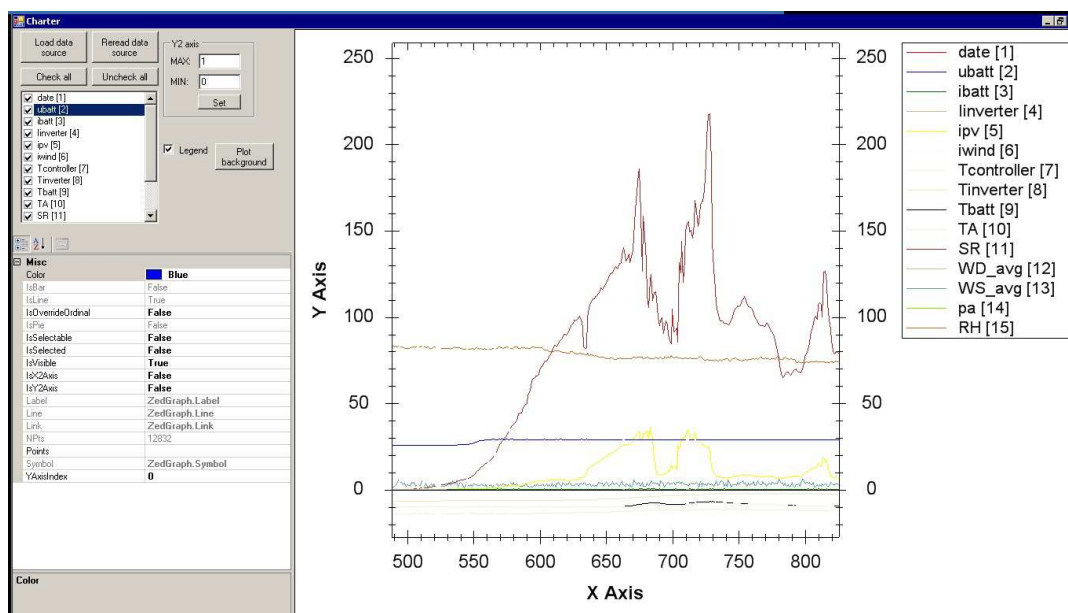


3.109. att. Temperatūras sensors S1 skapī, pievienots UIT mēritājam



3.110. att. UIT mēritāja uzstādīšana invertora skapī S2

Visiem sensoriem tika veikta testēšana, kur ar intervālu viena minūte dati tika ierakstīti datu bāzē. Testa rezultātu piemērs parādīts 3.111. attēlā.



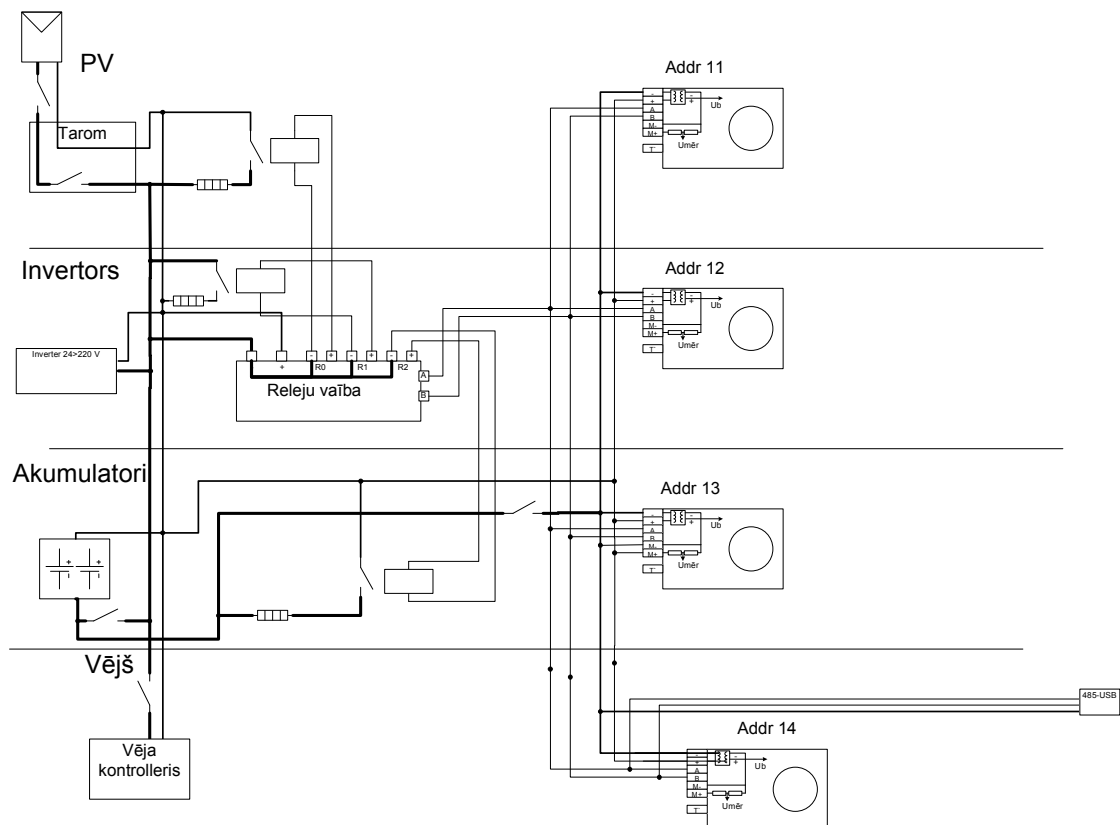
3.111. att. Sensoru dati attēloti grafiskā veidā uz laika skalas (solis 1 min)

3.7.2.3. Uzlādes stacijas iekārtu temperatūras uzturēšanas shēma

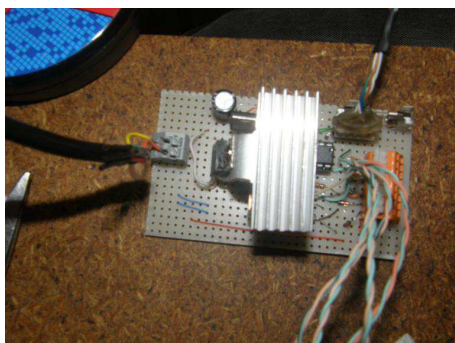
Lai ziemas mēnešos nodrošinātu autonomās kombinētās elektrotransporta uzlādes stacijas vadības aprīkojuma un spēka pārveidotāju darba temperatūru atbilstoši tehniskajai specifikācijai, tika realizēts automatiskās apsildes sistēmas variants. Automatiskā apsilde tika realizēta invertora, saules baterijas uzlādes kontrollera un akumulatoru skapjos. Invertora un saules bateriju kontrollera skapjos paredzēts uzturēt tikai elektriskā aprīkojuma darba temperatūru, bet akumulatoru skapi ir paredzēts sildīt, ja no kāda no kombinētās sistēmas atjaunojamajiem resursiem (saules, vēja) akumulatoru lādēšanai, elektrovēlodei un elektroaprīkojuma sildīšanai netiek patērēta visa enerģija. Svina-skābes akumulatoru sildīšana ar lieko enerģiju ziemas apstākļos dod iespēju paaugstināt to lietderību (kapacitāti pie dažādām izlādes strāvām) un izlādes strāvas.

Lai padarītu temperatūras vadības sistēmu elektroniskā aprīkojuma skapjos pielāgojamu dažādiem eksperimentiem ar mikroklimata vadību, tika izmantoti releji, kurus vada centrālais bloks. Releju vadības bloks tika izstrādāts, ņemot par pamatu UIT sensoros izmantoto programmu un mikrokontrolleri. Arī releju bloks ir attālināti vadāms no centrālā augstākā līmeņa vadības un datu uzkrāšanas datorā, izmantojot RS485 tīklu.

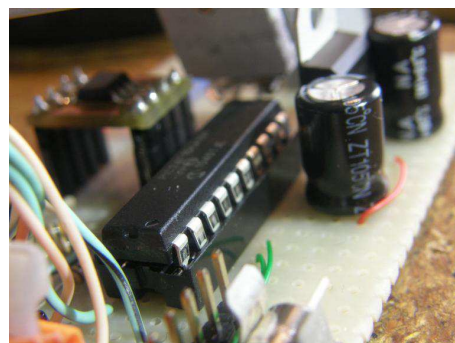
Modificētā temperatūras regulēšanas sistēma parādīta 3.112. attēlā. Releji vada sildītāju darbību pēc termostata principa temperatūras robežās 1...3 °C. Atgriezeniskā saite no temperatūras tiek ņemta nevis no lokālajiem termostatu sensoriem, kā tas bija pirmajā modifikācijā, bet no mērīšanas sistēmas UIT sensoriem. Dati tiek apkopoti augstākā līmeņa vadības datorā, kas arī realizē termostata algoritmu. Releju vadības bloks vienkārši apstrādā saņemtās komandas un ieslēdz/izslēdz norādītos relejus. Releju vadības bloka izstrāde parādīta 3.113. - 3.116. attēlā.



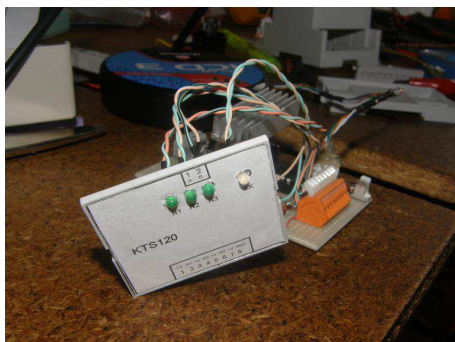
3.112. att. Releju un releju vadības bloka izvietojums elektroniskā aprīkojuma skapjos



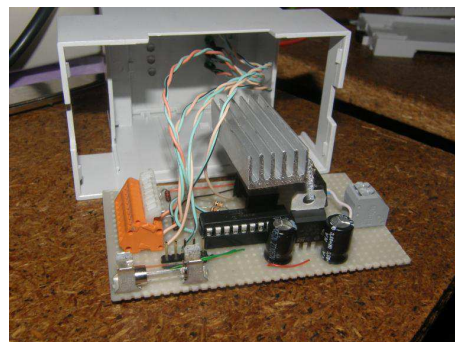
3.113. att. Elektriskā shēma uz prototipa plates



3.114. att. PIC24F16KA101 mikrokontroleris

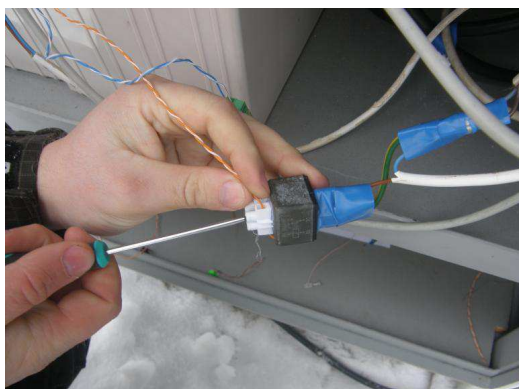


3.115. att. Iekārtas priekšējais panelis ar releju stāvokļa un komunikācijas aktivitātes indikatoriem

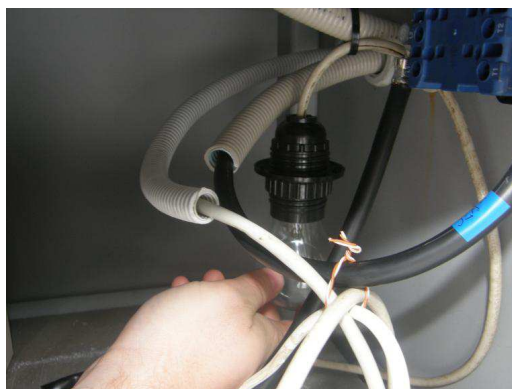


3.116. att. Iekšējās shēmas kopskats

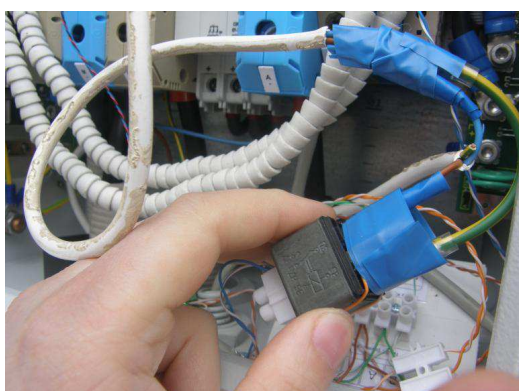
Termostata vadības releju vadības bloka un sildītāju uzstādīšana kontrolera un akumulatoru skapī parādīta 3.117. - 3.120. attēlā.



3.117. att. Releja uzstādīšana akumulatoru skapī



3.118. att. Sildītāja (spuldzes) uzstādīšana akumulatoru skapī

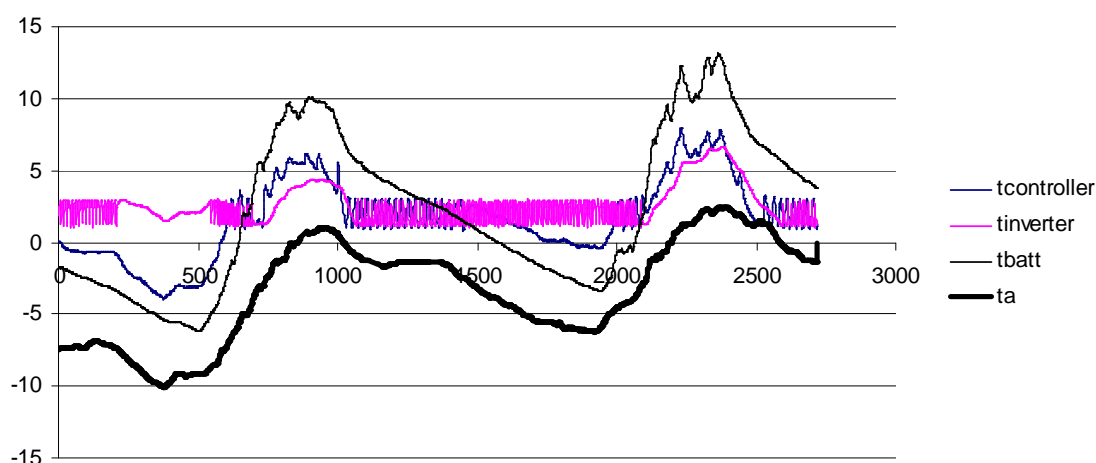


3.119. att. Releja uzstādīšana kontrolera skapī



3.120. att. Keramiskā sildītāja uzstādīšana kontrolera skapī

Temperatūras regulēšanas tests parādīts 3.121. attēlā. Grafikā redzama āra temperatūra un trīs regulējamo skapju temperatūras. Kontrolera un invertora skapī pēc termostata principa tiek noturēta temperatūra 1...3 grādu robežās, bet akumulatoru skapis tiek papildus sildīts dienas laikā, kad ir pieejama lieka saules enerģija un akumulatoru baterija ir pilnībā uzlādēta. Laika solis ir 1 minūte.



3.121. att. Temperatūras regulēšanas sistēmas tests

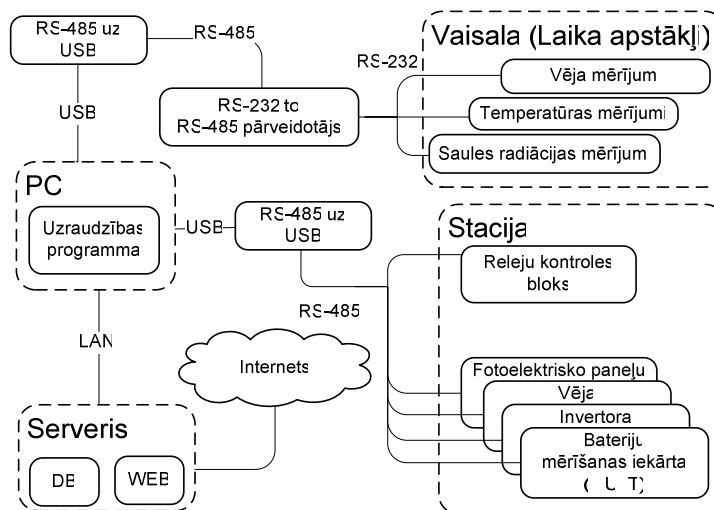
3.7.2.4. Uzlādes stacijas ekspluatācijas parametru monitoringa sistēma

Veicot dažādus eksperimentālos procesus un uzraudzību, nepieciešama galveno procesu ietekmējošo parametru centralizēta iegūšana un uzkrāšana. Tāpēc komplicētai datu parametru iegūšanai tiek izmantoti vairāki posmi. Eksperimentos tiek piesaistīta mobilā *Vaisala MAVS201* (skat. 3.122. att.) laika apstākļu stacija.



3.122. att. Laika apstākļu stacija *Vaisala MAVS201*

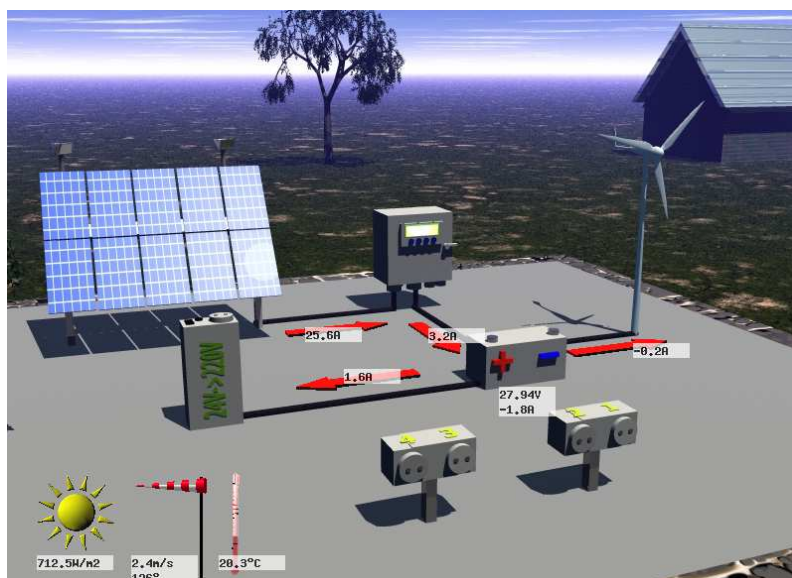
Stacija nodrošina reāllaika meteoroloģisko parametru iegūšanu, kuri ir nepieciešami eksperimentālajiem pētījumiem. Daži no iegūstamajiem parametriem: vēja ātrums, temperatūra un saules radiācija. Šie parametri tiek nolasīti no *Vaisala* stacijas un ierakstīti datubāzē. Parametru lasīšana notiek, izmantojot RS-485 interfeisu un komunikāciju protokolu. No stacijas mērīšanas iekārtām līdzīgā veidā tiek iegūti dati un sinhronizēti ar laika apstākļu datiem, izmantojot personālo datoru un uz tā instalēto uzraudzības programmu, kura nosūta sasinchronizētos datus uz servera datubāzi. Datubāzēs datus var nolasīt vēlākai analīzei. Izmantojot monitoringa tiešsaistes vizualizācijas sistēmu, var aplūkot reāllaika datus caur interneta pārlūkprogrammu. Datu plūsmas diagramma parādīta 3.123. attēlā.



3.123. att. Datu plūsmas diagramma

3.7.3. Darbības datu monitoringa tiešsaistes vizualizācijas sistēma

Izstrādāta autonomā uzlādes punkta darbības datu monitoringa tiešsaistes vizualizācijas sistēma, kas nodrošina galveno uzlādes punkta elektrisko un papildus arī meteoroloģisko parametru reāllaika attēlošanu tiešsaistes režīmā ar vienas minūtes atjaunošanās intervālu (skat. 3.124. att.).



3.124. att. Autonomā uzlādes punkta darbības datu monitoringa tiešsaistes vizualizācijas sistēma

Vizualizācijas vietnē tiek attēloti šādi ar uzlādes sistēmu saistītie dati:

- akumulatora spriegums U_{batt} ;
- akumulatora strāva I_{batt} ;
- fotoelektrisko paneļu strāva I_{pv} ;
- vēja ģenerators strāva I_{wind} ;
- slodzes strāva I_{load} ;
- slodžu ieslēgšanas notikumi;
- horizontālais saules starojums SR ;

- vēja ātrums un virziens Ws un Wd ;
- gaisa spiediens Pa ;
- gaisa relatīvais mitrums RH ;
- apkārtējās vides un iekārtu skapju temperatūra.

Fona attēls izstrādāts 3D vizualizācijas programmā *DAZ Bruce 7 Pro*. 3D modelī tika iekļautas visas galvenās sistēmas komponentes un ģenerēti 2D attēli.

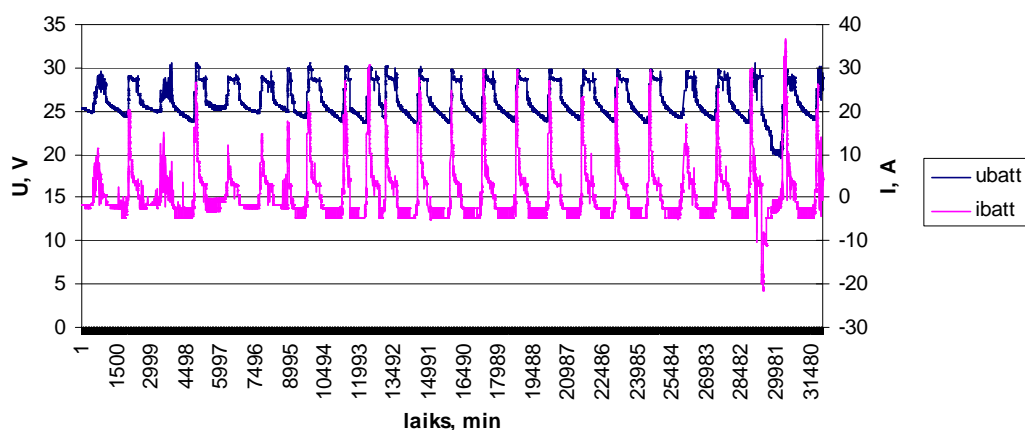
Mērījumi atbilstošajās vietās uz attēla tiek uzlikti (kombinēti) kā papildus iezīmes (attēli) WEB serverī un lietotāja pārlūkprogrammā tiek atgriezts viens attēls ar atjaunināšanas intervālu 1 minūte.

Tiešsaistes vizualizācijas vietne ir pieejama: <http://evhps.tf.llu.lv/>.

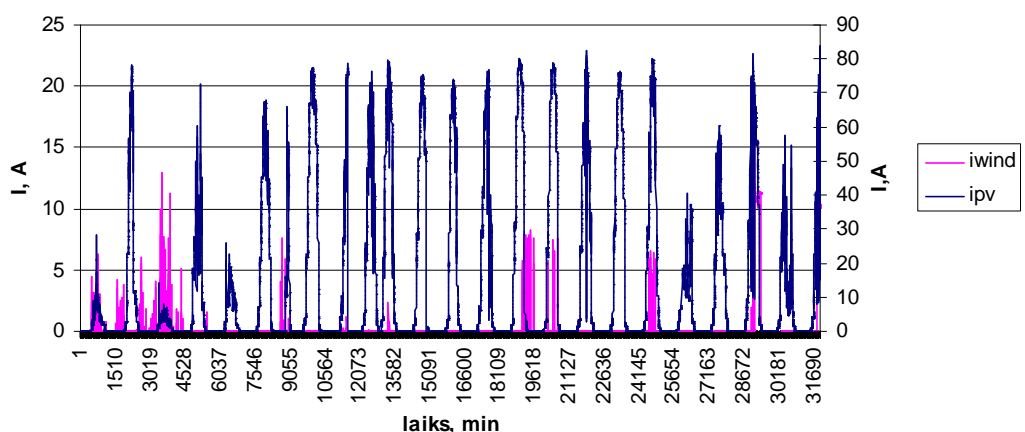
3.7.4. Darbības datu monitoringa datu apstrāde

Apkopoti autonomā uzlādes punkta darbības dati par 2013. gada martu. Šajā laika periodā kopējais saules enerģijas daudzums uz plakanas virsmas bija 91 kWh m^{-2} , vidējais vēja ātrums - $2.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. No saules tika saražots 231.35 kWh enerģijas, no vēja - 3.3 kWh .

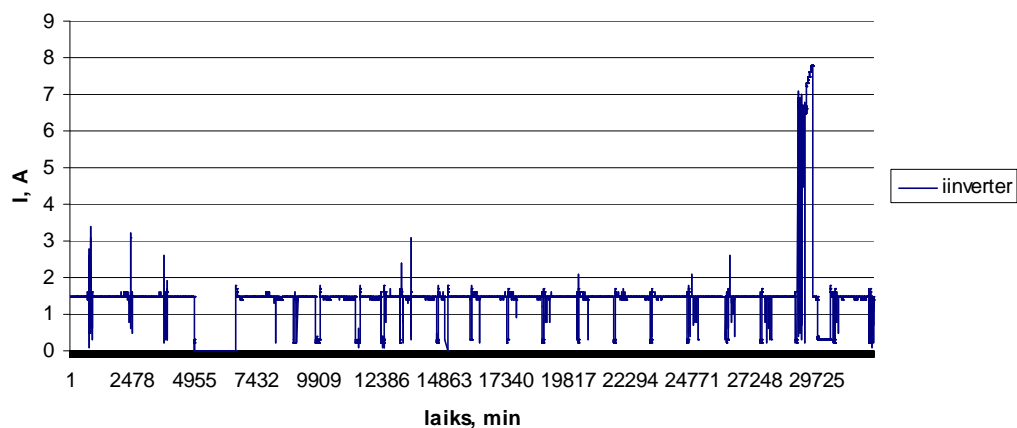
Akumulatora spriegums bija virs 24 V (nominālais spriegums) 88% no kopējā laika, zem 22 V (par 80% izlādēta akumulatora EDS) - 4.6% no kopējā laika. Grafiski rezultāti parādīti 3.125. - 3.127. attēlā.



3.125. att. Akumulatora spriegums un strāva



3.126. att. Saules un vēja ģeneratoru strāvas



3.127. att. Slodzes (invertora) strāva

Kopā grafikos aplūkojami 22 dienu dati. Aplūkojot tuvāk saules un vēja ģeneratoru strāvas, ir redzams, ka akumulatori lielāko daļu laika tiek lādēti no saules baterijām un sistēmas spriegums ir tuvs maksimālajiem 28 V. Savukārt, ja akumulatora spriegums ir tuvu minimumam dēļ samazinātā saules starojuma vai pēc pieslēgtās slodzes, tad vēja ģenerators spēj sasniegt akumulatoru lādēšanas spriegumu 26...27 V. Tas ir saistīts ar to, ka vēja ģenerators uzlādes kontrolleris neveic sprieguma celšanas funkciju. Rezultātā, lai varētu lādēt akumulatorus, ir jābūt lielām vēja brāzmām, kas nodrošina nepieciešamā sprieguma ģenerēšanu.

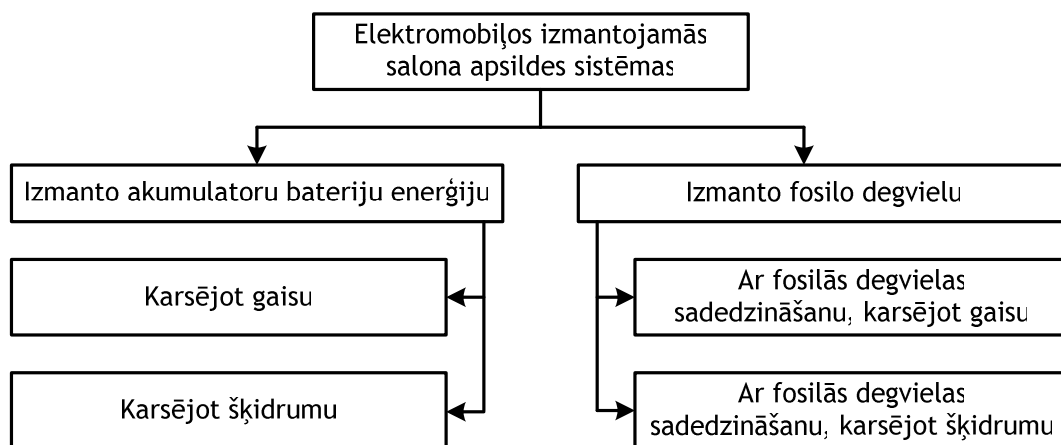
4. AUTOMOBILU PĀRBŪVE PAR ELEKTROMOBILĪEM UN TĀS POTENCIĀLS LATVIJĀ

4.1. Elektromobiļa pārbūves konstruktīvie risinājumi

4.1.1. Elektromobiļa apsildes un kondicionēšanas sistēma

Populārākās salona apsildes sistēmas elektromobiļiem var iedalīt divās grupās:

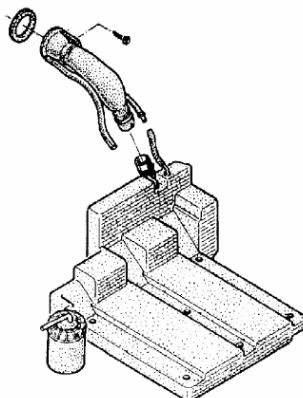
- iekārtas, kurās izmanto akumulatoros uzkrāto enerģiju;
- iekārtas, kuras izmanto citus, piemēram, fosilos enerģijas avotus (skat. 4.1. att.).



4.1. att. Elektromobiļos izmantotās salona apsildes sistēmas

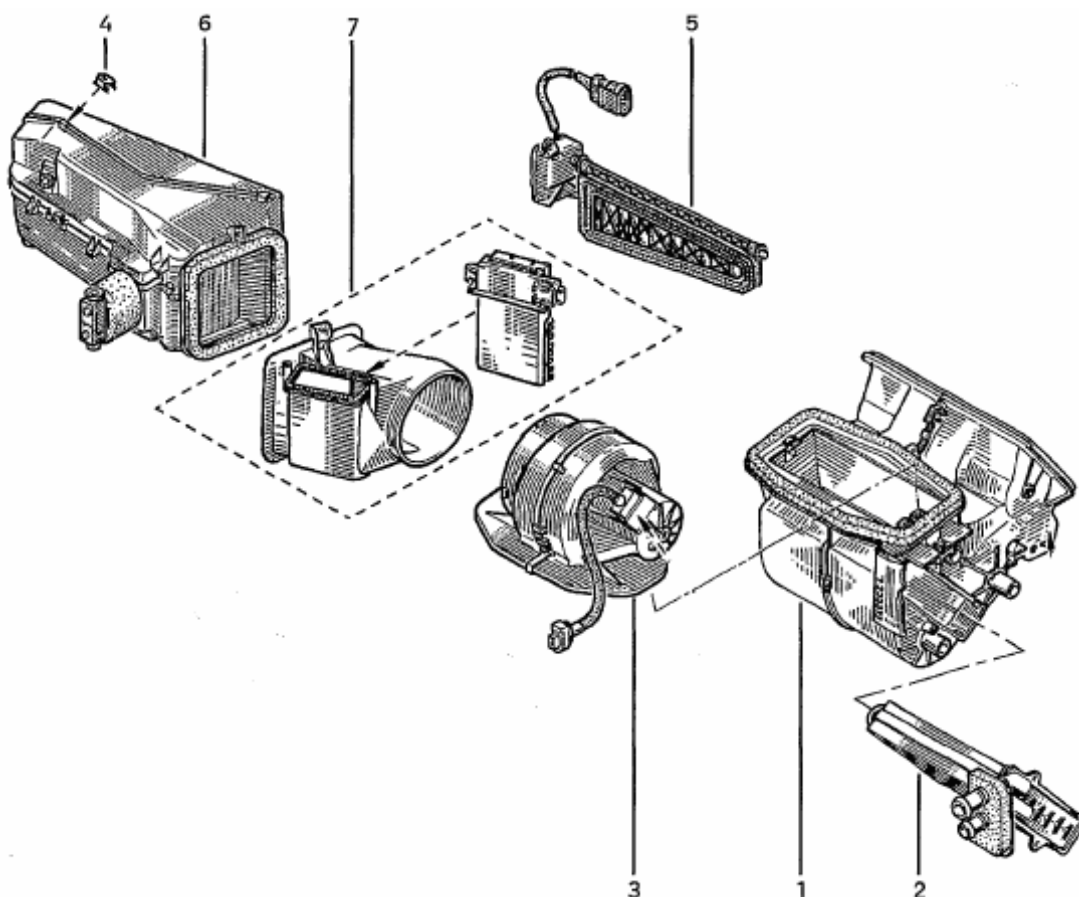
4.1.1.1. Fosilās degvielas salona apsildes sistēma

Elektromobiļos plaši izmanto sistēmas, kurās apkurei izmanto fosilo degvielu, piemēram, dīzeļdegvielu vai benzīnu. Šādas sistēmas biežāk uzstāda tiem elektromobiļiem, kurus izmanto auksta klimata apstākļos, jo salona apsildei tiek patērēti līdz 4 kW elektroenerģijas, kas būtiski samazina elektromobiļa nobraukumu. Tad automobilim tiek izveidota neliela fosilās degvielas tvertne (skat. 4.2. att.).



4.2. att. Automobiļa *Renault Clio* salona apsildes sistēmai paredzētā degvielas tvertne

Elektromobilim *Renault Clio* salona apsildes sistēmā par siltumnesēju izmanto šķidrumu, līdz ar to izmanto arī standarta salona gaisa sadales sistēmu ar ventilatoru, kuru piedzen elektromotors. Apsildes sistēmas korpusā tiek ievietots šķidruma radiators 2, kurš savienots ar šķidruma sistēmu (skat. 4.3. att.). Salona apsildes mezgla korpus 1 un ventilators 3 var palikt bez izmaiņām, ar tādu pašu konstruktīvo risinājumu kā standarta automobilim.



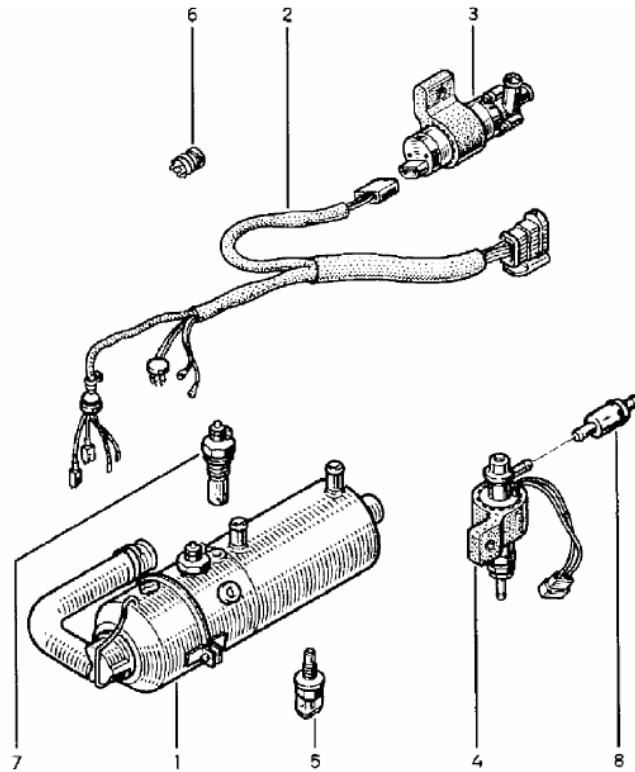
4.3. att. Elektromobiļa salona apsildes sistēmas korpus ar radiatoru

Vienotā salona apsildes sistēmā tiek ietverts arī salona apsildes radiators. Visus hidrauliskās salona apsildes sistēmas mezglus kopā savieno vairākas šļūtenes. Elektriskais sūknis - termostats nodrošina nepieciešamo šķidruma plūsmu uz salona apsildes radiatoru.

Sistēmas galvenais un dārgākais mezgls ir salona apsildes mezgls - krāsniņa 1 (skat. 4.4. att.). Tas var būt iegādāts no šo mezglu izplatītājiem, piemēram, *Webasto*.

Salona apsildes mezgla siltummainim tiek pievadītas divas resnas caurules sakarsētā šķidruma aizvadīšanai, kā arī degviela caur degvielas filtru 8 un elektromagnētisko sūkni 4. Salona apsildes mezglam var būt cirkulācijas sūknītis 3, kurš darbojas saskaņā ar krāsniņu.

Dažiem automobiļiem izmanto elektromotora dzesēšanas ventilatoru, kurš silto gaisu novada apkārtējā vidē. Šo siltumu var izmantot salona apsildei, tomēr mērenā klimata joslā gaisa temperatūra apsildei būs nepietiekama.



4.4. att. Iekšdedzes salona apsildes mezgls - krāsniņa ar detaļām

Šādas sistēmas, piemēram, *Webasto* vai *Eberspacher* no salona apsildes viedokļa ir ļoti efektīvas. Mezgla cena var būt no 650-800 LVL, atkarībā no komplektācijas un automatizācijas pakāpes. Mezgla darbība ir automātiska, pie tam, iegādājoties papildus automatikas sistēmu ar taimeru, var nodrošināt automobiļa salona uzsildi pirms darba sākuma. Autoražotāju izstrādēm tiek lietotas ļoti sarežģītas šļūteņu sistēmas, ar termostatiem un papildus sūkņiem, bet amatieru izstrādēm var salona apsildes mezglu vienkārši pievienot salona apsildes radiatoram, kas neprasa iejaušanos automobiļa standarta salona apsildes gaisa sadales sistēmā un ventilatora konstrukcijā. Sistēmas pozitīvais moments ir arī tas, ka netiek patērēti lieli akumulatoru bateriju resursi.

Galvenais sistēmas trūkums ir tas, ka šāds automobilis nav pilnībā ekoloģisks, jo tam nepieciešama fosilā degviela. Sistēmu ekoloģiskāku var padarīt bioetanolā, biodīzeļdegvielā vai rapšu eļļas izmantošana fosilās degvielas vietā. No trim minētajām biodegvielām labākā izvēle ir tīrs bioetanolā vai E85 (85% bioetanolā un 15% benzīna maisījums). Šādas, bioetanolā speciāli pielāgotas salona apsildes sistēmas, piedāvā populārākie ražotāji *Webasto* un *Eberspacher*.

4.1.1.2. Ar elektrību darbināms sildītājs

Elektromobiļu elektriskie sildītāji tiek izgatavoti divos galvenajos konstruktīvajos izpildījumos - par siltumnesēju izmantojot antifrīzu vai gaisu.

Dažās konstrukcijās tiek izmantoti sildītāji, kuri darbojas ar elektrību, par pamatu izmantojot visu automobiļa standarta salona apsildes sistēmu ar vadību, bet sildelementus ievietojot mezglā, kurš pēc gabarītiem pilnībā aizvieto standarta šķidruma radiatoru. Šāds salona apsildes sistēmas veids tiek uzskatīts par vienu no lētākajiem.

Sistēmai var izmantot standarta elektrisko sadzīves sildītāju, kuru izmanto dzīvojamo platību sildīšanai no 220 V elektrotīkla. Elektriskajiem sildītājiem izņem keramiskos elementus.

Tiek veikta oriģinālā automobiļa salona apsildes bloka demontāža un izņemts oriģinālais salona apsildes radiators.

Oriģinālais radiators tiek izmērīts (skat. 4.5. att. a) un sildelements izstrādāts tā, lai tas pēc izmēriem būtu tāds pats kā oriģinālais radiators un to varētu iemontēt oriģinālā radiatora vietā (skat. 4.5. att. b) (Milasauskas, 2009).



a)

b)

4.5. att. Oriģinālais radiators ar atzīmētiem keramisko elementu gabarītiem: a) automobiļa oriģinālais radiators; b) pašizgatavots elektriskais sildelements, kurš pēc gabarītiem analogs oriģinālajam radiatoram

Elektriskā gaisa radiatora korpusu var izgatavot no 0.8 mm bieza tērauda loksnes. Sildelementu nostiprināšanai var izmantot tos pašus stiprinājuma elementus, kuri bijuši sadzīves sildītājā. Elektrības pievadam izmanto vismaz 2.5 mm^2 šķērsriezuma vadu. Vadu droši nostiprina korpusā, daļā, kur bija ūdens pievads radiatoram. Elementu var pārbaudīt, pieslēdzot pie 220 V sprieguma un ieslēdzot ventilatoru. Ja tas silda, to var montēt automobilī. Lietderīgi siltā gaisa plūsmā ievietot arī termodevēju, kas dos informāciju par gaisa plūsmas temperatūru.

Šāda salona apsildes sistēma ir lēta izgatavošanā, tomēr tā tērē diezgan daudz elektroenerģijas. Automobiļa salonu var uzsildīt priekšlaicīgi, piemēram, pusstundu pirms lietošanas, pieslēdzoties 220 V elektrotīklam. Šajā gadījumā iegūst siltu salonu, kura siltums pietiekošs vismaz 0.2 - 0.3 h lietošanai ar minimālu automobiļa elektroenerģijas patēriņu. Automobilis ir pilnībā ekoloģisks, bet, pēc ilgstošas salona apsildes sistēmas dīkstāves, salonā var būt nepatīkama smaka no radiatorā uzkrājušos putekļu sadegšanas.

4.1.1.3. Rūpnieciski izgatavotās elektriskās salona apsildes sistēmas

Iepriekšējā nodaļā aprakstītajai sistēmai var iegādāties arī rūpnieciski izgatavotu analogu. Šīs salona apsildes iekārtas nopērkamas pie elektroautomobiļu rezerves daļu tirgotājiem. Standarta sildītājs izmaksā 250 līdz 300 LVL (skat. 4.6. att.). Attēlā redzamās iekārtas jauda ir 1500 W, tās izmēri $141 \times 108 \times 63.5 \text{ mm}$, svars 0.3 kg, darba spriegums - 39 - 96 V.



4.6. att. Rūpnieciski izgatavota elektriskā sildītāja radiators

Iespējami arī tāda paša veida elementi, kas paredzēti spriegumam 108 - 156 V.

Elektromobiļa salona apsildei ir iegādājamas arī sistēmas, kuru jauda ir 2 - 4 kW un kuras paredzētas šķidrumsildīšanai, pieslēdzot pie standarta salona apsildes radiatora. Iekārtas darba spriegums ir 70 - 150 V, bet cena 350 - 400 LVL (skat. 4.7. att.).



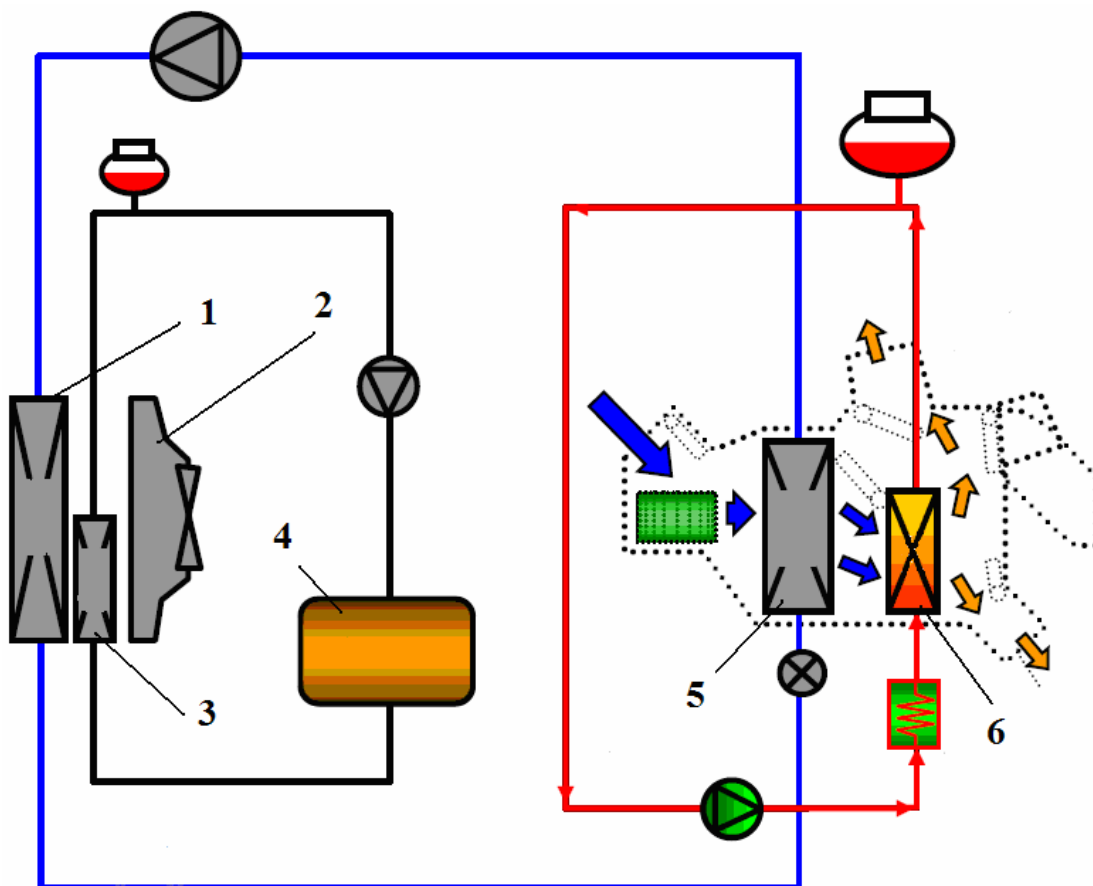
4.7. att. Salona apsildes iekārta ar elektrību

Modernās un komplicētās salona apsildes iekārtās, kur šķidrumsildīšanai izmanto elektrību, iebūvēts arī cirkulācijas sūknis un termoregulators, kas nodrošina optimālu salona apsildes sistēmā izmantotā šķidrumsildīšanas temperatūru.

4.1.1.4. Rūpnieciski ražoto elektromobiļu salona apsildes sistēmas

Elektromobiļu rūpnieciskie ražotāji izstrādājuši dažādas salona apsildes sistēmas. Sākuma versijās tika izmantota salona apsilde ar fosilo degvielu, piemēram, izmantojot *Webasto* salona apsildes mezglu. Tomēr vēlāko gadu izstrādātajās fosilās degvielas mezglus izmanto reti.

Elektroenerģijas izmantošana salona apsildē var būtiski ietekmēt automobiļa nobraukumu ar vienu uzlādi. Kā piemērs apskatīti elektromobiļa *Mitsubishi MiEV* konstruktīvie risinājumi salona apsildei un kondicionēšanai. Šī automobiļa salona apsildes - kondicionēšanas sistēmas shēma redzama 4.8. attēlā.



4.8. att. Kondicionēšanas - salona apsildes sistēmas shēma:
 1 - kondicioniera radiators; 2 - ventilatora mezgls; 3 - motora dzesēšanas ventilators; 4 - elektromobiļa elektromotors; 5 - kondicioniera aukstummainis; 6 - salona apsildes radiators

Sistēmā ir trīs atsevišķi šķidrumu loki: elektromotora dzesēšanas (melnā krāsā), kondicioniera (zilā krāsā), salona apsildes (sarkanā krāsā) (skat. 4.8. att.). Sistēmas kopā netiek jauktas un tām var būt katrai atsevišķs izplešanās trauks vai rezervuārs.

Motora dzesēšanas sistēmā var iepildīt antifrīzu. To var apvienot ar akumulatoru bateriju dzesēšanas sistēmu, ja tāda ir. Sistēmā ietilpst sūknis un radiators. Sūkni var savienot ar inventoru. Radiators šai sistēmai izveidots vienotā blokā ar kondicioniera radiatoru. Radiatoru dzesē ar elektrisko ventilatoru. Plūsmu nodrošina elektriskais ūdenssūknis.

Kondicioniera sistēmai ir kondicioniera radiators, elektriskais sūknis un aukstummainis. Aukstummainis ievietots salona apsildes mezgla korpusā. Sistēmā iepildīta speciāla kondicionieru gāze.

Salona apsildes sistēma sastāv no elektriskā sūkņa, izplešanās trauka, elektriskā šķidruma sildītāja un šķidruma radiatora, kurš ievietots sildītāja korpusā. Gaisa plūsmu caur sildītāja un kondicioniera aukstummaini nodrošina elektriskais ventilators. Salona apsildes sistēmā var izmantot antifrīzu.

4.9. attēlā parādīts elektromobiļa *Mitsubishi MiEV* kondicioniera kompresora mezgls.



4.9. att. Kondicioniera kompresora elektriskais mezgls

Šī kompresora galvenie parametri:

- izmēri 291×162×157 mm;
- masa - 10.2 kg;
- kompresora nominālā rotācijas frekvence - 6000 min⁻¹;
- motora darba spriegums augstā sprieguma zonā 220 - 400 V, zemā sprieguma zonā 8 - 16 V;
- maksimālā jauda - 4.5 kW;
- maksimālā strāva - 20.5 A pie 220 V;
- kompresora gāze HFC-134a.

Elektromobiļa *Mitsubishi MiEV* salona apsildes sistēmā izmantotais sildītājs apskatāms 4.10. attēlā.

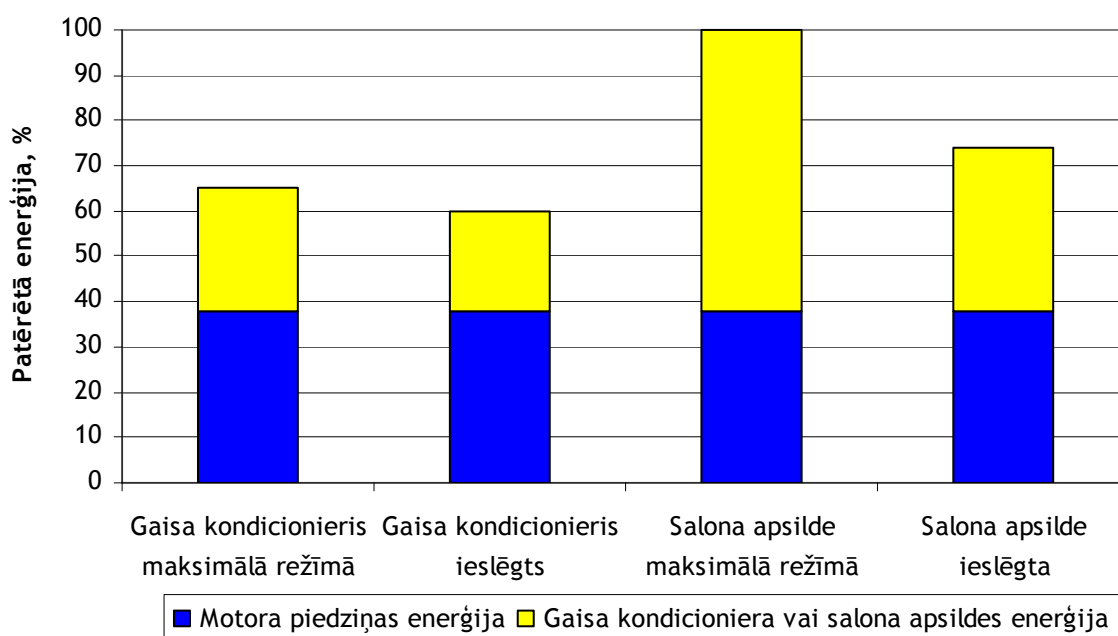


4.10. att. Elektriskais šķidrums sildītājs

Elektriskajam sildītājam ir šādi parametri:

- izmēri 290×160×100 mm;
- masa - 7.4 kg;
- jauda - 5.0 kW pie šķidruma plūsmas 6 l min⁻¹ un apkārtējās vides temperatūras -25 °C;
- sildītāja jaudas kontrole - 8 pakāpju;
- šķidruma darba spiediens - 2 kPa pie 80 °C;
- augstā sprieguma darbības robežas - 220 - 400 V;
- zemā sprieguma darbības robežas - 8 -16 V.

Ļoti būtisks ir enerģijas patēriņš gadījumā, ja tiek darbinātas salona apsildes vai kondicionēšanas sistēmas. Automobilim *Mitsubishi MiEV* eksperimentāli noskaidrots enerģijas patēriņš, izmantojot gan kondicionieri, gan arī salona sildītāju (skat. 4.11. att.).



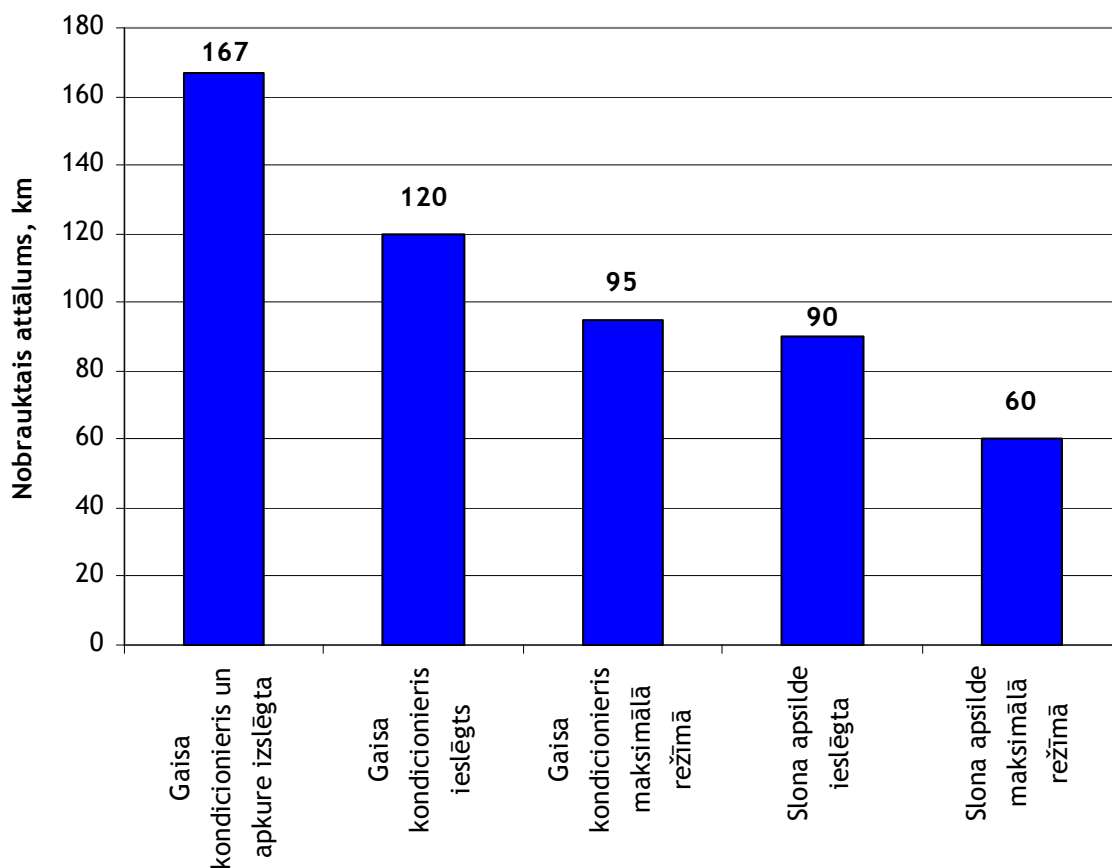
4.11. att. Patērētā elektroenerģija, izmantojot gaisa kondicionieri un salona apsildi

4.11. attēlā redzams, ka, izmantojot gaisa kondicionieri, to var lietot divos režīmos - maksimālajā un parastajā režīmā. Maksimālajā režīmā kondicionieris patērē gandrīz 40% no kopējās jaudas. Parastajā kondicioniera ekspluatācijas režīmā šīs enerģijas īpatsvars var būt līdz 35%. Var secināt, ka tādiem nelieliem automobiļiem kā *Mitsubishi iMEV*, kondicioniera izmantošana var būtiski palielināt enerģijas patēriņu.

Salona apsildes izmantošana enerģijas patēriņu palielina vēl vairāk. Ja apsildi darbina ar pilnu jaudu, tās enerģijas patēriņa īpatsvars var sasniegt pat 60 - 65% no kopējās patērētās elektroenerģijas.

Apsildi darbinot parastajā režīmā, tās enerģijas patēriņa īpatsvars var būt 45 - 48%. Tas norāda uz nepieciešamību salona apsildes sistēmu izmantot saudzīgi un rūpīgi kontrolēt atlikušo automobiļa nobraukumu līdz uzlādei.

Elektromobiļa nobraukums ir tiešā saistībā ar elektroenerģijas patēriņu (skat. 4.12. att.).



4.12. att. Elektromobiļa nobraukums ar vienu uzlādi atkarībā no salona apsildes un kondicioniera izmantošanas režīma

Attēlā redzams, ka gadījumā, ja netiek izmantota kondicionēšanas un salona apsildes sistēma, elektromobiļa nobraukums ir 167 km.

Ja gaisa kondicionieri darbina pie +35 °C maksimālajā režīmā, elektromobiļa nobraukums samazinās līdz 95 km, bet, darbinot parastajā režīmā - līdz 120 km. Salona apsildes sistēmas negatīvais efekts ir vēl lielāks. Darbinot salona apsildes sistēmu parastajā režīmā pie apkārtējās vides temperatūras 0 °C, automobiļa nobraukums samazināsies līdz 90 km, bet pie maksimālās salona apsildes intensitātes, nobraukums būs tikai 60 km. Šādā režīmā elektromobiļa nobraukums samazināsies gandrīz trīs reizes. Šī iemesla dēļ elektrisko salona apsildes sistēmu ieteicams izmantot ļoti saudzīgi, taupot akumulatoru elektroenerģiju.

Kopsavilkums

Izvēloties elektromobilim elektrisko salona apsildes sistēmu, jārēķinās, ka tās enerģijas patēriņš ir ļoti augsts un tās izmantošana var samazināt elektromobiļa nobraukumu pat 3 reizes.

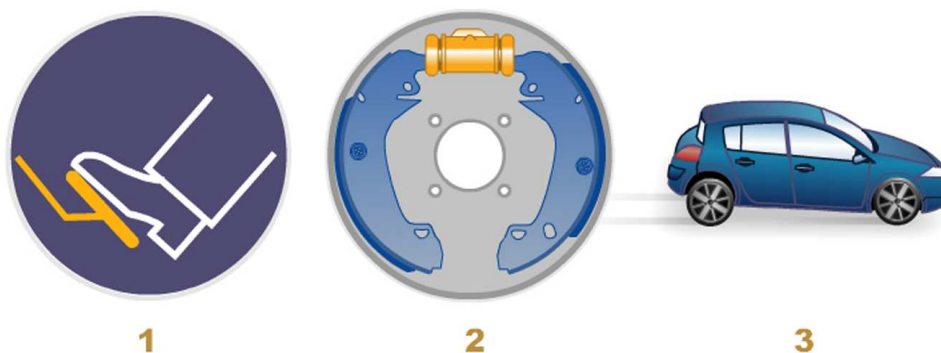
Elektromobilim ar elektrisko salona apsildes sistēmu ir lietderīgi uzstādīt salona apsildes ieslēgšanos laikā, kad notiek elektromobiļa uzlāde. Piemēram, 1 h pirms ekspluatācijas sākuma salonu uzsilda līdz 15-20 °C temperatūrai. Šī

salona uzsildīšana atkarībā no apkārtējās vides temperatūras var būt pietiekama salona siltuma saglabāšanai 15 - 20 minūtes. Šajā laikā salona apsildei akumulatoru enerģija tiks izmantota ļoti minimāli.

Elektriskās salona apsildes sistēmas jāizmanto ļoti saudzīgi, īpaši gadījumos, ja nepieciešams veikt lielus attālumus.

4.1.2. Bremžu pastiprinātājs

Spēkratu bremžu sistēmas paredzētas spēkratu kustības ātruma samazināšanai, kustības apturēšanai un nekustīga stāvokļa nodrošināšanai. Bremzēšanai jābūt drošai, efektīvai, stabilai, progresīvai un komfortablai. Bremzēšanu ietekmē trīs galvenie faktori, kas uzskatāmi parādīti 4.13. attēlā - psiholoģiskais (1), mehāniskais (2) un fiziskais (3). Psiholoģiskais faktors ir saistīts ar vadītāja reakciju, mehāniskais ar spēkratu bremžu konstrukciju un fiziskais - ar riepu un ceļa seguma stāvokli (Braking System..., 2005).



4.13. att. Bremzēšanu ietekmējošie faktori

Spēkratu ātruma samazināšana bremzējot rada palēninājumu, kas iedarbojas uz spēkratu vadītāju, pasažieriem un salonā esošajiem priekšmetiem. Ekstremālas bremzēšanas maksimālo palēninājuma vērtību pēc ASV lietotajiem standartiem pieņem 0.65 g jeb 6.37 m s^{-2} (Stone and Ball, 2004). Eiropas Savienībā spēkā esošais bremžu iekārtas testēšanas un atbilstības novērtēšanas standarts 71/320/EEC nosaka minimālo palēninājumu M1 kategorijas automobiļiem 0.59 g jeb 5.80 m s^{-2} (EK direktīva 71/320/EEC, 2007). 2009. gadā D. Berjoza un A. Mickevičs izpētīja Latvijā izplatītu automobiļu bremzēšanas parametrus un noteica maksimālo palēninājumu, bremzējot automobili uz ceļa ar asfalta segumu. Maksimālais palēninājums, testējot M1 klases automobili *Audi A3* ar standarta 71/320/EEC definēto 0 tipa testu bija 0.72 g jeb 7.03 m s^{-2} (Berjoza and Mickevičs, 2009). Pieņemot, ka automobilis *Audi A3* ar masu 1460 kg brauc pa asfaltētu ceļu ar ātrumu 80 km h^{-1} jeb 22.22 m s^{-1} , nepieciešamo spēku tā apturēšanai ekstremālas bremzēšanas gadījumā var aprēķināt sekojoši (Stone and Ball, 2004):

$$F_b = m \cdot a \cdot g = 1460 \cdot 0.72 \cdot 9.80 = 10.30 \text{ kN}, \quad (4.1)$$

kur F_b - bremzēšanas spēks;
 m - automobiļa masa;
 a - palēninājums;
 g - brīvās krišanas paātrinājums.

Vidējā bremzēšanas jauda ir nosakāma šādi (Stone and Ball, 2004):

$$P_v = F_b \cdot \frac{v_0}{2} = 10.30 \cdot \frac{22.22}{2} = 114.43 \text{ kW}, \quad (4.2)$$

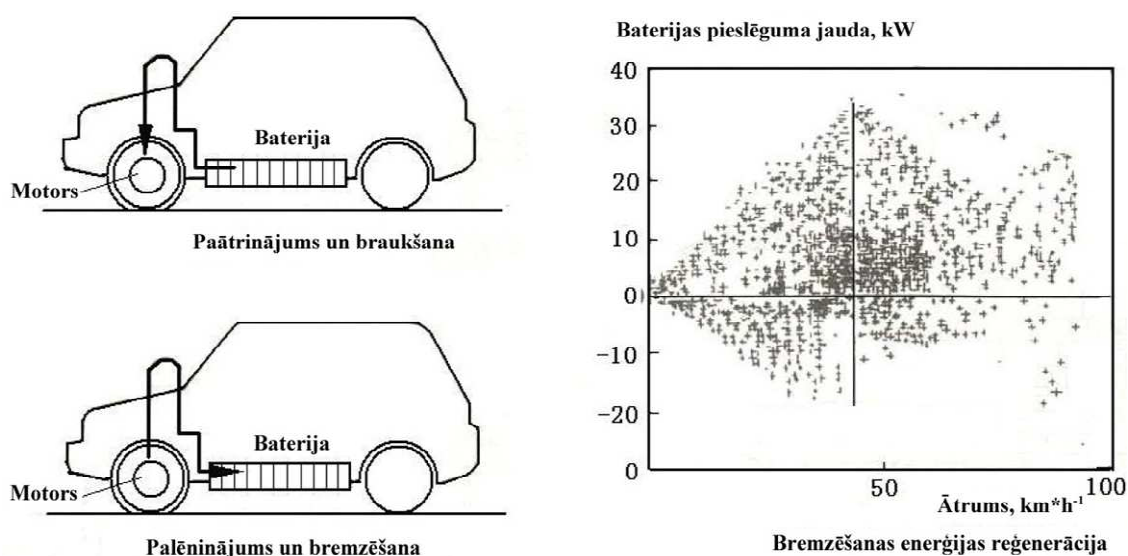
kur: P_v - vidējā bremzēšanas jauda;
 v_0 - sākotnējais kustības ātrums.

Tradicionālā automobiļu bremzēšanas sistēma pārvērš kinētisko enerģiju siltumā. Tas jāņem vērā, konstruējot vai izvēloties bremžu sistēmas elementus, piemēram, bremžu diskus un uzlikas.

Atšķirībā no spēkratiem ar iekšdedzes motoru, elektropēkratos kustības enerģiju iespējams pārveidot atpakaļ elektriskajā enerģijā un uzkrāt. Elektropēkrati ir efektīvāki enerģijas izmantošanā un to bremžu sistēmas elementi var tikt atslogoti, salīdzinot ar spēkratiem ar iekšdedzes motoru.

Reģeneratīvas bremzēšanas laikā elektropēkratu motors darbojas kā strāvas ģenerators un spēkratu baterija tiek izmantota saražotās elektroenerģijas uzkrāšanai. Lai reģeneratīvā bremzēšana varētu darboties, elektropēkratu baterija nedrīkst būt pilnībā uzlādēta. Mūsdienų elektropēkrati reģenerācijas procesā var saglabāt 50 - 60% no iegūtās elektroenerģijas (Houyu and Guirong, 2010; Pistoia, 2010).

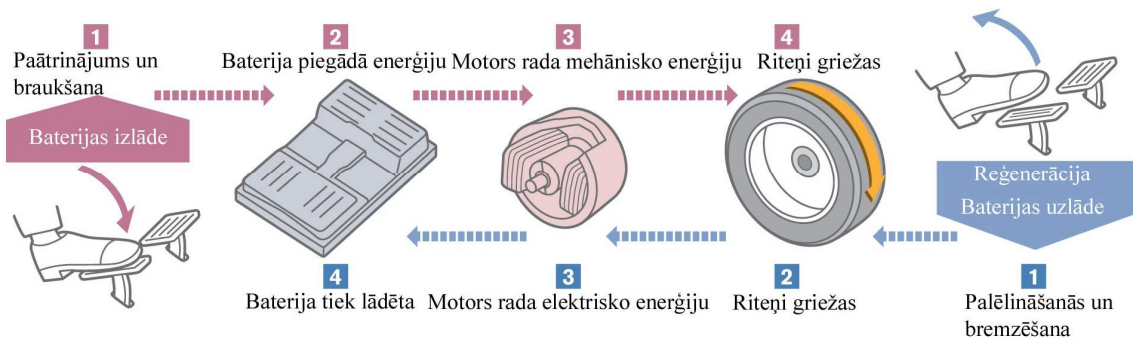
Pētnieku *Li Houyu* un *Zhang Guirong* veikto testa braucienų laikā reģistrētais jaudas sadalījums elektropēkratu baterijas ieejā parādīts 4.14. attēlā (Houyu and Guirong, 2010).



4.14. att. Jaudas sadalījums spēkratu brauciena laikā

Rūpnieciski ražota elektromobilja *Nissan LEAF* elektriskās enerģijas plūsma braukšanas un reģenerācijas laikā parādīta 4.15. attēlā. Ielu satiksmei derīgu elektropēkratu bremzēšanas sistēma nevar balstīties tikai uz reģeneratīvo bremzēšanu. Reģeneratīvā bremzēšanas iekārta nevar darboties pie maziem ātrumiem, tā nenodrošina efektīvu bremzēšanas spēku ekstremālās situācijās, un bremzēšanas spēks ir pieejams tikai uz riteņiem, kuri ir mehāniski savienoti ar motoru. Reģeneratīvā bremzēšanas iekārta nav pietiekami droša pret atteikumiem. Tādēļ gandrīz visi elektropēkrati ir

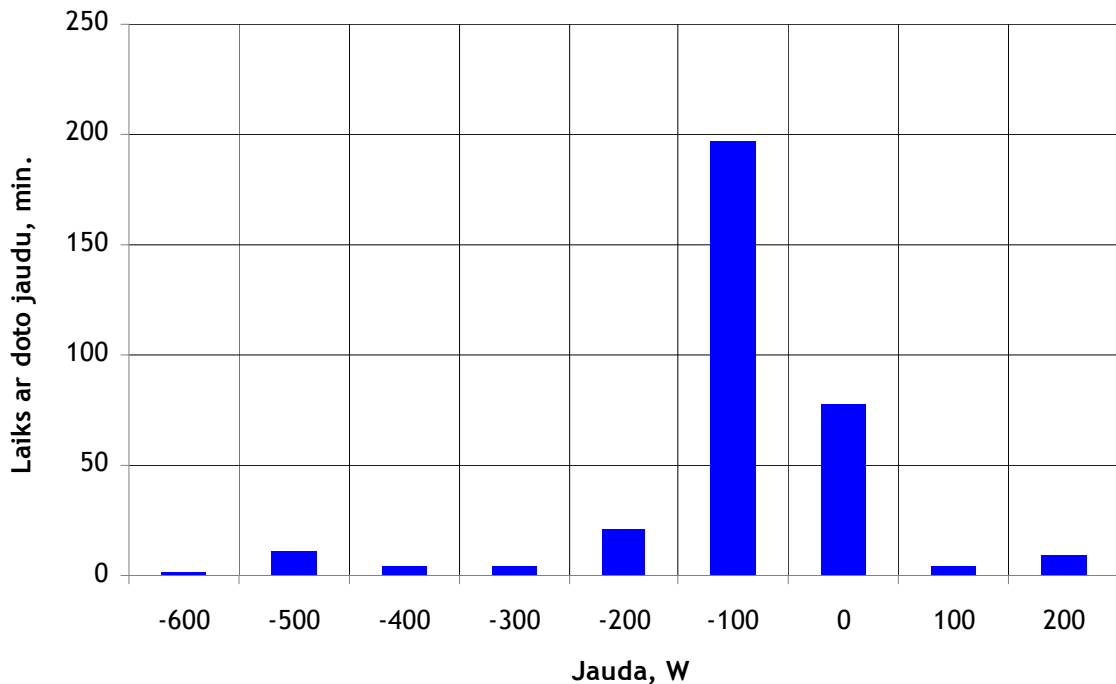
aprīkoti ar mehānisku berzes bremžu sistēmu. Izņēmums ir lēngaitas iepirkšanās elektrospekrati.



4.15. att. Nissan LEAF enerģijas plūsmas shēma (Nissan LEAF..., 2010)

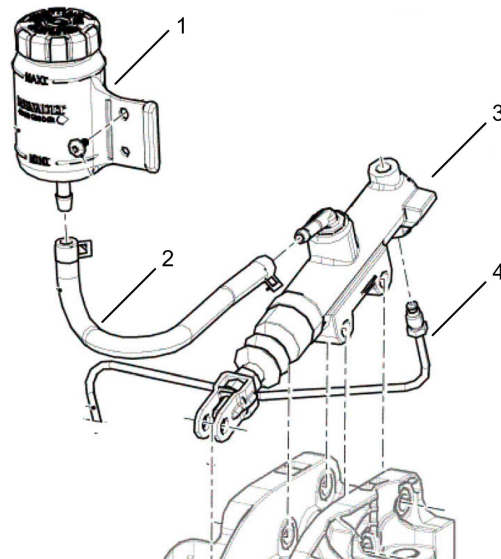
Lēngaitas un divriteņu elektrospekratu darbībā aktīvi tiek izmantota enerģijas reģenerācija. Divriteņu elektrospekratu gadījumā bremzēšana tiek veikta, izmantojot tradicionālus velosipēdu būvē izmantotus bremžu sistēmas elementus, un reģenerācija pārsvarā tiek izmantota enerģijas atgūšanai un uzkrāšanai.

Savukārt tipiskā lēngaitas iepirkšanās spēkratu konstrukcijā nav mehāniskas bremžu sistēmas. Bremzēšana notiek, izmantojot elektrospekratu motoru strāvas ģenerators režīmā, daļu iegūtās enerģijas uzkrājot baterijā, un daļu pārveidojot siltuma enerģijā, izmantojot lieljaudas rezistorus. Lēngaitas iepirkšanās spēkratu elektriskās jaudas sadalījuma laikā histogramma parādīta 4.16. attēlā. Izmēģinājuma brauciens veikts tipiskos pilsētas apstākļos. Jaudas sadalījums, kas parādīts ar negatīvu zīmi, ir patērētā jauda. Ar pozitīvu zīmi apzīmēta reģenerētā jauda.



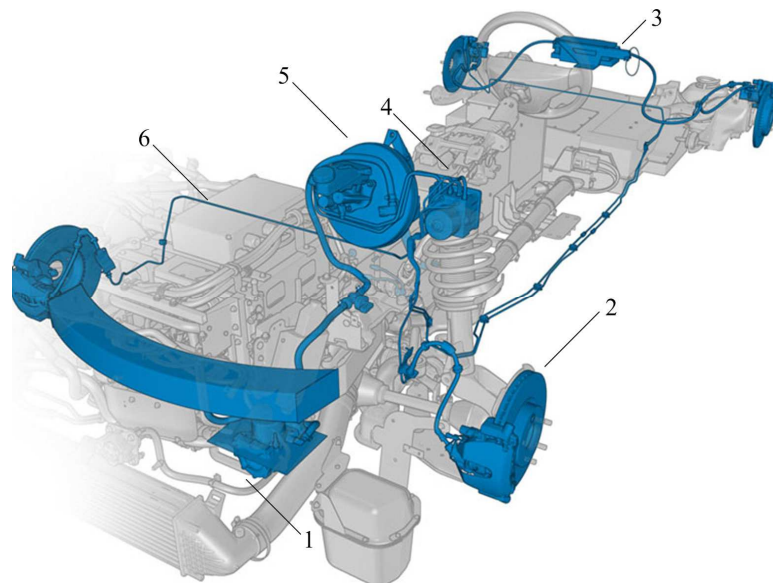
4.16. att. Jaudas sadalījums lēngaitas iepirkšanās elektrospekratu brauciena laikā

Maza izmēra elektropēkratu bremžu sistēmu ražotāji mēdz veidot bez bremžu spēka pastiprinātāja. 4.17. attēlā parādīts elektropēkratu *Renault Twizy* galvenais bremžu cilindrs (Renault Twizy..., 2013). Tas ir mehāniski savienots ar bremžu pedāli un hidrauliski savienots ar bremžu darba cilindriem. Konstrucijā nav iekļauts atsevišķs bremžu spēka pastiprinātājs. Līdzīga sistēma tiek izmantota arī elektropēkratu modelim *Tazzari Zero*.



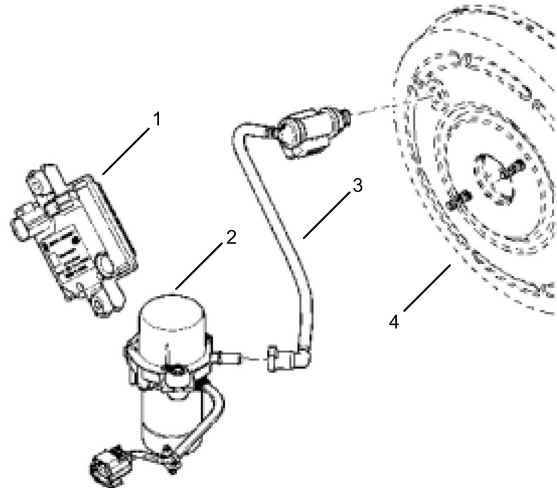
4.17. att. Elektropēkratu *Renault Twizy* bremžu sistēmas komponentes:
 1 - bremžu šķidruma tvertne; 2 - caurulīte; 3 - galvenais cilindrs;
 4 - bremžu cauruļvadi

Pašreizējā M kategorijas elektropēkratu attīstības fāzē bremzēšanas sistēmu pamatelementi neatšķiras no tradicionāli pieņemtajiem konstruktīvajiem risinājumiem. 4.18. attēlā parādīti elektromobiļa *Volvo C30* bremžu sistēmas elementi (Volvo C30..., 2011).



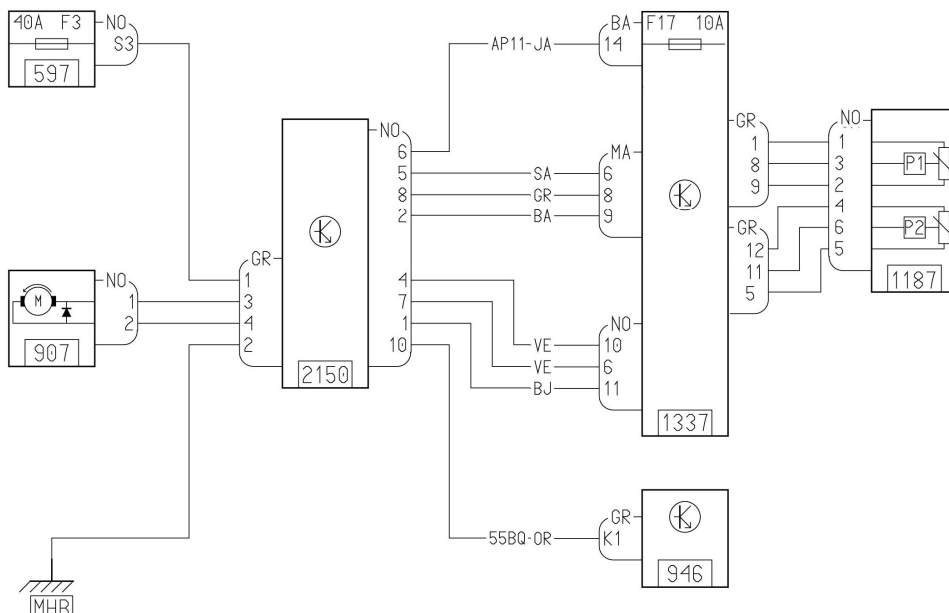
4.18. att. Elektromobiļa *Volvo C30* bremžu sistēma: 1 - bremžu vakuumsūkņis; 2 - bremžu disks un balsts; 3 - stāvbremzes modulis; 4 - ABS modulis; 5 - pastiprinātājs un galvenais cilindrs; 6 - bremžu cauruļvadi

Galvenā atšķirība no tradicionālas mūsdienīgu spēkratu ar iekšdedzes motoru bremžu sistēmas ir elektriska vakuumsūkņa pielietojums. Spēkratos ar ottomotoru bremžu pastiprinātāja darbībai nepieciešamo vakuumu nodrošina retinājums motora ieplūdes kolektorā, savukārt spēkratos ar dīzeļmotoru tiek izmantots vakuuma sūknis ar mehānisku piedziņu. Elektriskā vakuumsūkņa vadības sistēmu aprīko ar spiediena sensoriem un vadības moduli. Elektromobiļa *Renault Fluence* bremžu vakuuma sistēmas komponentes ir parādītas 4.19. attēlā (Renault Fluence..., 2013a).



4.19. att. Elektromobiļa *Renault Fluence* bremžu vakuuma sistēma:
1 - vadības modulis; 2 - vakuuma sūknis; 3 - vakuuma caurulīte un sensori;
4 - vakuuma pastiprinātājs

Sistēmas komponentu elektrisko savienojumu shēma ir parādīta 4.20. attēlā (Renault Fluence..., 2013b).

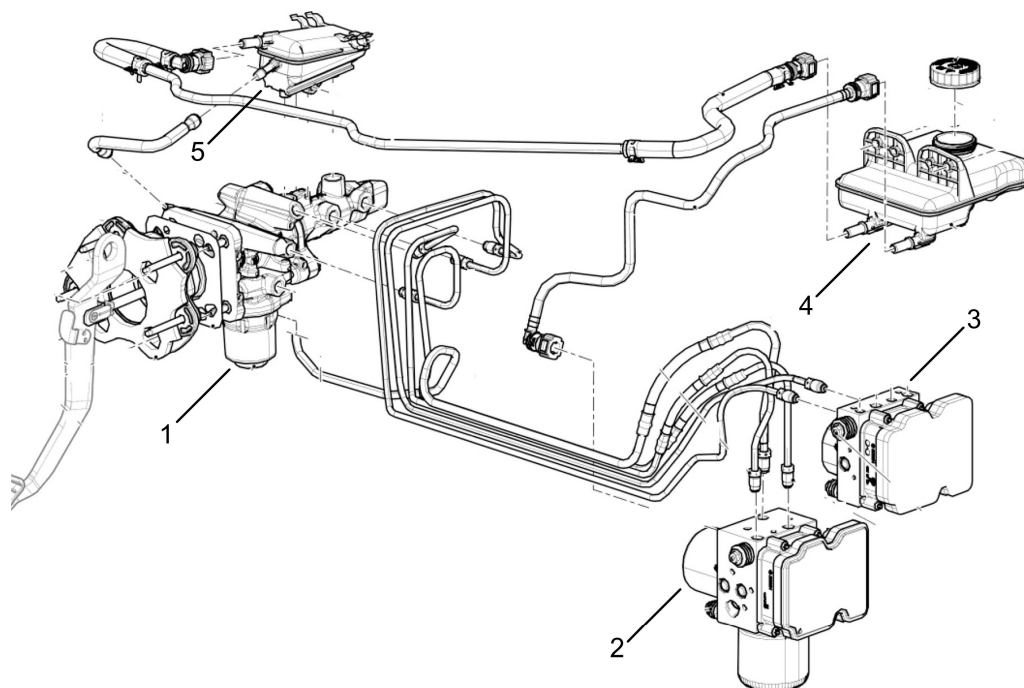


4.20. att. Elektromobiļa *Renault Fluence* bremžu vakuuma sistēmas elektriskā diagramma: 597 - drošinātāju modulis; 907 - vakuuma sūknis; 946 - elektromotora vadības modulis; 1187 - vakuuma sensoru modulis; 1337 - centrālais aizsardzības modulis; 2150 - vakuuma sūkņa vadības modulis

Vadības modulis (2150) saņem informāciju par bremžu vakuumpastiprinātājā esošā retinājumu vērtību, balstoties uz divu spiediena sensoru (1187) mērījumiem. Spiediena sensori ir apkopoti vienā korpusā. To barošanas un mērījumu signālu vadi izvietoti atsevišķos spraudņos, kā starpsavienojumu izmantojot centrālo aizsardzības moduli (1337). Vakuuma sūkni tiek ieslēgts, ja retinājuma vērtība atrodas robežās starp minimālo un maksimālo. Diagnostika un darbības kļūdu ziņošana notiek, izmantojot LIN standarta savienojumu ar elektromotora vadības moduli (946).

Elektrospēkrati, kuri aprīkoti ar bremžu vakuumpastiprinātāju, braucot rada specifisku troksni, kas rodas, periodiski iedarbinot bremžu vakuuma sūkni.

Elektromobilis *Renault Zoe* pieder pie jaunākas paaudzes elektrospēkratiem. Tas ir speciāli konstruēts kā elektromobilis, nevis adaptēts iekšdedzes motora automobilis. *Renault Zoe* bremžu sistēmas galvenās komponentes ir parādītas 4.21. attēlā (Renault Zoe..., 2013).



4.21. att. Elektromobiļa *Renault Zoe* bremžu spēka pastiprinātājs:
 1 - bremžu galvenais cilindrs; 2 - pastiprinātāja modulis; 3 - ABS modulis;
 4 - bremžu šķidrums tvertne; 5 - bremžu šķidrums tvertne

Elektromobiļa bremžu pastiprinātājs ir integrēts hidrauliskajā bremžu pretbloķēšanas un pretizslīdēšanas sistēmā. Šāda konstrukcija palīdz samazināt sistēmas svaru un izmērus, kā arī darbojas energoefektīvi un klusi.

4.1.3. Stūres pastiprinātājs

Mūsdienu automobiļu stūres iekārtām ir pastiprinātājs, kas samazina spēku, kurš jāpieliek stūres ratam, lai pagrieztu automobiļa riteņus, kā arī samazina triecienus, ko uzņem stūres rats, braucot pa nelīdzenu ceļu. Stūres pastiprinātāji tiek iedalīti divās pamatgrupās - hidrauliskie stūres pastiprinātāji un elektriskie stūres pastiprinātāji.

Stūres pievada hidrauliskais pastiprinātājs kopā ar stūres mehānismu veido agregātu, kas sastāv no stūres statņa, stūres rata, vārpstas un stūres mehānisma. Hidrauliskajam pastiprinātājam ir divkāršas darbības lāpstiņu eļļas sūknis ar eļļas tvertni un eļļas filtru. Eļļas sūkni uzstāda uz motora. To dzen siksna, kuru griež kloķvārpstas skriemelis.

Savukārt elektriskie stūres pastiprinātāji ir samērā jauns virziens automobiļu stūres sistēmu pilnveidošanā. Elektriskais stūres pastiprinātājs ietaupa enerģiju un uzlabo ekoloģiskos faktoros apkārtējā vidē, tajā pašā laikā, salīdzinājumā ar hidropastiprinātāju, tam ir vairākas priekšrocības:

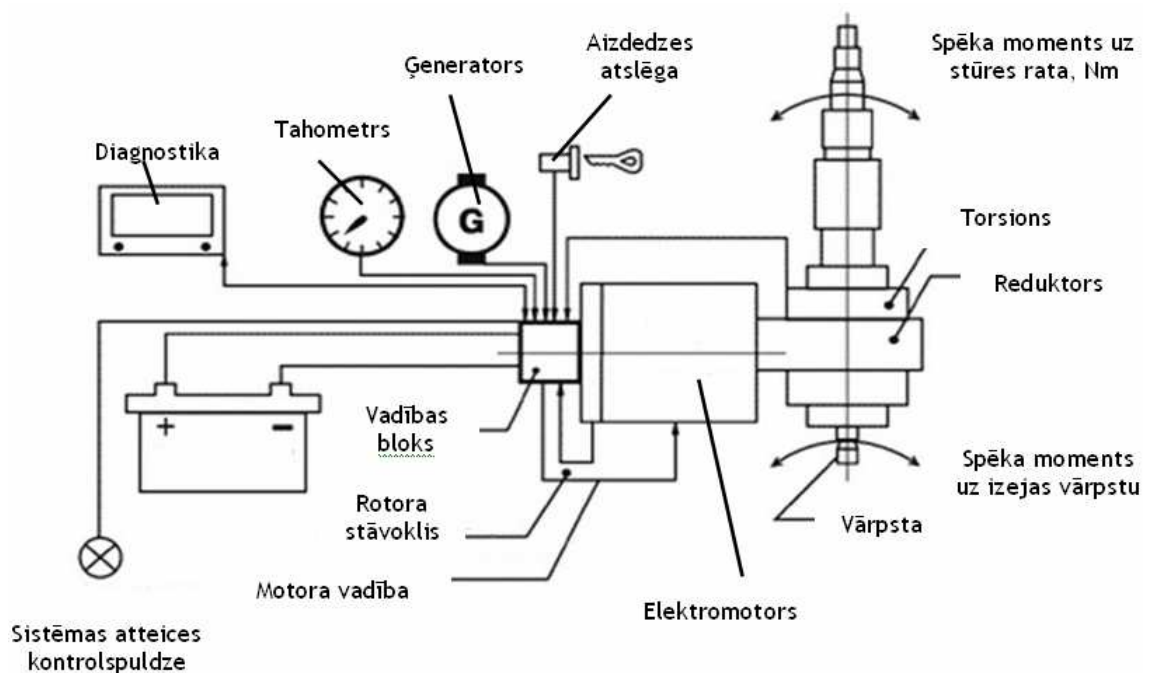
- vienkārša uzstādīšana;
- viegla pielāgošana, kas saistīta ar agregātu izkārtojumu;
- darbība nav atkarīga no iekšdedzes motora.

Elektriskā stūres pastiprinātāja darbība ir balstīta uz trīsfāzu inductīvo reaktīvo elektromotoru (SRM). Šī elektromotora raksturīgākā iezīme ir tā, ka uz rotora nav tinumu, bet statora tinumi ir izveidoti spoles formā, aptverot polus, un barošana tiek nodrošināta vienpola impulsu veidā no vadības bloka pēc rotora stāvokļa devēja signāla.

Pie elektriskā stūres pastiprinātāja pozitīvajām īpašībām var pieskaitīt augstu uzticamību, tieši vienkāršās uzbūves dēļ, kā arī to, ka rotorā praktiski nav jaudas zudumu.

Bez elektromotora, stūres pastiprinātāja konstrukcijā ietilpst daudzgājienu gliemežpārvalda reduktors un stūres vārpstas momenta devējs, kas rada spriegumu, ievērojot rotācijas virzienu un spēka momentu uz stūres rata. Kontroles sistēma kompensē pakāpenisku griezes momenta samazinājumu pie automobiļa paātrinājuma.

Elektriskā stūres pastiprinātāja darbības principiālā shēma parādīta 4.22. attēlā (Электромеханический усилитель..., Б.г.).



4.22. att. Elektriskā stūres pastiprinātāja principiālā shēma

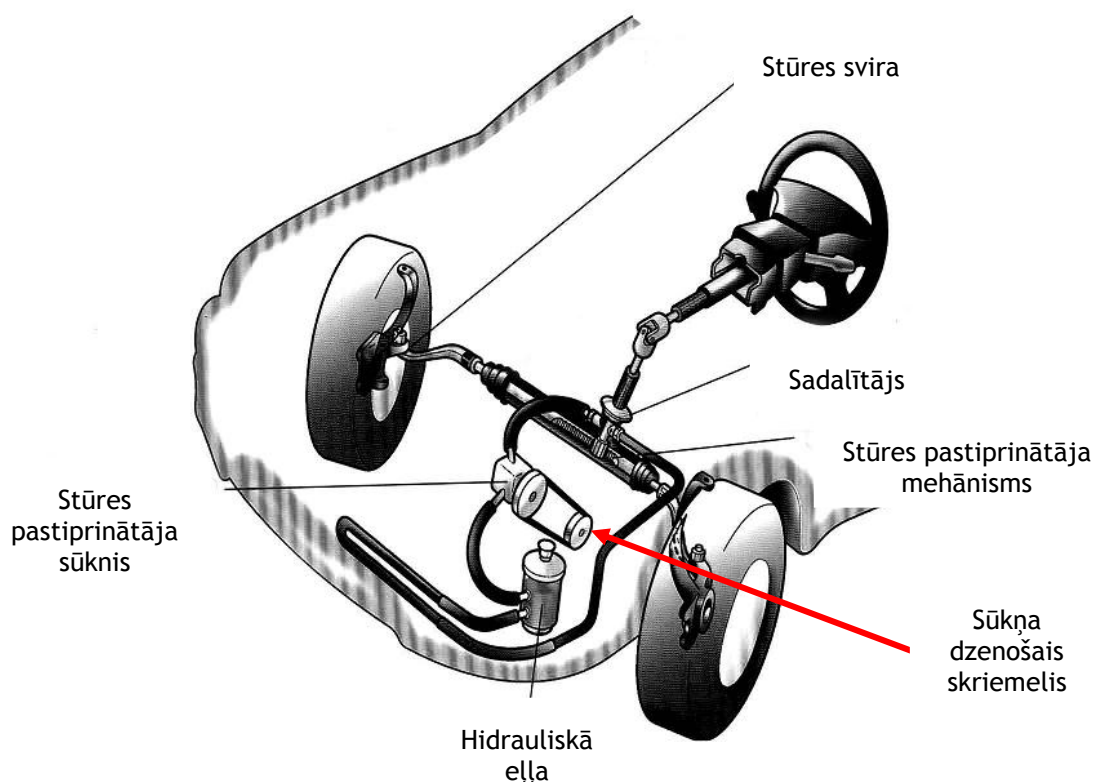
Atkarībā no komplektācijas automobiļa *Renault Clio* aprīkojumā ir izmantots gan hidrauliskais, gan elektriskais stūres pastiprinātājs. Pārbūvējot automobili *Renault Clio* par elektroautomobili, stūres sistēmā iespējams izmantot kā vienu, tā otru stūres pastiprinātāju.

Ja elektroautomobiļa konstrukcijā tiek izmantots hidrauliskais stūres pastiprinātājs, tad galvenais uzdevums ir nodrošināt hidrosūkņa piedziņu, izmantojot elektromotoru. Elektromotora konstruktīvais pieslēgums iespējams pie dzenošā skriemeļa (skat. 4.23. att.), kas ar siksnas pārvada palīdzību darbina hidrosūkni.

Stūres pastiprinātāja hidrosūkņa piedziņai jāizmanto pietiekamas jaudas elektromotors, kas var nodrošināt nepārtrauktu sūkņa darbību visā elektroautomobiļa ekspluatācijas laikā. Tas nozīmē, ka elektromotoram jādarbojas nepārtrauktā režīmā, līdz ar to tas patērē ievērojamu elektroenerģiju, kura būtu noderīga elektroautomobiļa galvenā motora darbināšanai.

Bez tam, izmantojot hidraulisko stūres pastiprinātāju, ir jāņem vērā citas neērtības, ar kurām nākas saskarties pārbūves laikā un turpmākā ekspluatācijas periodā:

- nepieciešama papildus konstrukciju izveidošana hidrosūkņa un elektromotora nostiprināšanai;
- jāparedz vieta automobiļa motortelpā šīs konstrukcijas izvietošanai;
- jāizveido papildus elektrosistēma sūkņa elektromotora darbināšanai;
- jārēķinās ar papildus svaru, kas palielina elektroautomobiļa kopējo masu.



4.23. att. Hidrauliskā stūres pastiprinātāja komponentes

Pārbūvējot par elektroautomobili automobili *Renault Clio* un, izmantojot konstrukcijā esošo elektrisko stūres pastiprinātāju, ir virkne priekšrocību (*Renault Clio*, S.a.):

- nav vajadzīgi papildus konstruktīvie risinājumi;
- nepalielinās automobiļa masa uz stūres sistēmas rēķina;
- nav vajadzīga elektrosistēmas fundamentāla pārbūve.

Elektrisko stūres pastiprinātāju raksturo sekojoši parametri:

- nominālais barošanas spriegums - 12 V;
- maksimālais kompensēšanas spēka moments - 35 Nm;
- maksimālais strāvas patēriņš - 50 A;
- maksimālais strāvas patēriņš stūres rata griešanas brīdī - 15 A;
- stūres pastiprinātāja masa kopā ar mehānismu - 9 kg.

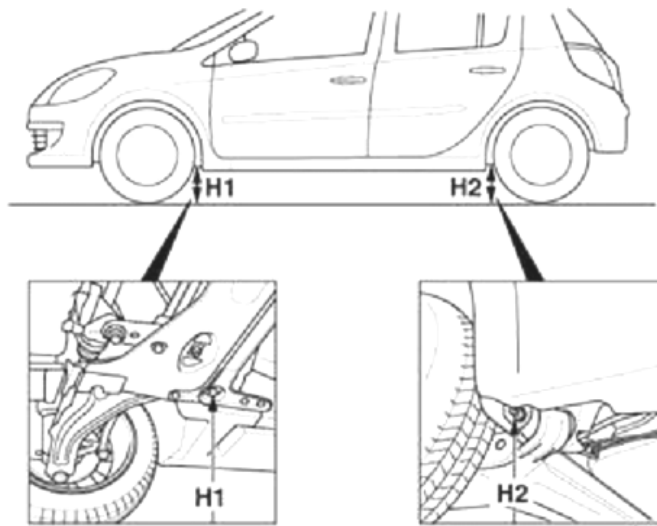


4.24. att. Automobiļa *Renault Clio* elektriskais stūres pastiprinātājs

Elektriskā stūres pastiprinātāja elektromotors, atšķirībā no hidrauliskā pastiprinātāja sistēmā pielietotā elektromotora, darbojas tikai stūres rata pagriešanas brīdī. Pārējā laika periodā ieslēgts ir tikai vadības bloks, kas patērē ievērojami mazāk elektroenerģiju, nekā elektromotors.

Salīdzinot abus stūres pastiprinātājus un veicot automobiļa *Renault Clio* pārbūvi par elektroautomobili, stūres sistēmai neapšaubāmi piemērotāks ir elektriskais stūres pastiprinātājs. Tam ir vienkāršāka konstrukcija un efektīvs elektroenerģijas patēriņš, kas ļauj ietaupīt elektroenerģiju un izmantot to elektroautomobiļa galveno parametru uzlabošanai.

Stūres sistēmā svarīgs faktors ir arī precīzi noregulēta piekare. Piekares pareizu regulējumu raksturo trīs galvenie parametri - riteņu savirze, izgāzums un pulkas atgāzuma leņķis. Riteņu savirze automobilim *Renault Clio* ir robežās no 0 līdz -2 mm, kas raksturīgs lielākai daļai vieglo automobiļu ar priekšpiedziņu, izgāzums no 1° N (negatīvs) līdz 1° P (pozitīvs), bet pulkas atgāzuma leņķis ir no 3°30' līdz 5°30' (*Autodata CDA-3*, 2007).



4.25. att. Automobiļa *Renault Clio* piekares stāvokļa regulēšanas punkti

Pareizi noregulēta stūres sistēma ir garantija teicamam līdzsvaram starp vadāmību, ērtumu un nepieciešamo vilces spēku.

4.1.4. Elektromotors un tā parametru izvēle

Samazinoties naftas resursiem, aizvien vairāk aktualizējas jautājums par jaunu, rūpnieciski ražotu elektromobiļu izstrādi, kā arī par iekšdedzes motoru automobiļu pārbūvi par elektromobiļiem. Šādu individuāli būvētu elektromobiļu izstrāde guvusi plašu pielietojumu ASV, tomēr sāk izplatīties arī Eiropas valstīs un neizbēgami arī Latvijā.

Lai veiktu kvalitatīvu iekšdedzes motoru automobiļa pārveidi par elektromobili ir jāievēro vairāki aspekti. Viens no tiem ir elektromobiļa lietotāja vēlmes, kas saistītas ar automobiļa sagaidāmajiem tehniskajiem parametriem. Galvenie no šiem parametriem ir:

- elektromobiļa maksimālais braukšanas ātrums;
- motora tehniskie raksturlielumi - jauda, griezes moments, maksimālā rotācijas frekvence;
- nobraukums ar vienu uzlādi, kas atkarīgs no akumulatoru kapacitātes;
- automobiļa masa un celtspēja, pareizs izsvaroījums.

Svarīgi ir arī konstruktīvie aspekti, kas saistīti ar pārbūvētā elektromobiļa legalizāciju ceļu satiksmei. Pārbūvētajai konstrukcijai jāizvēlas pamatmezgli, kuriem ir CE atbilstības sertifikāts. Tikai šādu mezglu izvēle var nodrošināt sekmīgu elektromobiļa pārbūves reģistrāciju Latvijā.

Turpmāk analizētajā aprēķinu algoritmā izmantotas sakarības par visiem uz automobili darbojošiem pretestību veidiem un elektromotoru ražotāju dotās jaudas līknes.

Projektētā elektromobiļa mezgliem jābūt atbilstošiem tiem tehniskajiem parametriem un jābūt piemērotiem tiem ekspluatācijas apstākļiem, kādiem konkrētais elektromobilis būs paredzēts. Optimizējot mezglu izvēli, var būtiski samazināt elektromobiļa pārbūves mezglu izmaksas un arī samazināt

elektromobiļa svaru. Ne vienmēr perspektīvā elektromobiļa īpašniekam nepieciešams liels elektromobiļa maksimālais nobraukums ar vienu uzlādi vai augsts maksimālais kustības ātrums.

Elektromobiļa parametru aprēķins

Lai noteiktu jaudu elektromobiļa riteņu piedziņai, izmanto jaudas bilanci automobilim ar mehānisko transmisiju (Pommers un Liberts, 1985):

$$N_k = N_f + N_\alpha + N_w + N_j, \quad (4.3)$$

kur N_f - jauda rites pretestības pārvarēšanai, kW;
 N_α - jauda kāpuma pretestības pārvarēšanai, kW;
 N_w - jaudas gaisa pretestības pārvarēšanai, kW;
 N_j - jaudas inerces pretestības pārvarēšanai, kW.

Motora jauda ir lielāka nekā riteņiem pievadītā jauda, jo transmisijā ir zudumi. Sakarā ar vienkāršotu transmisiju, elektromobiļa transmisijas lietderības koeficients var būt augstāks kā analoga iekšdedzes motora automobiļa lietderības koeficients. Motora jaudu un riteņiem pievadīto jaudu saista sakarība (Pommers un Liberts, 1985):

$$N_k = N_e \cdot \eta_T, \quad (4.4)$$

kur η_T - transmisijas lietderības koeficients.

Ņemot vērā transmisijas lietderības koeficientu, motora jaudu aprēķina pēc sakarības (Berjoza, 2007):

$$N_e = \frac{N_f + N_\alpha + N_w + N_j}{\eta_T}. \quad (4.5)$$

Detalizējot katra pretestības veida pārvarēšanai nepieciešamo jaudu, iegūst jaudu visu pretestības veidu pārvarēšanai (Berjoza, 2008):

$$N_i = (f \cdot G_a \cdot \cos \alpha \cdot v + G_a \cdot \sin \alpha \cdot v + k \cdot F \cdot v^3 + m_a(1.04 + 0.0025 \cdot i_k^2 \cdot i_0^2)j \cdot v), \quad (4.6)$$

kur f - automobiļa rites pretestības koeficients;
 G_a - automobiļa svars, N;
 α - ceļa kāpuma leņķis, grādos;
 v - automobiļa ātrums, km h⁻¹;
 k - gaisa pretestības koeficientu;
 F - automobiļa pieres laukums, m²;
 m_a - automobiļa masa, kg;
 i_k - pārnesumu kārbas pārnesumskaitlis;
 i_0 - galvenā pārvada pārnesumskaitlis;
 j - automobiļa paātrinājums, m s⁻¹.

Automobiļa kustības ātrumu var aprēķināt pēc sakarības (Berjoza, 2008):

$$v_{teor} = 0.10472 \frac{n_e \cdot r_k}{i_T} \quad (4.7)$$

kur n_e - elektromotora griešanās frekvence, min⁻¹;
 r_k - riteņa kinemātiskais rādiuss, m;
 i_T - transmisijas pārnesumskaitlis.

Transmisijas pārnesumskaitli aprēķina pēc sakarības:

$$i_T = i_k \cdot i_0. \quad (4.8)$$

Automobiļa kustības ātrums mainās atkarībā no ieslēgtā pārnesuma. Elektromobilim, sakarā ar efektīgajām griezes momenta un jaudas raksturlīknēm ne vienmēr ir nepieciešami visi pārnesumi, tomēr izvēloties parametrus, lietderīgi analizēt kustību visos pārnesumos.

Kad automobilis sasniedzis maksimālo kustības ātrumu, tas kustās vienmērīgi, bez paātrinājuma, līdz ar to inerces pretestības pārvarēšanai nepieciešamā jauda būs vienāda ar 0, bet jaudu visu pārējo pretestības veidu pārvarēšanai var aprēķināt pēc sakarības:

$$N_i = 0.10472 \frac{n_e \cdot r_k}{i_T} \left(f \cdot G_a \cdot \cos \alpha + G_a \cdot \sin \alpha + 0.011 \cdot k \cdot F \left(\frac{n_e \cdot r_k}{i_T} \right)^2 \right) \quad (4.9)$$

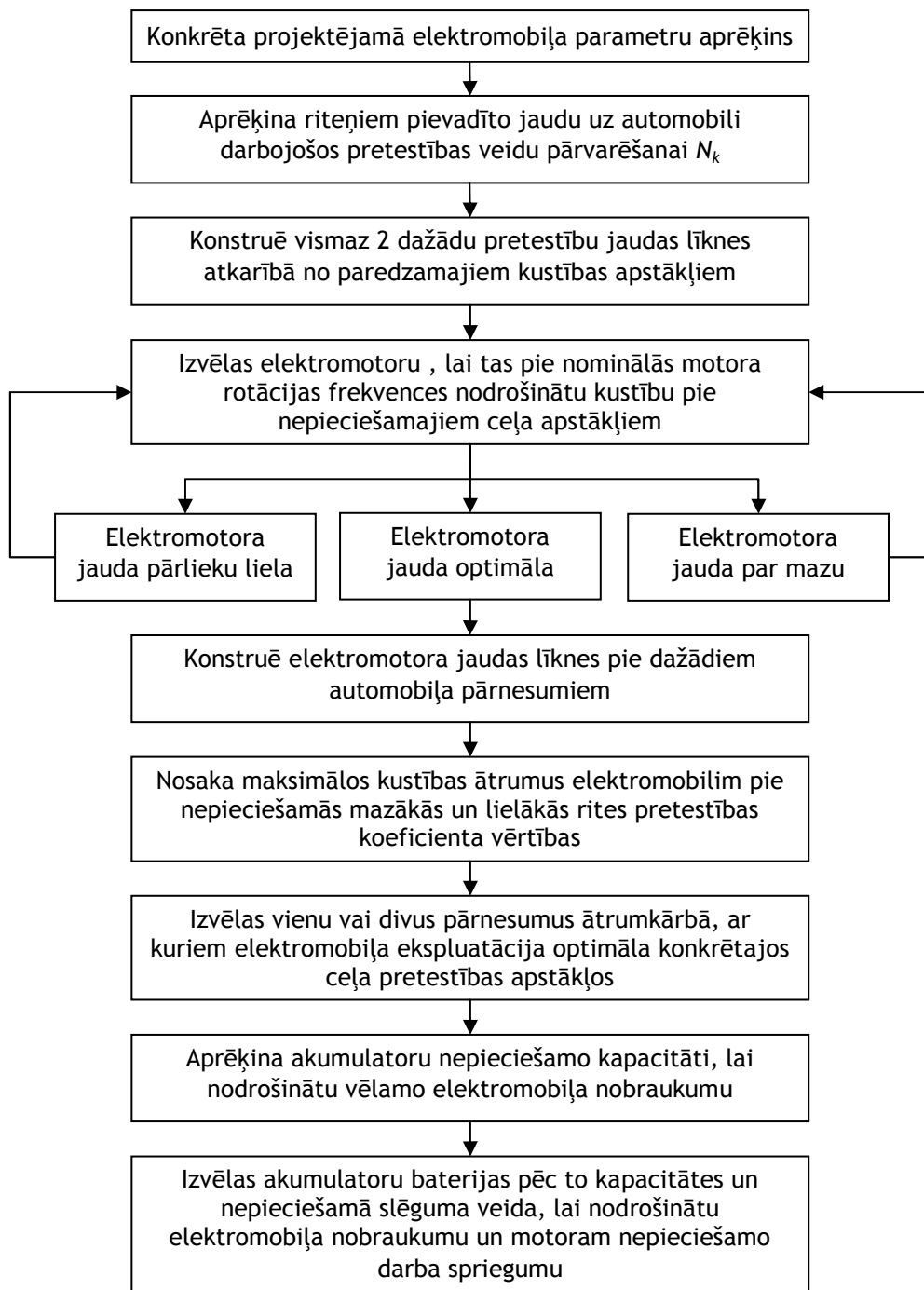
Liela daļu automobiļa darbībai nepieciešamo mezglu, stūres pastiprinātāja sūkni, kondicioniera un apsildes ventilatora piedziņu un citu, piemēram, elektromezglu darbināšanu veic ar motora piedziņu tiešā vai netiešā veidā. Tiešā veidā piedziņa tiek realizēta, ar siksnu piedzenot attiecīgo mezglu, piemēram, kondicioniera kompresoru vai stūres pastiprinātāja sūkni. Netiešā veidā piedziņa tiek realizēta ar ģenerators starpniecību, ražojot elektrību, bet piedziņu realizējot ar elektromotoru, piemēram, darbinot logu tīrītāja, apsildes ventilatora un citu mezglu elektromotorus. Elektromobiļa gadījumā visu šo mezglu piedziņai netiks izmantota piedziņa no elektromotora, bet gan izmantota akumulatoru enerģija, kas papildus noslogos akumulatorus. Šo elektromobiļa papildus mezglu piedziņai patērēto enerģiju, aprēķina pēc sakarības:

$$N_{Ag} = N_{St} + N_{Br} + N_{Kl} + N_{Apg} + N_i, \quad (4.10)$$

kur N_{St} - stūres pastiprinātāja piedziņai nepieciešamā jauda, kW;
 N_{Br} - elektriskā bremžu vakuumsūkņa piedziņai patērētā jauda, kW;
 N_{Kl} - salona klimata nodrošināšanas sistēmai nepieciešamā jauda, kW;
 N_{Apg} - apgaismes sistēmai nepieciešamā jauda, kW;
 N_i - citām, ar elektrību darbināmām sistēmām nepieciešamā jauda, kW.

Lai noteiktu elektromobiļa maksimālo kustības ātrumu ar attiecīgajiem pretestības parametriem, lietderīgi izvēlēties vismaz 2 kustības apstākļus. Pirmajā gadījumā var ņemt paredzamos vieglākos ekspluatācijas apstākļus, pie kuriem tiks sasniegts maksimālais kustības ātrums, piemēram, gadījumam, kad ceļa pretestības koeficients $\psi = 0.015$ (Berjoza, 2008), kas raksturo asfaltbetona ceļa segumu labā stāvoklī. Otrā gadījumā var ņemt smagus kustības apstākļus, kad ceļa pretestības koeficients $\psi = 0.1$ (Berjoza, 2008), kas atbilstošs kustībai pa dabiski iebrauktu ceļu. Aprēķiniem nepieciešamības gadījumā var izmantot arī citas ceļa pretestības koeficienta vērtības. Tādā gadījumā tiks iegūti maksimālie kustības ātrumi abiem apstākļiem un būs iespējams izvēlēties atbilstošos pārnesumkārbas pārnesumskaitļus, kurus ir lietderīgi lietot. Citu pārnesumu zobratu, lai samazinātu ātrumkārbas masu un rotējošo masu ietekmi no ātrumkārbas var demontēt.

Prognozējot elektromobiļa iespējamo nobraucamo attālumu, ļoti būtisks ir elektromotora lietderības koeficients. Elektromotoram darbojoties, tas, atkarībā no rotācijas frekvences, mehāniskajā rotācijas enerģijā var pārveidot dažādu elektroenerģijas daudzumu, ko raksturo lietderības koeficients. Literatūrā sastopami vairāki algoritmi, kā aprēķināt elektromotora lietderības koeficientus, tomēr praksē vienkāršāk ir izmantot konkrēta motora raksturlīknes, kuras var iegūt elektromotoru specifikācijā. Šādā veidā var noteikt, kādus automobiļa raksturojošos rādītājus var iegūt ar vienas vai citas jaudas elektromotoru. Aprēķina vienkāršota algoritma shēma parādīta 4.26. attēlā.



4.26. att. Aprēķinu algoritma vienkāršota shēma (Berjoza and Pirs, 2012)

Automobilis braucot ar vidējo kustības ātrumu v_{vid} konkrētu attālumu s var nobraukt atbilstošā kustības laikā. Šajā gadījumā kustības laiks, jeb akumulatoru izlādes laiks nosakāms pēc sakarības:

$$t_{iz} = \frac{s}{v_{vid}}, \quad (4.11)$$

kur s - elektromobiļa vēlamais nobraukums, km;
 v_{vid} - elektromobiļa vidējais kustības ātrums, km h⁻¹.

Vidējo kustības ātrumu var aprēķināt pēc sakarības:

$$v_{vid} = k_v \cdot v_{pieļ}, \quad (4.12)$$

kur k_v - braukšanas ātruma korekcijas koeficients, kurš ievērtē kustības režīmu;
 $v_{pieļ}$ - ceļu satiksmes noteikumos minētais pieļaujamais kustības ātrums.

Pilsētā Latvijas Republikā $v_{pieļ} = 50$ km h⁻¹, bet ārpuspilsētas satiksmē $v_{pieļ} = 90$ km h⁻¹. Braukšanas ātruma korekcijas koeficients rāda, par cik vidējais braukšanas ātrums ir mazāks nekā pieļaujamais. Šo koeficientu var ņemt pilsētas satiksmei robežās $k_v = 0.5...0.7$, bet ārpuspilsētas satiksmē - $k_v = 0.7...0.9$ (Berjoza and Pirs, 2012).

Elektromotora un citu elektromezglu patērēto strāvu konkrētā kustības momentā aprēķina pēc sakarības:

$$I = \frac{N_{el} + N_{Ag}}{1000 \cdot U}, \quad (4.13)$$

kur N_{el} - elektromotora vidējā momentānā jauda, kW;
 U - elektromotoram pievadītais spriegums, V.

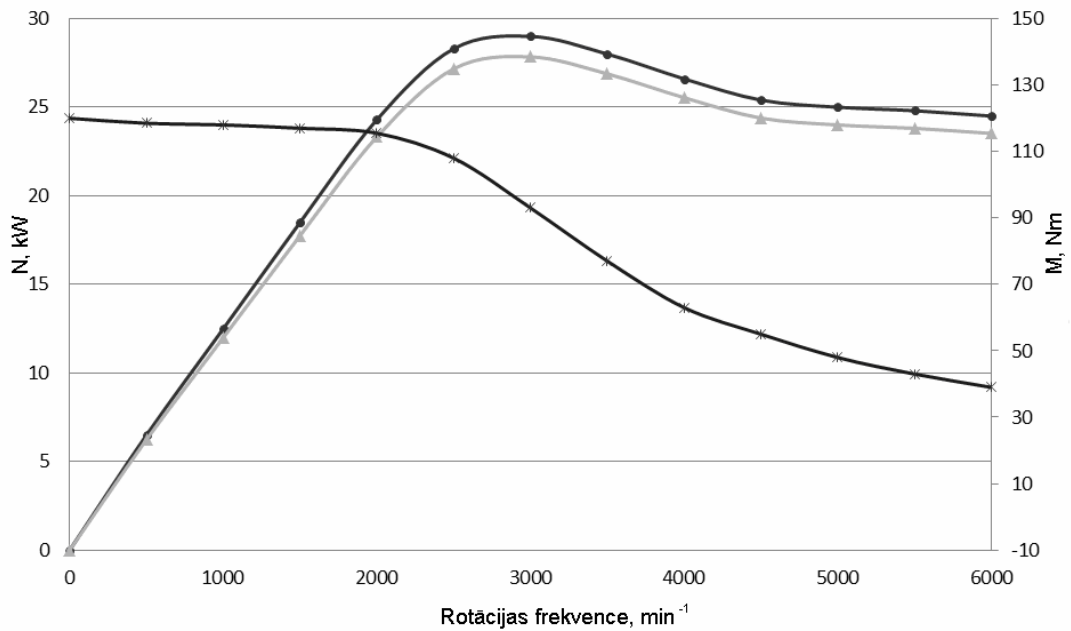
Akumulatoru bateriju teorētisko kapacitāti, Ah, ievērtējot elektromotoru lietderības koeficientu, aprēķina pēc sakarības:

$$C_{ak} = \frac{t_{iz} \cdot I}{3.6 \cdot 10^3}. \quad (4.14)$$

Aprēķina algoritma piemēru veic ar konkrēta automobiļa tehniskajiem parametriem. Tā pārbaudi veic, izmantojot automobiļa *Renault Clio* tehniskos datus un parametrus, jo šāda automobiļa pārbūve veikta LLU Tehniskajā fakultātē. Automobiļa *Renault Clio* aprēķiniem nepieciešamie tehniskie dati:

- $m_a = 1425$ kg;
- $k = 0.23$;
- gabarītplatums $B = 1.377$ m, gabarītaugstums $H = 1.417$ m, pieres laukums $F = 1.58$ m²;
- riepas 165/70R14, $r_k = 0.283$ m;
- pārnesumskaitļi $i_I = 3.364$; $i_{II} = 1.864$; $i_{III} = 1.321$; $i_{IV} = 1.029$; $i_V = 0.821$; $i_0 = 4.067$.

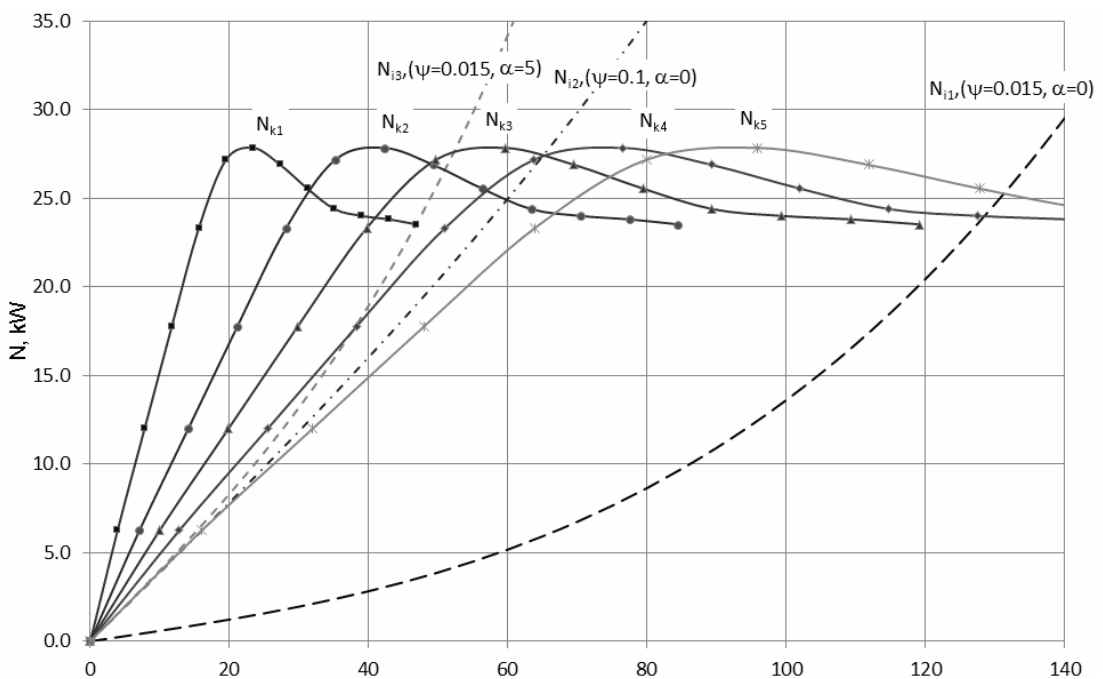
Aprēķinos izmantotā elektromotora (M2-AC25/4-A/L) jaudas grafiks (AC Induction Motor..., S.a.) redzams 4.27. attēlā (Berjoza and Pirs, 2012).



4.27. att. Primāri izvēlētā elektromotora raksturlīknes

Elektromotora M2-AC25/4-A/L nominālā jauda ir 25 kW pie 5500 min⁻¹. Veicot aprēķinus jāievērtē transmisijas lietderības koeficients η_T .

Aprēķiniem pieņem divus rītes pretestības koeficientus $f_1 = 0.015$ un $f_2 = 0.1$. Aprēķinus veic arī trešajam gadījumam, kad automobilis kustēsies pa labas kvalitātes asfaltbetona segumu ar f_1 un brauks kalnā ar 5° kāpuma leņķi. Aprēķinos automobiļa vienmērīgas kustības nodrošināšanai izmanto sakarību 4.9. Aprēķinot rīteņiem pievadīto jaudu pēc 4.4. sakarības, ņem vērā transmisijas lietderības koeficientu, kuru pieņem $\eta_T = 0.96$. Aprēķinu rezultātā izstrādāts 4.28. attēlā redzamais grafiks (Berjoza and Pirs, 2012).



4.28. att. Automobiļa jaudas bilance

No 4.28. attēla redzams, ka braucot pa horizontālu, labas kvalitātes ceļu, ar ieslēgtu 4. vai 5. pārnese, iespējams attīstīt maksimālo ātrumu ~ 130 km h⁻¹. Pirmajā pārnese maksimālais kustības ātrums ir 46 km h⁻¹, otrajā pārnese - 84 km h⁻¹, bet trešajā pārnese - 119 km h⁻¹. Atkarībā no tā, kāds ir vēlamais maksimālais kustības ātrums, var izvēlēties piemērotāko pārnese. Lai nodrošinātu nepieciešamo maksimālo kustības ātrumu Latvijas apstākļiem, iespējams izvēlēties 3., 4. vai 5. pārnese, atkarībā no tā, vai automobilis galvenokārt paredzēts izmantošanai pilsētā vai ārpuspilsētas satiksmē. Izvēloties zemāku pārnese, iegūsim labākas dinamiskās īpašības pie zemiem un vidējiem kustības ātrumiem, tomēr zaudēsim pie maksimālā ātruma (120 km h⁻¹). Izvēloties augstāko pārnese, iegūsim gan lielāku iespējamo maksimālo ātrumu, gan arī uzlabosim automobiļa dinamiskās īpašības pie maksimālajiem ātrumiem.

Tomēr ievērtējot to, ka Latvijas apstākļos ir arī daudz paugurainu apvidu, kā arī ar zemākas kvalitātes ceļa segumu, jāparedz, ka braukšanai pa šiem ceļiem tiks patērēta lielāka daļa no motora attīstītās jaudas. No 4.28. attēla redzams, ka ar 5. pārnese nav iespējams braukt pa zemas kvalitātes ceļiem ar augstu ceļa pretestības koeficientu ($\psi = 0.1$), savukārt ar 3. un 4. pārnese ir iespējams braukt, bet maksimālais ātrums kādu iespējams attīstīt būs aptuveni 66 km h⁻¹. Izvēloties 3. pārnese, šajā situācijā iegūsim labākas automobiļa dinamiskās īpašības.

Paredzot, ka ar automobili jāpārvar arī ceļa kāpumi līdz 5°, arī 4. pārnese vairs nav īsti piemērots. Šajā pārnese ir ļoti ierobežotas automobiļa dinamiskās īpašības, kā arī maksimālais kustības ātrums nepārsniedz 36 km h⁻¹ pie palielinātām ceļa pretestībām.

Augsāk minēto apsvērumu dēļ, lai automobilis uzrādītu gan labas dinamiskās īpašības pie zemas kvalitātes ceļiem un kāpumiem, gan arī lai attīstītu nepieciešamo maksimālo ātrumu un dinamiku pie lieliem ātrumiem, lietderīgi izvēlēties pārnesekārbu ar diviem pārnese. Konkrētajā gadījumā lietderīgi izvēlēties 2. un 4. pārnese. 2. pārnese nodrošinās automobiļa kustības iespējas pie ceļa kāpumiem, kas pārsniedz 5°, bet 4. pārnese nodrošinās iespēju braukt ar lielāku ātrumu, pie tam saglabājot labas dinamiskās īpašības pie vidējiem un lieliem ātrumiem.

Bez visa iepriekš minētā jāreķinās arī ar to, ka elektromotora attīstītā jauda un līdz ar to arī dinamiskās īpašības ir atkarīgas no akumulatoru bateriju izlādes līmeņa. Pie lielāka elektroautomobiļa nobraukuma un tukšākiem akumulatoriem, automobiļa dinamiskums pasliktināsies.

Gadījumā, ja automobiļa lietotājam nepieciešams elektromobilis tikai izmantošanai pilsētas apstākļos, iespējams izvēlēties elektromotoru ar mazāku jaudu, piemēram, 10 līdz 15 kW elektromotoru. Šajā gadījumā elektromobiļa maksimālais kustības ātrums nepārsniegs 80 km h⁻¹, bet elektromobilim varēs izvēlēties mazākas kapacitātes akumulatoru baterijas, tā samazinot elektromobiļa masu un pārbūves izmaksas.

Elektromotora izvēles algoritmu iespējams koriģēt un precizēt pēc konkrētā elektromobiļa reālās pārbūves un eksperimentālās izpētes. Konstrukcijas vienkāršošanai ātrumkārbu paredzēts izjaukt un demontēt neizmantojamās zobratu pārus. Tādā veidā iespējams samazināt rotējošo

masu ietekmi ieskriešanās procesā un palielināt transmisijas lietderības koeficientu. Paredzamajā pārbūves konstrukcijā var neizmantot standarta sajūgu un spararatu, tādā veidā samazinot rotējošās masas. Iespējama pārbūvējamā automobiļa izmantošana tikai ar vienu, piemēram, 3. pārnesumu. Šajā gadījumā samazinās ātrumkārbas kopējā masa un rotējošās masas.

4.1.5. Akumulatori, to veidi un piemērotība izmantošanai Latvijā

Autonomu elektrisko spēkratu enerģija tiek iegūta no ķīmiskajiem elektriskās strāvas avotiem. Tos iedala primārajos jeb vienreiz lietojamajos un sekundārajos jeb atkārtoti uzlādējamos strāvas avotos. Sekundāros strāvas avotus var dēvēt par elektriskajiem akumulatoriem (Alksnis u.c., 1990).

4.1.5.1. Akumulatoru darbības fiziskie un ķīmiskie pamatprincipi

Enerģija akumulatorā tiek uzkrāta vai atbrīvota ķīmisko reakciju laikā. Akumulatoru uzlādējot, elektrisko enerģiju pārveido ķīmiskajā enerģijā. Pretējs process notiek izlādes laikā. Abos procesos papildus izdalās siltuma enerģija.

Izplatītāko atkārtoti uzlādējamo elektrisko akumulatoru uzbūve un ķīmiskais sastāvs ir atšķirīgs, tomēr to darbības galvenie principi ir līdzīgi. Elektrisko akumulatoru darbības pamatā ir kontrolējama elektroķīmisko un galvanisko reakciju norise. Akumulatoram pieslēgtā ārējā elektriskajā ķēdē plūst elektriskā strāva.

Elektriskā strāva ir elektriskā lādiņa plūsmas raksturojums. Akumulatora gadījumā elektriskā lādiņa nesēji ārējā ķēdē ir elektroni un elektriskās strāvas stiprums ir elektronu skaits, kas tiek pārvietots vienā laika vienībā. Strāvas stiprums tiek izteikts ampēros (A).

Elektronu pārvietošanos vadītājā ierobežo materiāla elektriskā pretestība. Strāvas stiprumu, kas ir iespējams pie noteiktas potenciālu starpības jeb sprieguma, nosaka pretestība. Sakarību starp šiem lielumiem var noteikt, izmantojot Oma likumu. Oma likums nosaka, ka sprieguma starpība starp diviem punktiem ir tieši proporcionāla strāvas stiprumam starp šiem diviem punktiem un apgriezti proporcionāla strāvas vadītāja pretestībai:

$$E = I \cdot R, \quad (4.15)$$

kur E - potenciāla starpība, V;

I - strāva, A;

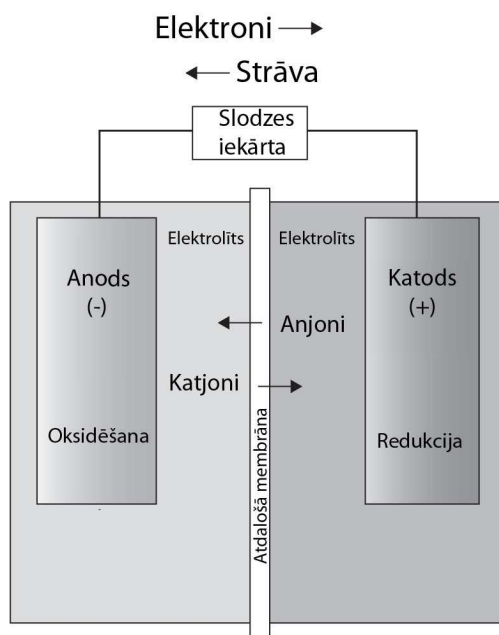
R - pretestība, Ω .

Akumulatora izlādes laikā tās ārējā ķēdē notiek elektronu kustība virzienā no negatīvā termināla jeb elektroda uz pozitīvo. Akumulatora iekšējā ķēdē notiek jonu kustība elektrolīta vidē starp elektrodiem un lādiņa pārvešana pie elektrodiem.

Elektriskā akumulatora izlādes laikā negatīvais elektrods ir anods. Uz tā ārējās virsmas notiek oksidēšanās reakcija un tiek atbrīvoti elektroni un rodas pozitīvi lādēti joni - katjoni. Joni izšķīst elektrolīta vidē un elektroni pārvietojas virzienā no negatīvā elektroda uz pozitīvo elektrodu, izmantojot elektrisko vadītāju akumulatora ārējā ķēdē. Izlādes laikā pozitīvais elektrods

ir katods. Uz tā ārējās virsmas notiek reducēšanās reakcija. Elektrolīta vidē izšķīdušie pozitīvi lādētie joni piedalās elektroķīmiskā reakcijā ar elektroniem, kas pārvietojas no negatīvā elektroda puses.

Starp elektrolīta vidē esošajiem elektrodiem ir nepieciešams ievietot atdalošu membrānu, kas nepieļauj elektronu virzību baterijas iekšējā ķēdē jeb elektriski izolē elektrodus, nodrošina jonu kustību starp elektrodiem un ierobežo elektrolīta sajaukšanos starp abām nodalītajām pusēm. Izlādes laikā notiekošie procesi parādīti 4.29. attēlā (Root, 2001).



4.29. att. Procesi akumulatorā izlādes laikā

Elektriskā akumulatora sastāvā var būt vairāki elektrodu pāri. Katrs atsevišķs pāris tiek dēvēts par elektroķīmisko elementu. Elementu apvienojums vienā iekārtā ir akumulatoru baterija. Uzlādes laikā notiek elektroķīmiskas reakcijas, bet izlādes laikā notiek galvaniskas reakcijas.

Akumulatora uzlādes laikā oksidēšanās un reducēšanās reakcijas notiek pretējās pusēs. Tāpēc elektrodu nozīme (katods vai anods) arī mainās vietām. Elektronu kustības un strāvas virziens ir pretējs izlādes procesā notiekošajam.

Elektriskā akumulatora īpašības nosaka tās sastāvā izmantotie materiāli un konstrukcijas īpatnības. Elektroķīmiskais enerģijas avots darbojas, ja tā uzbūvē ir izmantotas noteiktas anoda un katoda materiālu kombinācijas. Anoda jeb negatīvā elektroda materiālam ir jāatdod elektroni un katoda jeb pozitīvā elektroda materiālam ir jāpieņem elektroni. Dažādu elementu elektroķīmisko reakciju potenciāli ir jau iepriekš noteikti un apkopoti. Tā, piemēram, litija jona reducēšanas reakciju var aprakstīt sekojoši: $\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$ un reducēšanas potenciāls ir -3.04 V . Oksidēšanas reakcija ir šāda: $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$ un oksidēšanas potenciāls ir $+3.04 \text{ V}$. Potenciālu vērtības ir noteiktas standarta apstākļos: temperatūra $25 \text{ }^\circ\text{C}$, spiediens 1 atmosfēra, jonu koncentrācija 1 mol l^{-1} . Akumulatora elementa elektroķīmisko potenciālu $E^0 \text{ (V)}$ veido abu elementā izmantoto elementu potenciālu algebriskā summa (Crompton, 2000). Piemēri aplūkoti konkrēto akumulatoru veidu aprakstos.

Ķīmiskās enerģijas daudzumu, ko elektroķīmiskajā elementā ar noteiktu vielas daudzumu teorētiski var pārveidot elektriskajā enerģijā, var definēt kā Gibbsa brīvās enerģijas izmaiņu, ko apzīmē ar ΔG (J mol^{-1}) un izsaka ar vienādojumu:

$$\Delta G = -n \cdot F \cdot E_{el}, \quad (4.16)$$

kur n - elektroķīmiskajā reakcijā pārvietoto elektronu skaits;
 F - Faradeja konstante, $96.487 \text{ C mol}^{-1}$;
 E_{el} - elementa elektrodzinējspēks, V.

Ja darba kārtībā esošam uzlādētam akumulatoram nepievieno elektrisko patērētāju, bet izmēra elektriskā potenciāla starpību starp elektrodiem, var noteikt akumulatora elementa elektrodzinējspēku, ko saīsināti apzīmē EDS. Elektrodzinējspēks raksturo līdzsvarā esoša akumulatora elementa spontānas elektroķīmiskās reakcijas tendenci. Jo lielāks ir EDS, jo vairāk darba, ko mēra džoulos (J), var paveikt katra elektriskās strāvas vienība, ko mēra kulonos (C). Elektrodzinējspēka mērvienība ir džouli uz kuloniem, kas ir plašāk pazīstamās mērvienības, volts (V), definīcija. Reālajos apstākļos akumulatora elementa EDS var atšķirties no aprēķinātā. Temperatūras ietekmi uz elektroķīmisko reakciju var aprēķināt, izmantojot Gibbsa - Helmholtca vienādojumu. Jonu koncentrācijas ietekmi var noteikt, izmantojot Nersta vienādojumu (Root, 2001). Spriegums starp slodzei nepieslēgta elektriskā akumulatora elementa termināliem jeb elementa elektrodzinējspēks ir vienāds ar starpību starp pozitīvā un negatīvā elektroda potenciāliem:

$$V_{el} = E_{el} = E_k - E_a, \quad (4.17)$$

kur V_{el} - spriegums uz elementa termināliem, V;
 E_k - pozitīvā elektroda potenciāls, V;
 E_a - negatīvā elementa potenciāls, V.

Akumulatora elementa termināliem pieslēdzot slodzi, sākas izlādes process un rodas elektriskās strāvas plūsma. Spriegums uz elementa termināliem samazinās, jo iedarbojas polarizācijas efekts:

$$V_{el} = E_{el} - E_{pol}, \quad (4.18)$$

kur E_{pol} - sprieguma zudums polarizācijas rezultātā, V.

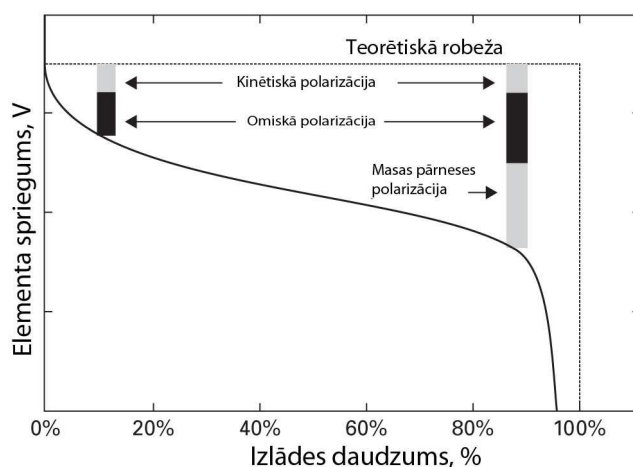
Uzlādes procesā polarizācijas rezultātā spriegums palielinās:

$$V_{el} = E_{el} + E_{pol}. \quad (4.19)$$

Polarizācija ir kompleksa parādība, un to var sadalīt trīs galvenajās komponentēs: omiskā, kinētiskā un masas pārnese polarizācija. Omiskā polarizācija ir akumulatora elementa elektroniskās un joniskās pretestības radītas sprieguma izmaiņas. Sprieguma kritums ir proporcionāls strāvas stiprumam atbilstoši Oma likumam. Omiskās polarizācijas rezultātā enerģija tiek izdalīta siltuma veidā, kas var novest pie akumulatora pārkaršanas un bojājumiem, ja tiek sasniegtas kritiskas strāvas stipruma un pretestības vērtības. Daudzu akumulatoru konstruktīvo izpildījumu gadījumā omiskās polarizācijas galvenais avots ir elektrolīta elektrovadītspēja. Citi omiskās polarizācijas pretestības avoti ir elektrodu savienojumi ar termināliem un pulverveida elektrodu sastāvā esošo daļiņu savstarpējie savienojumi.

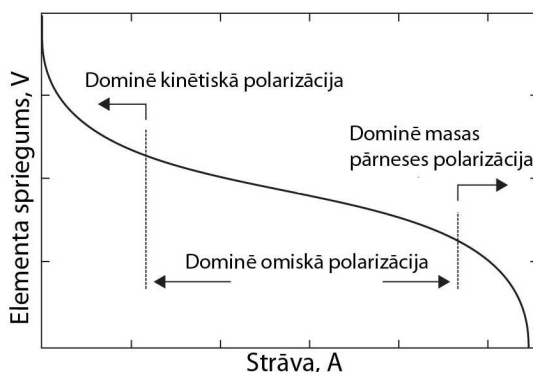
Kinētiskā polarizācija ir nepieciešamā enerģija, lai notiktu lādiņa pārnese un elektroķīmiskās reakcijas uz elektrodu virsmas.

Masas pārnese polarizācija rodas iestājoties masas pārnese ierobežojumiem elektrolītā un elektrodu materiālā. Šajā gadījumā masas pārnese attiecas uz molekulu, atomu un jonu kustību koncentrācijas gradienta, elektriskā lauka vai blīvuma izmaiņu ietekmi. Akumulatorā notiekošā masas pārnese var tikt iedalīta trīs veidos: difūzija, migrācija un konvekcija. Difūzija ir masas pārnese, kas notiek, ja pastāv ķīmisko daļiņu koncentrācijas gradients jeb koncentrācijas atšķirības atsevišķos apgabalos. Migrācija ir lādētu daļiņu kustība potenciālu gradienta ietekmē. Konvekcija ir šķidrumu kustība blīvuma gradienta ietekmē. Blīvuma atšķirības elektrolītā var parādīties difūzijas ietekmē. Polarizācijas veidu ietekme atkarībā no akumulatora izlādes līmeņa ir parādīta 4.30. attēlā (Root, 2001).



4.30. att. Polarizācijas veidu ietekme atkarībā no izlādes daudzuma

Jebkuram masas pārnesei veidam ir kopīgs ierobežojums - maksimālais pārnese ātrums, kas savukārt ierobežo elektroķīmisko reakciju ātrumu. Elektroķīmisko reakciju ātrums savukārt ierobežo maksimālo elektriskās strāvas lielumu akumulatora izlādes un uzlādes procesos. To apzīmē ar ierobežojošo strāvu. Strāvas stiprumam tuvojoties ierobežojošās strāvas lielumam, akumulatora izlādes spriegums samazinās un uzlādes spriegums palielinās, jo palielinās masas pārnese polarizācijas lielums (Kiehne, 2003). Polarizācijas veidu ietekme atkarībā no strāvas stipruma akumulatora ārējā ķēdē ir parādīta 4.31. attēlā (Root, 2001).



4.31. att. Polarizācijas veidu ietekme atkarībā no strāvas stipruma

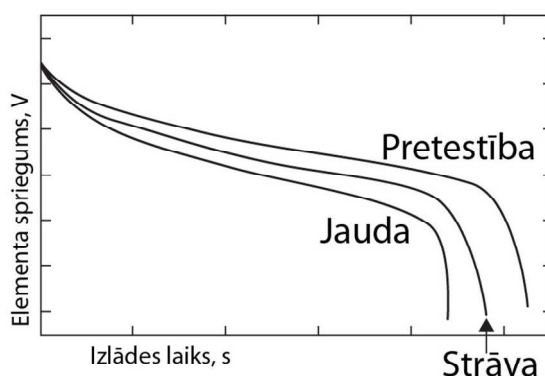
4.1.5.2. Akumulatoru raksturojošie parametri

Akumulatora ietilpību izsaka ampērstundās (Ah). Ietilpība ir strāvas un izlādes laika reizinājums:

$$C_R = I \cdot t, \quad (4.20)$$

kur C_R - ietilpība, Ah;
 I - strāva, A;
 t - laiks, h.

To ir viegli noteikt, ja akumulatoru izlādē ar pastāvīga stipruma strāvu. Reālajos apstākļos bieži vien strāvas stiprums ir mainīgs, jo izlāde notiek pie nemainīgas slodzes pretestības vai nemainīgas jaudas. Dažādu slodzes tipu iespaids uz akumulatora darbību ir parādīts 4.32. attēlā (Root, 2001).



4.32. att. Izlādes sprieguma izmaiņas atkarībā no slodzes rakstura

Tādā gadījumā ietilpību C_R (Ah) var noteikt, integrējot akumulatora izejošās strāvas daudzumu laikā:

$$C_R = \int_0^t I dt. \quad (4.21)$$

Efektīvā ietilpība ir atkarīga no izlādes strāvas stipruma un izlādes laika. Tam pamatā ir iepriekš aprakstītais polarizācijas efekts. Akumulatora ietilpības vērtību, kura marķēta uz akumulatora vai dota tā tehniskajos datos, var attiecināt tikai uz apstākļiem, kādos tā noteikta. Tā, piemēram, uz Eiropas automobiļu svina-skābes starta akumulatoru korpusa norādītā ietilpība ampērstundās (Ah) nozīmē, ka izlādējot akumulatoru ar nominālo strāvu 20 stundu laikā, spriegums uz tā termināliem būs vismaz 10.5 V. Nominālo strāvu I_n nosaka pēc sakarības:

$$I_n = \frac{C_n}{20}, \quad (4.22)$$

kur I_n - nominālā strāva, A;
 C_n - akumulatora nominālā ietilpība, Ah.

Pārbaude notiek atbilstoši IEC/EN 60095-1 standartam, testa laikā apkārtējās vides temperatūra ir 25 °C.

Katram akumulatoru tipam ietilpību nosaka pēc atšķirīga standarta. Šie raksturlielumi nav tiešā veidā salīdzināmi.

C rādītājs (C -rate) ir akumulatoru industrijā lietots nosacītais stāvas raksturojums. Tā ir attiecība starp uzlādes vai izlādes strāvas stiprumu un ražotāju noteikto nominālo ietilpību. C rādītāju lieto, lai apzīmētu pieļaujamo vai ieteicamo uzlādes vai izlādes strāvu. Zinot attiecīgajiem apstākļiem definēto C rādītāju, strāvas lielumu var noteikt šādi:

$$I = C_n \cdot C, \quad (4.23)$$

kur I - strāva, A;
 C_n - akumulatora nominālā ietilpība, Ah;
 C - C rādītājs.

Tā, piemēram, akumulatoram, kura nominālā ietilpība ir 3 Ah, ieteicamā uzlādes strāva ir $0.5C$ un izlādes strāva $2C$. Izmantojot vienādojumu 4.18., var noteikt, ka ieteicamā uzlādes strāva šim akumulatoram ir 1.5 A un izlādes strāva ir 6 A.

Elektriskā jauda ir piegādātās enerģijas daudzums laika vienībā. Jaudu var aprēķināt pēc sakarības:

$$P = I \cdot E, \quad (4.24)$$

kur P - jauda, W;
 E - potenciālu starpība, V;
 I - strāva, A.

Jaudas mērvienība ir vats (W) un to var izteikt kā džouls sekundē ($J s^{-1}$). Aizvietojot E atbilstoši Oma likumam, jaudu var izteikt šādi:

$$P = I^2 \cdot R \quad \text{vai} \quad P = \frac{E^2}{R}. \quad (4.25)$$

Enerģijas daudzums, ko var iegūt no akumulatora, tiek izteikts vatstundās (Wh). Tas apraksta, cik ilgi akumulators nodrošinās noteiktu izlādes jaudu. Līdzīgi kā akumulatora ietilpības aprēķinā, ir viegli noteikt enerģijas daudzumu, ja akumulatora izlāde notiek ar pastāvīgas un nemainīgas slodzes apstākļos. Tādā gadījumā enerģija E_w (Wh) ir jaudas P (W) un laika t (h) reizinājums:

$$E_w = P \cdot t, \quad (4.26)$$

kur E_w - enerģijas daudzums, Wh;
 P - jauda, W;
 t - laiks, h.

Apstākļos, ja slodzes jauda akumulatora izlādes laikā nav konstanta, enerģijas daudzumu var noteikt pēc sakarības:

$$E_w = \int_0^t E \cdot I dt. \quad (4.27)$$

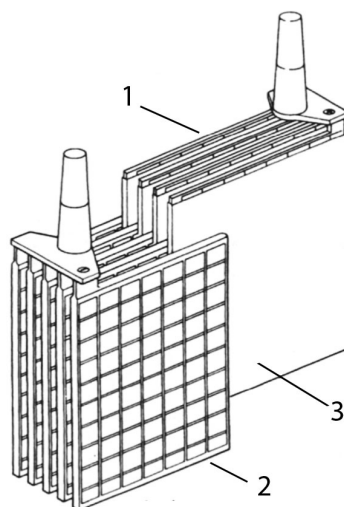
4.1.5.3. Svina-skābes akumulatori

Svina-skābes akumulatori ir komerciāli pieejami no 1859. gada, un turpina saglabāt nozīmīgu tirgus daļu. Ar svina-skābes akumulatoriem aprīko gan kuģus, gan lidmašīnas, gan sauszemes transportu. Transporta līdzekļu aprīkojumā tos pielieto motoru iedarbināšanai un vilces nodrošināšanai. Svina-

skābes akumulatoru uzbūve un ekspluatācijas īpašības atšķiras atkarībā no pielietojuma mērķa. Motora iedarbināšanai paredzētie, tā dēvētie starta akumulatori, īslaicīgi nodrošina lielu strāvu, bet nav izturīgi pret izlādēšanu līdz zemam uzlādes līmenim. Vilces akumulatori nevar nodrošināt lielu strāvu, toties tos nesabojā regulāra dziļa izlādēšana. Vilces akumulatorus izmanto, piemēram, laivu motoru, lēngaitas iepirkšanās ratiņu, bērnu spēļu automobiļu un golfa laukumu ratiņu aprīkojumā. Svina-skābes akumulatoru uzbūve periodiski tiek modernizēta, padarot to ekspluatāciju vienkāršāku. Nesenākie modernizācijas soļi bija ar bitumenu blīvētu korpusu nomaiņa pret monolītiem plastmasas korpusiem un ekspluatācijā neapkalpojamu akumulatoru ieviešana. Pašlaik tirgū notiek pāreja uz ar vārstu regulētajiem (*VRLA/AGM Valve Regulated Lead Acid / Absorbed Glass Mat*) akumulatoriem. Zemās izmaksas un patērētāju uzticība gadiem pārbaudītajai tehnoloģijai pagaidām kompensē svina-skābes akumulatoru trūkumus - lielo svaru un izmērus, kā arī izmantoto materiālu kaitīgumu un bīstamību.

Akumulatora uzbūve

Svina-skābes akumulatoru negatīvā elektroda aktīvā viela ir svins (Pb). Elektrolīts ir sērskābes (H_2SO_4) šķīdums ūdenī (H_2O). Pozitīvā elektroda aktīvā viela ir svina dioksīds (PbO_2). Akumulatoru uzbūvē mēdz apzināti iekļaut vairāk viena elektroda aktīvās vielas daudzumu, nekā tas ir nepieciešams savstarpēji balansētām reakcijām. Tad, izlādējot bateriju, rezervē paliek viena elektroda aktīvā viela. Tādā veidā var izvairīties no nevēlamām blakusparādībām dziļas izlādes apstākļos vai kompensēt pakāpenisku elektroda aktīvās vielas zudumu. Vienā svina-skābes akumulatora elementā parasti iekļauj vairākas negatīvā un pozitīvā elektroda plātes, un negatīvā elektroda plāšu skaits ir par vienu lielāks par pozitīvā elektroda plāšu skaitu (Crompton, 2000; Vincent and Scrosati, 1997). Izlādes procesa elektroķīmiskās reakcijas var tupināties, līdz tiek iztērēts pozitīvā elektroda, katoda aktīvais materiāls, svina dioksīds (PbO_2). Šāds akumulators ir katoda ierobežots. Svina-skābes akumulatora elementa uzbūve parādīta 4.33. attēlā (Vincent and Scrosati, 1997).



4.33. att. Svina-skābes akumulatora elementa uzbūve:
1 - negatīvais elektrods; 2 - pozitīvais elektrods; 3 - separators

Negatīvā elektroda plates ir ievietotas aplokšņu veida separatoros, kas nodrošina jonu plūsmu un elektrolīta difūziju, bet elektriski izolē negatīvo elektrodu no pozitīvā.

Elektroķīmiskie un galvaniskie procesi

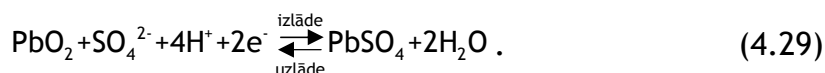
Izlādes laikā negatīvā elektroda materiāls, svins (Pb) tiek oksidēts par svina jonu (Pb^{2+}). Svina jons savienojas ar elektrolīta, šajā gadījumā, sērskābes šķīduma ūdenī sulfāta jonu (SO_4^{2-}), veidojot svina sulfātu (PbSO_4). Vienkāršots reakcijas pieraksts ir šāds (Pavlov, 2011):



Reakcija notiek uz negatīvā elektroda virsmas. Tās rezultātā uz virsmas veidojas svina sulfāta kārtiņa un rodas atbrīvoto elektronu plūsma. Šie elektroni pārnes elektrisko lādiņu akumulatora ārējā ķēdē un rezultātā notiek elektriskās strāvas plūsma.

Pozitīvā elektroda aktīvais materiāls ir svina dioksīds (PbO_2). Akumulatora izlādes laikā pozitīvais elektrods uzņem no negatīvā elektroda caur akumulatora ārējo ķēdi nākošos elektronus un uz pozitīvā elektroda virsmas notiek redukcijas reakcija. Reakcijas gaitā svina dioksīds (PbO_2) tiek sadalīts.

Redukcijas reakcijas produkts, svina jons, līdzīgi, kā negatīvā elektroda gadījumā, reaģē ar izšķīdušās sērskābes jonu, veidojot svina sulfātu, kas izdalās uz elektroda virsmas. Vienkāršots reakcijas pieraksts ir šāds (Pavlov, 2011):



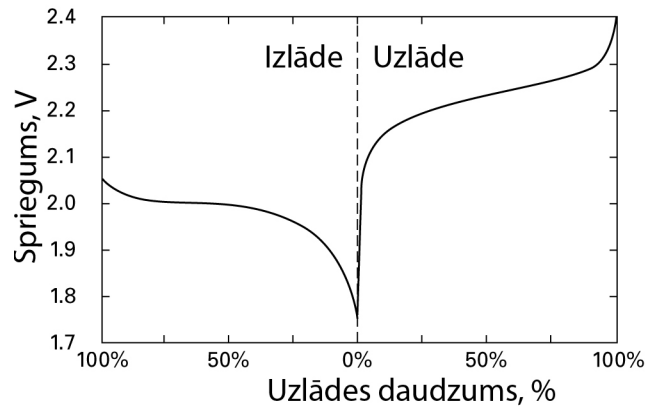
Interesanti, ka izlādes procesa produkti pie negatīvā un pozitīvā elektrodiem ir vienādi - svina sulfāts (PbSO_4). Uzlādes procesa laikā reakcijas notiek pretējā virzienā. Elektrodu nozīme kā anodam un katodam mainās vietām. Uz negatīvā elektroda virsmas notiek svina sulfāta reducēšana, kā rezultātā izdalās svins (Pb). Uz pozitīvā elektroda virsmas svina sulfāts tiek oksidēts, un viens no reakcijas produktiem ir svina dioksīds (PbO_2).

Svina-skābes akumulatora elementa atvērtas ķēdes elektrodzinējspēks (EDS) jeb spriegums starp elektrodiem bezslodzes apstākļos ir 2.055 V. To var aprēķināt, izmantojot 4.22. formulu (Pavlov, 2011):

$$V_{\text{Pb/PbO}_2} = E_{\text{Pb/PbO}_2} = E_{\text{PbO}_2/\text{PbSO}_4} - E_{\text{Pb/PbSO}_4} = 1.697 - (-0.358) = 2.055 \text{ V} \quad (4.30)$$

Svina-skābes akumulatoros elektrolīts pilda aktīvu lomu un piedalās elektroķīmiskajos procesos. Izlādes laikā notiek gan elektrolīta skābuma, gan blīvuma izmaiņas.

Samazinoties skābes koncentrācijai elektrolītā jeb palielinoties pH līmenim, potenciālu starpība starp elektrodiem samazinās. Sasniedzot elementa potenciālu starpību 1.8 V, akumulators ir izlādēts, un to vēlams nekavējoties uzlādēt. Izlādes un uzlādes sprieguma raksturlīknes ir parādītas 4.34. attēlā (Root, 2001).



4.34. att. Svina-skābes akumulatora sprieguma raksturlīknes

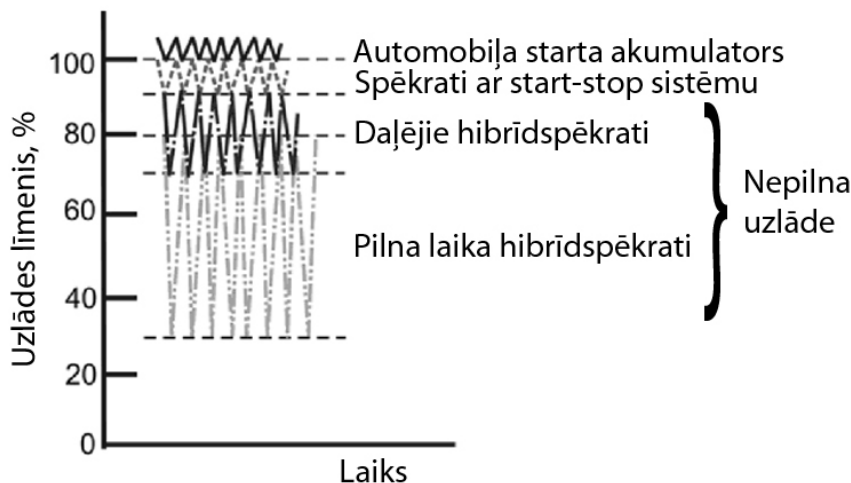
Akumulatora uzlādes stāvokli un atsevišķu elementu tehniskā stāvokļa diagnostiku ir iespējams noteikt, nosakot elektrolīta blīvumu. Tas tehniski bija izdarāms tradicionālas konstrukcijas akumulatoros, izskrūvējot atsevišķu elementu korķus. Mūsdienīgu slēgtā tipa akumulatoros dažkārt ierīko elektrolīta blīvuma indikatoru - areometru. Korpusa augšējā daļā ir lodziņš, caur kuru var redzēt areometra zaļās krāsas pludiņa stāvokli. Ja lodziņš ir zaļā krāsā, pludiņš ir augšējā stāvoklī un elektrolīta blīvums atbilst uzlādētam akumulatoram. Jāpiezīmē, ka šādā veidā var spriest tikai par viena elementa elektrolīta blīvumu, nevis par visa akumulatora stāvokli.

Reakcijās vienam no elektrodiem iztērējot aktīvo materiālu, tālāka uzlāde nav iespējama. Elektriskā enerģija ir pārveidota ķīmiskajā enerģijā, akumulators ir uzlādēts, un ir gatavs atkārtotam izlādes ciklam. Turpinot strāvas padevi jau uzlādētam akumulatoram, sākas elektrolīze, kuras rezultātā atbrīvojas ūdeņradis un skābeklis, un notiek elektrolīta sastāvā esošā ūdens zudums (Crompton, 2000). Reālajos apstākļos ir grūti noteikt momentu, kad akumulators ir uzlādējies un tālāka uzlāde ir jāpārtrauc. Moderno akumulatora konstrukcijā ir veikti uzlabojumi, lai šo ūdens zudumu mazinātu. Risinājuma pamatā ir iespēja reducēt elektrolīzes laikā atbrīvoto skābekli (O_2) pie negatīvā elektroda, radot ūdeni. Tradicionālās konstrukcijas svina-skābes akumulatorā elektrodi bija iegremdēti elektrolītā un faktiski nerasniedzami atbrīvotajam skābekļa molekulām. Skābeklis tika vienkārši izvadīts atmosfērā caur īpaši izveidotām ventilācijas atverēm. Rezultātā notika pastāvīgs ūdens zudums, ko regulāri nācās papildināt. VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) akumulatoros korpusi ir hermetizēti, un iekšējais gāzu spiediens tiek regulēts ar vārstu, izlaižot atmosfērā atbrīvoto ūdeņradi un skābekli tikai apstākļos, kad elektrolīze notiek straujāk nekā iespējams reducācijas process. Elektrolīts šādos akumulatoros tiek sabiezināts, tam pievienojot silīcija dioksīda pulveri, vai iesūcināts stikla šķiedras slānī AGM (*Absorbed Glass Mat*) veida akumulators. Tas atvieglo skābekļa piekļuvi negatīvajam elektrodam, un ir iespējams skābekļa reducācijas process. Akumulatoros ar sabiezinātu vai stikla šķiedras slānī iesūcinātu elektrodu ir apgrūtināta jonu kustība. Iepriekš minētā masas pārneses polarizācija izpaužas izteiktāk, un akumulatora iekšējā pretestība ir augstāka. Rezultātā samazinās iespējamais izlādes strāvas lielums. Pēdējā laikā šajā jomā ir veikti uzlabojumi, un VRLA/AGM akumulatorus sāk izmantot arī kā automobiļu motora starta baterijas.

Lietošanas īpatnības un pasargāšana no bojājumiem

Svina-skābes akumulatoru nolietojuma un bojājuma galvenie cēloņi ir elektrolīta sastāvā esošā ūdens zudums un pārmērīga svina sulfāta ($PbSO_4$) daudzuma rašanās. Pilnībā uzlādētā akumulatorā negatīvais elektrods sastāv no tīra svina, un pozitīvais elektrods ir pārklāts ar svina dioksīdu. Svina sulfāta daudzums uz elektrodu platēm ir neliels. Jo dziļāks izlādes līmenis, jo vairāk svina sulfāta veidojas uz elektrodiem. Izlādējot akumulatoru dziļāk nekā tas konkrētajam izstrādājumam ir paredzēts, uz tā negatīvā elektroda platēm izveidojas tik biezs svina sulfāta slānis, ka tiek traucēta normāla jonu kustība un uzlādes laikā nenotiek paredzētās oksidēšanās un reducēšanās reakcijas. Negatīvā elektroda reakcijā piedalās svina jons un elektrolīta sastāvā esošais sulfāta jons. Lai reakcija varētu notikt, svinam jābūt kontaktā ar elektrolītu. Plāns svina sulfāta slānis ir porains un tajā ir iespējama jonu kustība. Neuzlādējot akumulatoru pilnībā, uz elektrodu virsmas ilgstoši paliek svina sulfāta slānis, kas tur sablīvējas, nostiprinās un standarta uzlādes apstākļos vairs nav elektroķīmiski noārdāms. Līdzīgi notiek, ja elektrolīta līmenis samazinās un elektrodu plātes nonāk saskarsmē ar gaisu. Atpakaļceļa nav, akumulators darbojas ar nepilnu kapacitāti vai vispār vairs nav uzlādējams.

Svina-skābes akumulatori, atkarībā no to konstrukcijas variācijām, ir vairāk vai mazāk tolerantī pret dziļu izlādi. Jebkurā gadījumā atrašanās izlādētā stāvoklī un nepilna uzlāde izraisa blīva svina sulfāta slāņa izveidošanos uz negatīvā elektroda materiāla, svina, virsmas un tos neatgriezeniski sabojā. Akumulatora uzlādes līmeņa variācijas dažādos spēkratos parādīta 4.35. attēlā (Pavlov, 2011).



4.35. att. Akumulatora uzlādes līmeņa variācijas

Redzams, ka automobiļu starta akumulatori pārsvarā atrodas pārlādētā stāvoklī. Savukārt hibrīdspēkratos, kuri var pārvietoties bez iekšdedzes motora darbināšanas, akumulatori sasniedz dziļu izlādi un reti ir pilnībā uzlādēti. Elektrospēkratu akumulatoru darba režīms varētu izrādīties vēl smagāks, kā rezultātā svina-skābes akumulatoru ekspluatācijas mūžs varētu būt nepieņemami īss. Svina skābes akumulatori uzlādē nevar uzņemt tādu elektriskās strāvas lielumu, kāds rastos spēkratu reģeneratīvas bremzēšanas laikā. Neierobežojot strāvu, akumulatorā sāktos elektrolīta elektrolīze, nevis akumulatora uzlāde.

4.1.5.4. Niķeļa-metālhidrīda akumulatori

Niķeļa-metālhidrīda (Ni-MH) akumulatoru izstrāde tika uzsākta 20. gadsimta sešdesmitajos gados, un tie tika komercializēti 1989. gadā. Niķeļa-metālhidrīda akumulatorus plaši izmanto kā sadzīves elektronikas ierīču enerģijas avotu, ražojot tos standartizmēru cilindrisko bateriju formā. Autoražotāja *Toyota* hibrīdspēkrati tradicionāli tiek aprīkoti ar niķeļa-metālhidrīda akumulatoriem. Šāds akumulators ir parādīts 4.36. attēlā. Tos ražo kompānijas *Panasonic* meitas uzņēmums *Primearth EV Energy Co* (Battery Pack, S.a.).



4.36. att. Automobiļa *Toyota Prius* Ni-MH akumulators

Lielas jaudas niķeļa-metālhidrīda akumulatoru pielietojums elektrosēkratu vilces nodrošināšanai pašlaik ir ierobežots konstrukcijas patenta īpašnieku, starptautiskas naftas kompānijas, nostājas dēļ (Shnayerson, 1996).

Akumulatora darbības pamatā ir noteiktu metāla sakausējumu spēja absorbēt ūdeņraža atomus.

Akumulatora uzbūve

Uzlādēta akumulatora negatīvais elektrods sastāv no divu vai vairāku metālu sakausējuma hidrīda, pozitīvais elektrods sastāv no niķeļa oksihidroksīda (Ni(O)OH) un elektrolīts ir kālija hidroksīda (KOH) 20% - 40% šķīdums ūdenī. Izlādēta akumulatora negatīvais elektrods sastāv no metālu sakausējuma un pozitīvais elektrods sastāv no niķeļa hidroksīda (Ni(OH)_2). Elektrolīta sastāvs un koncentrācija normālu izlādes un uzlādes elektroķīmisko reakciju norises laikā nemainās.

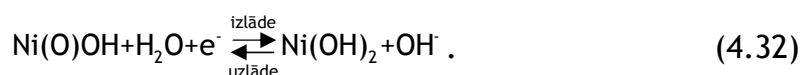
Pašlaik lieto divus negatīvā elektroda metāla sakausējumu veidus, ko apzīmē ar AB_2 (ZrNi_2) un AB_5 (LaNi_5). Daļēja viena vai otra metāla aizvietošana ar citu ļauj nedaudz izmainīt akumulatora īpašības. Precīzs elektrodu sastāvs ir nozīmīgs komerciāls noslēpums un publiski netiek atklāts. Viens no elektroda metāliem eksotermiski absorbē ūdeņradi (H_2), otrs kalpo kā katalizators. Negatīvā elektroda aktīvā materiāla sastāvā ir teflons, kurš elektrodam piešķir viegli hidrofobas īpašības un tas akumulatora pārlādēšanas gadījumā palīdz izvadīt ūdeņradi (H_2). Elektroda materiāls ir izvietots uz strāvas kolektora - niķeļa plāksnītes. Viens no iespējamajiem separatora materiāliem ir poliolefīns (Nickel Metal Hydride..., 2010).

Elektroķīmiskie procesi

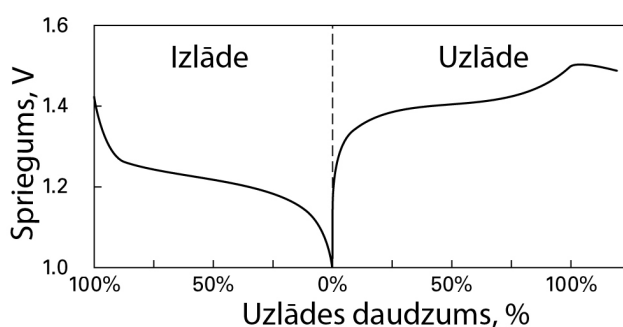
Process pie negatīvā elektroda notiek šādi. Uzlādes laikā, elektrolīta sastāvā esošais ūdens (H_2O) tiek sadalīts ūdeņraža atomos (H_2) un hidroksila jonus (OH^-). Ūdeņraža atomi tiek absorbēti elektrodu veidojošajā metāla sakausējumā. Izlādes laikā ūdeņradis tiek atbrīvots, tas savienojas ar hidroksila jonu, veidojot ūdeni, un tiek atbrīvots elektrons, kas pārnes elektrisko lādiņu akumulatora ārējā ķēdē. Reakciju pierakstā metālu sakausējumu apzīmē ar simbolu M. Negatīvā elektroda reakcijas vienkāršots pieraksts:



Pozitīvā elektroda aktīvais materiāls ir iestrādāts porainā metālkeramiska niķeļa sakausējuma plāksnītē. Pastāv arī atšķirīgi risinājumi. Uzlādes laikā notiek niķeļa hidroksīda ($Ni(OH)_2$) oksidēšana, izlādes laikā notiek reducēšana. Pozitīvā elektroda reakcijas vienkāršots pieraksts:



Ūdens daudzums akumulatorā nemainās. Izlādes laikā tas tiek radīts pie negatīvā elektroda un patērēts pie pozitīvā elektroda. Uzlādes laikā process notiek pretējā virzienā. Akumulatora elementa sprieguma raksturlīknes ir parādītas 4.37. attēlā (Root, 2001).



4.37. att. Niķeļa-metālhidrīda akumulatora sprieguma raksturlīknes

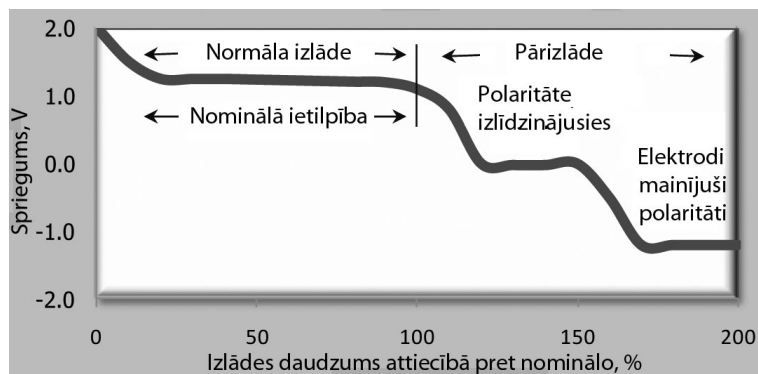
Polarizācijas jeb iekšējās pretestības izmaiņas izlādes laikā mēdz būt nelielas, tāpēc akumulatora spriegums izlādes laikā praktiski nemainās. Tikai izlādes cikla beigās notiek straujš polarizācijas pieaugums, kas novērojams kā straujš terminālu sprieguma kritums. Tas apgrūtina izlādes daudzuma noteikšanu. Precīzākai akumulatora uzlādes stāvokļa diagnostikai labāk izmantot kulonometriskas metodes, salīdzinot enerģijas daudzumu uzlādes un izlādes laikā (Nickel Metal Hydride..., 2010).

Lietošanas īpatnības un pasargāšana no bojājumiem

Niķeļa-metālhidrīda akumulatoru konstrukcijā paredz aizsardzību pret nelielu pārlādēšanu. Līdzīgi kā svina-skābes akumulatoriem, negatīvā elektroda aktīvā materiāla vielas daudzums ir lielāks par pozitīvā elektroda materiāla vielas daudzumu. Uzlādes laikā pirmais tiek iztērēts pozitīvā elektroda materiāls, un, turpinot uzlādi, pie pozitīvā elektroda tiek atbrīvots

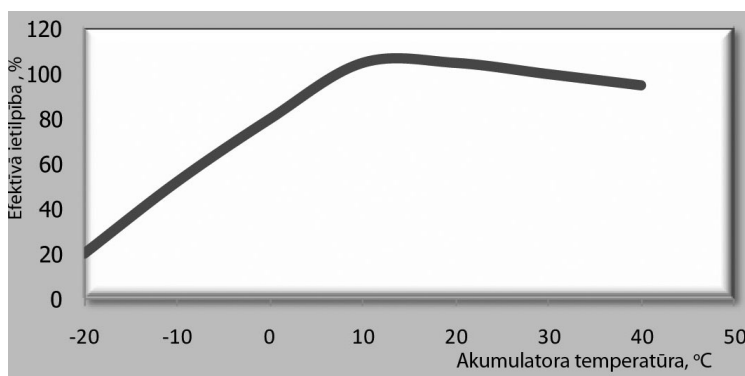
skābeklis. Difūzijas rezultātā skābeklis nonāk pie negatīvā elektroda, un tiek reducēts, radot ūdeni. Skābekļa daudzuma pieaugumam pārsniedzot reducēšanas iespēju, tas tiek izvadīts caur drošības vārstu.

Izlādējot akumulatoru zem pieļaujamās robežas, konstruktīvi limitētais pozitīvā elektroda aktīvais materiāls ir iztērēts, un pie elektroda atbrīvojas ūdeņradis. Turpinot izlādi, akumulatora elektrodu polaritāte mainās vietām. Tas var novest pie akumulatora nenovēršama bojājuma. Šī efekta grafiskais attēlojums parādīts 4.38. attēlā (Nickel Metal Hydride..., 2010).



4.38. att. Niķeļa-metālhidrīda akumulatora izlāde zem pieļaujamās robežas

Akumulatora darbība zemas temperatūras apstākļos ir ierobežota. Pilnībā uzlādēta akumulatorā efektīvās ietilpības atkarība no ekspluatācijas vides temperatūras ir parādīta 4.39. attēlā (Nickel Metal Hydride..., 2010).

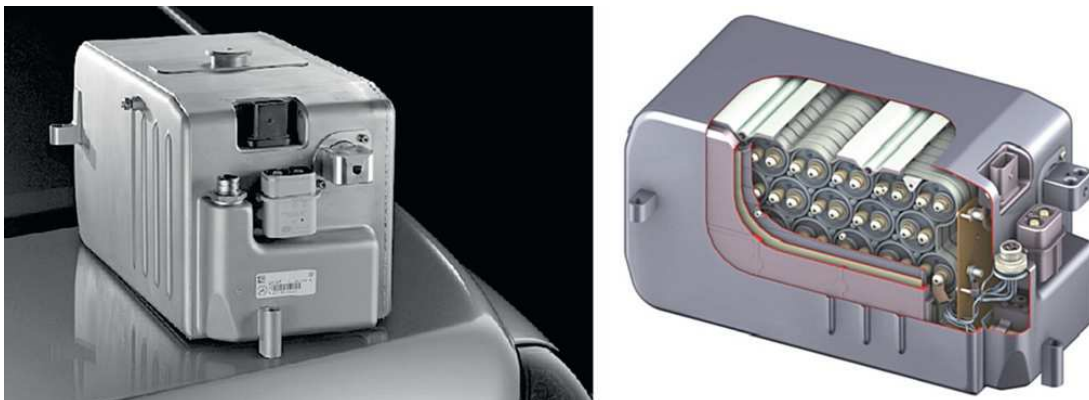


4.39. att. Niķeļa-metālhidrīda akumulatora ietilpības atkarība no temperatūras

4.1.5.5. Litija jonu akumulatori

Litija jonu akumulatorus plaši izmantoti sadzīves tehnikā, jo tie ir viegli un ilgmūžīgi. Šie akumulatori ar vienu no labākajiem enerģijas blīvumiem un mazu pašizlādi (Dahlin and Strom, 2010). Neuzlādējami litija jonu akumulatori tika radīti septiņdesmitajos gados. Uzlādējami akumulatori tiek ražoti kopš 1991. gada (Larminie and Lowry, 2012). Litījs ir ļoti aktīvs metāls un savienojumā ar ūdeni sākas nekontrolējama reakcija - izdalās ūdeņradis un karstums. Tāpēc ražošanā lielu rūpību pievērš apkārtējās vides mitrumam. Akumulatoros izmantotais elektrolīts reaģē ar litiju lēni un pakāpeniski, reakcija pat gandrīz apstājas dēļ reakcijas produktiem. Tie savukārt netraucē litija jonu plūsmai, kas nozīmē, ka uzlādes un izlādes posmi var norisināties ilgi laika sprīdi.

Elektriskajos automobiļos parasti tiek izmantoti ļoti daudz mazu litija jonu bateriju elementi, nevis viens liels akumulators (skat. 4.40. att.). Litija jonu akumulatori tiek izmantoti arī 507 lgaunijas iegādātajos *Mitsubishi i-MiEV* automobiļos. Vēl šāda tipa akumulatorus izmanto *Nissan Prairie Joy EV*, *Nissan Altra*, *Nissan Hypermini*, *AC Propulsion t-Zero (Gen 2)*, *Ford Focus EV*, *Tesla Model S*, *Chevrolet Volt* u.c. modeļu elektroautomobiļos.



4.40. att. *Mercedes-Benz S400 Hybrid* litija jonu baterija

Akumulatoru parametri (Husain, 2003):

- enerģijas blīvums $140 - 300 \text{ Wh l}^{-1}$;
- svara un jaudas attiecība $250 - 300 \text{ W kg}^{-1}$;
- nominālais elementa spriegums 3.5 V ;
- enerģijas un svara attiecība $60 - 120 \text{ Wh kg}^{-1}$.

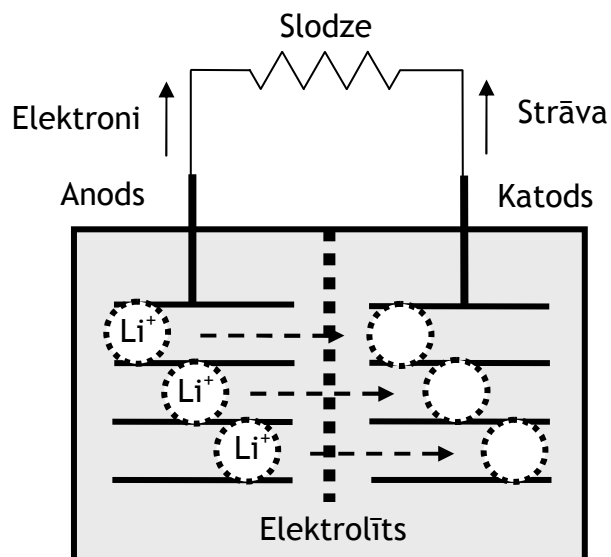
Litija jonu akumulatoru uzlāde prasa stingru režīmu ievērošanu un kontroli. Bateriju parasti lādē ar konstantu strāvas stiprumu, līdz akumulatori sasniedz noteiktu spriegumu (parasti 4.1 vai 4.2 V) (Hodkinson and Fenton, 2011). Tālāk seko uzlāde ar konstantu spriegumu un turpinās, līdz lādētāja strāvas stiprums samazinās līdz noteiktai robežai. Litija jonu baterijas nedrīkst arī izlādēt par daudz - to parasti kontrolē un atslēdz patērētāju. Par zemāko robežu parasti nosaka $2 - 3 \text{ V}$ spriegumu. Ja akumulatoru izlādē vairāk, vara daļiņas nonāk elektrolītā, apgrūtinot jonu kustību un palielinot iekšējo pretestību. Vairākkārtēja dziļa izlāde var novest pie īssavienojuma (Larminie and Lowry, 2012).

Akumulatora uzbūve un elektroķīmiskie procesi

Katoda izgatavošanā populārākie materiāli:

- litija-kobalta oksīds (LiCoO_2);
- litija-dažādu metāla sakausējumu oksīds. Parasti kombinācija ar kobaltu un niķeli;
- litija-mangāna oksīds (LiMn_2O_4);
- litija-dzelzs fosfāts (LiFePO_4).

Vispopulārākais materiāls, no kā tiek veidots anods, ir grafiīts. Elektrolīts parasti sastāv no litija sāļiem un organiskiem savienojumiem. Izlādes laikā litijs anodā tiek jonizēts un tiek atdots elektrolītam. Izlādes laikā litija joni pārvietojas caur porainu atdalošo membrānu un savienojas ar katodu (skat. 4.41. att.).



4.41. att. Procesi izlādes laikā

Izlādes procesā uz anoda notiekošā reakcija:

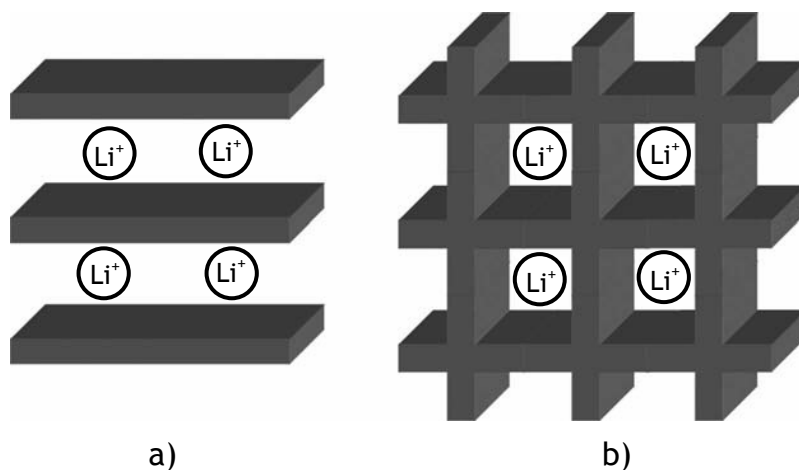


Uz katoda notiekošā reakcija:



Uzlādes laikā Li^+ joni pārvietojas no pozitīvā uz negatīvo elektrodu un tiek sakārtoti anoda grafīta slāņos (skat. 4.42a. att.).

Tajā pašā laikā elektroni tiek atdoti no anoda, kas izraisa strāvas plūsmu ārējā ķēdē. LiMn_2O_4 un LiFePO_4 katodiem ir atšķirīga materiāla struktūra. Litija joni tiek sakārtoti starp atomiem nevis pa slāņiem, jo šiem elektrodiem ir trīsdimensionāla struktūra (skat. 4.42b. att.) (Root, 2001).



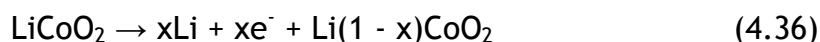
4.42. att. Anoda struktūra

Jonu uzkrāšanās katodā vai anodā notiek ātri bez paliekošām sekām materiālu struktūrā un process ir viegli reversējams, tāpēc litija jonu baterijas ir piemērotas ātriem uzlādes režīmiem (Larminie and Lowry, 2012).

Uzlādes procesā anodā notiekošā reakcija:



Uz katoda notiekošā reakcija:



Lietošanas īpatnības un pasargāšana no bojājumiem

No drošības viedokļa šie akumulatori pārlādes vai mehāniska bojājuma gadījumā var aizdegties vai eksplodēt. Tā kā šajos akumulatoros ir liels enerģijas blīvums, tad arī elektrolīts var aizdegties, nonākot saskarē ar gaisu. Jau pie temperatūras 60 °C pastāv temperatūras paaugstināšanās risks, kas var novest pie nekontrolējamas termiskas reakcijas, un pietiek ar vienu elementu, lai izraisītu reakciju visā baterijā. Temperatūras paaugstināšanos var izraisīt pārlādēšana, apkārtējās vides temperatūra, īssavienojums ārējā ķēdē un litija un elektrolīta reakcijas produktu nogulsnešanās uz anoda. Sasniedzot 110 °C, litijs anodā sāk reaģēt ar elektrolīta šķīdumiem, kas papildus paaugstina temperatūru. Pie 125 - 135 °C separators sāk kust un aizver poras, kas noved pie iekšējās pretestības pieauguma. Pie 175 - 185 °C separators tiek mehāniski bojāts un sākas īssavienojums. Dažos gadījumos akumulatora korpuss var tikt deformēts un tā saturs var nonākt apkārtējā vidē pirms nekontrolētas termiskās reakcijas (Leitman and Brant, 2009).

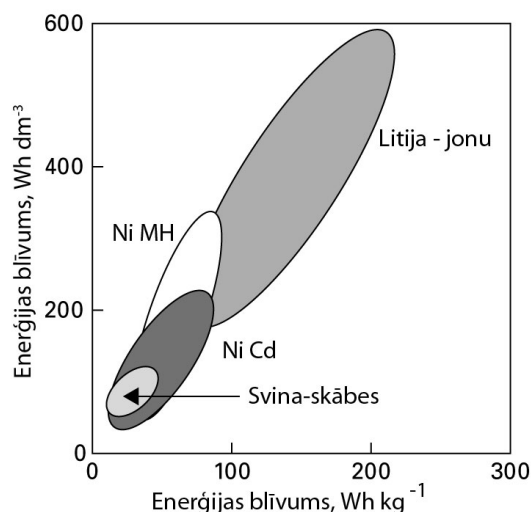
Enerģijas blīvums litija jonu akumulatoriem tiek visu laiku paaugstināts attīstot anoda un katoda materiālus, un pēdējos 10 gados tas ir dubultojies. Litija jonu akumulatori ir dārgāki par NiCd akumulatoriem, bet var strādāt plašākā temperatūru diapazonā un ir mazāki izmēros (Pistoia, 2010). Diemžēl arī litija jonu akumulatori zaudē daļu savu īpašību pie zemām temperatūrām, un tie ir ļoti jutīgi uz pārlādēšanu.

4.1.5.6. Akumulatoru izvēles kritēriji

Galvenie parametri, kas nosaka akumulatora izvēli konkrētajam pielietojuma mērķim, ir šādi:

- izmērs un svars;
- elektriskais spriegums;
- pieļaujamā strāva;
- kapacitāte;
- enerģijas blīvums;
- pašizlādes īpašības;
- pieļaujamais darba režīms;
- iespējamais uzlādes ciklu skaits;
- pieļaujamais temperatūras režīms;
- iegādes izmaksas.

Enerģijas blīvuma aptuvenās robežas ir parādītas 4.43. attēlā (Root, 2001). Kā redzams, tad enerģijas blīvums pat viena tipa akumulatoriem var būt mainīgs plašās robežās. To nosaka ne tikai konstruktīvie parametri, bet arī ekspluatācijas apstākļi un režīms. Tā, piemēram, svina-skābes akumulatoriem izlādes laikā atgūstamās enerģijas daudzums mainās vairākas reizes, atkarībā no strāvas lieluma.



4.43. att. Dažādu akumulatoru tipu enerģijas blīvums

Dažādu akumulatoru tipu un modeļu galvenie parametri ir apkopoti 4.1. tabulā. Tajā salīdzināti hibrīdautomobiļa *Toyota/Lexus RX400h*, elektroautomobiļa *Nissan LEAF* un divu LLU Spēkratu institūtā pētītu elektrospekratu - lēngaitas iepirkšanās un par elektromobili pārbūvējamā *Renault Clio* vilces akumulatori.

4.1. tabula. Dažādu akumulatoru salīdzinājums

Parametrs	Parametra vērtība			
Spēkratu modelis	<i>Lexus RX400h</i>	<i>Nissan LEAF</i>	Lēngaitas iepirkšanās	<i>Renault Clio</i>
Akumulatora apzīmējums	-	-	HGL40-12	LFP100AH
Akumulatora tips	Ni MH	Li Ni Mn Co	Svina-skābes	Li Fe PO ₄
Akumulatora spriegums, V	288	360	12.0	3.2
Elementa spriegums, V	1.2	3.8	2.0	3.2
Elementu skaits	240	192	6	1
Elementa ietilpība, Ah	6.5	33.1	24 (0.5C)	100 (0.5C)
Elementa enerģijas daudzums, Wh	7.8	124.1	-	320
Akumulatora enerģijas daudzums, Wh	1870	24000	288	320
Akumulatora svars, kg	68.0	294.0	13.4	3.4
Elementa svars, kg	0.189	0.799	-	3.400
Elementa enerģijas blīvums, kWh kg ⁻¹	41.32	155.35	-	94.12
Akumulatora enerģijas blīvums, kWh kg ⁻¹	27.53	81.06	21.49	94.12

Akumulatori ir piemēroti otrreizējai pārstrādei (skat. 4.2. tab.) (Dahlin and Strom, 2010). Vidēji 95% no akumulatoros izmantotajiem materiāliem var izmantot otrreizējai pārstrādei.

4.2. tabula. Akumulatoru ražošanai un pārstrādei nepieciešamā enerģija

Akumulatoru tips	Enerģijas patēriņš, MJ kg ⁻¹	
	ražošanai	otrrreizējai pārstrādei
Svina-skābes	10.7	2.9 - 4.1
Niķeļa-metālhidrīda	9.8	4.7
Niķeļa kadmija	19.6	3.3 - 4.7
Litija jonu	42.8	4.7

Elektroautomobiļu akumulatoru piedāvājums Latvijas tirgū ir ļoti neliels, ko nosaka to mazais pieprasījums. Pārdevējiem nav izdevīgi šādus akumulatorus turēt noliktavā, jo ar laiku baterijas sāk zaudēt savas īpašības, kā arī tehnoloģiju attīstība liek iepriekšējo paaudžu akumulatoru cenām kristies. Tāpēc pārdevēji parasti piegādā akumulatorus tieši pēc vajadzībām no Eiropas noliktavām. Automobiļu pārbūvei par elektrospēkratiem Latvijā piemēroti ir litija jonu akumulatori. Tomēr akumulatoru pašreizējā augstā cena var likt atteikties no ieceres pārbūvēt iekšdedzes automobili. Ja tiek pārbūvēts lēngaitas transportlīdzeklis vai automobilis ar salīdzinoši nelielu nobraukumu (līdz 50 km), tad ir iespējama sekmīga svina-skābes akumulatoru izmantošana, jo tie ir lētāki, bet to svars šādā gadījumā nav noteicošais faktors. Niķeļa akumulatoru izmantošana ir ierobežota, jo to piedāvājums, ne tikai Latvijas tirgū, ir ļoti mazs.

4.2. Pārbūvei nepieciešamie mezgli

Apakšnodaļā aplūkoti vieglo pasažieru automobiļu pārbūvei par elektrospēkratiem nepieciešamie mezgli un to iegādes iespējas. Veicot spēkratu pārbūvi, atsevišķi mezgli ir jānomaina vai spēkrati ir jāpalidina ar jauniem mezgliem. Tā, piemēram, pārbūvējot velosipēdu, tam ir jāuzstāda enerģijas avots - elektriskā baterija un spēka avots - motors. Automobiļa ar iekšdedzes motoru pārbūvē oriģinālais spēka avots - motors un enerģijas avots - degvielas tvertne ir jānomaina pret citiem, kuri savā darbībā izmanto elektrisko enerģiju. Galvenie pārbūvei nepieciešamie mezgli ir šādi:

- elektromotors;
- strāvas invertors un motora vadības modulis;
- jaudas baterija;
- jaudas baterijas lādētājs;
- informējošā iekārta;
- bremžu vakuumsūkņi;
- salona apsildes krāsnīša;
- dzesēšanas sūkņi;
- jaudas kabeļi.

Pašlaik komerciāli pieejamie, lielo autoražotāju rūpnieciski sērijveidā ražotie elektrospēkrati ir veidoti, izmantojot konstruktīvos risinājumus un daudzus mezglus no spēkratiem ar iekšdedzes motoru. Kā piemēru var minēt *Nissan LEAF*, *Tesla Model S*, *Ford Focus Electric*, *Renault Fluence* un *Honda Fit EV*. Parasti šādiem spēkratiem ir īpaši veidota transmisija, kas satur vienkāršu reduktoru, tādējādi samazinot masu un mehāniskos zudumus.

Pasažieru salona klimata uzturēšanas iekārta tiek veidota, izmantojot īpaši izstrādātus mezglus, piemēram, elektrisku sildierīci un kondicioniera kompresoru ar elektrisko piedziņu. Būtisks elements ir telemātikas un navigācijas iekārta, kas palīdz sastādīt optimālu maršrutu, ņemot vērā nepieciešamos un pieejamos uzlādes punktus. Šādi rūpnieciski ražoto sērijveida elektropēkratu mezglu iegāde ir apgrūtināta, jo tiem parasti tiek piemērota rezerves daļu cenu politika, kas var nebūt saistīta ar ražošanas izmaksām un to cena var būt pārsteidzoši augsta. Īpaši izstrādāto mezglu izmantošana ārpus oriģinālās vides var būt apgrūtināta, jo parasti tiek izmantoti nestandarta vadības signāli.

Sērijveidā pārbūvētie elektropēkrati konstruktīvi ir vēl tuvāki saviem līdziniekiem ar iekšdedzes motoru. Tradicionāli tiek saglabāta oriģinālā pārnesumu kārba, salona apsildei tiek uzstādīta autonomā degvielas krāsniņa. Šādus spēkratus piedāvā kompānijas *German E-Cars*, *E-Wolf*, *Micro-Vett SpA* un citas.

Iespējamos pārbūvei nepieciešamo mezglu piegādātāju veidus Eiropā var iedalīt četrās grupās:

- nelieli specializēti atsevišķu mezglu ražošanas uzņēmumi (piemēram, *Aradex*);
- specializētu sistēmu ražošanas uzņēmumi (piemēram, *Brusa*);
- ar vietējiem ražotājiem saistīti tirdzniecības uzņēmumi (piemēram, *Electro Vehicles Europe*);
- ārpus Eiropas Savienības esoši tirdzniecības uzņēmumi.

Turpmāk aplūkotās katras nosacītās grupas piegādātāju priekšrocības un trūkumi.

Iegādājoties pārbūvei nepieciešamos mezglus nelielā specializētā uzņēmumā, var rēķināties ar individuālu attieksmi un speciāli pielāgotu un optimizētu dizainu. Tā, piemēram, vācu kompānija *Aradex* sadarbības sākumā piedāvā iegādāties izmēģinājuma prototipu. Elektromotora prototips ar pastāvīgo jaudu 70 kW maksā aptuveni 30000 EUR (skat. 4.44. att.).



4.44. att. Kompānijas **ARADEX** motors un invertors (Elektrische Antriebe und Ingeniersdienstleistungen ..., S.a.)

Kompānijas piedāvājumā ir elektromotori un to vadības moduļi. Sērijveidā ražotie mezgli tiek izstrādāti ciešā sadarbībā ar klientu. Piedāvājuma priekšrocība ir iespēja izveidot nepieciešamo komponenti, ievērojot nepieciešamos parametrus. Produktu cenu robežas lielā mērā ir atkarīgas no pasūtījuma apjoma. Šādas nelielas specializētas kompānijas parasti piedāvā noteiktas grupas komponentes. Netiek piedāvāts komplekss risinājums, kas sevī ietvertu pārējos pārbūvei nepieciešamos mežglus. Tie būtu jāiegādājas pie cita specializēta ražotāja un mežglu savstarpēja integrācija pārbūvējamajā automobilī jānodrošina pašam pārbūves veicējam. Komponentu iegāde no šādas kompānijas var būt izdevīga spēkratu pārbūvei vidējās sērijās. Komponentu iegāde no specializēta ražotāja ir apgrūtināta ar to, ka parasti nav pieejama pārskatāma cenu lapa, jo katrs pasūtījums tiek apkalpots individuāli, veicot sarunas un konsultācijas ar pasūtītāju. Individuālas un mazu sēriju pārbūves gadījumā labāk būtu izvēlēties citu risinājumu.

Specializētu sistēmu ražotāju piedāvājums atšķiras no iepriekš aprakstītā ar šaurāku izvēli starp jau gataviem kompleksi risinājumiem. Piemērs šādam uzņēmumam ir Šveices kompānija *Brusa* (BRUSA: Home, S.a.). Kompānijas piedāvājumā ir dažādas jaudas elektromotori, invertori un visas pārējās komponentes, kas nepieciešamas elektropēkratu ražošanai vai pārbūvei. Atšķirībā no šauras specializācijas ražotāja, sistēmu ražotājs piedāvā elektromotorus kopā ar īpaši izveidotiem reduktoriem, kabeļus, integrētas elektromotoru un invertoru dzesēšanas sistēmas, bremžu sistēmas, jaudas bateriju moduļus, uzlādes iekārtas, strāvas sadalītājus un elektropēkratu vadības moduļus, kas ļauj vadīt un diagnosticēt visu integrēto sistēmu darbību. Iespējams, daudzu piedāvāto komponentu ražotājs šajā gadījumā ir cits uzņēmums, nevis pats sistēmu ražotājs. Sistēmu ražotājs ir veicis komponentu atlasu un savstarpēju savietošānu, tādējādi atvieglojot darbu spēkratu ražotājam vai pārbūves veicējam. Tā piemēram, autoražotājs *Volvo* mazās sērijās piedāvā elektropēkratus *Volvo C30 Electric*, kura jaudas sistēmu piegādātājs ir kompānija *Brusa* (skat. 4.45. att.).



4.45. att. *Volvo C30* elektromotors ar reduktoru (BRUSA: Home, S.a.)

Līdzīgi, kā iepriekšējās piegādātāju grupas gadījumā, šādi augsta līmeņa sistēmu ražotāji nepublicē cenu piedāvājumu un nepiedāvā tūlītēju produktu pārdošanu. Tā vietā iespējamais klients tiek aicināts uz pārrunām, kuru

rezultātā tiek sagatavots individuāls produkts par īpaši pieskaņotu cenu. Sistēmu ražotāja priekšrocības salīdzinot ar atsevišķu mezglu ražotāju ir jau gatavu un kompleksu risinājumu piedāvājums, kas var ievērojami paātrināt pasūtījuma izpildi un atvieglot spēkratu pārbūvi. Tomēr individuāli veiktas pārbūves gadījumā šķērslis varētu būt augstās izmaksas un nepieciešamība pēc īpašām konsultācijām ar sistēmu ražotāja pārstāvjiem.

Trešās grupas pārstāvji piedāvā iegādāties atsevišķas komponentes un jau sagatavotus komplektus spēkratu pārbūvei. Uzņēmumi paši nav komponentu ražotāji, kaut arī dažkārt šo faktu neuzsver un rada priekšstatu par sevi kā ražošanas uzņēmumu. Piedāvātās komponentes var būt gan īpaši elektrospēkratiem ražoti mezgli, gan arī industriālie elektromotori un to vadības moduļi. Cenas parasti ir skaidri definētas un iegāde organizēta pēc tiešsaistes veikala principa. Veicot pasūtījumu un apmaksu, pārdevējs organizē piegādi uz pasūtītāja norādīto adresi. Pārbūvei nepieciešamo mezglu tehnoloģiskais un cenu līmenis var būt ievērojami zemāks nekā iepriekš apskatīto mezglu un sistēmu ražotāju piedāvājumā. Kaut arī daudzu piedāvājumā esošo mezglu un komponentu izcelsmes valsts var atrasties Āzijas reģionā, tirdzniecības pārstāvji ir nokārtojuši formalitātes un muitas maksājumus, kas saistīti ar preču importēšanu Eiropas Savienībā. Piedāvājums ir īpaši orientēts uz individuālās pārbūves veicējiem. Kā piemērus šādiem tirdzniecības uzņēmumiem var minēt Itālijas kompāniju *Electro Vehicles Europe* un Čehijas kompāniju *EV-Power* (*EV-Power ...*, 2003).

Tā kā tirdzniecības uzņēmumu pārstāvjiem var nebūt tik augsts tehniskās kompetences līmenis, pircējam ir jāreķinās ar iespēju, ka produkta dokumentācija būs nepilnīga, un konsultāciju iespējas ierobežotas. Tāpat var rasties grūtības ar produktu sertifikātu piegādi, kas ir nepieciešami pārbūvēto spēkratu reģistrācijai ielu satiksmei. Jāņem vērā arī zināmie riski, kas saistīti ar preču iegādi tiešsaistē. Spēkratu pārbūvei nepieciešamo mezglu izmaksas ir salīdzinoši augstas, un konstatējot produkta neatbilstību vai dokumentācijas trūkumu pēc pirkuma un maksājuma veikšanas, ir ierobežotas iespējas labot nepilnības. Tādēļ ieteicams apmeklēt izvēlēto tirdzniecības uzņēmumu, gan veicot mezglu pasūtījumu, gan pirkuma piegādes brīdī. Pārbūvei nepieciešamo mezglu iegādes priekšrocības no Eiropas tirdzniecības uzņēmumiem ir skaidrā cenu politika, salīdzinoši zemās izmaksas un iespēja apmeklēt uzņēmumu pirms maksājuma veikšanas.

Šķietami zemākas cenas un plašāks pārbūvei nepieciešamo mezglu piedāvājums ir atrodams Ziemeļamerikas un Āzijas valstu tirdzniecības uzņēmumos. Atšķirībā no Eiropas uzņēmumiem, ir iespējams atrast arī tādus pārbūvei nepieciešamos mežglus, kuru tehniskais līmenis ir zemāks. Tiek piedāvāti industriāli līdzstrāvas motori, vienkāršoti to vadības moduļi. Izvēloties piegādi no uzņēmuma, kurš atrodas ārpus Eiropas Savienības, visticamāk, būs sarežģīti un neattaisnoti dārgi veikt klātienē apmeklējumu. Diezgan maza ir iespēja saņemt nepieciešamos sertifikātus. Saņemot komponentes, ir sagaidāmi ar ievēdmuitu un dabas resursu nodokļiem saistīti izdevumi, kas var izrādīties īpaši sarežģīti elektrisko jaudas bateriju gadījumā. Šo iemeslu dēļ izvēlēties komponentu piegādātāju ārpus Eiropas Savienības varētu velosipēda pārbūves gadījumā, taču pārbūvējot automobili, kura pārbūve ir jāreģistrē valsts reģistrā, tāda izvēle nebūtu rekomendējama.



4.46. att. Kompānijas *Canadian Electric Vehicles* piedāvātais komplekts
(Canadian Electric Vehicles Ltd., S.a.)

Apkopojot iepriekš aprakstīto par pārbūvei nepieciešamo mezglu iegādes veidiem, var izdarīt kopsavilkumu, kas parādīts 4.3. tabulā.

4.3. tabula. Dažādu iegādes veidu raksturojums

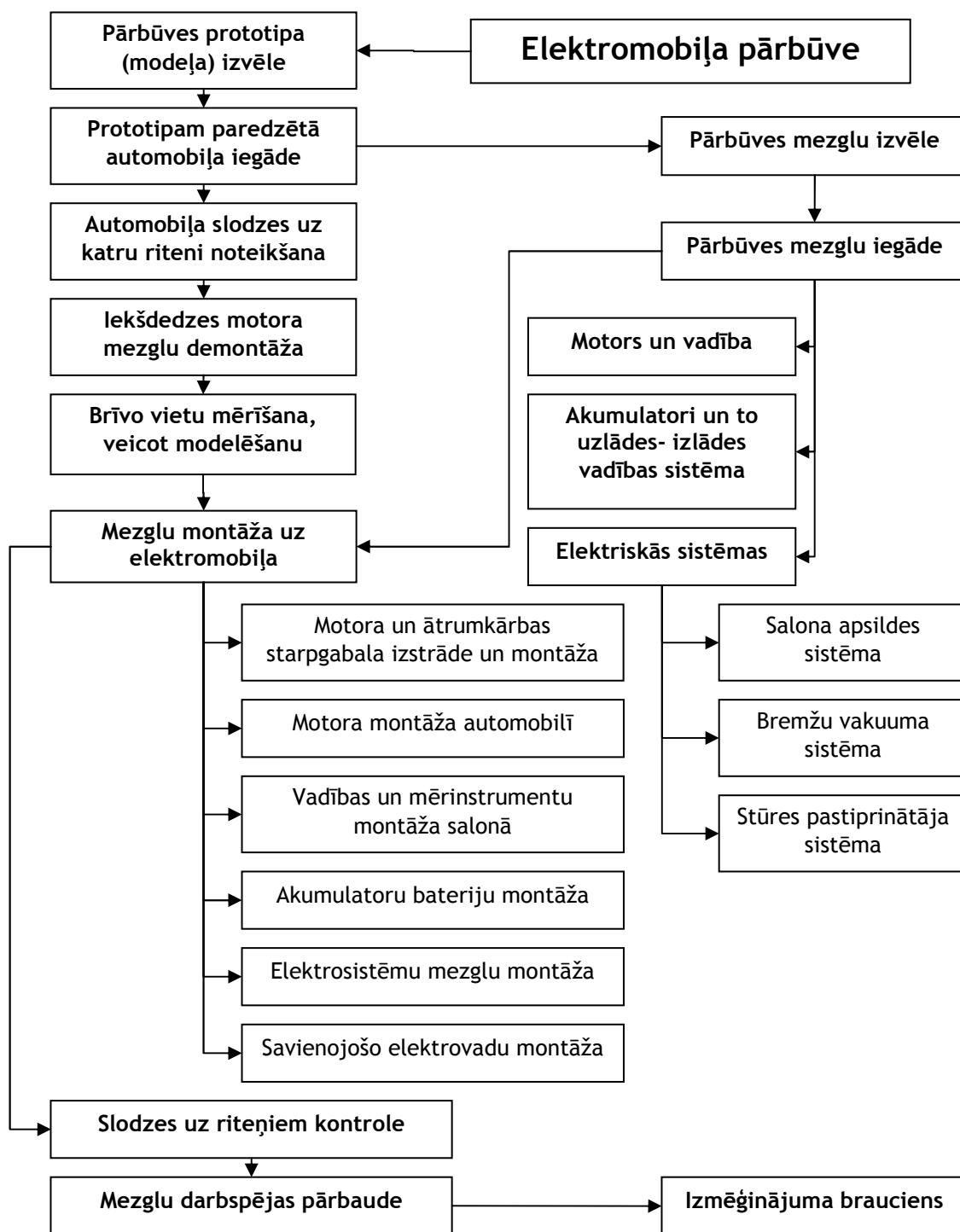
Kategorija	Mezglu ražotāji	Sistēmu ražotāji	Tirgotāji EU	Tirgotāji ārpus EU
Zemas izmaksas	Nē	Nē	Jā	Iespējams
Cenu politika	Neskaidra	Neskaidra	Skaidra	Neskaidra
Muitas formalitātes	Nē	Nē	Nē	Jā
Individuāla pieeja	Jā	Jā	Nē	Nē
Konsultācijas	Jā	Jā	Nē	Nē
Izpratne par produktu	Jā	Jā	Nē	Nē
Tehniskais līmenis	Augsts un vidējs	Augsts un vidējs	Vidējs	Vidējs un zems
Dokumentācija	Ir	Ir	Nepilnīga	Nepilnīga
CE sertifikāti	Ir	Ir	Daļēji ir	Nav

Individuāli veicot spēkratu pārbūvi par elektrospekratiem, nepieciešamo mezglu iegādei ieteicams izmantot kāda Eiropas Savienībā reģistrēta tirdzniecības uzņēmuma pakalpojumus. Kaut arī ir sagaidāmas noteiktas grūtības ar produkta tehnisko līmeni un dokumentāciju, to kompensē zemākas pārbūves izmaksas. Attīstot pārbūves biznesu un pārbūvējot spēkratus mazās un vidējās sērijās, ir vērts sadarboties ar respektablu sistēmu ražotāju, pretī saņemot savstarpēji integrētas un tehniski attīstītas elektrospekratu jaudas un kontroles sistēmas.

4.3. Elektromobiļa pārbūves soļi

Kvalitatīva elektromobiļa pārbūves izstrāde ir sarežģīts un komplicēts process, kas var ietvert vairākas savstarpēji saistītas un pakārtotas operācijas. Dažkārt bez dažām operācijām var iztikt, tomēr to neveikšana var samazināt izstrādājamā elektromobiļa kvalitāti.

Iekšdedzes motora automobiļa pārbūves vienkāršota blokshēma parādīta 4.47. attēlā.



4.47. att. Elektromobiļa pārbūves blokshēma

Pārbūves prototipa izvēlei jābūt pamatotai. Izvēle var balstīties vai nu uz to, ka pārbūves veicējam jau īpašumā atrodas automobilis, kuru ir lietderīgi pārbūvēt, piemēram, ar bojātu iekšdedzes motoru, vai arī tiek izvēlēts pārbūvei labi pielāgots iekšdedzes motora automobilis. Izvēloties automobili pārbūvei, jāpārdomā, kādas jaudas un svara motoru izmantos pārbūvei. Lai izvēlētos akumulatorus un to skaitu, jāzina motora spriegums. Jau pie pārbūves automobiļa modeļa un markas izvēles jāizpēta, kur pēc mezglu demontāžas varēs izvietot akumulatoru baterijas, lai tas būtiski nepārslogotu kādu no pārbūvētā elektromobiļa riteņiem.

Turpmāk apskatīti pārbūves soļi, par piemēru ņemot LLU Tehniskajā fakultātē pārbūvēto elektromobili *Renault Clio*.

4.3.1. Slodzes noteikšana uz pārbūvējamā elektromobiļa riteņiem

Pārbūvējamā elektromobiļa svēršanu ieteicams veikt vairākos posmos:

- sverot ar visiem ekspluatācijas šķidrumiem uzpildītu, pilnībā aprīkotu pārbūvei paredzēto automobili;
- sverot pārbūvei paredzēto automobili pēc mezglu demontāžas;
- sverot pilnībā pārbūvētu un aprīkotu elektromobili.

Eksperimentus var veikt sverot gan tukšu automobili, gan arī ar slodzi, piemēram, vadītāju un vienu pasažieri.

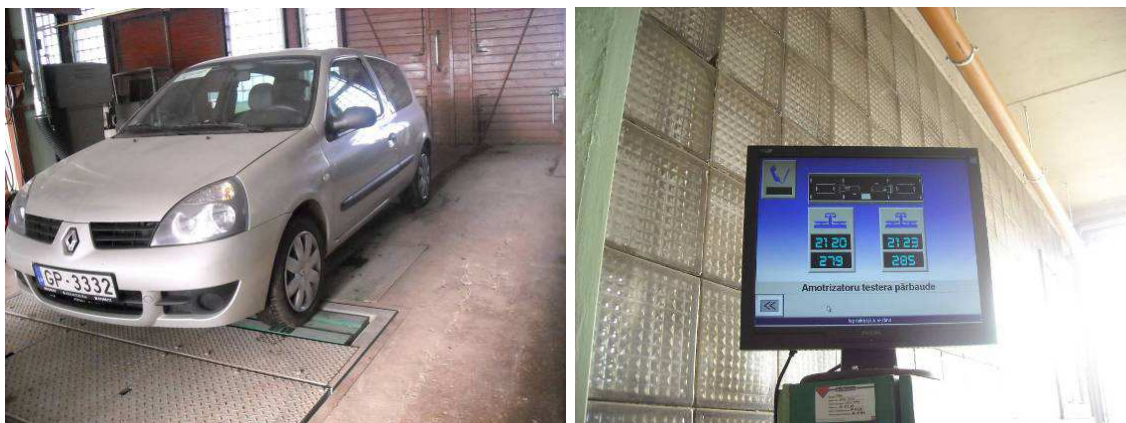
Eksperimentu veic divi cilvēki. Eksperimentam var izmantot auto svarus, Tie var būt integrēti automobiļa bremžu, amortizatoru un savirzes noteikšanas iekārtā, piemēram, *VTQ 2100*. Turpmāk analizēta mērījumu tehnoloģija.

Lai nodrošinātu pilnīgi aprīkota un ar ekspluatācijas šķidrumiem uzpildīta automobiļa svara raksturlielumus, veic automobiļa degvielas tvertnes piepildīšanu. Degviela tiek iepildīta tvertnē līdz līmenim, kad degviela parādās ielietnē. Automobili novieto uz svēršanas platformām tā, lai tas atrastos tieši centrā (skat. 4.48. att.).



4.48. att. Automobiļa novietošana uz svēršanas platformām

Ieslēdz diagnostikas iekārtu svēršanas režīmā un veic kontrolmērījumus, uzkāpjot uz katras no platformām. Novieto automobili uz svaru platformas ar priekšējiem riteņiem (skat. 4.49. att.).



4.49. att. Automobilis novietots slodzes noteikšanai uz priekšējo tiltu

No ekrāna nolasa mērījumu rādījumus (skat. 4.49. att.), piefiksējot rādījumu mērījumu protokolā. Mērījumu atkārto trīs reizes, automobili nobraucot un atkārtoti novietojot uz svāriem. Kad neslogota automobiļa svēršana pabeigta, automobili slogo ar vadītāju un priekšējo pasažieri. Eksperimentu atkārto trīs reizes. Atkārtojumus realizē, iekāpjot un izkāpjot no automobiļa trīs reizes. Datus piefiksē protokolā, bet pēc tam apkopo mērījumu tabulā. Automobili ar pakalējiem riteņiem uzbrauc uz svaru platformas (skat. 4.50. att.) un mērījumus atkārto līdzīgi kā priekšējam tiltam ar un bez slodzes.



4.50. att. Automobilis novietots slodzes noteikšanai uz pakalējiem riteņiem

Eksperimentu rezultātu paraugs parādīts 4.4. tabulā.

4.4. tabula. Automobiļa Renault Clio 1.2 Storia svēšanas rezultāti

Nr.p.k.	Bez slodzes				Ar slodzi			
	Priekšējā ass		Pakaļējā ass		Priekšējā ass		Pakaļējā ass	
	Kreisais ritenis, kg	Labais ritenis, kg	Kreisais ritenis, kg	Labais ritenis, kg	Kreisais ritenis, kg	Labais ritenis, kg	Kreisais ritenis, kg	Labais ritenis, kg
1.	278	285	172	190	311	337	202	228
2.	275	289	170	194	313	335	204	230
3.	275	289	170	190	315	335	204	228
Vidēji	276.0	287.7	170.7	191.3	313.0	335.7	203.3	228.7
Ass slodze	563.7		362.0		648.7		432.0	

Nosaka smagumcentra koordinātes, izmantojot 4.4. tabulas datus. Smagumcentra attālums no priekšējās ass aprēķināms pēc sakarības:

$$a = \frac{G_2}{G_a} L, \quad (4.37)$$

kur G_2 - pakaļējās ass slodze, kg;
 G_a - automobiļa kopējā masa, kg;
 L - automobiļa garenbāze, mm.

Smagumcentra šķerskoordināti nosaka pēc sakarības:

$$c = \frac{G_3}{G_a} B, \quad (4.38)$$

kur G_3 - labās puses riteņu slodze, kg;
 G_a - automobiļa kopējā masa, kg;
 B - automobiļa šķersbāze, mm.

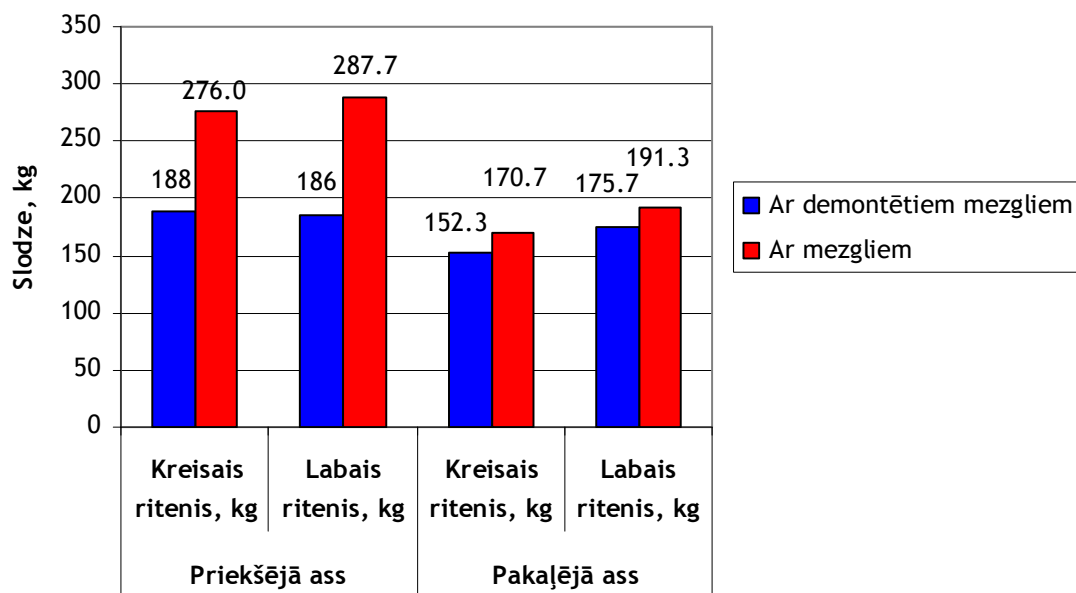
Iepriekš aprakstītās svēšanas operācijas veic arī pēc iekšdedzes motora, izpūtēja un citu mezglu demontāžas. Tādā veidā iespējams veikt optimālu pārbūvētā automobiļa izsvarojumu, pareizi novietojot akumulatorus un citus smagos elektromobiļa mezglus. Pārbūvējamā automobiļa svēšana pēc mezglu demontāžas redzama 4.51. attēlā.



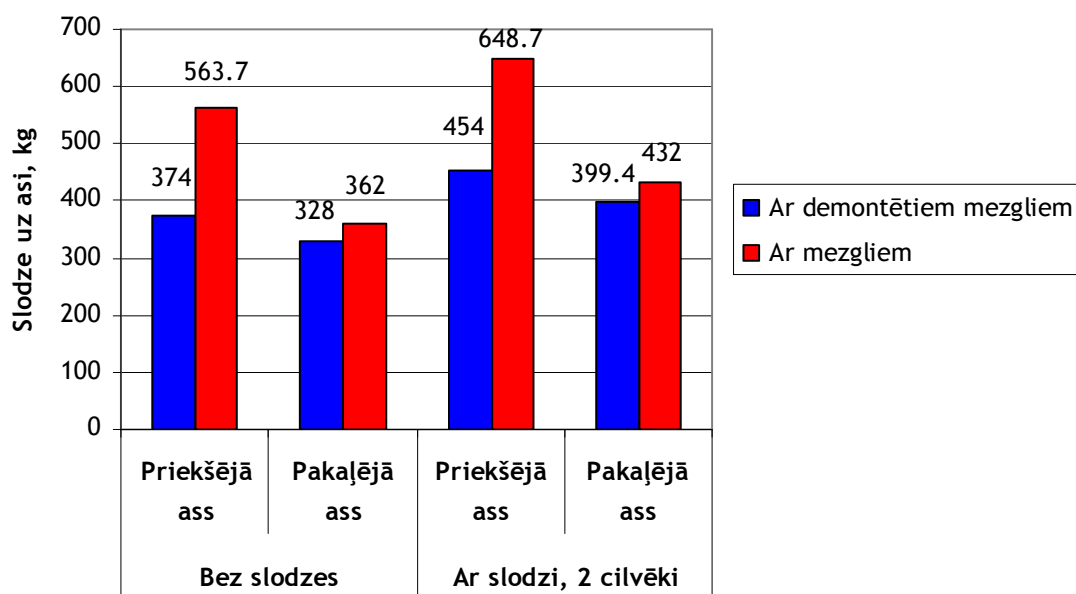
4.51. att. Automobiļa pakaļējās ass svēšana bez motora

Svēršanas rezultāti šajā gadījumā var nebūt ar augstu precizitāti sadalījumā starp asīm, jo automobiļa priekšējais tilts ir atslogots (demontēts motors un ātrumkārbā), automobilim rodas garensasvere, papildus noslogojot pakaļējo asi.

Pēc svēršanas veic datu apstrādi un datus var parādīt grafiskā formā. Grafiski analizēt var pārbūvējamo automobili pirms pārbūves, kā arī ar demontētiem iekšdedzes motora mezgliem (skat. 4.52. un 4.53. att.).



4.52. att. Riteņu noslodzes salīdzinājums neslogotam automobilim



4.53. att. Slodze uz asīm

Salīdzinot datus ar un bez iekšdedzes motora mezgliem, var spriest par to, kā veikt optimālu elektromobiļa izsvarojumu.

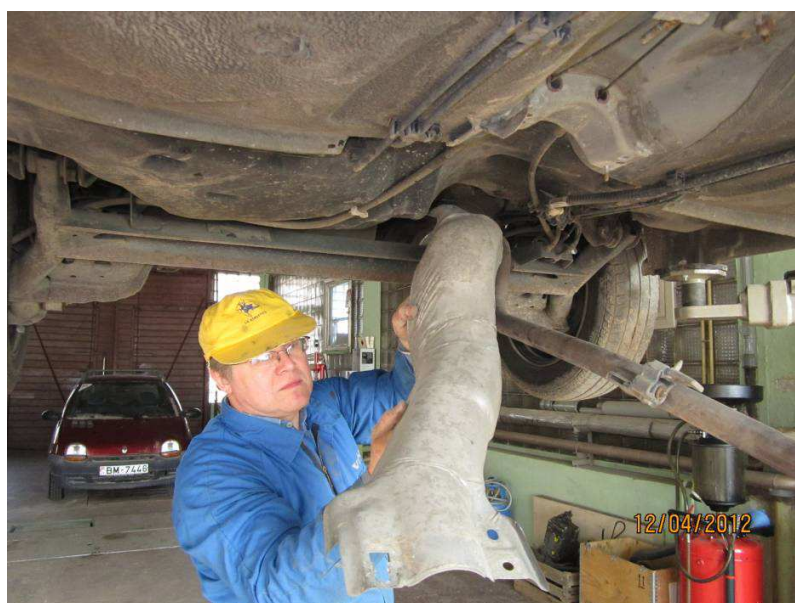
4.3.2. Pārbūvējamā automobiļa mezglu demontāža

Automobilis tiek novietots uz pacēlāja un veikta tā mezglu demontāža. Demontāžas procesā ieteicams veikt gan tiešos demontāžas darbus, gan arī vadu marķēšanu, lai atvieglotu pārbūvētā elektromobiļa elektroinstalācijas darbus. Demontāža sākas no automobiļa apakšdaļas. Sākumā tiek atskrūvēti izpūtēja stiprinājumi un tas tiek noņemts (skat. 4.54. att.).



4.54. att. Izpūtēja pakalējās daļas demontāža

Tiek demontēti izpūtēja stiprinājuma elementi, noņemtas termo aizsargplātnes (skat. 4.55. att.). Veicot demontāžu, lietderīgi veikt mezglu šķirošanu - mezgli, kuri tiks izmantoti turpmāk, pārbūves procesā, un mezgli, kuri pārbūves procesā izmantoti netiks. Izpūtējs pieskaitāms tiem mezgliem, kuri pārbūves procesā netiks izmantoti.



4.55. att. Automobiļa izpūtēja termo aizsargu noņemšana

Pirms demontāžas no degvielas tvertnes izlej degvielu. Degvielu izsūknē caur ielietni. Ja tas nav iespējams īpašas konstrukcijas vai garās ielietnes dēļ, to var veikt caur standarta degvielas vadiem, izmantojot savienoto trauku principu vai degvielu sūknējot. Veic degvielas tvertnes demontāžu, pirms tam atvienojot visus degvielas vadus, ielietni, mērinstrumentus un sūkņa elektrovadus. Tvertnes demontāžas darbi parādīti 4.56. attēlā.



4.56. att. Degvielas tvertnes noņemšana

Atvieno transmisijas piedziņas elementus, pusasis, pārnesumu pārslēdzēju. Pusass demontāža parādīta 4.57. attēlā.



4.57. att. Pusasu demontāža

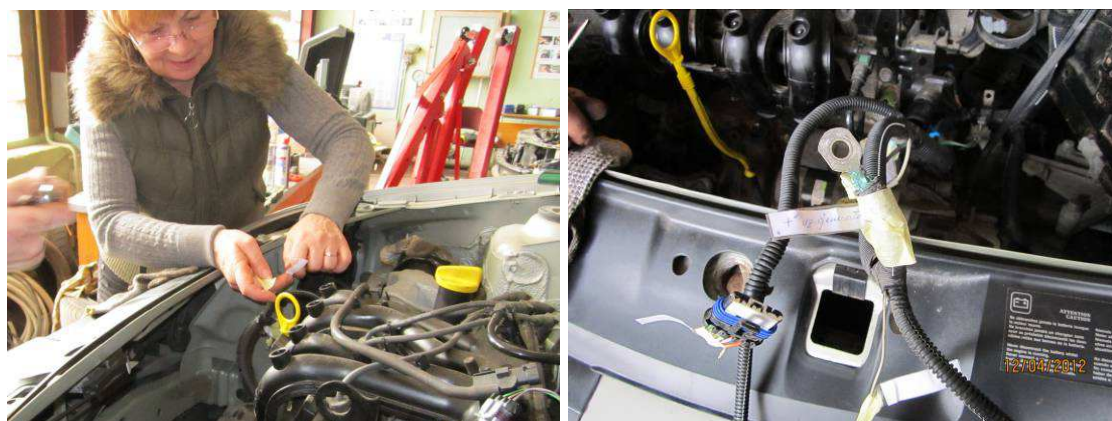
No motora izlej eļļu un dzesēšanas šķidrumu. Izlej stūres pastiprinātāja šķidrumu, ja automobilis aprīkots ar hidraulisko stūres pastiprinātāju. Atvieno dzesēšanas radiatora caurules un demontē radiatoru (skat. 4.58. att.).

Ja automobilis aprīkots ar kondicionieri, vienlaikus demontē arī kondicioniera radiatoru. Ja tiks izmantots ar elektromotoru piedzīts kondicionieris, radiatoram būs jāizstrādā jaunas konstrukcijas montāžas mezgli.



4.58. att. Radiatora demontāža

Atvieno un izņem akumulatoru bateriju. Veic visu elektroinstalācijas vadu demontāžu, tos atvienojot no motora devējiem. Veic motora vadu marķēšanu (skat. 4.59. att.). Daži no motora neizmantotajiem vadiem turpmāk var tikt izmantoti citiem mērķiem, piemēram, dažādu vadības slēdžu vai kontrolspuldziņu pieslēgšanai. Demontē gaisa filtru un citus atsevišķi novietotos mezglus.



a)

b)

4.59. att. Vadu marķēšana:

a - vadu marķēšanas process; b - vadu marķējuma piemērs

Atskrūvē motora balstu stiprinājumu skrūves. Veic motora izcelšanu, izmantojot motora celtni (skat. 4.60. att.).



4.60. att. Motora izcelšana no automobiļa

Novieto motoru drošā vietā, nodrošinot pret apgāšanos. Pēc motora izcelšanas no automobiļa veic ātrumkārbas atdalīšanu no motora (skat. 4.61. att.).



4.61. att. Ātrumkārbas, atdalīta no motora

Tiek noņemts motora aizdedzes apstieidzes leņķa devējs un ātrumkārbas atdalīta no motora. No automobiļa demontē visus mezglus, kuri saistīti ar iekšdedzes motora darbības nodrošināšanu, piemēram, degvielas tvaiku uztvērēju (skat. 4.62. att.).



4.62. att. Degvielas tvaiku filtra demontāža

Ātrumkārbu parasti izmanto turpmākajā pārbūves procesā. Ātrumkārbā elektromobilim ne vienmēr nepieciešams atstāt visus pārnesumus, bet var izmantot tikai 2 vai 3 pārnesumus, kas vienkāršos pārnesumkārbas konstrukciju. Tomēr galīgā lēmuma pieņemšanai par konkrētu pārnesumu demontāžu nepieciešams veikt eksperimentus gaitā.

No motora tiek noskrūvēts sajūga kurvis un noņemts sajūga disks. Gadījumā, ja elektromobilim tiks izmantots arī sajūgs, kurvi un spararatu nāksies pēc iespējas atvieglot, kā arī veikt šo mezglu līdzsvarošanu. Demontēto sajūgu un sajūga kurvi var apskatīt 4.63. attēlā.



4.63. att. Sajūga kurvis, demontēts no motora

4.3.3. *Pārbūvējamā automobiļa brīvo vietu mērīšana un modelēšana*

Lai noteiktu pārbūvējamā automobiļa iespējas akumulatoru bateriju izvietošanai, tiek izmantota lietišķās modelēšanas metode. Eksperimentu pirmajā etapā tiek izmantoti putuplasta akumulatoru bateriju modeļi, lai noteiktu maksimāli iespējamo tilpumu, kādu var aizņemt akumulatoru baterijas.

Modelēšanai izmanto putuplasta loksnes ar biezumu 100, 50 un 20 mm. Ar šāda veida loksņēm var iegūt akumulatoru bateriju modeļus ar soli 10 līdz 20 mm. Sākumā automobilis tiek novietots uz pacēlāja un veikti brīvo vietu mērījumi (skat. 4.64. att.).



4.64. att. Automobiļa brīvo telpu mērījumi akumulatoru izvietošanai

Vietas, kurās tika veikta modelēšana, ir:

- degvielas tvertnes vietā;
- automobiļa bagāžas nodalījumā;
- automobiļa rezerves riteņa vietā;
- zem automobiļa bagāžas nodalījuma;
- motortelpā virs ātrumkārbas;
- motortelpas priekšējā daļā (dzesēšanas radiatora montāžas vietā).

Pirmās trīs akumulatoru izvietojumu vietas nav saistītas ar virsbūves pārbūvi. Ceturtajā gadījumā jāveic rezerves riteņa virsbūves daļas izgriešana un jaunas grīdas montāža.

Pēc brīvo telpu mērījuma veic bateriju modeļa izgatavošanu, veicot putuplasta griešanu un līmēšanu vai cita veida savstarpējo sastiprināšanu.

Pēc attiecīgā bateriju imitācijas modeļa salīmēšanas, veic tā marķējumu (skat. 4.65. att.), uz tā uzrakstot gan novietojuma vietu, gan izmērus un atzīmējot virspusi ar uzrakstu „Top”.



4.65. att. Bateriju modeļa marķēšana

Gatavos bateriju modeļu imitatorus piemēra uz pārbūvējamā elektromobiļa, lai noskaidrotu, vai tos iespējams montēt atbilstošajā vietā (skat. 4.66. un 4.67. att.).



4.66. att. Bateriju modeļa piemērīšana degvielas tvertnes vietā



4.67. att. Akumulatoru modeļa novietojums bagāžas nodalījumā

Pēc modeļu novietošanas paredzētajā telpā, pārbauda montāžas iespēju, kā arī palikušās brīvās vietas. Veic modeļa korekciju, jo mērīšanas metode dažādu virsbūves noapaļojumu dēļ nav precīza. Atsevišķos gadījumos vienam brīvajam tilpumam var izgatavot vairākus modeļus ar dažādiem iespējamajiem izmēriem. Lai veiktu korektus mērījumus un modelēšanu motortelpā, automobilī montē visus mezglus, kuri tiks izmantoti elektromobilī pēc pārbūves, piemēram, ātrumkārbu un 12 V akumulatoru bateriju (skat. 4.68. att.).



4.68. att. Pārbūvējamajā automobilī montētā ātrumkārbā un akumulators

Līdzīgi kā citos gadījumos, arī motortelpā veic izgatavoto modeļu piemērīšanu (skat. 4.69. att.).



4.69. att. *Renault Clio* motortelpas priekšējās daļas akumulatoru modelēšana

4.3.4. Pārbūvējamā automobiļa akumulatoru variantu analīze

Pēc modeļu izgatavošanas to izmērus lietderīgi apkopot tabulā. 4.5. tabulā ietverti dati par modeļu gabarītmēriem un tiem atbilstošās kapacitātes akumulatoriem, no kuriem iespējams izveidot nepieciešamā kopējā sprieguma akumulatoru bateriju. Par analīzes piemēru tiek izmantoti *Winston* tipa akumulatori ar ietilpību 40 - 200 Ah.

4.5. tabula. Akumulatoru galvenie parametri

Nr.	Kapacitāte, A h	Augstums, mm	Platums, mm	Garums, mm	Svars, kg	Cena, ASV \$	Spriegums, V
1.	40	181	46	116	1.6	58	3.2
2.	60	200	61	115	2.3	87	3.2
3.	90	215	61	143	3.1	130	3.2
4.	100	217	68	145	3.4	145	3.2
5.	160	276.4	71	182	5.8	232	3.2
6.	200	256	55.5	362	8.3	290	3.2
7.	200	276	100	183	7.7	277	3.2

Balstoties uz 4.5. tabulas datiem par akumulatoriem, kā arī modeļu izmēriem, izstrādāta 4.6. tabula, kurā apkopots iespējamais dažādu akumulatoru izvietojums.

4.6. tabula. Akumulatoru izvietojumu variantu pētījumi dažādu jaudu litija jonu akumulatoru baterijām tās izvietojot bagāžas nodalījumā

Modeļa gabarītmēri	Akumulatoru veids un novietojums	1. variants	Masa, kg	2. variants	Masa, kg
H250×540×980	Stāvus 40 Ah	4×21 = 84 gab. 4 rindās H221×464×966	134.4	8×11 = 88 gab. 8 rindās H211×506×928	140.8
	Stāvus 60 Ah	4×16 = 64 gab. 4 rindās H230×460×976	147.2	8×8 = 64 gab. 8 rindās H230×488×920	147.2
	Stāvus 90 Ah	3×16 = 48 gab. 3 rindās H245×429×976	148.8	6×8 = 48 gab. 6 rindās H245×488×858	148.8
	Stāvus 100 Ah	3×14 = 42 gab. 3 rindās H247×435×952	142.8	8×6 = 48 gab. 8 rindās H247×544×870	163.2
	Stāvus 100 Ah	3×10 = 30 gab. 3 rindās H247×435×680	102.0	-	-
	Stāvus 200 Ah	3×9 = 27 gab. 3 rindās H306×549×900	224.1	5×5 = 25 gab. 5 rindās H306×500×915	207.5
	Stāvus 200 Ah	-	-	5×4=20 gab. 5 rindās H306×500×732	166.0

4.6. tabula parādīts tikai pētījumu fragments vienai brīvajai telpai. Līdzīgu analīzi veic arī visām pārējām brīvajām telpām. 96 V motoram vienam modulim nepieciešami 30 akumulatori. Vēlamais akumulatoru izvietojums - stateniski, tomēr pieļaujams arī to gulēniskais izvietojums.

4.3.5. Pārbūvējamā automobiļa elektropatērētāju izvērtējums

Lai korekti izvēlētos transformatora jaudu sprieguma pārveidei no motoram paredzētā sprieguma uz elektromobiļa patērētāju borta spriegumu - 12 V, veic visu patērētāju jaudu apkopojumu. Apkopojumu var veikt vai nu pēc tehniskās literatūras, vai arī veicot atbilstošā mezgla demontāžu un jaudas nolasiņu (skat. 4.70. att.).



4.70. att. Pakaļējo gabarītlukturu, bremžu gaismu, pagriezienu un miglas gaismu jaudas noteikšana

4.7. tabulā redzams apkopoto datu fragments.

4.7. tabula. Elektrisko patērētāju tehniskais raksturojums

Npk.	Elektropatērētājs	Jauda, W	Skaits	Kopējā jauda, W
1.	Bremžu spuldze	21	2	42
2.	Pakaļējā gabarītspuldze	5	2	10
3.	Pakaļējais pagriezienu rādītājs	21	2	42
4.	Pakaļējais miglas lukturis	21	2	42
5.	Centrālais bremžu lukturis	0.3	12	3.6
6.	Numura apgaismojums	5	2	10
7.	Priekšējie pagriezieni	21	2	42
8.	Tuvās gaismas	55	2	110
9.	Tālās gaismas	55	2	110

Elektromobilim lietderīgi uzstādīt arī speciālos dienas gaismu diožu lukturus, lai, braucot dienā, taupītu elektroenerģiju.

4.3.6. Elektromotora un pārneseņu kārba savienošana

Viens no sarežģītākajiem un atbildīgākajiem uzdevumiem pārbūvē ir elektromotora pievienošana pie pārneseņu kārba.

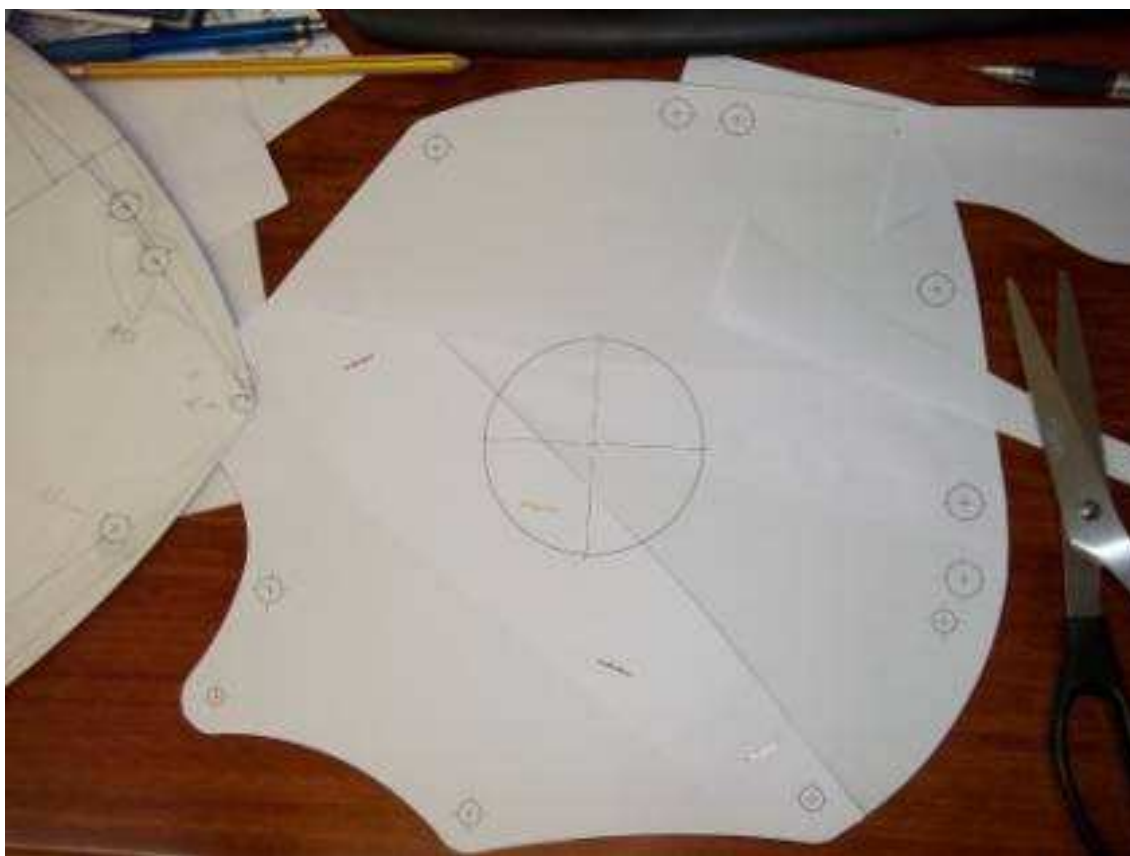
Šī darbu grupa ietver atsevišķus apakšdarbus un mezglu izstrādi:

- motora montāžas atloka vai pārejas starpgabala izgatavošanu;
- motora rotora un pārneseņu kārba savienojošā mezgla izstrādi un izgatavošanu.

Konstrukcijai var būt divi izpildījumi - ar sajūgu un bez tā.

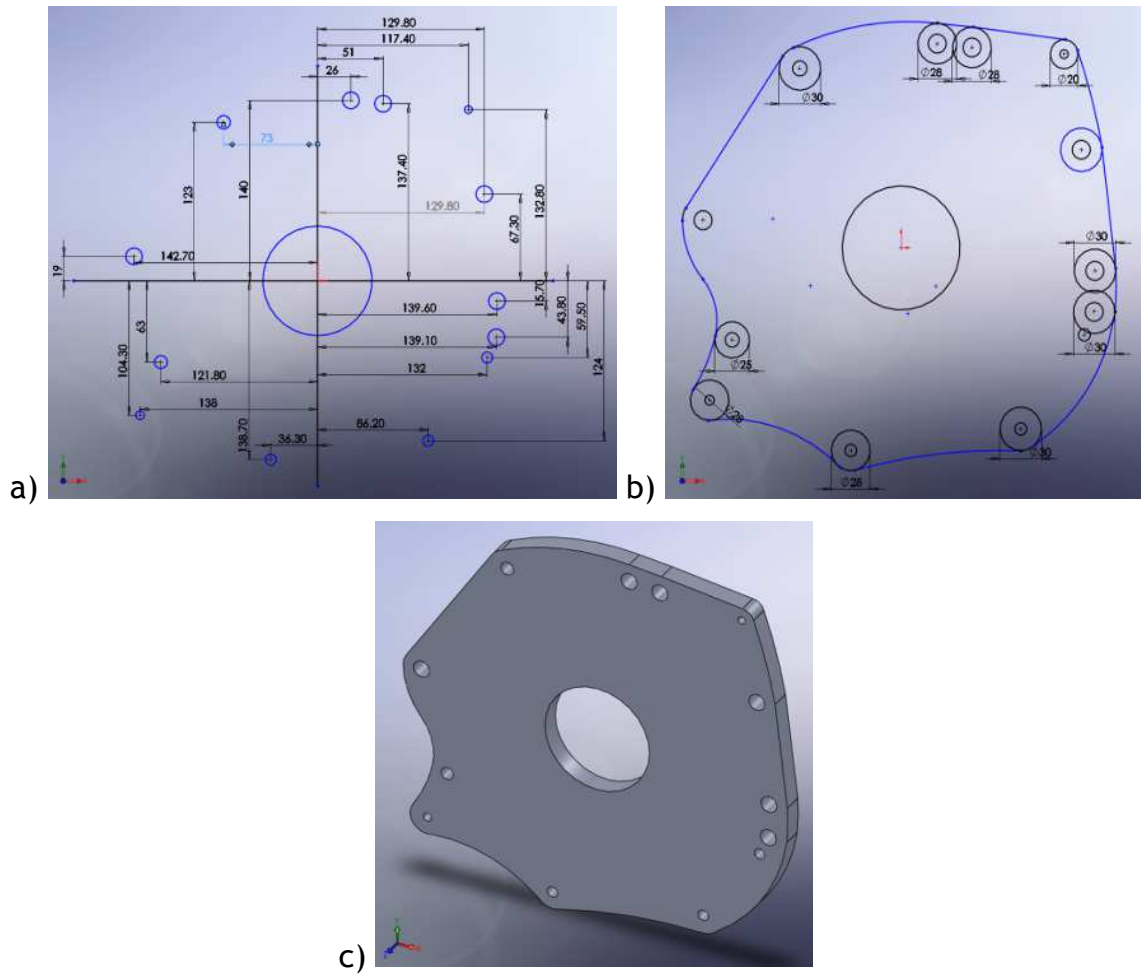
Konstrukcijā bez sajūga pārneseņu pārslēgšanu var veikt tikai apstājoties, tomēr elektromobiļa ekspluatācijā bieža pārneseņu pārslēgšana nav nepieciešama. Ja elektromotoram izgatavo jaunu atloku, tā izmēru precizēšanai var izmatot papīra modeļus, kurus izgatavo ar dažāda veida kopēšanas metodēm, piemēram, kontūras apvilšanu vai nospieduma metodi.

Atloka papīra modeļu paraugi redzami 4.71. attēlā.



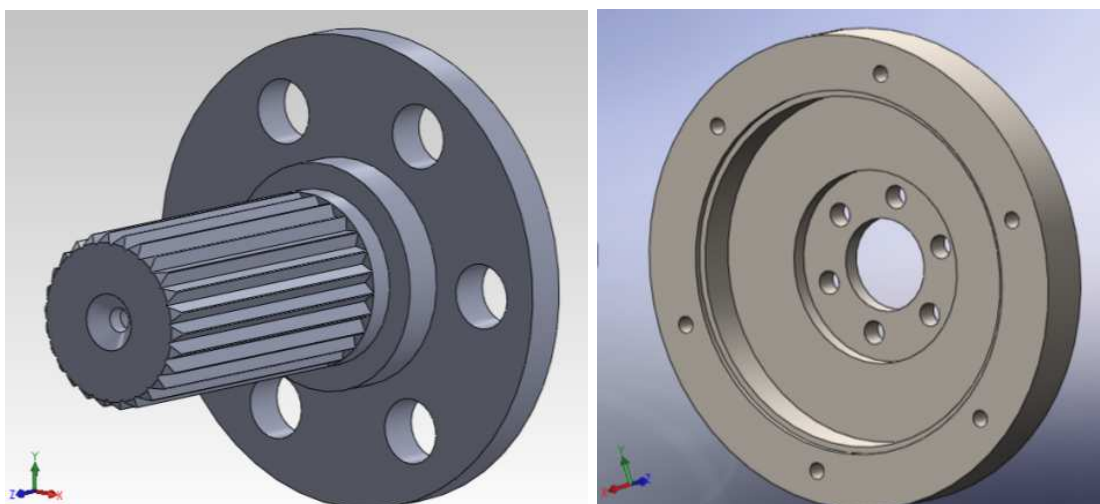
4.71. att. Elektromotora atloka papīra modelis

Pēc vairāku mērījumu un korekciju veikšanas (skat. 4.72. att.) tiek izstrādāts atloka datormodelis un to ir iespējams izgatavot, izmantojot modernās griešanas tehnoloģijas, piemēram, griešanu ar lāzeru.



4.72. att. Atloka datormodeļa izstrādes soļi: a - urbumu koordinātu noteikšana; b - kontūras izstrāde; c - atloka aksonometrijas izstrāde

Pēc atloka, motora rotora un pārnesumkārbas primārās vārpstas mezgla izstrādes veic to montāžu. Dažiem motoru un konkrēto automobiļu modeļiem savienojošie mezgli ir iegādājami arī pie motoru pārdevējiem. Daži transmisijas pārejas mezgli apskatāmi 4.73. attēlā.



4.73. att. Transmisijas mezgli motora un ātrumkārbas savienošanai

Pēc savienojošo mezglu izgatavošanas tos montē uz motora (skat. 4.74. att.). Mezgls izveidots izjaucams.

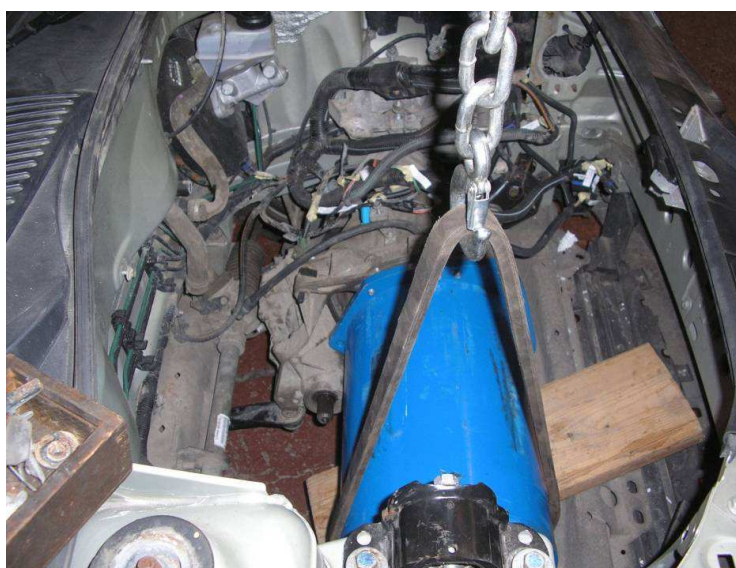


4.74. att. Elektromotors ar samontētu atloku un transmisijas pārejas mezglu

Rezultātā izgatavots elektromotora gala atloks stiprināšanai pie automobiļa pārnenumkārbas oriģinālajiem urbumiem un skrūvēm, kā arī izgatavots vārpstu salāgošanas mezgls ar dempferi. Par elastīgo elementu tiek izmantots standarta sajūga diska dempfers.

4.3.7. *Pārbūvējamā elektromobiļa motora montāža*

Pēc elektromotora samontēšanas ar pārnenumkārbu to var pārvietot uz automobiļa motortelpu, lai varētu izstrādāt nepieciešamo motora balstu formu un izmērus. Divi motora balsti konkrētajā pārbūves gadījumā ir bez izmaiņām, jo tie montējas uz standarta ātrumkārbas. Montāžu veic ar motora celtni (skat. 4.75. att.).



4.75. att. Elektromotora nostiprināšana

Pēc esošo atbalsta punktu nostiprināšanas veikta elektromotora līmeņošana, lai to nostatītu vajadzīgajā vietā un būtu iespējams nomērīt trūkstošā, trešā balsta izgatavošanai paredzētos izmērus.

Šī balsta izmēru precizēšanai izgatavo papīra modeli, pēc kura izgatavo metāla analogu. Kronšteina grafiskais attēls un tā montāža elektromobilī redzama 4.76. attēlā.



4.76. att. Motora labās puses balsta skice un tā montāža elektromobilī

Balsts izgatavots no melnā metāla (marka S355JR) 6 mm biezumā un tā sānos izveidotas stiprības ribas. Ribas pie balsta piemetinātas.

4.3.8. Elektromobiļa apkures, bremžu sistēmas, vadības bloku un akumulatoru montāža

Viens no būtiskiem pārbūves soļiem ir vadības mezglu izvietošana elektromobiļa salonā. Tā kā *Renault Clio* salona paneli ir ar liektu formu, vadības mezglu stiprināšana ir apgrūtināša.

Salonā jāizvieto šādas ierīces:

- motora vadības modulis ar displeju;
- avārijas akumulatoru slodzes vada slēdzis;
- strāvas stipruma mērītājs;
- akumulatoru atlikušās kapacitātes mērītājs;
- iekšdedzes salona apsildes sistēmas vadības modulis ar ekrānu;
- elektriskās salona apsildes sistēmas slēdzis.

Visi mezgli izvietoti automobiļa salonā. Mezglu izvietošanai ņemts vērā arī ergonomiskums - vadības slēdžu darbināšanas ērtums un displeju pārredzamība.

Viens no piemēriem motora vadības displeja izvietošanai priekšējā paneļa vidusdaļā apskatāms 4.77. attēlā.



4.77. att. Motora vadības displeja iespējamais izvietojums

Papildus panelis tiek izveidots arī elektromobiļa bioetanolā iekšdedzes krāsniņas vadībai, salona drošības masas slēdzim, ampēmetram un akumulatoru atlikušās kapacitātes mērītājam (skat. 4.78. att.).



4.78. att. Panelis papildus vadības un kontroles mezglu izvietošanai prototipa modelēšanas stadijā

Izstrādātā konstrukcija ir ergonomiska gan no kontroliekārtu nolasišanas viedokļa, gan arī no masas slēdža ērtas izslēgšanas viedokļa.

Mezgliem, kuri stiprināmi elektromobiļa motortelpā un kuri konstruktīvi veidoti tā, ka netiek pilnībā aizsargāti no apkārtējās vides iedarbības, tiek izgatavota atsevišķa montāžas kārbā. Šajā kārbā izvietots galvenais elektromagnētiskais kontaktors, kuru iedarbinās, ieslēdzot aizdedzes atslēgu, elektromotora vadības invertors, pārejas transformators 96 V - 12 V un akseleratora pedālim ar trosi pievienots potenciometrs, kurš regulēs elektromobiļa kustības ātrumu.

Mezglu montāža kārbā redzama 4.79. attēlā.

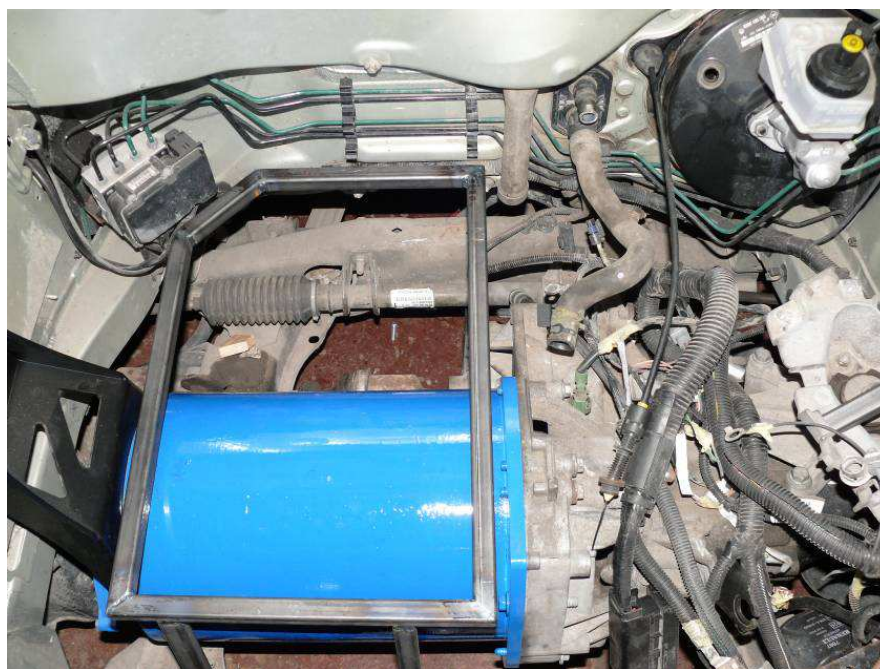


a)

b)

4.79. att. Elektrodaļas mezglu montāža kārbā:
a - kārba bez invertora; b - kārba ar samontētu invertoru

Izstrādātās konstrukcijas gadījumā invertors kalpo kā kārbas vāks. Kārbai izveidota arī papildus piespiedu dzesēšanas sistēma, kas nodrošina efektīgu attiecīgo bloku ventilāciju. Papildus var veidot arī ērti noņemamu plastmasas vai speciāla polikarbonāta vāku. Mezglu montāžas kārbu stiprina uz šim nolūkam speciāli izgatavota rāmja (skat. 4.80. att.).



4.80. att. Elektrodaļas mezglu kārbas montāžas rāmīš

Uz montāžas rāmja var stiprināt arī citus elektromobiļa mežglus. Spēkratu institūtā izstrādātajā konstrukcijā uz šī rāmja priekšējās daļas tiek stiprināta iekšdedzes bioetanola apsildes krāsniņa (skat. 4.81. att.).

Salona apsildes sistēmai tiek atstāts oriģinālais dzesēšanas sistēmas izplešanās trauks ar oriģinālo korķīti, kurš kalpo arī kā apsildes sistēmas uzpildīšanas un drošības elements ar vārstu.



4.81. att. Biotetanolā salona apsildes krāsniņa

Krāsniņas darbināšanai paredzēta neliela, 5 l bioetanolā tvertnīte (skat. 4.82. att.), kura novietota starp priekšējiem starppaneļiem zem dekoratīvajām uzlikām. Tvertnītei izveidota gaisa kompensācijas sistēma, kurā ievietots neliels ogles filtrs, lai tvaiki nonāktu apkārtējā vidē.



4.82. att. Bioetanolā tvertnīte salona apsildes sistēmai

Izstrādātajam elektromobilim tiek konstruēta arī papildus elektriskā salona apsildes sistēma, kura ieslēgta virknē ar iekšdedzes apsildes sistēmu. Šajā sistēmā tiek izmantots elektriskais 4 kW sildītājs (skat. 4.83. att.), kas aprīkots ar automātisko temperatūras režīma uzturēšanas sistēmu un šķidrumsūkni. Paredzams, ka šo apsildes mezglu izmantos līdz apkārtējās vides temperatūrai, kura nebūs zemāka par 0 °C. Blakus elektriskajam sildītājam izvietots bremžu pastiprinātāja vakuuma sistēmas resīvers (skat. 4.83. att.).



4.83. att. Elektriskais salona sildīšanas mezgls un bremžu vakuuma pastiprinātāja resīvers

Akumulatori izvietoti elektromobiļa bagāžas nodalījumā (skat. 4.84. att.). Litija dzelzs 100 Ah akumulatoru baterijas tiek komplektētas divos blokos pa 15 akumulatoriem katrā. Bloki ievietoti speciālos tērauda konstrukcijas rāmjos, kuri pieskrūvēti pie akumulatoru apakšējā rāmja. Rāmis izveidots ar speciālu fiksāciju, pieskrūvējot pie bagāžas nodalījumā grīdā montētiem balstiem. Tas ir paceļams un dod iespēju izņemt rezerves rieteni, kas atrodas standarta vietā.



4.84. att. Akumulatoru baterijas montāžas stadijā elektromobiļa bagāžas nodalījumā

Uz katra akumulatora montēts bateriju menedžmenta sistēmas kontroles bloks.

Īpaša vērība pievērsta drošībai. Pēc bateriju menedžmenta sistēmas montāžas, katru akumulatoru bloku pārklāj ar speciāla organiskā stikla vāku. Akumulatori stiprināti papildus ar speciālām šķērssijām, kuras pat automobiļa apgāšanās gadījumā akumulatorus noturēs savā vietā. 4 mm organiskā stikla pārsegs neļaus uz akumulatoriem nonākt strāvas vadītājiem, pasargājot no īsslēguma.

Savā starpā akumulatori savienoti ar 50 mm² vadu, kas tiek pārtraukts ar drošības slēdzi. Drošības slēdzis montēts speciālā kārbā starp akumulatoru moduļiem. Drošības slēdzi izslēdz pirms akumulatoru montāžas. Starp akumulatoriem izvietota lādēšanas iekārta (skat. 4.84. att.), kura nodrošina intelektuālu akumulatoru uzlādes procesu un izlīdzināšanu starp atsevišķām baterijām. Izlīdzināšanas procesu nodrošina akumulatoru menedžmenta sistēmas vadības bloks. Vadības bloks neļauj arī akumulatoru pārlietu lielu izlādes iespējamību.

Izstrādātā elektromobiļa konstrukcija eksperimentāli jāizmēģina un jāpārbauda.

4.4. Transportlīdzekļa pārbūves legalizācija

Jebkura transportlīdzekļa pārbūve tiek veikta ar kādu konkrētu mērķi. Praksē automobiļa pārbūve bieži saistīta, piemēram, ar motora maiņu pret konstruktīvi atšķirīgu motoru, vai barošanas sistēmas maiņu - gāzes iekārtas uzstādīšanu u.tml. Pēdējā laikā aktualizējas jautājums par darbībām, kas saistītas ar automobiļa pārbūvi par elektroautomobili.

Par pārbūvi tiek uzskatīta izmaiņu veikšana transportlīdzekļa konstrukcijā (transportlīdzekļa agregātu, t.sk. virsbūves, iekārtu, sistēmu, ierīču, mehānismu, mezglu, detaļu vai papildu aprīkojuma uzstādīšana, izmaiņa, nomaina vai demontāža), kuru rezultātā mainās transportlīdzekļa uzskaites tehniskie dati vai transportlīdzekļa konstruktīvie parametri.

Jebkura veida pārbūve jāizpilda atbilstoši konkrētajā valstī pastāvošai likumdošanai un normatīvajām prasībām. Latvijas Republikā visus jautājumus, kas saistīti ar transportlīdzekļu pārbūvi reglamentē Ministru kabineta noteikumi Nr.725 „Transportlīdzekļu pārbūves noteikumi”.

Atbilstoši šiem noteikumiem pieļaujамie transportlīdzekļa pārbūves veidi iedalāmi trijās kategorijās:

- **pirmās kategorijas pārbūve** - transportlīdzekļa individuālā pārbūve, kuras veikšanai nav nepieciešams izstrādāt un saskaņot transportlīdzekļa pārbūves tehnisko projektu;
- **otrās kategorijas pārbūve** - transportlīdzekļa individuālā pārbūve, kuras veikšanai ir nepieciešams izstrādāt un saskaņot transportlīdzekļa pārbūves tehnisko projektu;
- **trešās kategorijas pārbūve** - transportlīdzekļa sērijveida pārbūve, kuru veic komercsabiedrība (uzņēmējsabiedrība), kas tirgū to piedāvā kā pakalpojumu (turpmāk - pārbūves uzņēmums).

Tomēr ne visas izmaiņas, kas tiek veiktas automobiļa konstrukcijā vai aprīkojumā, tiek uzskatītas par pārbūvi. Pastāv virkne darbību, kuras iespējams veikt ar automobili un kuras netiek uzskatītas par kādu no iepriekš

minētajiem pārbūves veidiem. Piemēram, par pārbūvi netiek uzskatītas izmaiņas, kuras minētas MK noteikumu Nr. 725 4. punktā. Šajā punktā minētas tādas darbības kā motora maiņa pret tās pašas transportlīdzekļa markas un modeļa un tā paša veida motoru konkrēta izlaiduma gada automobiļiem, darbības, kas saistītas ar sēdvietu īslaicīgu demontāžu, tenta karkasa un tenta uzstādīšanu, gaisa „spoileru” uzstādīšanu u.c.

Tā kā šī pētījuma galvenā vērība tiek vērsta uz automobiļa pārbūvi par elektromobili, tad jāsaprot, kāda veida izmaiņas tiks veiktas automobilim, kas mainīsies automobiļa konstrukcijā, kādi elementi tiks uzstādīti klāt un kādi tiks demontēti. Zinot šos kritērijus, var noteikt, kādai pārbūves kategorijai atbilst iecerētās darbības.

Ar iekšdedzes motoru darbināma automobiļa pārbūve par elektroautomobili parasti ir saistīta ar būtiskām konstruktīvām izmaiņām, t.i., iekšdedzes motora aizstāšanu ar elektromotoru, papildus akumulatoru bateriju uzstādīšanu, kontrollera un citu agregātu uzstādīšanu. Līdz ar to viennozīmīgi konkrētās darbības nevar tikt uzskatītas par izmaiņām, kuras nebūtu klasificējamas kā pārbūve.

Lai saprastu pie kuras kategorijas pārbūves pieskaitāmas konkrētās darbības, turpmāk apskatīts, kāda veida darbības ietilpst zem katra pārbūves veida.

Pieļaujamās darbības pirmās kategorijas pārbūvei apkopotas 4.8. tabulā.

4.8. tabula. Pirmās kategorijas pārbūves veidi vieglajam automobilim atbilstoši pārbūves noteikumos noteiktajam

Nr. p.k.	Transportlīdzekļa tips vai veids/pārbūves veids	Vieglais pasažieru automobilis	Plašlietojuma vieglais automobilis	Speciālais vieglais automobilis
1.	Pārbūve par kravas furgonu		X	X
2.	Pielāgošana labās puses kustībai	X	X	X
3.	Pielāgošana vadītājam invalīdam/aprīkojuma demontāža	X	X	
4.	Motora maiņa pret tās pašas markas un modeļa cita veida motoru vai pret tā paša transportlīdzekļa tipa cita varianta (versijas) motoru	X	X	X
5.	Virsbūves maiņa	X	X	X
6.	Rāmja maiņa	X	X	X
7.	Jebkura pieļaujamā pārbūve sporta automobilim	X	X	

Apzīmējums X - pārbūve pieļaujama.

Kā redzams 4.8. tabulā, automobiļa pārbūvi par elektroautomobili praktiski nevar klasificēt kā pirmās kategorijas pārbūvi. Nianses varētu būt gadījumā, ja vienas konkrētas markas un modeļa automobiļi rūpnieciski jau tiek ražoti gan kā elektromobiļi, gan kā automobiļi ar iekšdedzes motoru. Tomēr praksē šādi gadījumi nav bieži sastopami.

Transportlīdzeklim pieļaujamie pārbūves veidi, kas nav minēti 4.8. tabulā, uzskatāmi par *otrās kategorijas pārbūvi*. Kā piemērus otrās kategorijas pārbūvei var minēt šādas darbības:

- benzīnmotora maiņa pret citas markas dīzeļmotoru;
- kravas kastes pārbūve par kravas kokvedēju;
- kravas furgona pārbūve par pasažieru autobusu u.c.

Līdz ar to arī minētā automobiļa pārbūve par elektroautomobili var tikt klasificēta kā otrās kategorijas pārbūve.

Savukārt, ja pirmās un otrās kategorijas pārbūvi veic sērijveidā, tā uzskatāma par *trešās kategorijas pārbūvi*.

Individuālā pārbūve vairums gadījumu tiek veikta M1 kategorijas transportlīdzekļiem, t.i., transportlīdzekļiem, kuri konstruēti un izgatavoti pasažieru pārvadāšanai un kuros papildus vadītāja sēdeklim ir ne vairāk kā astoņi sēdekļi. Līdz ar to detalizētāks pārbūves dokumentācijas apraksts tiks veikts tieši šīs kategorijas transportlīdzekļiem.

4.4.1. Otrās kategorijas pārbūve M1 kategorijas transportlīdzekļiem

Otrās kategorijas pārbūves pamatā ir automobiļa pārbūvētāja izstrādātais pārbūves tehniskais projekts. Tehniskajā projektā iekļauj šādas sadaļas:

- aprakstošo daļu, kurā ietver pārbūves nepieciešamības pamatojumu un pārbūves tehniskā risinājuma izklāstu;
- konstruktīvo daļu, kurā ietver pārbūves galveno konstruktīvo risinājumu rasējumus;
- aprēķinu daļu, kurā ietver galveno konstruktīvo risinājumu stiprības un slodzes aprēķinus;
- transportlīdzekļa tehnisko aprakstu, kurā ietver MK noteikumu Nr. 725 1. pielikumā minētos transportlīdzekļa uzskaites tehniskos datus un galvenos konstruktīvos parametrus pirms un pēc pārbūves. Pārbūves tehniskajā projektā konstruktīvo un aprēķinu daļu var neiekļaut gadījumā, ja pārbūvē izmanto izgatavotāja paredzētos mezglus un agregātus un tie tiek uzstādīti transportlīdzekļa izgatavotāja paredzētajās vietās, kā arī citos pamatotos gadījumos, to iepriekš saskaņojot CSDD.

Pārbūves tehnisko projektu pareizi būtu izstrādāt pirms pārbūves veikšanas, lai atrastu drošāko un optimālāko pārbūves tehnisko risinājumu. Veiktajiem jaunizstrādāto mezglu stiprības aprēķiniem būtu jāpamato šo mezglu atbilstība izvirzītajiem mērķiem un pielietojumam. Gadījumos, ja stiprības un slodzes aprēķinu rezultāti neatbilst izvirzītajām prasībām,

nepieciešams pārdomāt izstrādājamo mezglu konstruktīvo izveidojumu vai materiālu izvēli. Praksē pārbūves tehniskais projekts bieži vien tiek izstrādāts kopā ar pašu pārbūvi, jo katra jauna pārbūve parasti ir unikāla. To ietekmē gan paša pārbūvētāja redzējums par gala rezultātu, izmantoto komponentu un materiālu dažādība u.c. faktori.

Ideālā gadījumā pēc pārbūves tehniskā projekta izstrādes tiek pārbūvēts pats transportlīdzeklis. Pēc tam iespējams izveidot transportlīdzekļa tehnisko aprakstu. Pārbūvējot automobili par elektroautomobili, galvenās izmaiņas parasti veidojas šādos parametros: izmainās automobiļa pašmasa un pilna masa, masas sadalījums pa asīm, motora darbības princips u.c. tā parametri, var mainīties arī motora maksimālā lietderīgā jauda un griezes moments, kā arī izmantotās degvielas veids. Šīs izmaiņas tiek fiksētas transportlīdzekļa tehniskajā aprakstā (skat. 4.9. tabulu).

4.9. tabula. Transportlīdzekļa uzskaites tehniskie dati un konstruktīvie parametri

Nr. p.k.	Tipa apstiprinājumu datu bāzes kods	Nosaukums
1.	0.4.	Transportlīdzekļa kategorija
2.	0.5.	Transportlīdzekļa tips
3.	1.3.	Asu un riteņu skaits
4.	2.1.	Garenbāze, mm
5.	2.4.2.1.	Garums, mm
6.	2.4.2.2.	Platums, mm
7.	2.4.2.3.	Augstums, mm
8.	2.6.	Pašmasa, kg
9.	2.8.	Pilna masa, kg
10.	2.8.1	Pilnās masas sadalījums pa asīm, kg
11.	3.2.1.1.	Motora darbības princips
12.	3.2.1.2.	Cilindru skaits un izvietojums
13.	3.2.1.3.	Motora darba tilpums, cm ³
14.	3.2.1.7.	Motora maks. lietderīgā jauda, kW
15.	3.2.1.8.	Motora maks. lietderīgais griezes moments, Nm
16.	3.2.2.	Degvielas veids
17.	3.2.3.1.1.	Degvielas tvertņu skaits
18.	8.5.	ABS (ir/nav)
19.	9.1.	Virsbūves tips
20.	9.10.3.1.	Sēdvietu skaits
21.	11.1.	Sakabes ierīču klase un tips
22.	13.1.	Autobusa klase
23.	13.2.	Stāvvietu skaits
24.	13.3.	Pasažieru un apkalpes locekļu sēdvietu skaits
25.	13.4.	Durvju skaits pasažieru iekāpšanai/izkāpšanai

Tomēr jāseko, lai parametru izmaiņas nepārsniegtu pieļaujamos lielumus, kuri doti MK noteikumu Nr. 725 3. pielikumā. Tā, piemēram, pēc pārbūves elektroautomobiļa pilna masa nedrīkst pārsniegt transportlīdzekļa izgatavotāja noteikto tehniski pieļaujamo maksimālo masu, kā arī CSN noteiktās robežvērtības. Tā kā parasti pārbūves procesā netiek mainīta automobiļa virsbūve, tad arī pilna masa pēc pārbūves paliek nemainīga. Arī pašmasa paliek nemainīga, ja pārbūves procesā paliek nemainīgs sēdvietu skaits. Šīs un citas nianse pārbūves procesā jāņem vērā, lai pārbūve būtu legāla un atbilstoša noteikumiem.

Turklāt jāievēro, ka automobiļa noteiktu mezglu un elementu konstrukcijas izmaiņas pārbūves procesā var būt arī aizliegtas. Tā, piemēram, vieglajiem automobiļiem aizliegts veikt izmaiņas stūres iekārtas konstrukcijā (ar atsevišķiem izņēmumiem), balstiekārtas konstrukcijā, veikt izmaiņas bremžu iekārtā (ar izņēmumiem) u.c.

Otrās kategorijas pārbūves gadījumā pārbūvi var uzsākt bez iepriekšējas saskaņošanas, ja vien netiek mainīta automobiļa virsbūve.

Tomēr pirms pārbūves uzsākšanas Ceļu satiksmes drošības direkcijā nepieciešams saskaņot pārbūvētāja izstrādāto tehnisko projektu. Transportlīdzekļa pārbūvētājs saskaņošanai CSDD iesniedz pārbūves tehnisko projektu trīs eksemplāros un kvīti, kas apliecina samaksu par tehniskā projekta saskaņošanu.

Pēc pārbūves transportlīdzekļa pārbūvētājs uzrāda pārbūvēto transportlīdzekli tehniskai ekspertīzei, lai saņemtu atzinumu par pārbūvētā transportlīdzekļa atbilstību šo noteikumu prasībām. Pirms transportlīdzekļa tehniskās ekspertīzes transportlīdzekļa pārbūvētājs uzrāda transportlīdzekļa reģistrācijas apliecību, transportlīdzekļa vadītāja apliecību vai personu apliecinošu dokumentu.

Ja veikta otrās kategorijas pārbūve, transportlīdzekļa pārbūvētājs iesniedz arī CSDD saskaņoto pārbūves tehnisko projektu. Pēc dokumentu uzrādīšanas un iesniegšanas pārbūvēto transportlīdzekli pārbūvētājs nodod tehniskās kontroles inspektoram tehniskās apskates stacijā.

Transportlīdzekļa tehnisko ekspertīzi inspektors sāk ar uzskaites tehnisko datu salīdzināšanu. Pēc uzskaites tehnisko datu salīdzināšanas inspektors veic transportlīdzekļa tehnisko kontroli, lai izvērtētu tā atbilstību būtiskajām prasībām un pārbūves tehniskajam projektam.

Pēc transportlīdzekļa tehniskās kontroles inspektors noformē transportlīdzekļa tehniskās ekspertīzes aktu (atbilstoši MK noteikumu Nr. 725 6. pielikumam), kurā norāda mainītos transportlīdzekļa uzskaites tehniskos datus un galvenos konstruktīvos parametrus, un sniedz atzinumu par transportlīdzekļa atbilstību noteiktajām būtiskajām prasībām un CSDD saskaņotajam pārbūves tehniskajam projektam.

Transportlīdzekļa tehniskās ekspertīzes aktu inspektors paraksta, apliecina ar personīgo spiedogu un nodod transportlīdzekļa pārbūvētājam. Tehniskās ekspertīzes veikšanai iesniegto pārbūves tehnisko projektu uzglabā tehniskās ekspertīzes veikšanas vietā.

Ja tehniskās ekspertīzes atzinums ir pozitīvs, inspektors kopā ar tehniskās ekspertīzes aktu normatīvajos aktos par transportlīdzekļu reģistrāciju noteiktajā kārtībā izsniedz arī izziņu par transportlīdzekļa agregātu numuru salīdzināšanu.

Ja tehniskās ekspertīzes atzinums ir negatīvs, inspektors pamato lēmumu, tehniskās ekspertīzes aktā norāda tā iemeslu un sniedz skaidrojumu par konstatētajiem trūkumiem.

Ja transportlīdzekļa tehniskās ekspertīzes laikā inspektors ir konstatējis neatbilstību šo noteikumu prasībām, transportlīdzekļa pārbūvētājs to novērš un atkārtoti nodod transportlīdzekli tehniskās ekspertīzes veikšanai.

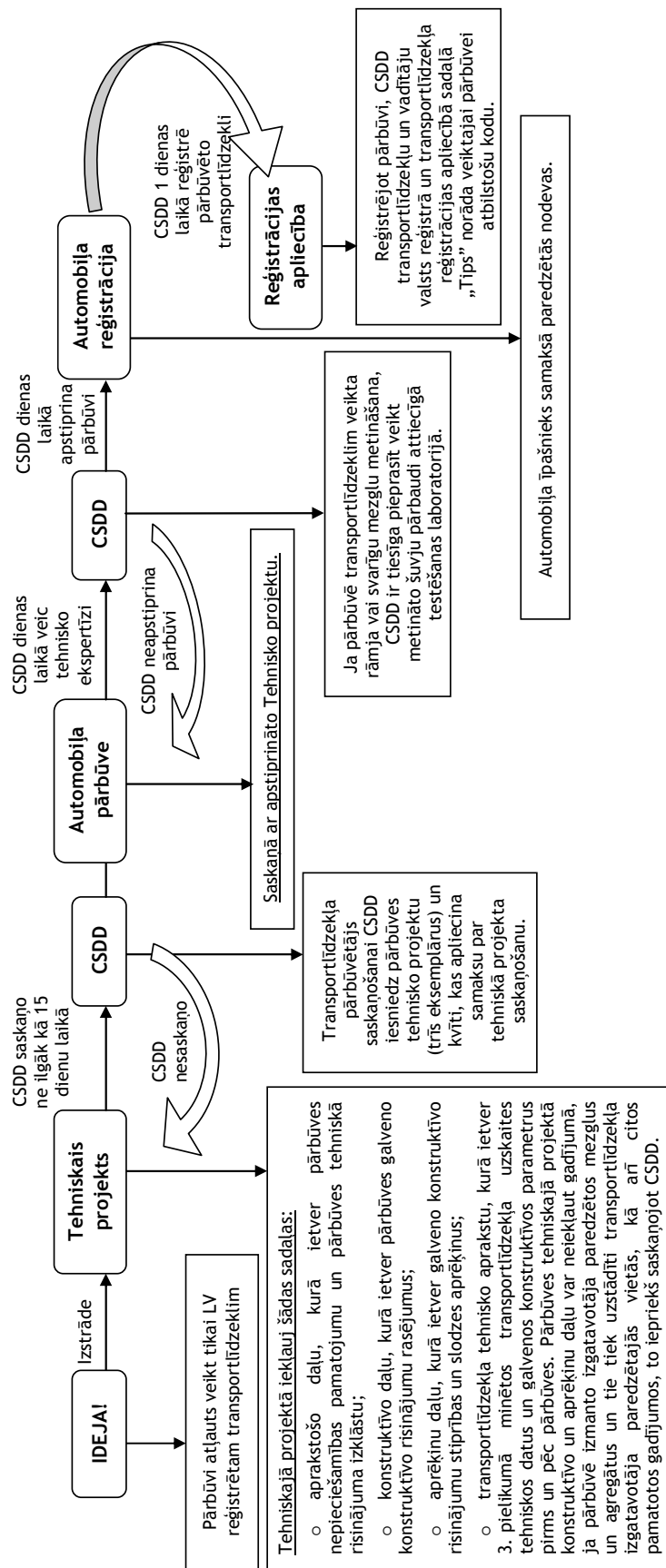
Ja transportlīdzekļa tehniskās ekspertīzes laikā inspektors konstatē atkāpes no pārbūves tehniskā projekta, transportlīdzekļa pārbūvētājs tās novērš vai izdara attiecīgas izmaiņas pārbūves tehniskajā projektā, saskaņo tās CSDD un atkārtoti nodod transportlīdzekli tehniskās ekspertīzes veikšanai.

Pēc tehniskās ekspertīzes pozitīva atzinuma saņemšanas, transportlīdzekļa īpašnieks veikto pārbūvi ne vēlāk kā piecu dienu laikā reģistrē Ceļu satiksmes drošības direkcijā. Reģistrējot pārbūvi CSDD transportlīdzekļu un vadītāju valsts reģistrā un transportlīdzekļa reģistrācijas apliecībā sadaļā „Tips” norāda veiktajai pārbūvei atbilstošo kodu (atbilstoši MK noteikumu Nr. 725 4. pielikumam).

Iepriekš aprakstītā pārbūves ieviešanas shēma redzama 4.85. attēlā, bet pārbūves saskaņošanas izcenojumi doti 4.10. tabulā.

4.10. tabula. Transportlīdzekļu pārbūves saskaņošanas cenas uz 01.12.2013

Pozīcija	Izmaksas ar PVN, LVL
Kopējās izmaksas, ja tiek veikta 2. kategorijas pārbūve:	
Transportlīdzekļa pārbūves tehniskā projekta saskaņošana	10.00
Atzinums par pārbūvēta transportlīdzekļa atbilstību ceļu satiksmes drošības un tehnisko normatīvu prasībām pēc to 2. kategorijas pārbūves	2.40
Transportlīdzekļa tehniskā ekspertīze pēc to 2. kategorijas pārbūves	38.67
Transportlīdzekļa reģistrācijas apliecības datu ierakstīšanas reģistrā un reģistrācijas apliecības izsniegšana	3.23
Transportlīdzekļa reģistrācijas apliecība ar hologrāfisko pretviltošanas pārklājumu	5.44
Kopā	59.74



4.85. att. Automobiļa pārbūves par elektroautomobili ieviešanas vispārīgā shēma

4.4.2. Trešās kategorijas pārbūve M1 kategorijas transportlīdzekļiem

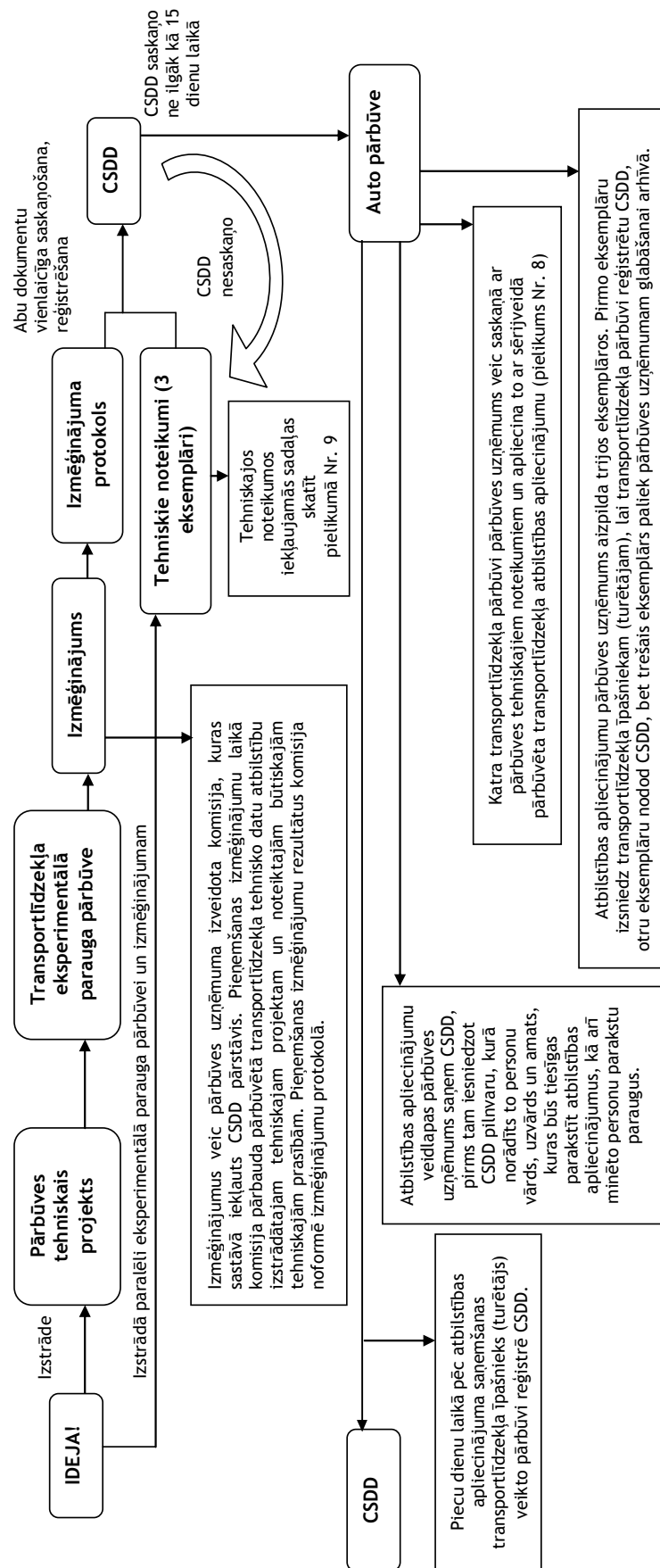
Par trešās kategorijas pārbūvi uzskata tādu pārbūvi, kas paredzēta veikt sērijveidā. Šo pārbūvi veic komercsabiedrība jeb uzņēmums, un tās mērķis ir šo pakalpojumu piedāvāt tirgū. Atšķirībā no pirmās un otrās kategorijas pārbūves šajā gadījumā pirms sērijveida pārbūves uzsākšanas tiek izstrādāti, saskaņoti un reģistrēti transportlīdzekļa pārbūves tehniskie noteikumi.

Pirms šo noteikumu izstrādāšanas, līdzīgi kā otrās kategorijas pārbūves gadījumā, pārbūves uzņēmums izstrādā pārbūves tehnisko projektu, veic transportlīdzekļa eksperimentālā parauga pārbūvi un izmēģinājumus. Izmēģinājumus veic pārbūves uzņēmuma izveidota komisija, kuras sastāvā iekļauts CSDD pārstāvis. Pieņemšanas izmēģinājumu laikā komisija pārbauda pārbūvētā transportlīdzekļa tehnisko datu atbilstību izstrādātajam tehniskajam projektam un šo noteikumu 3. pielikumā noteiktajām būtiskajām tehniskajām prasībām. Pieņemšanas izmēģinājumu rezultātus komisija noformē izmēģinājumu protokolā.

Transportlīdzekļa pārbūves tehniskajos noteikumos tiek iekļautas šādas sadaļas:

- „Ievads”. Sadaļā ietver transportlīdzekļa pārbūves nepieciešamības skaidrojumu;
- „Tehniskās prasības”. Sadaļā norāda pārbūves, ekspluatācijas un kvalitātes raksturojumus šādās apakšsadaļās:
 - „Pamatparametri un izmēri”. Apakšsadaļā norāda pārbūves galvenos parametrus, gabarītu un montāžas izmērus vai sniedz atsauci uz pārbūves konstruktoru izstrādāto dokumentāciju,
 - „Raksturojumi”. Apakšsadaļā norāda galveno ekspluatācijas parametru rakturlielumus,
 - „Komplektācija”. Apakšsadaļā ietver komplektējošo daļu un dokumentu uzskaitījumu,
 - „Marķēšana”. Apakšsadaļā norāda transportlīdzekļu marķēšanas nosacījumus atbilstoši valsts standarta LVS 88 „Transportlīdzekļu marķēšana” prasībām;
- „Pieņemšanas noteikumi”. Sadaļā norāda pārbūves uzņēmuma tehniskās kontroles dienesta veiktās pārbūves kontroles kārtību un nosacījumus;
- „Kontroles metodes”. Norāda sadaļā „Tehniskie noteikumi” minēto parametru, izmēru, raksturojumu un normu kontroles metodes un kontroles mērinstrumentus;
- „Ekspluatācijas noteikumi”. Sadaļā norāda ekspluatācijas nosacījumus, tehniskās apkopes periodiskumu un materiālus;
- „Pārbūves uzņēmuma garantijas”. Sadaļā norāda pārbūves uzņēmuma garantijas nosacījumus.

Trešās kategorijas pārbūves darbības procesa principiālā shēma dota 4.86. attēlā.



4.86. att. Transportlīdzekļa sērijevaidā pārbaudes darbību principiālā shēma

Kad pārbūves uzņēmums ir izstrādājis pārbūves tehniskos noteikumus, tos kopā ar pārbūvētā transportlīdzekļa pieņemšanas izmēģinājumu protokolu nepieciešams iesniegt CSDD. CSDD izvērtē iesniegtos pārbūves tehniskos noteikumus, pārliecinās, vai pārbūves uzņēmums ir gatavs veikt nepieciešamos pasākumus un procedūras, lai nodrošinātu efektīvu pārbūves procesā esošo transportlīdzekļu atbilstības kontroli pārbūves tehnisko noteikumu prasībām. Lēmumu par pārbūves tehnisko noteikumu saskaņošanu vai saskaņošanas atteikumu CSDD pieņem 15 dienu laikā.

Katra transportlīdzekļa pārbūvi pārbūves uzņēmums veic saskaņā ar pārbūves tehniskajiem noteikumiem un apliecina to ar sērijveidā pārbūvēta transportlīdzekļa atbilstības apliecinājumu (skat. 4.87. att.)

1. pielikums. Transportlīdzekļu veidā pārbūvēti 5 dienā izstrādātie CSDD

SĒRIJVEIDĀ PĀRBŪVĒTA TRANSPORTLĪDZEKĻA ATBILSTĪBAS APLIECINĀJUMS

006001

Es, apakšā parakstījis uzņēmuma _____ nosaukums _____ pārstāvis, apliecinu,

ka transportlīdzeklim _____ marka _____ modeļa _____ variācija, Nr. _____

transportlīdzekļa identifikācijas numurs _____

veikta pārbūve _____ pārbūves kods _____

saskaņā ar pārbūves tehniskajiem noteikumiem Nr. TN _____

Transportlīdzekļa pārbūves rezultātā izmainītie uzskaites tehniskie dati _____

Apliecinājuma izdevējs _____ vārds, uzvārds _____

Z. V. _____

_____ gads, datums, mēnesis _____ paraksts _____

4.87. att. Sērijveidā pārbūvēta transportlīdzekļa atbilstības apliecinājuma veidlapas paraugs

4.4.3. Transportlīdzekļa atbilstības novērtēšana

Automobiļa ar iekšdedzes motoru pārbūve par elektroautomobili ir komplicēts process, kas prasa lielāku vai mazāku iejaukšanos automobiļa konstrukcijā. Daudzas automobiļa komponentes tiek aizstātas ar citām rūpnieciski ražotām komponentēm, savukārt dažas detaļas var tikt izgatavotas no jauna. Lai spētu garantēt pārbūvējamā automobiļa tehniskā stāvokļa atbilstību pastāvošajām normām un prasībām, nepieciešams veikt jaunizveidoto mezglu un konstrukciju atbilstības novērtēšanu un sertifikāciju.

Tā kā līdz 01.11.2013 Latvijā nav veikta neviena pārbūvēta automobiļa par elektroautomobili pirmreizējā reģistrācija ar šim procesam saistīto

tehnisko atbilstības novērtēšanu, tad kārtība, ko un kā veikt, nav detalizēti izstrādāta un aprakstīta normatīvajos dokumentos.

Šis process jāsakārto Latvijas likumdošanā, bez tam nepieciešams veikt arī līdzšinējo normatīvo dokumentu pārskatīšanu un, ja nepieciešams, korigēšanu. Pastāvošajos normatīvajos dokumentos pastāv atsevišķi punkti, kas uz doto brīdi jau pēc būtības padara neiespējamu legālu automobiļa pārbūvi par elektroautomobili. Piemēram MK noteikumos Nr. 725 „Transportlīdzekļu pārbūves noteikumi” 9.7. punktā teikts, ka pie aizliegtiem pārbūves veidiem pieder izmaiņu veikšana bremžu iekārtā (izņemot tās pašas markas cita modeļa bremžu vakuuma pastiprinātāja uzstādīšanu kopā ar galveno bremžu cilindru, ja pēc šādas pārbūves tiek nodrošināta bremžu iekārtas atbilstoša darbība). Automobiļa pārbūves par elektroautomobili gadījumā šādu punktu bieži vien praktiski nav iespējams īstenot, jo daudziem automobiļiem ar iekšdedzes motoru retinājums bremžu vakuumpastiprinātāja darbināšanai tiek realizēts no iekšdedzes motora ieplūdes kolektora. Elektroautomobiļa gadījumā nepieciešams uzstādīt atsevišķu bremžu vakuumsūkni. Šīs un daudzas citas nianse pašlaik apgrūtina un praktiski padara neiespējamu automobiļa legālu pārbūvi.

Savukārt pārbūves procesā uzstādot dažādas komponentes, kuras nav pārbaudījis un apstiprinājis automobiļa ražotājs vai cita kompetenta iestāde, pastāv draudi, ka tiks ietekmēta satiksmes drošība.

Lai rastu risinājumu minētajām problēmām, nepieciešams izanalizēt visus saistošos jautājumus, izstrādāt un, ja nepieciešams, koriģēt normatīvos dokumentus Latvijas likumdošanā, kas potenciālajiem automobiļa pārbūvētājiem dotu norādījumus, kādus mezglus un detaļas drīkst uzstādīt, vai tiem ir jābūt marķētiem vai sertificētiem, kurā pārbūves procesa posmā tiek veikta šo mezglu atbilstības novērtēšana utt.

Detalizētāku problēmu risinājumu skaidrojumu būs iespējams iegūt pēc pirmā pārbūvētā elektroautomobiļa pārbūves reģistrācijas mēģinājuma.

5. REĢENERATĪVĀ BREMZĒŠANA UN SAULES ENERĢIJA KĀ PAPILDUS ELEKTROMOBIĻA BAROŠANAS AVOTS

Pievienojot saules enerģijas iegūšanas sistēmu elektromobiļa barošanas sistēmai tiek iegūtas šādas tehnoloģiskas priekšrocības:

- tiek samazināta iespēja baterijām tikt pilnībā izlādētām;
- bateriju uzlāde brauciena laikā palielina bateriju kalpošanas laiku. Tā kā elektromobiļa ekspluatācijas laikā bateriju izlāde var sasniegt 80%, saglabājot izlādi 80-50% robežās, ir iespējams palielināt akumulatoru kalpošanas laiku;
- līdz pat 30% tiek pagarināts elektromobiļa kopējais nobraukums ar vienu stacionāru uzlādi;
- gadījumā, ja akumulatoru baterijas ir izlādētas, elektromobili var novietot atklātā vietā saules tiešo staru ietekmē, tā nodrošinot nokļūšanu vismaz līdz tuvākajai uzlādes vietai;
- uzlādes laikā notiek bateriju temperatūras paaugstināšanās, kas liek ķīmiskajam procesam noritēt efektīvāk, un gadījumos, ja elektromobilis tiek ekspluatēts ziemas apstākļos, akumulatoru uzlāde stacionārā režīmā (elektromobilim atrodoties stāvvietā) aizkavē to sasalšanu. Pie tam liekā saules enerģija var tikt izmantota papildus akumulatoru sildīšanai.

Reģeneratīvā bremsēšana bieži tiek realizēta kā papildus elektromotoru vadības kontrolera funkcija. Reģeneratīvās bremsēšanas pamatā ir elektromotora darbināšana bremsēšanas laikā ģenerators režīmā un iegūtās enerģijas novadīšana atpakaļ uz akumulatoru. Literatūrā ir pieejami dati, ka šādi ir iespējams atgūt līdz 60% no bremsēšanas enerģijas (Wang et al., 2011).

Tika veikts eksperimentāls pētījums reālos ekspluatācijas apstākļos, lai noskaidrotu praktiskos ieguvumus reģeneratīvās bremsēšanas kontrolera un papildus saules bateriju uzstādīšanai uz elektromobiļa Latvijā dažādos gadalaikos un meteoroloģiskajos apstākļos.

5.1. Pētījuma objekts

Kā pētījumu objekts izvēlēts lēngaitas tūristu elektromobilis *Melex 966* (skat. 5.1. att.), kura tehniskie dati doti 5.1. tabulā.

Transportlīdzeklis kopš 2007. gada tiek izmantots tūristu pārvadāšanai Siguldas apkārtnē, kā arī tam ir atļauts piedalīties ceļu satiksmē.

Šim elektromobilim vidējais dienas nobraukums ar vienu uzlādi ir 35 kilometri. Transportlīdzekļa ekspluatācijas laiks ir no maija līdz oktobrim. Elektromobilis tiek izmantots pa koplietošanas ceļiem ar mainīgu reljefu. Ceļā sastopamas 1 km garas nogāzes un pacēlumi ar slīpumu līdz 12%. Ceļa segums pārsvarā ir asfaltēts, vietām tomēr nereti tiek braukts pa meža takām un ceļiem ar šķembu vai smilšu klājumu. Tā kā transportlīdzeklis tiek izmantots Gaujas Nacionālā parka teritorijā, 30% ceļa tiek nobraukti pa ar koku vainagiem pārklātām takām. Pieturas un stāvēšanas vietas pārsvarā ir klajās vietās tiešu saules staru ietekmē. Elektromobilis ir piemērots saules bateriju

izmantošanas mobilajā tehnikā pētījumiem, jo tā jumta konstrukciju iespējams aizvietot ar saules paneļiem vai tos uzstādīt uz esošā jumta.



5.1. att. Lēngaitas elektromobilis *Melex 966*

5.1. tabula. *Melex 966* tehniskie dati

Parametrs	Vērtība vai raksturojums
Izlaiduma gads	2007
Nobraukums	16 000 km
Sēdvietu skaits	6
Elektromotors	40V 3.9kW ar Sepex reģenerācijas sistēmu
Akumulatoru bateriju tips	Skābes (<i>Lead acid</i>) 8 × 6 V , 260 Ah
Garums	3540 mm
Platums	1230 mm
Svars bez baterijām	437 kg
Rāmis	Tērauda
Karkass	Plastmasas
Riepu izmērs	18.5 × 8.5-8
Jumta izmēri	2800 mm × 1230 mm
Balstiekārta	Loku atsperes ar amortizatoriem
Maksimālais ātrums	25 km h ⁻¹
Aprīkojums	Bateriju uzlādes līmeņa indikators, spidometrs, drošības jostas, ārējais apgaismojums, hidrauliskās darba bremzes un mehāniskā stāvbremze

Balstoties uz *Melex 966* lēngaitas elektromobiļa ekspluatācijas 4 gadu pieredzi, galvenie kopējo nobraukumu ietekmējošie faktori uzskaitīti prioritārā secībā.

1. Reljefs un ceļa segums. Pieredze rāda, ka eksperimentālā elektromobiļa izmantošana dažādās pilsētās ar atšķirīgu reljefu būtiski ietekmē dienas nobraukumu ar vienu uzlādi. Stipri kalnainās vietās pie vienādiem blakus apstākļiem tas samazinās līdz pat 40%.
2. Pasažieru skaits/vedamās vai uz piekabes velkamās kravas svars. Eksperimentālais elektromobilis vidēji tiek ekspluatēts ar 2 pasažieriem, tomēr gadījumos, kad transportlīdzeklī tiek pārvietots maksimālais cilvēku skaits vai vesta cita veida krava, elektroenerģijas patēriņam strauji palielinoties, maksimālais dienas nobraukums samazinās aptuveni par 20 - 30%.
3. Pārvietošanās ātrums un raksturs. Šis ir ļoti būtisks faktors, ko tiešā veidā var ietekmēt pats elektromobiļa vadītājs. Tā kā elektromobilis ir aprīkots ar elektroenerģijas reģenerācijas sistēmu, transportlīdzekļa vadīšana veicama līgani, pēc iespējas mazāk izmantojot bremzes pie krustojumiem un citām apstāšanās vietām, tādējādi ļaujot elektromobili bremzēt ar elektromotora palīdzību, kurš šajā situācijā ļauj atgūt 10 - 15% no patērētās elektroenerģijas. Tomēr jāatceras, ka strauja gaitas uzsākšana un pārvietošanās ar maksimālo ātrumu samazinās dienas nobraukumu aptuveni par 20%.
4. Ārējās vides temperatūra. Konkrētā tipa bateriju izmantošana eksperimentālajā elektromobilī apstākļos ar temperatūru, kas ir robežās 0...+10 °C, nobraukumu samazinās par aptuveni 10 - 15%, savukārt gadījumos, kad elektromobilis tiek izmantots ziemā no 0 °C līdz -10 °C, nobraukums samazinās par 20 - 30%.
5. Akumulatoru tehniskais stāvoklis. Normālā ekspluatācijas režīmā, kad tiek uzturēts normāls elektrolīta līmenis akumulatoru baterijās, tā izmantošanas laiks ir 3 gadi. Lēmums par akumulatoru bateriju nomaiņu tiek pieņemts, balstoties un konkrētā elektromobiļa veiktspēju konkrētajā režīmā. Tādējādi būtiski ir apzināties, ka nobraukums katru gadu dabiskā nolietojuma iespaidā samazinās par 20%, trešajā gadā sasniedzot vairs tikai 60% no maksimāli iespējamā nobraukuma. Svarīgi ir jau sākotnēji pie akumulatoru bateriju iegādes prognozēt nobraukuma rezervi, lai akumulatoru bateriju veiktspēja izmantošanas trešajā gadā būtu atbilstoša nepieciešamajam nobraukumam.

5.2. Eksperimentos izmantotās saules baterijas

Eksperimentos izmantoti *Solar Drive S2E* saules paneļi (skat. 5.2. att.), kas izgatavoti no pusvadītāju materiāla, kur galvenais elements ir monokristāla silīcijs. Paneļu tehniskais raksturojums dots 5.2. tabulā. Kā paneļu pārklājums izmantots rūdīts stikls, kas ilglaicīgi saglabā caurspīdīgumu un nodilumizturību. Karkass ir izveidots no alumīnija, kas ne tikai nodrošina nepieciešamo izturību un vieglo svaru, bet arī paaugstina elektrodrošību. Saules panelis sver aptuveni 30 kg, kas ir par 20 kg vairāk kā standarta plastikāta jumts, bet, tā kā transportlīdzekļa pašmasa ir virs 500 kg, tad šis masas pieaugums nav būtisks. Šo paneļu priekšrocība ir tā, ka atsevišķie

moduļi ir savstarpēji savienojami, tādējādi viegli pielāgojami transportlīdzekļa garumam. Šāds saules paneļu jumts nodrošina nepieciešamo aizsardzību pret lietu un netiks bojāts arī vidējas krusas gadījumā.

5.2. tabula. *S2E* paneļa tehniskais raksturojums

Parametrs	Vērtība vai raksturojums
Marka, modelis	Solardrive S2E
Karkass	Alumīnijs
Šūnas tips	Mono kristālu
Efektivitāte	17.5%
Saules paneļa pārklājums	Rūdīts stikls
Maksimālā jauda	400 W
Spriegums	17 V
Kontrolieris	MPPT tipa 36 V vai 48 V
Uzstādīšana	2, 4 vai 6 sēdvietu elektromobiļiem
Pielāgojams	Jebkura tipa transportlīdzeklīm
Svars(divu sekciju panelim)	30 kg

Saulainos apstākļos *S2E* modulis spēj nodrošināt $1.2-1.3 \text{ kW}\cdot\text{h}^{-1}$ enerģiju dienā, kas ir pietiekami, lai pagarinātu braukšanas attālumu par 30-35%, jeb arī pilnu uzlādi, veicot mazus un neregulārus braucienus. Ražotājs arī apgalvo, ka papildus lādēšana paīdzina akumulatoru kalpošanas laiku, jo tas retāk tiek pilnīgi izlādēts.



5.2. att. *Solar Drive S2E* saules baterijas

MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) jeb maksimālās jaudas punkta sekošanas tehnoloģija ļauj iegūt maksimālo iespējamo ieguvumu no saules paneļiem. Solārajām šūnām ir savstarpēja mijiedarbība starp temperatūru, saules starojumu un pretestību, kas izraisa nelineāru stipruma-sprieguma līkni. MPPT kontrolieris ne tikai optimizē saules paneļu izdoto strāvu, bet arī

kontrolē bateriju uzlādi un pārtrauc uzlādes procesu, kad tās ir pilnībā uzlādētas. MPPT kontroleris spēj attīstīt 75 W jaudu pie 17 V, kas sasniedzams pie 25 °C šūnas temperatūras un 1000 W·m⁻² saules intensitātes. Modulis apstrādā visu saules paneļu piegādāto jaudu.

5.3. Eksperimentu veikšanas metodika

Izmēģinājumus veic ar piebrauktu elektromobili pilnīgā tehniskā kārtībā un ar oriģinālo aprīkojumu. Eksperimentējamajam elektromobilim jābūt ar vismaz 1000 km nobraukumu. Transportlīdzekļa riepu protektora dziļumam jābūt robežās 50-90% no jaunas riepas protektora dziļuma. Transportlīdzeklim jābūt tīram. Eksperimentus nav ieteicams veikt ar pilnīgi jauniem akumulatoriem. Konkrētajam transportlīdzeklim akumulatori ir nomainīti 2012. gada pavasarī.

Melex 966 akumulatori atrodas zem pirmās pasažieru rindas sēdekļa. Attālums starp akumulatoriem un sēdekli ļauj izdarīt nepieciešamos pieslēgumus iekārtām, kas fiksē eksperimentu datus. Kā papildus vietu mēriekārtu novietošanai var izmantot telpu zem vadītāja sēdekļa. Uzstādot saules paneļus, tie ir kārtīgi jānostiprina, tāpat kā vadi un kontroleris. Nedrīkst bojāt vadu izolāciju.

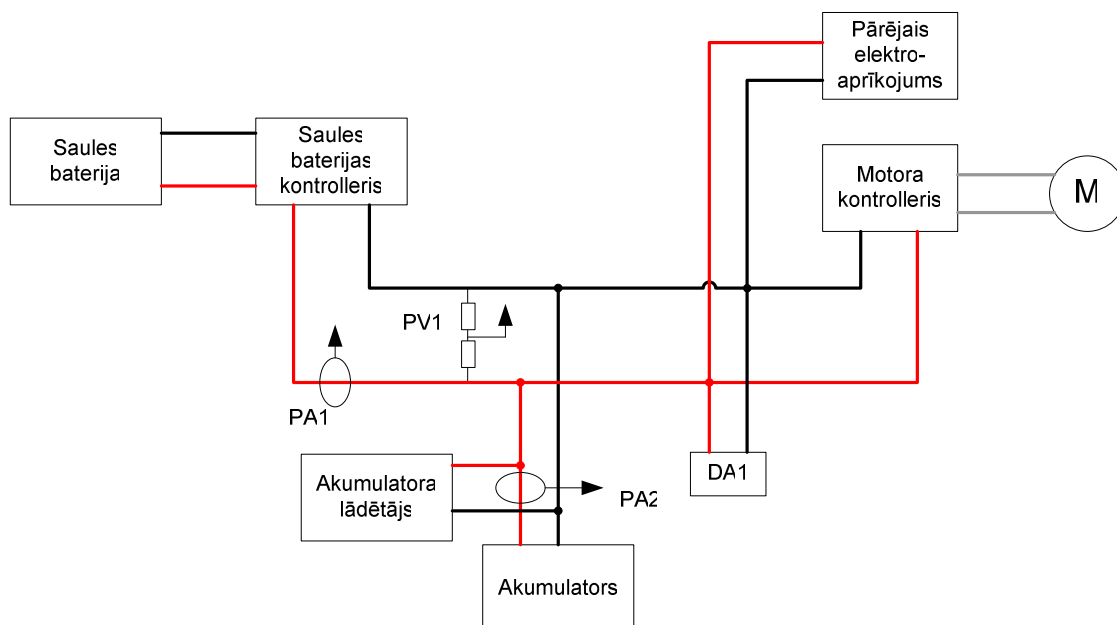
Elektrisko lēngaitas transportlīdzekli *Melex 966* pirms eksperimentiem pilnībā uzlādē un pārbauda tā tehnisko stāvokli. *Melex* lēngaitas elektromobiļiem ir 8 virknē saslēgti 6 V akumulatori, kas nodrošina 48 V kopējo spriegumu. Akumulatoru elektroķīmisko procesu kontrole tiek veikta, uzturot elektrolīta līmeni virs platēm 10-15 mm, mērot elektrolīta blīvumu, kā arī mērot kopējo spriegumu. Elektrolīta līmeni pārbauda reizi divās nedēļās, ņemot vērā, ka elektromobilis tiek lietots katru dienu.

Izdalīti šādi eksperimentu veidi: jaukts brauciens saulainā laikā (braukšana un īslaicīga apstāšanās) un stacionārais režīms apmākušā un saulainā laikā (automobilis novietots nekustīgi stāvvietā). Kopā katram eksperimenta veidam veikti 5 atkārtojumi 3 dažādās sezonās (45 eksperimenti) un papildus viens kontroles brauciens ar atslēgtu saules bateriju. Eksperimenti veikti 2012. gada septembrī un 2013. gada maijā un jūlijā.

5.3.1. Eksperimentos izmantotās mēriekārtas

Eksperimentos izmantoto iekārtu pieslēguma shēma dota 5.3. attēlā. Mēriekārtām jānodrošina elektromobiļa mobilitāte - tās nedrīkst būt stacionāras vai izmantot ārēju enerģijas avotu. Mēriekārtām jānodrošina šādu izejas parametru uzņemšana - nobrauktais attālums ar vienu uzlādi, lādēšanas efekta parametri, elektroenerģijas patēriņa bilance - akumulatoriem, saules baterijām un no reģenerācijas. Saules baterijas ir pieslēgtas kontrolerim, kas savukārt iegūto elektroenerģiju pārvada uz transportlīdzekļa elektrosistēmu, izmantojot to aprīkojuma barošanai, motora piedziņai vai akumulatoru lādēšanai. Saules bateriju uzlādes kontrolera strāvas sensors PA1 (*MULTICOMP - TH30A*, mērdiapažons 0...15 A, precizitāte ± 0.15 A) tiek uzstādīts starp saules bateriju kontrolieri un transportlīdzekļa elektrosistēmu un uzņem datus par iegūto enerģiju no saules. Akumulatora strāvas sensors

PA2 (*HTFS200-P*, mērdiapažons $-200\dots+200$ A, precizitāte ± 2 A) tiek uzstādīts starp akumulatoru un transportlīdzekļa elektrosistēmu, lai uzņemtu datus par patēriņu brauciena laikā, lādēšanu no tīkla un iegūto enerģiju reģeneratīvās bremsēšanas laikā. Abu strāvas sensoru pamatā ir Holla tipa mērpārveidotājs. Sistēmas sprieguma mērīšanai izmantots sprieguma dalītājs PV1 ar koeficientu 1:24.



5.3. att. Mēriekārtu pieslēguma shēma

Visi sistēmas elektriskie parametri uzkrāti ar *HOBO U12-006* 4 kanālu datu uzkrāšanas iekārtu, kas nodrošina 2.5 V sprieguma lasīšanu uz viesiem kanāliem ar 1% no mērdiapažona precizitāti. Datu uzkrājējam ir autonomas elektrobarošanas avots.

Ar vienu uzlādi nobrauktā attāluma fiksēšanai izmanto GPS datu uzkrājēju *HOLUX GPS SPORT 245*.

Pirms uzsākt braukšanu, transportlīdzekļa vadītājs ieslēdz ierīci un pārlicinās, ka elektromobiļa akumulatoru baterija ir pilnībā uzlādēta. Par akumulatoru izlādi un atlikušo enerģijas daudzumu informē *Melex* rādītājs instrumentu panelī. Kad eksperiments pabeigts un transportlīdzeklis tiek apturēts, vadītājs saglabā GPS datu uzkrājēja piefiksēto maršrutu un aptur elektrisko datu uzkrājēja mērīšanu. Visi dati tiek saglabāti datorā. Gadījumā, ja pirms eksperimenta sākuma abi datu uzkrājēji netika ieslēgti precīzi vienlaicīgi, elektriskie un GPS dati tiek sasinchronizēti laikā ar grafisko metodi, ņemto vērā ātruma un strāvas patēriņa izmaiņu dinamiku.

Eksperimentiem stacionāros apstākļos, kad automobilis novietots nekustīgi stāvvietā, uzņemti tikai elektriskie parametri.

5.3.2. Eksperimentos uzņemtie un aprēķinātie parametri

Elektropēkratu un saules bateriju sistēmas darbības analīze reālos braucienos veikta, pamatojoties uz mērītajiem elektriskajiem (līdzstrāva un spriegums) un telpiskajiem (GPS dati) un no tiem aprēķinātajiem lielumiem.

Zemāk apkopoti braucienos sinhroni ar periodu $T_m = 1$ s tieši uzņemtie un netieši aprēķinātie lielumi:

- akumulatora spriegums U_{batt} , V;
- akumulatora strāva (izņemot saules bateriju kontrolera strāvu) I_{batt} , A:
 - ja $I_{batt} < 0$, notiek akumulatora izlāde spēkratu elektroaprīkojuma patēriņa nodrošināšanai, iekļauj arī elektroaprīkojuma nodrošināšanu ar saules bateriju enerģiju,
 - ja $I_{batt} > 0$, notiek akumulatora uzlāde no bremzēšanā reģenerētās strāvas;
- saules bateriju kontrolera strāva I_{PV} , A:
 - ja $I_{PV} > 0$, tiek nodrošināts saules bateriju kontrolera pašpatēriņš un notiek akumulatora uzlāde un/vai spēkrata elektroaprīkojuma patēriņa nodrošināšana,
 - ja $I_{PV} < 0$, netiek nodrošināts saules bateriju kontrolera pašpatēriņš un notiek akumulatora izlāde un/vai bremzēšanā reģenerētās enerģijas patēriņš;
- spēkratu pārvietošanās ātrums v , m s⁻¹;
- spēkratu pašreizējās globālās koordinātas lon , lat , grad;
- absolūtais eksperimenta laiks t , s;
- eksperimenta sākuma un beigu laiki t_{sak} , t_{beig} , s;
- temperatūra, °C;
- aprēķinātie lielumi (katram mērījumam un visam braucienam kopā):

- brauciena periods T_{br} , h:

$$T_{br} = t_{beig} - t_{sak}, \quad (5.1)$$

- sākuma akumulatora spriegums U_{sak} , V;

$$U_{sak} = U_{batt}(t_{sak}), \quad (5.2)$$

- beigu akumulatora spriegums U_{beig} , V:

$$U_{beig} = U_{batt}(t_{beig}), \quad (5.3)$$

- akumulatora izlādes strāva I_{izl} , A:

$$I_{izl} = \begin{cases} I_{batt}, & \text{ja } I_{batt} < 0 \\ 0, & \text{ja } I_{batt} \geq 0 \end{cases}, \quad (5.4)$$

- bremzēšanas reģenerācijas strāva I_{reg} , A:

$$I_{reg} = \begin{cases} I_{batt} & \text{ja } I_{batt} > 0 \\ 0, & \text{ja } I_{batt} \leq 0 \end{cases}, \quad (5.5)$$

- akumulatora jauda (izņemot saules bateriju kontrolera jaudu) P_{batt} , W:

$$P_{batt} = I_{batt} \cdot U_{batt}, \quad (5.6)$$

- akumulatora izlādes jauda P_{izl} , W:

$$P_{izl} = I_{izl} \cdot U_{batt}, \quad (5.7)$$

- bremsēšanas reģenerācijas jauda P_{reg} , W:

$$P_{reg} = I_{reg} \cdot U_{batt} , \quad (5.8)$$

- saules bateriju kontrolera jauda P_{PV} , W:

$$P_{PV} = I_{PV} \cdot U_{batt} , \quad (5.9)$$

- akumulatora izlādes enerģija viena brauciena laikā jeb kopējā brauciena laikā spēkratu darbināšanai patērētā enerģija (izņemot saules bateriju kontrolera patērēto enerģiju) W_{izl} , Wh:

$$W_{izl} = \frac{\sum_{i=t_{sak}}^{t_{beig}} P_{izl(i)} \cdot T_m}{3600} , \quad (5.10)$$

- reģenerācijas enerģija viena brauciena laikā W_{reg} , Wh:

$$W_{reg} = \frac{\sum_{i=t_{sak}}^{t_{beig}} P_{reg(i)} \cdot T_m}{3600} , \quad (5.11)$$

- saules bateriju kontrolera enerģija viena brauciena laikā W_{PV} , Wh:

$$W_{PV} = \frac{\sum_{i=t_{sak}}^{t_{beig}} P_{PV(i)} \cdot T_m}{3600} , \quad (5.12)$$

- brauciena vidējā bremsēšanas reģenerācijas enerģija stundā W_{reg}^h , Wh:

$$W_{reg}^h = \frac{W_{reg}}{T_{br}} , \quad (5.13)$$

- viena eksperimenta vidējā saules enerģija stundā W_{PV}^h , Wh:

$$W_{PV}^h = \frac{W_{PV}}{T_{br}} , \quad (5.14)$$

- bremsēšanas reģenerētās enerģijas daļa pret kopējo elektrospekratu darbināšanai patērēto enerģiju viena brauciena laikā W'_{reg} , %:

$$W'_{reg} = \frac{W_{reg}}{W_{izl}} \cdot 100\% , \quad (5.15)$$

- saules enerģijas daļa pret kopējo elektrospekratu darbināšanai patērēto enerģiju viena brauciena laikā W'_{PV} , %:

$$W'_{PV} = \frac{W_{PV}}{W_{izl}} \cdot 100\% , \quad (5.16)$$

- brauciena maksimālais ātrums v_{max} , m s⁻¹:

$$v_{max} = \max(v(t)), t \in [t_{sak}; t_{beig}] , \quad (5.17)$$

- brauciena vidējais ātrums \bar{v} , m s⁻¹:

$$\bar{v} = \frac{T_m \cdot \sum_{i=t_{sak}}^{t_{beig}} v_{(i)}}{(t_{beig} - t_{sak})}, \quad (5.18)$$

- spēkratu nobrauktā distance starp secīgiem mērījumiem s_m , m (GPS Latitude ..., 2013):

$$s_m = \text{distance}(lon, lat), \quad (5.19)$$

- spēkratu kopējā nobrauktā distance viena brauciena laikā s_{br} , m:

$$s_{br} = \sum_{i=t_{sak}}^{t_{beig}} s_{m(i)}. \quad (5.20)$$

5.3.3. Eksperimentus ietekmējošie faktori

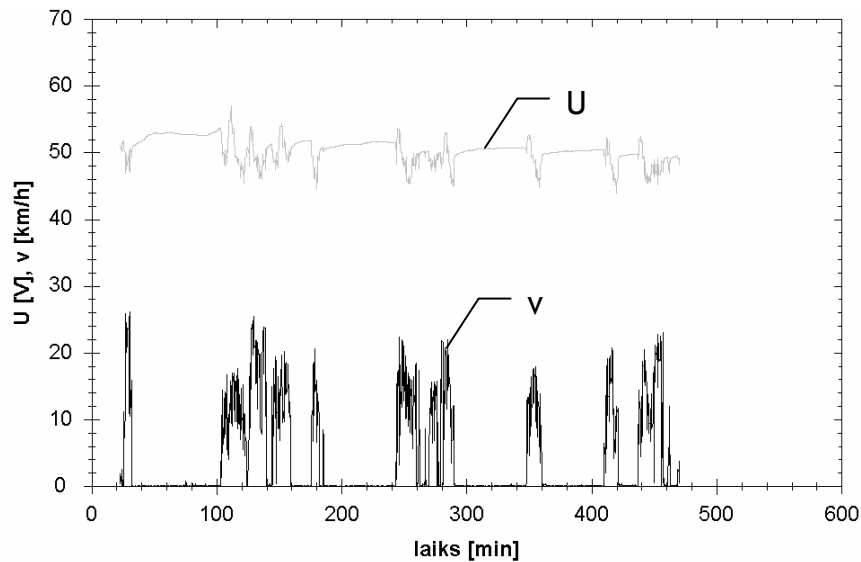
Eksperimentos datu analīzē tika izvēlēti šādi ietekmējošie faktori (neatkarīgie mainīgie), pēc kuriem tika grupēti iegūtie dati un veikta to analīze.

- meteoroloģiskie apstākļi:
 - apmācies,
 - saulains laiks;
- mēneši (raksturo sezonu):
 - septembris,
 - marts,
 - jūlijs;
- eksperimenta veids:
 - jaukts brauciens,
 - stacionāra uzlāde no saules;
- eksperimenta ilgums - var mainīties starp eksperimentiem;
- brauciena garums - var mainīties starp eksperimentiem (tikai jaukta brauciena eksperimenta veidam).

5.4. Braukšanas režīmu analīze

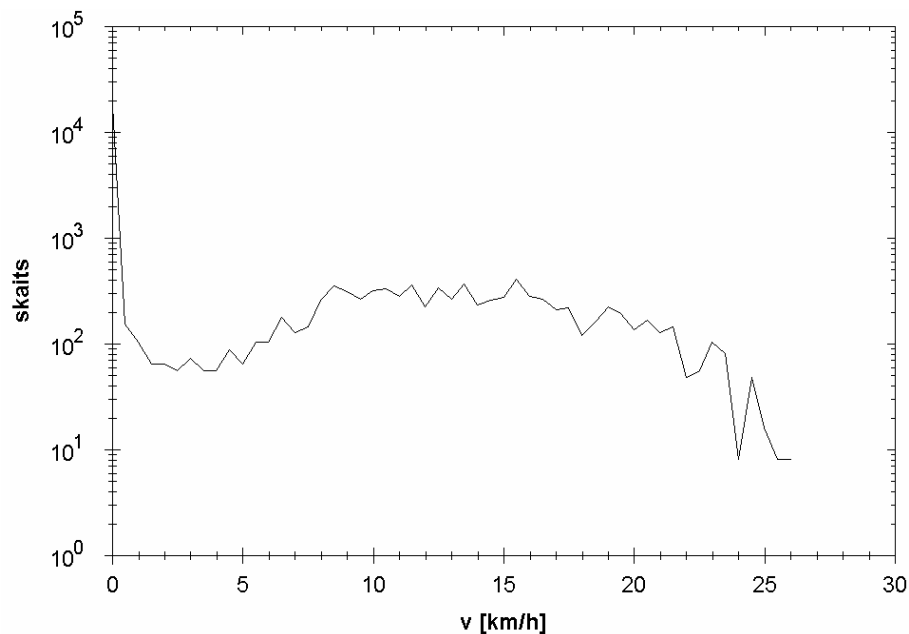
Datu statistiskajā analīzē tika izmantota informācija par 46 braucieniem dažādos apstākļos. Katram braucienam tika sastādītas gan laika rindas ar uzņemto parametru izmaiņas dinamiku laikā, gan arī histogrammas, lai novērtētu kopējo datu parametra vērtību sadalījumu katrā braucienā.

5.4 - 5.14. attēlos grafiski parādīti tipiska brauciena galvenie parametri. Tipiska brauciena akumulatora sprieguma un spēkrata kustības ātruma izmaiņas laikā (skat. 5.4. att.) parāda kopējo brauciena hronoloģiju un ļauj secināt par aptuvenu akumulatora uzlādes pakāpi pēc stāvēšanas periodiem un uzlādes režīmu reģeneratīvās bremzēšanas un saules bateriju darbības rezultātā.



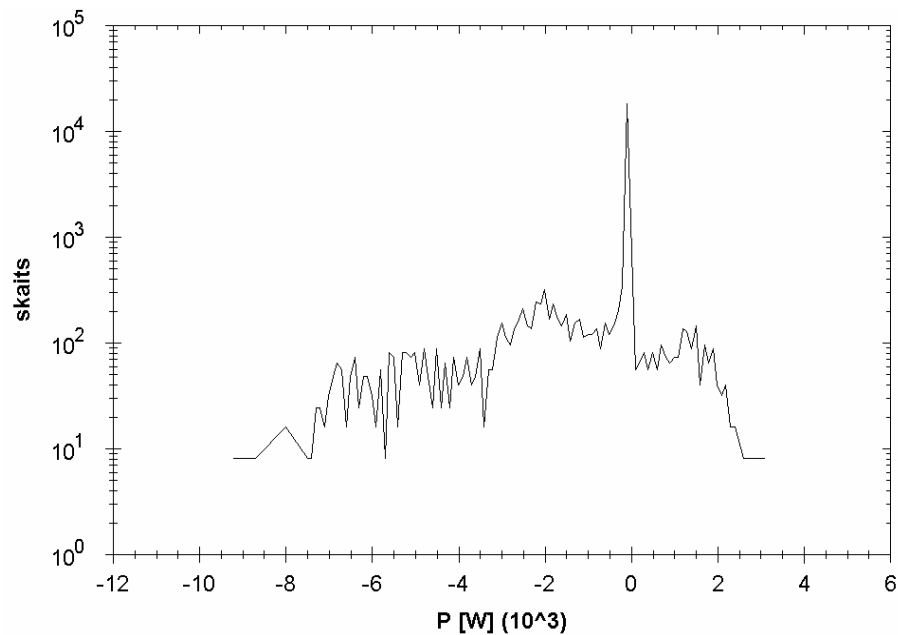
5.4. att. Akumulatora sprieguma un spēkratu kustības ātruma izmaiņas laikā

Pēc ātruma sadalījuma laikā (skat. 5.5. att.) var spriest par konkrētā braucienā biežāk izmantoto kustības ātrumu un par aptuveno stāvēšanas laika attiecību.



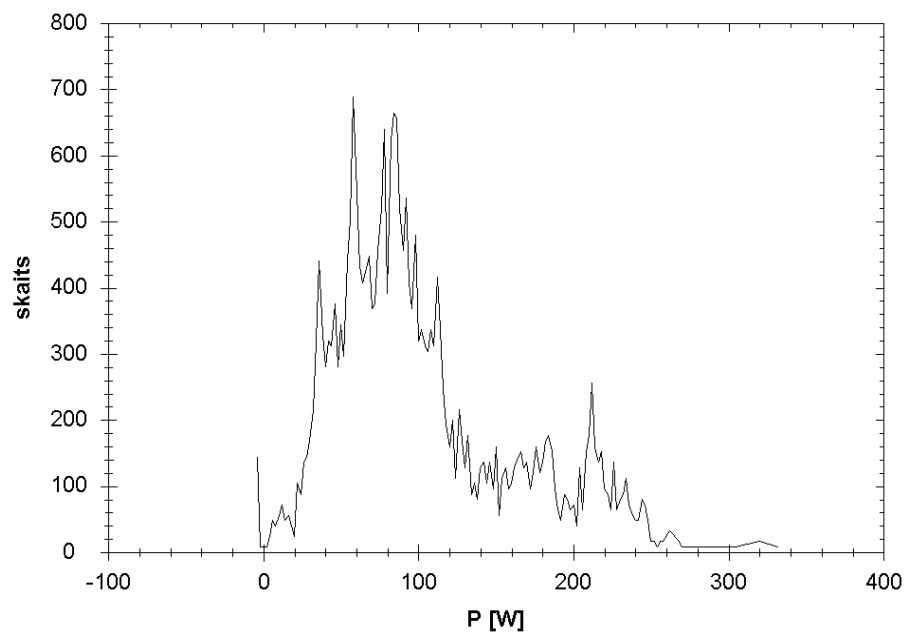
5.5. att. Ātrumu sadalījums viena brauciena laikā: ordinātu ass (logaritmiskā skala) parāda 8 s intervālu skaitu, kuros tika fiksēts uz abscisu ass parādītais ātrums

Akumulatora jaudas sadalījuma grafiks (skat. 5.6. att.) parāda izlādes jaudu (negatīvie skaitļi), t.i., cik ilgi akumulators tika izlādēts ar doto jaudu un reģeneratīvās bremsēšanas rezultātā pielikto akumulatora uzlādes jaudu (pozitīvi skaitļi). Lēciens 0-0.2 W punktā uz abscisu ass parāda akumulatora izlādes jaudu elektromobilim esot miera stāvoklī, kas, salīdzinot ar citiem izlādes režīmiem, laika ziņā ir visbiežākais.



5.6. att. Akumulatora izlādes jaudas sadalījums brauciena laikā: ordinātu ass (logaritmiskā skala) parāda 8 s intervālu skaitu, kuros tika fiksēta uz abscisu ass parādītā izlādes jauda

Saules bateriju jaudas sadalījums (skat. 5.7. att.) dod iespēju spriest par no saules baterijām paņemto jaudu spēkratu elektriskā aprīkojuma darbināšanai un akumulatora papildus lādēšanai. Piemēram, šajā attēla var redzēt, ka eksperimenta laikā saules baterijas visbiežāk darbojās ar 60-120 W jaudu. Pie tam negatīvajā pusē var redzēt arī saules bateriju kontrolera patēriņa jaudu, kad nebija pieejams saules starojums (iebraucot ēnā, garāžā u.tml.).



5.7. att. Saules bateriju jaudas sadalījums brauciena laikā: ordinātu ass (logaritmiskā skala) parāda 8 s intervālu skaitu, kuros tika fiksēta uz abscisu ass parādītā ģenerētā jauda

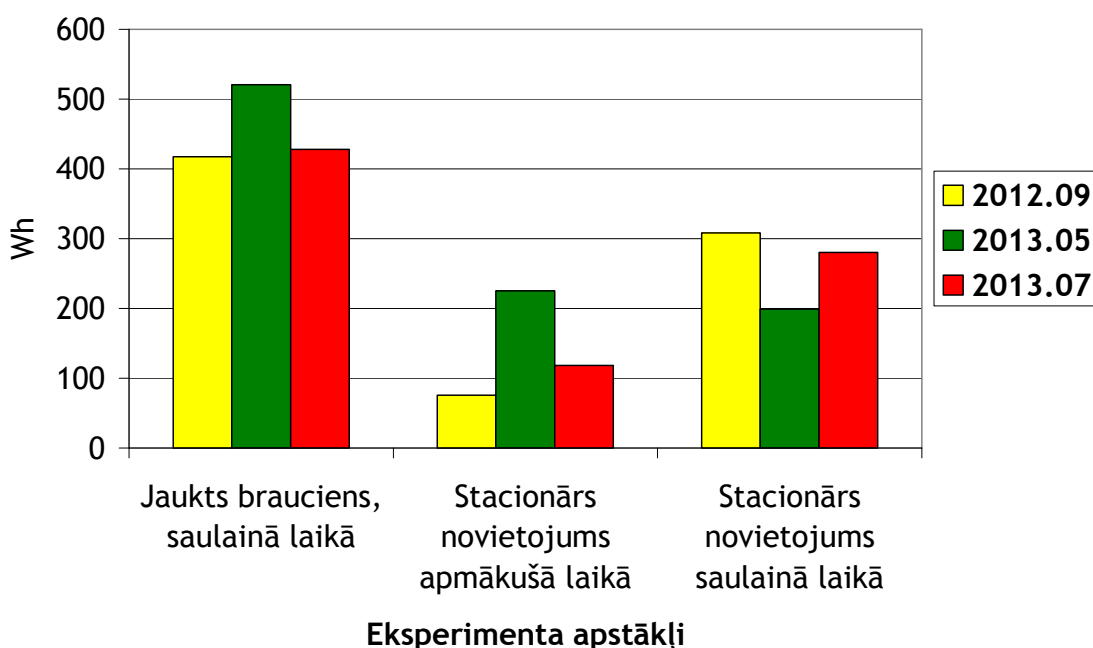
5.5. Eksperimentu jaukto režīmu datu analīze

Šajā nodaļā ir veikta eksperimentu vidējo lielumu analīze dažādu faktoru ietekmē.

Lai salīdzinoši nelielajā eksperimentu skaitā varētu maksimāli novērtēt akumulatora, reģenerācijas un saules bateriju veikspēju pie dažādiem apstākļiem atsevišķos braucienos, bija nepieciešams veikt dažādus maršrutus ar atšķirīgiem attālumiem un atšķirīgiem eksperimentu ilgumiem. Vidēji vienā braucienā veikti 32.7 km ar standartklūdu 3.07 km. Kopā braucienu eksperimentu ilgums ir 109.85 h. Vidēji viena brauciena ilgums ir 6.87 h ar standartklūdu 0.48 h. Kopā veiktajos 15 braucienos ar ieslēgtu saules bateriju akumulatoru uzlādei saulainā laikā dažādos mēnešos un vienā salīdzināšanas braucienā ar izslēgtu saules bateriju ir nobraukti 523.3 km. Līdz ar to tiešā veidā braucienu parametrus statistiski savstarpēji salīdzināt nevar, un eksperimentu savstarpējai salīdzināšanai tika izmantoti dažādu relatīvo lielumu (attiecību) salīdzinājumi:

- vidējā iegūtā saules enerģija stundā vienam eksperimentam;
- saules enerģijas un braucienā patērētās enerģijas attiecība vienam eksperimentam (saules/akumulatora enerģijas bilance);
- reģenerācijas enerģijas un braucienā patērētās enerģijas attiecība vienam eksperimentam (reģenerācijas/akumulatora enerģijas bilance).

Viena eksperimenta vidējā saules enerģija stundā W_{pv}^h vidēji pa visiem braucieniem dažādos mēnešos un pie dažādiem apstākļiem parādīta 5.8. attēlā (brauciens ar atslēgtu saules bateriju netika iekļauts analīzē). Šāda analīze veikta ar mērķi noskaidrot relatīvo iegūtās saules enerģijas daudzumu viena eksperimenta laikā neatkarīgi no tā kopējā ilguma.



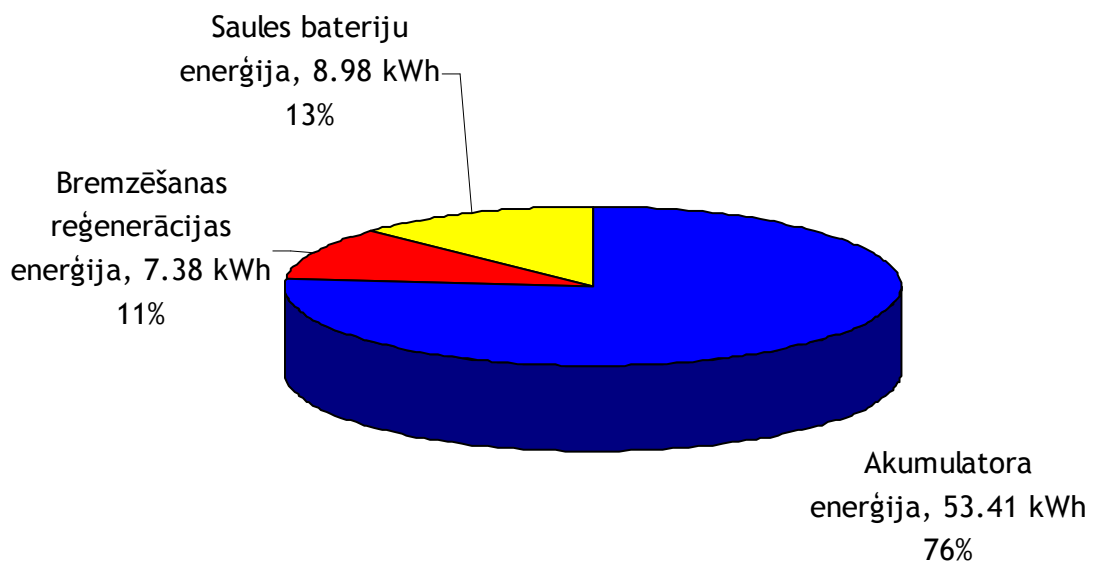
5.8. att. Viena eksperimenta vidējā saules enerģija stundā pa eksperimenta veidiem un pa mēnešiem

Katrs stabiņš reprezentē vidējo W_{pv}^h 5 braucieniem. Grafikā var redzēt, ka jauktos braucienos saulainā laikā maija mēnesī, kad ir jābūt teorētiskajam saules jaudas maksimumam gadā Latvijas teritorijā, vidējā eksperimentu W_{pv}^h ir lielākā. Tas pats ir novērojams arī stacionārā novietojumā apmākušā laikā, kad saules enerģija pamatā tiek iegūta nevis no tiešajiem saules stariem, bet no difūzā (izkliedētā) starojuma. Taču zīmīgi ir tas, ka stacionārā novietojumā saulainā laikā maija mēneša eksperimentu vidējā W_{pv}^h ir mazākā. To daļēji var izskaidrot ar transportlīdzekļa stacionārā novietojuma un līdz ar to arī saules leņķa pret bateriju ietekmi. Šī apstākļa padziļinātai pētīšanai būtu nepieciešams veikt vairākus papildus eksperimentus ar stacionāro novietojumu.

Viena eksperimenta vidējā saules enerģija stundā tika pētīta arī ar divu faktoru dispersijas analīzes metodi (ANOVA). Tika izmantota atvērtā koda statistikas programmpakotne R. Pirms dispersijas analīzes tika pārbaudīts, vai W_{pv}^h atbilst normālajam sadalījumam ar Jarque-Bera testa palīdzību. Jarque-Bera normalitātes testa rezultāti parāda, ka $p > 0.01$ un līdz ar to ar 99% varbūtību nevar noraidīt 0-hipotēzi, ka W_{pv}^h sadalījums atbilst normālajam. Dispersijas analīzes rezultāti apstiprina pieņēmumu par to, ka kopumā W_{pv}^h (gan jaukto režīmu, gan stacionāro) mēneša faktors dotajos eksperimentos statistiski ticami neietekmē, taču ar varbūtību 99.9% ($p < 0.001$) var noraidīt 0-hipotēzi un pieņemt, ka laika apstākļiem ir statistiski ticama ietekme uz vidēji stundā saražotās saules enerģijas daudzumu visu veidu eksperimentos.

5.6. Braucienu enerģijas balance

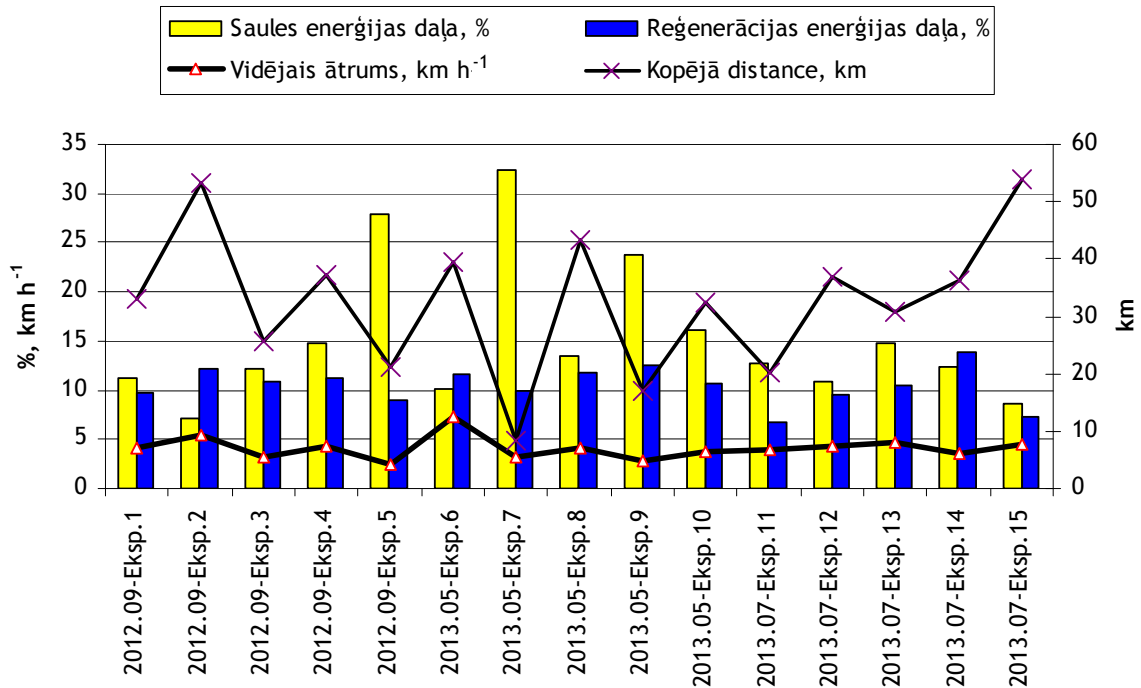
Summārā enerģijas balance visiem braucieniem parādīta 5.9. attēlā. Attēlā kopējais apjoms ir visu braucienu summārā patērētā enerģija - 69.76 kWh, vidēji braucienam - 4.65 kWh.



5.9. att. Summārā enerģijas balance visiem braucieniem (kopējā braucienos patērētā enerģija ir 69.76 kWh)

Braucienų eksperimentiem tika analizēta arī braucienų enerģijas veidu bilance un iegūtās kopējās saules enerģijas un bremzēšanas reģenerētās enerģijas daļa pret kopējo elektropēkratu darbināšanai patērēto enerģiju viena brauciena laikā (W'_{pv} un W'_{reg}). Šie lielumi parāda elektroenerģijas bilanci starp akumulatoru, saules baterijām un reģeneratīvo bremzēšanu.

Visu braucienų eksperimentu kopsavilkums ar brauciena parametriem - vidējo ātrumu un kopējo nobraukto distanci visās trijās sezonās parādīts 5.10. attēlā.



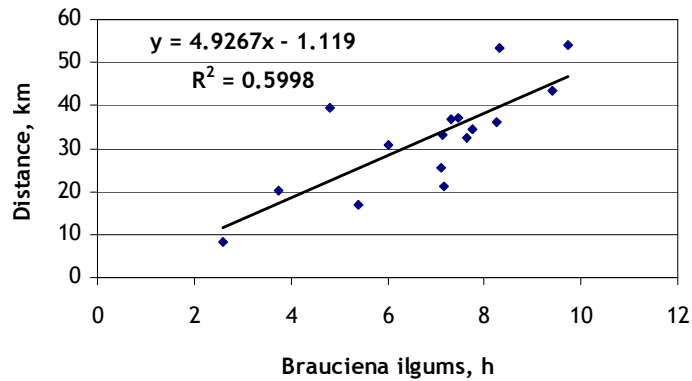
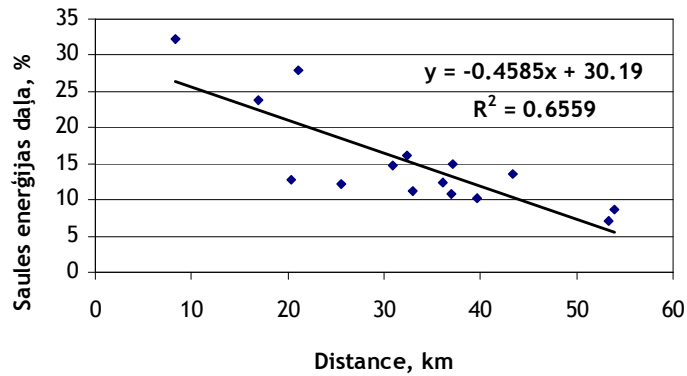
5.10. att. Visu braucienų eksperimentu kopsavilkums ar vidējo ātrumu un kopējo nobraukto distanci

Attēlā redzama dažādos braucienos atšķirīgā veiktā distance - kopējās distances līnija parāda salīdzinoši lielu izkliedi (standartnovirze ir 13.5), taču W'_{pv} lielumam ir redzama tendence būt atkarīgam no sezonas. Vidējais ātrums visos braucienos ir aptuveni nemainīgs.

Tāpat var redzēt, ka pie mazākām nobrauktām distancēm palielinās W'_{pv} , kas var tikt izskaidrots ar eksperimenta veikšanas diennakts laiku. Visi eksperimenti tika veikti sākot ar rīta stundām (sākums 8:00-11:00) un vidējais eksperimenta ilgums bija 8.8 h, proporcionāli pēc daļēji ciešas sakarības pieauga arī nobrauktais attālums (skat. 5.11. att.). Līdz ar to īsākie eksperimenti iekļāvās saules starojuma maksimuma stundās.

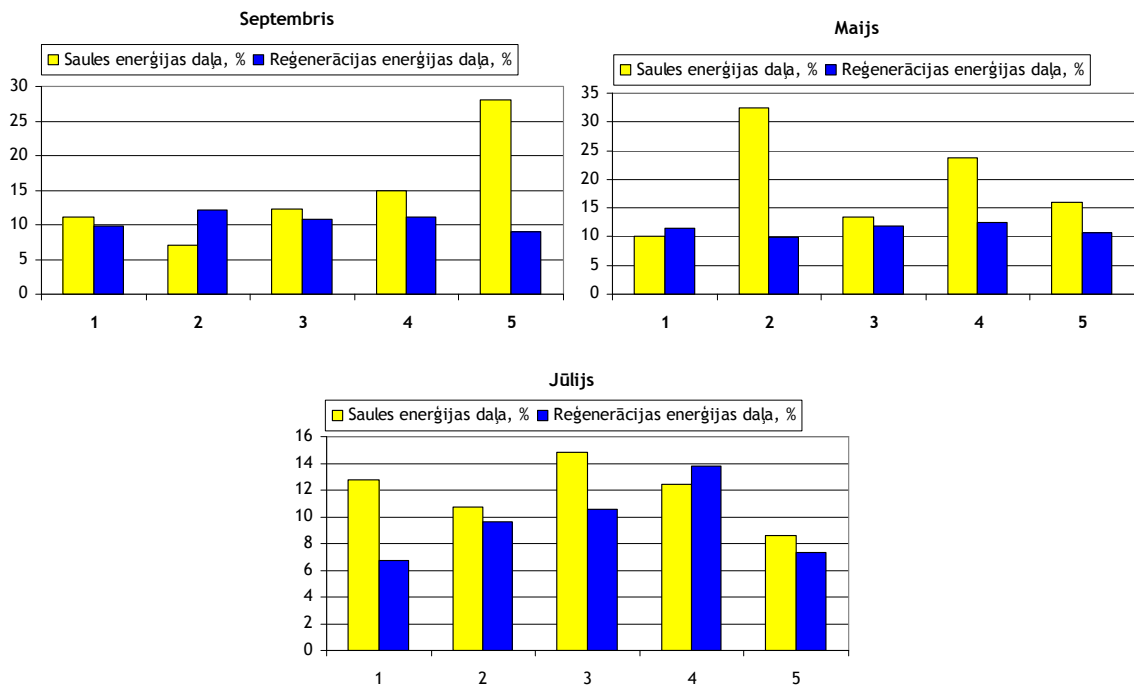
Saules enerģijas daļas no kopējās patērētās enerģijas atkarība no brauciena distances parādīta 5.12. attēlā.

Atkarība ir vidēji cieša, taču lielā mērījumu izkliede samazina statistisko ticamību lineārās regresijas koeficientiem. Tas apstiprina, ka saules baterijas izmantošana visefektīvākā ir diennakts laikā ar maksimālo saules starojumu.



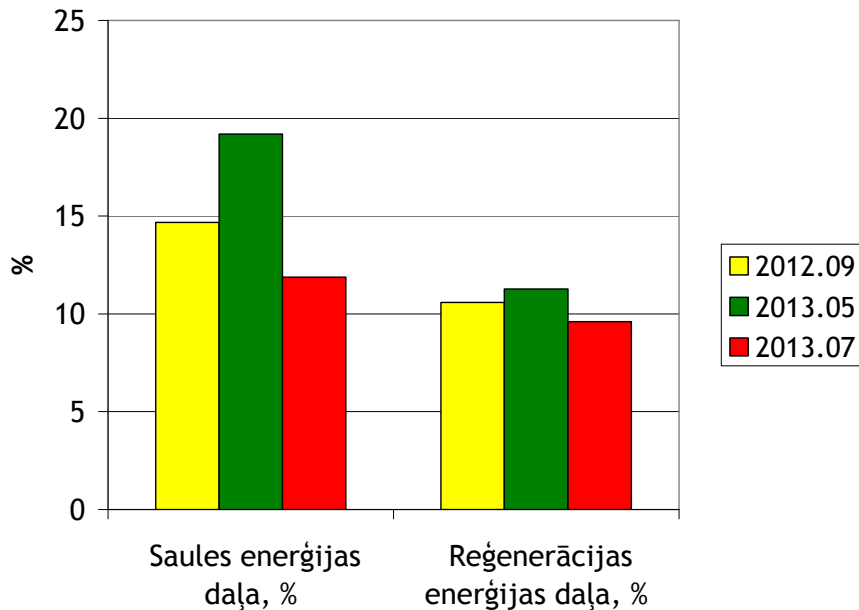
5.11. att. W'_{PV} atkarība no brauciena distances (visiem eksperimentiem) un distances atkarība no brauciena ilguma

W'_{PV} un W'_{reg} lielumu grafiskais salīdzinājums pa mēnešiem parādīts 5.12. (atsevišķi pa braucieniem) un 5.13. attēlos (vidējie).



5.12. att. Saules enerģijas un reģenerācijas enerģijas daļa jauktajos braucienos saulainā laikā pa atsevišķiem braucieniem dažādos mēnešos

Vidējo lielumu grafikos redzams, ka izteikti lielāka saules enerģijas daļa attiecībā pret kopējo braucienā patērēto enerģiju ir tieši maija mēnesī. Starp septembra un jūlija mēnesi ir nenožīmīgas atšķirības. Jāatzīmē, ka patērētās enerģijas attiecību daļēji var ietekmēt arī brauciena parametri - brauciena izpildes kopējais laiks, izpildes diennakts stundas un ātrumu sadalījums. Jāpiebilst, ka grafikā ir redzama arī nebūtiska starpība starp iegūtās enerģijas veidiem, t.i., sadalījums pa mēnešiem ir līdzīgs gan saules enerģijai W'_{pv} , gan bremzēšanas reģenerācijas enerģijai W'_{reg} . Atšķiras tikai absolūtās vērtības.



5.13. att. Saules enerģijas un reģenerācijas enerģijas daļa jauktajos braucienos saulainā laikā vidēji dažādos mēnešos

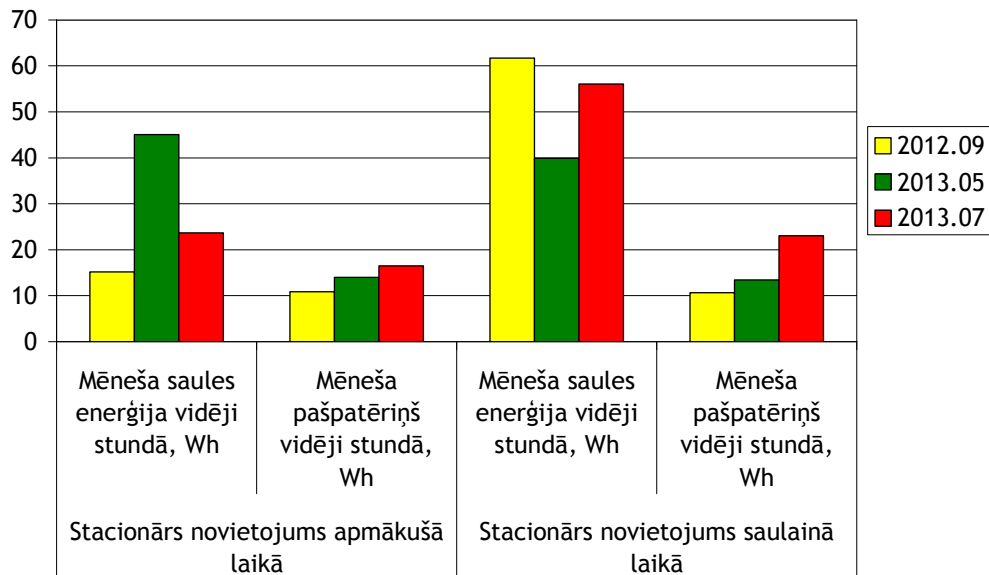
Jarque-Bera normalitātes testa rezultāti abiem lielumiem parāda, ka $p > 0.01$ un līdz ar to ar 99% varbūtību nevar noraidīt 0-hipotēzi, ka gan W'_{pv} , gan W'_{reg} sadalījums atbilst normālajam.

Viena faktora dispersijas analīze katram lielumam parāda, ka ne W'_{pv} , ne W'_{reg} pa mēnešiem neatšķiras statistiski ticami ($p > 0.8$). Līdz ar to no pieejamajiem datiem var secināt, ka neatkarīgi no sezonas saules enerģijas izmantošana dēļ dažāda rakstura braucieniem (pēc ātruma sadalījuma, kopējā garuma un dažādajiem maršrutiem) statistiski ticami neatšķiras, tomēr saglabājas tendence, ka maija mēneša braucienos saules enerģijas daļa ir lielāka (vidēji līdz 19% no kopējās patērētās enerģijas ir iegūtā saules enerģija). Lielāks eksperimentu skaits hipotētiski varētu parādīt lielākas atšķirības starp mēnešiem.

5.7. Stacionāro režīmu datu analīze

Stacionāri novietotam elektromobilim ar saules bateriju tika analizēta kopējā enerģijas bilance no saules baterijām iegūtajai enerģijai un transportlīdzekļa elektroaprīkojumam (gabarītu gaismas, saules bateriju kontrolēšanas pašpatēriņš u.c.) nepieciešamajai enerģijai.

Kopējais stacionāro eksperimentu laiks bija 293 h 45 min ar katra eksperimenta vidējo laiku 9 h 47 min. Iegūtā saules enerģija bija 10.56 kWh, pašpatēriņa enerģija šajā laikā - 4.35 kWh. Vidēji stundā iegūtās enerģijas daudzums salīdzinājumā ar pašpatēriņu (skat. 5.14. att.) parāda, ka iegūtā saules enerģija pārsniedz pašpatēriņu (spēkratu elektronika, uzlādes kontrolleris un ieslēgtas gaismas) tikai par 50-100 Wh stundā. Lai iegūtu enerģiju, kas nepieciešama vienam braucienam (šī pētījuma eksperimentos vidējam brauciena attālumam 32.6 km bija nepieciešams 4.65 kWh), no saules ar pilnībā izslēgtu pašpatēriņu akumulatori būtu jālādē 11.6 h.



5.14. att. Vidēji stundā iegūtās enerģijas daudzums salīdzinājumā ar pašpatēriņu

Jāņem vērā, ka viena eksperimenta laikā stacionārā režīmā no saules baterijām vidēji tika iegūtas 0.36 kWh, kas pietiktu tikai 8% no vidējās eksperimentu distances. Kopējās eksperimentos iegūtās saules enerģijas pietiktu 230% no vidējās eksperimentu distances.

Vidējā stundas enerģija stacionāros apstākļos pa mēnešiem parādīta 5.14. attēlā. Vidējā stundas saules enerģija nepārsniedz 60 Wh. Stacionāros eksperimentos vidēja saules bateriju jauda bija 40 W, maksimālā - 148 W, minimālā - 10 W.

Līdz ar to var secināt, ka saules baterijas izmantošana neļauj būtiski samazināt akumulatoru uzlādes punktu jaudu. Lai maksimizētu stacionārā novietojumā iegūto saules enerģijas daudzumu, būtu rūpīgi jāizvēlas stāvvietas novietojums, lai visā dienas garumā būtu optimāls saules staru krišanas leņķis uz saules bateriju un netraucētu ēnas no blakus esošiem objektiem, kas ne vienmēr ir iespējams.

5.8. Secinājumi

1. Veicot eksperimentus apmākušā dienā, var secināt, ka no izklaidētā starojuma var iegūt elektroenerģiju, jo uzstādīto saules panelu iegūto datu parametri ir līdzīgi vai pat augstāki nekā saulainos laika apstākļos.

2. Veicot jauktā režīma eksperimentus, ir novērojams, ka no saules paneļiem iegūtā enerģija ir lielāka nekā stacionāros režīma eksperimentos. Par to liecina vidējie maksimālie rādītāji pa sezonām.
3. Iegūstot papildus enerģiju no saules paneļiem, attiecīgi var palielināt kopējo nobraukumu ar elektrospēkratiem, līdz ar to lādēšanas punktu skaitu var samazināt.
4. Veicot saules bateriju iekārtu efektivitātes izpēti un izvērtējumu visas darba sezonas laikā var secināt, ka sezonālitate ietekmē iekārtu efektivitāti.
5. Saules bateriju izmantošana jauktā brauciena režīmā ir efektīvāka, jo ir lielāka varbūtība, ka uz jumta novietotās saules baterijas nonāks tiešā saules starojumā. Maksimālā vidējā stundas enerģija vienā jauktā braucienā saulainā laikā bija 500 Wh, bet stacionārā režīmā saulainā laikā - 60 Wh. Tas izskaidrojams gan ar pastāvīgu transportlīdzekļa novietojuma leņķa maiņu, gan ar to, ka ceļa tuvumā parasti nav augsti objekti ar garām ēnām, turpretī stacionārā režīmā ir grūti atrast optimālu saules baterijas novietojuma pozīciju.
6. Saules bateriju efektivitātes paaugstināšana stacionārā režīmā būtu risināma ar paneļa leņķa izmaiņas iespēju.
7. Eksploatējot spēkratus dienas garumā un veicot dažāda garuma distances vairākos eksperimentos, ir noskaidrots, ka praksē ikdienas lietošanā saules enerģijas daudzuma attiecībā pret kustībā patērēto enerģiju samazinās, palielinoties brauciena ilgumam un distancei. Pie dienas laikā nobrauktām distancēm 10-50 km saules enerģijas daļa variē attiecīgi 25-5%, pie tam ir novērojama vidēji cieša lineārā sakarība: iegūtās enerģijas daļa ir apgriezti proporcionāla brauciena ilgumam. Tādējādi par šādu daudzumu arī ir iespējams pagarināt elektrospēkratu nobraukumu un līdz ar to samazināt uzlādes punktu izvietojuma blīvumu.
8. Enerģijas bilances analīze parāda, ka summārā saules bateriju saražotās enerģijas daļa jauktā režīmā summāri visiem braucieniem veidoja 13% no kopējās distances veikšanai nepieciešamās enerģijas, kas ir mazāk kā literatūrā norādītie 20-30%. Savukārt vidējais stundā saražotās enerģijas daudzums tuvojās 20% no kopējā patēriņa braucienos maija mēnesī.
9. Eksperimentos no reģeneratīvās bremzēšanas tika iegūts 11% no kopējās distances veikšanai nepieciešamās enerģijas.
10. Stacionāros eksperimentos vidējā saules bateriju jauda bija 40 W, maksimālā - 148 W, minimālā - 10 W, un saules baterijas izmantošana neļauj būtiski samazināt akumulatoru uzlādes punktu jaudu, lai paātrinātu uzlādes procesu.

6. ELEKTROSPĒKRATU EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

6.1. Saules bateriju izpēte mazjaudas elektropēkratu vilces spēka nodrošināšanai

6.1.1. Pētījumu metodika

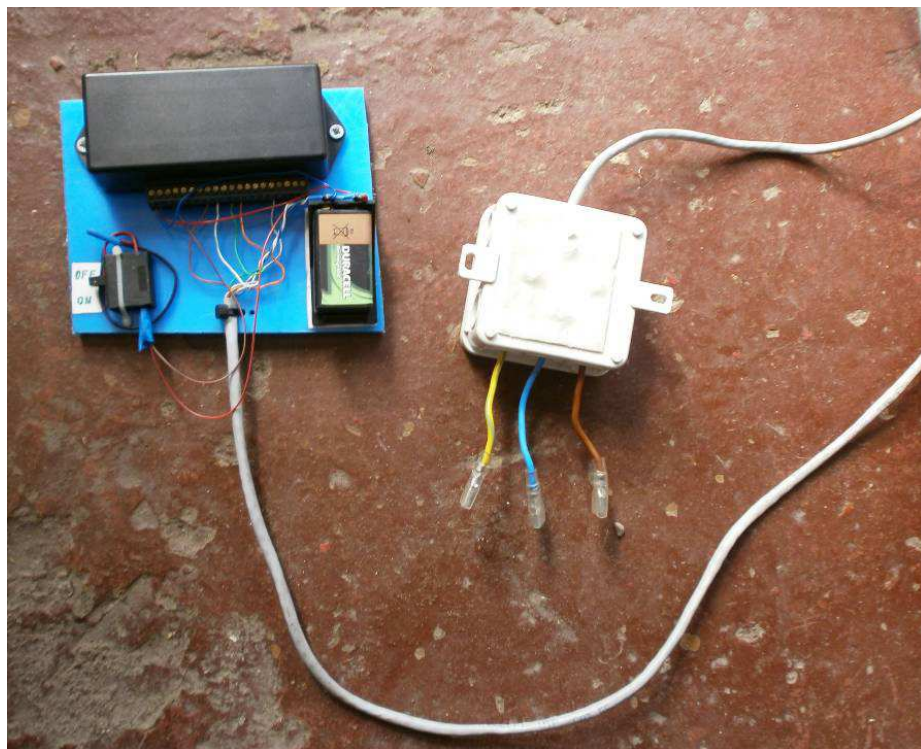
Eksperimenti veikti uz asfaltēta laukuma kustībā pa noslēgtu kontūru. Tādā veidā nodrošināta saules baterijas vienmērīga apspīdēšana ar sauli. Aptuvenais kontūra viena cikla garums ir 150 metri. Braukšanas dati tiek ierakstīti datu uzkrāšanas ierīcē *Holux GPSport*. Eksperiments veikts divās sērijās saulainās dienās un daļēji apmākušās dienās.

Pirmais eksperimentālais brauciens veikts pusdienas laikā. Otrais un trešais braucieni veikti no rīta, lai pārbaudītu, kā mainās eksperimenta rezultāti, kad saules radiācija pieaug.

Eksperimentos izmantotās ierīces *Holux GPSport* tehniskie dati (Holux GPSport 245, S.a.):

- ierakstīto datu un 200 000 starpposmu glabāšana;
- darbības temperatūra: -10 °C līdz +60 °C;
- glabāšanas temperatūra: -20 °C līdz +70 °C;
- litija-jonu akumulators, 1050 mAh, 5 stundu lādēšanas laiks, 18 stundu darbības laiks;
- IPX-6 ūdens izturības klase.

Sprieguma un strāvas stipruma izmaiņu fiksēšanai izmanto *Pace Scientific XR5-SE* datu uzkrāšanas ierīci (skat. 6.1. att.).



6.1. att. *Pace Scientific XR5-SE* datu uzkrāšanas ierīce

Ierīces *Pace Scientific XR5-SE* tehniskie dati (XR5-SE logger, S.a.):

- mērījumu precizitāte 0-2.5 V diapazonā: $\pm 0.15\%$;
- mērījumu precizitāte 0-5 V diapazonā: $\pm 0.35\%$;
- 20 skrūvējamie termināļi;
- darbības temperatūra: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ līdz $+78\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- aizsardzības klase: IP50.

Par elektrospekratu prototipu izvēlēts iepirkšanās elektromobilis *Trendmobil Hawaii*.

6.1.2. Elektromobiļa akumulatoru izvēles pamatojums

Elektromobilim standarta versijā tiek izmantotas divas jaudīgas 12 V, 40 Ah akumulatoru baterijas. Ar pilnīgi uzlādētām akumulatoru baterijām var nobraukt 40 km. Saules bateriju lietošana šādu akumulatoru izmantošanas gadījumā nav pamatota, jo pie vidējā kustības ātruma 6 km h^{-1} ar elektromobili var braukt praktiski visu dienu. Tiek meklēti risinājumi, kā izmantot mazākas un lētākas akumulatoru baterijas kombinācijā ar saules fotoelektrisko paneli. Lai noskaidrotu mazākas jaudas akumulatoru izmantošanas iespējas, veikts primārais elektromobiļa nobraukuma eksperiments ar divām 12 V, 12 Ah akumulatoru baterijām. Šāda tipa akumulatoru baterijas tiek izmantotas elektrovelosipēdos. Oriģinālo un mazjaudas akumulatoru galvenie parametri apkopoti 6.1. tabulā.

6.1. tabula. Elektromobiļa akumulatoru galvenie parametri

N.p.k.	Parametrs	Oriģinālie akumulatori	Mazjaudas akumulatori
1.	Kapacitāte, Ah	40	12
2.	Spriegums, V	12	12
3.	Nominālā strāva, A	12	4.8
4.	Masa, kg	13.9	3.2
5.	Vidējā cena, LVL	85	15

Primārie eksperimenti veikti ar 12 Ah akumulatoru baterijām, fiksējot nobraukumu, laiku un vidējo kustības ātrumu. Eksperimenta dati apkopoti 6.2. tabulā.

6.2. tabula. Primārā eksperimenta rezultāti

N.p.k.	Nobraukums, km	Laiks	Vidējais kustības ātrums, km h^{-1}
1.	10.30	1 st. 27 min	7.16
2.	8.90	1 st. 22 min	6.71
3.	10.30	1 st. 31 min	7.17
Vidēji	9.83	1 st. 26.6 min	7.01

Pēc primārā eksperimenta datiem 12 V, 12 Ah akumulatori ir izmantojami elektromobilī, tādā veidā samazinot svaru un izmaksas par akumulatoriem. Lielāka nobraukuma nodrošināšanai papildus var izmantot saules bateriju.

6.1.3. Saules fotoelektriskais panelis

Elektromobiļa akumulatoru papildus lādēšanai izmantots *KIOTO Photovoltaics* saules fotoelektriskais panelis *KPV PE 195 Q6LTT*. Saules panelis paredzēts gan stacionārām, gan mobilām iekārtām. Paneļa tehniskie dati (Trendmobil Hawaii, S.a.):

- nominālā jauda - 195 W;
- maksimālais sistēmas spriegums - 1000 V;
- īsslēguma strāva - 7.89 A;
- strāvas stiprums pie maksimālās jaudas - 7.45 A;
- spriegums pie maksimālās jaudas - 26.1 V;
- paneļa lietderības koeficients - 13%;
- šūnu skaits un tips - 54 kvadrātveida polikristāliskā silīcija šūnas;
- izmēri (garums, platums, biezums) - 1507 mm × 992 mm × 33 mm;
- svars - 16.5 kg.

6.1.4. Saules baterijas montāža uz elektromobiļa

Jumta konstrukcija veidota slīpā virzienā uz elektromobiļa aizmuguri. No plakandzelzs izgatavoti šķērsstiprinājumi. Stiprinājumi paneļa kronšteinam nodrošina fiksāciju elektromobiļa priekšdaļā un pakaļdaļā. Elektromobilis ar uzmontētu saules bateriju redzams 6.2. attēlā. Saules baterija kalpo arī kā jumts, lietainā laikā, vai kā saulesargs, saulainā laikā.



6.2. att. Eksperimentālais elektromobilis

6.1.5. Saules baterijas kontrollers

Elektromobiļa saules baterijai izmanto kontrolleru *Steca PR3030* (skat. 6.3. att.).



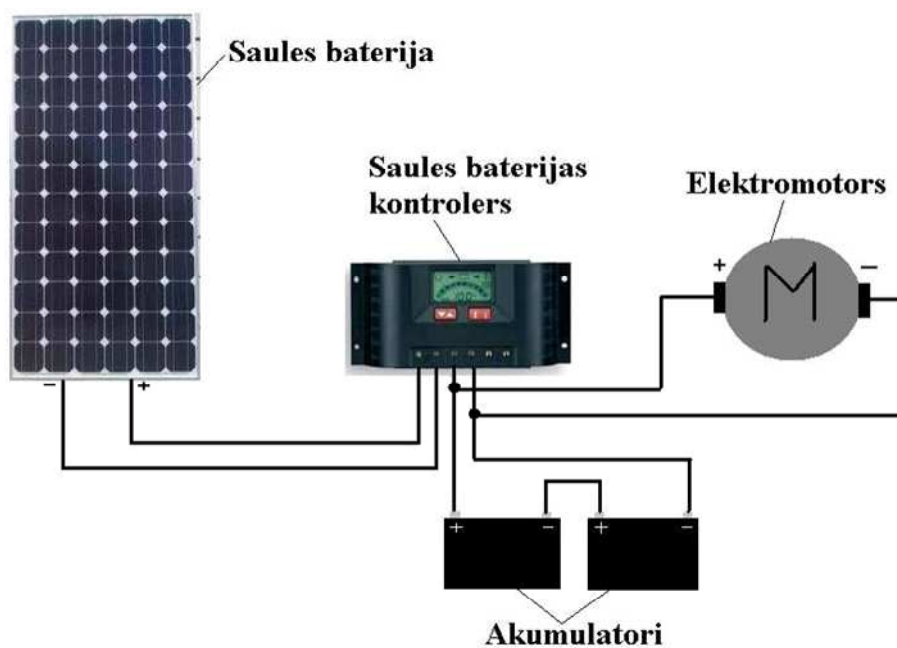
6.3. att. Saules baterijas kontrolers *Steca 3030*

Eksperimentālā kontrolera galvenie parametri apkopoti 6.3. tabulā (Steca PR3030, S.a.).

6.3. tabula. *Kontrollera Steca 3030* parametri

N.p.k.	Parametrs	Skaitliskā vērtība
1.	Darbības spriegums	12 V vai 24 V
2.	12 V darbības diapazons	6.9 V - 17.2 V
3.	24 V darbības diapazons	17.3 V - 43.0 V
4.	Pieļaujamā darbības temperatūra	-10 °C - +50 °C
5.	Iekārtas strāvas pašpatēriņš	12 mA
6.	Maksimālais ieejas spriegums	47 V
7.	Maksimālais strāvas stiprums	30 A
8.	Svars	350 g
9.	Izmēri	187 × 96 × 44 mm
10.	Aizsardzības klase	IP32

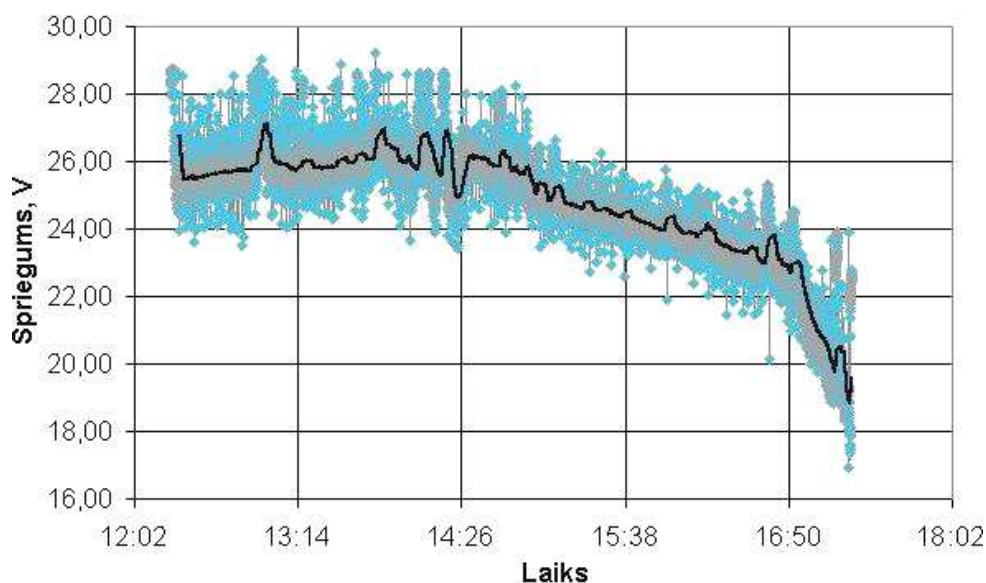
Kontrolleris piestiprināts pie elektromobiļa stūres statnes. Kontrollera pieslēguma principiālā shēma parādīta 6.4. attēlā.



6.4. att. Slēguma principiālā shēma

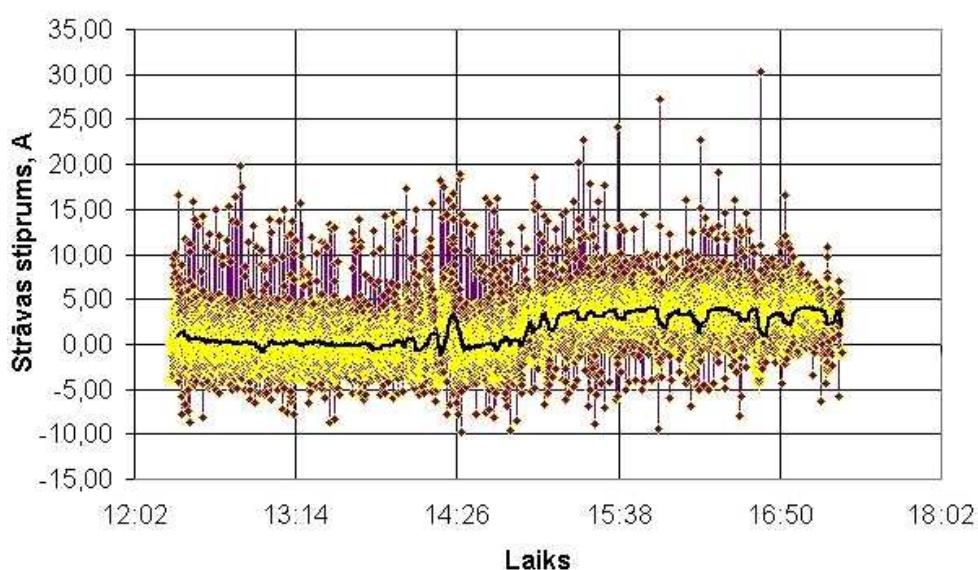
6.1.6. Eksperimentu rezultāti

Pirmais brauciens tika veikts mainīgos laika apstākļos. Brauciens uzsākts 12:17 (skat. 6.5. att.) saulainos laika apstākļos, akumulatora sprieguma vērtība bija zem 25.5 V. Eksperimenta gaitā spriegums pieauga līdz 26.5 V. Ap 14:30 spriegums sāka samazināties. Tas skaidrojams ar to, ka laiks sāk apmākties un samazinājās saules radiācija. To parāda arī grafiks par saules radiāciju attiecīgā braucienā (skat. 6.7. att.). Brauciena beigās spriegums nokritās zem 20 V, elektromobiļa akumulatori tika pilnībā izlādēti.



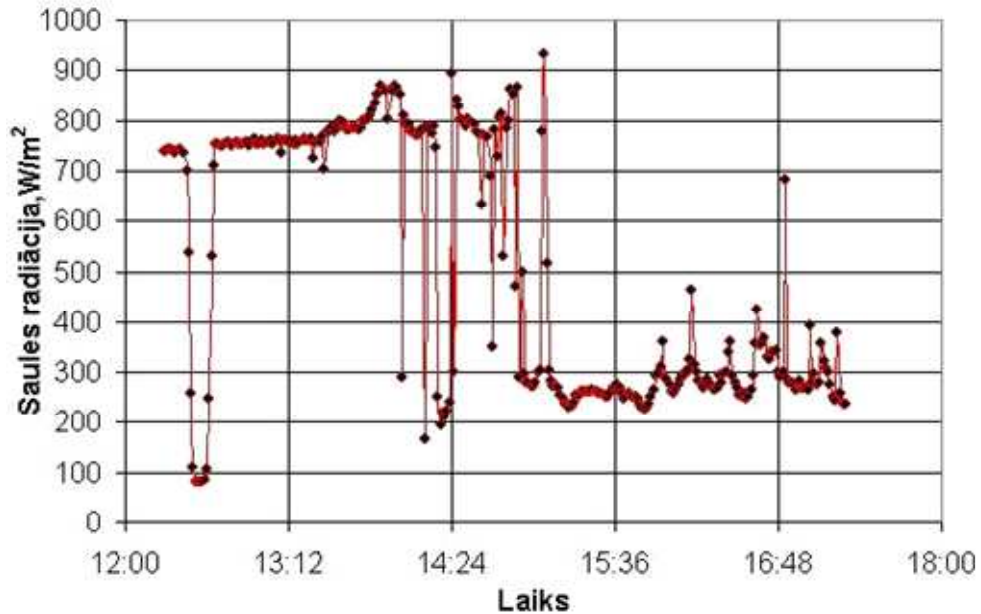
6.5. att. Pirmā brauciena sprieguma izmaiņas grafiks

Pirmā brauciena saražotās un patērētās strāvas attiecība brauciena sākumā bija līdzīga. Arī šajā grafikā (skat. 6.6. att.) redzams, ka ap 14:30 strāvas patēriņš sāka pieaugt, un tā vērtība pieauga vidēji līdz 5 A.



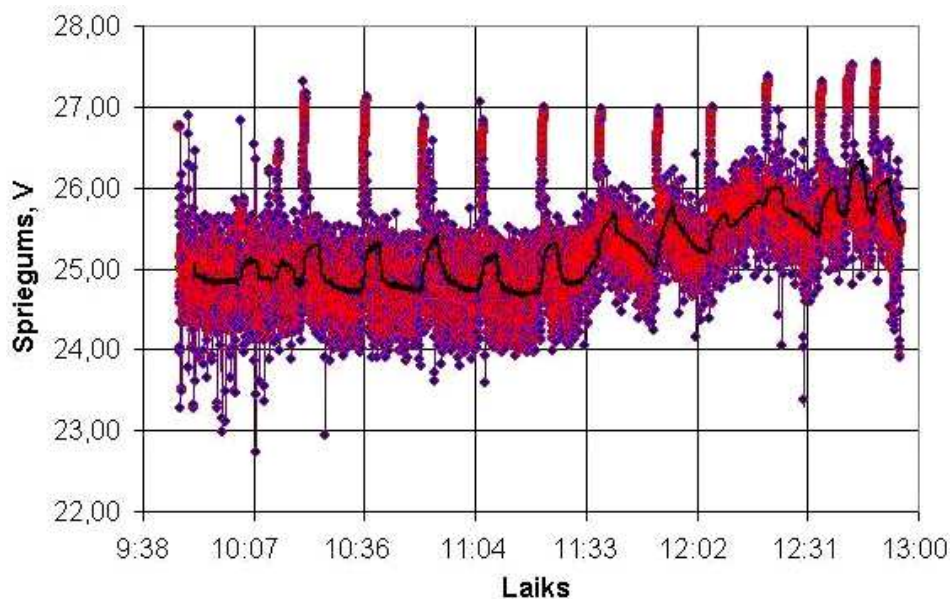
6.6. att. Pirmā brauciena strāvas stipruma izmaiņas grafiks

Saules radiācijas grafikā (skat. 6.7. att.) redzams, ka brauciena sākumā saules radiācijas vērtība ir aptuveni 750 W m^{-2} , dienas gaitā tā pieaug līdz pat 850 W m^{-2} . Ap 14:30 saules radiācijas vērtība nokritās zem 300 W m^{-2} , tāda tā palika visu atlikušo eksperimentu. Šāds saules radiācijas līmenis nebija pietiekams, lai uz elektromobiļa uzstādītā saules baterija spētu lādēt tā akumulatorus un nodrošinātu nepārtrauktu kustību.



6.7. att. Saules radiācija pirmā brauciena laikā

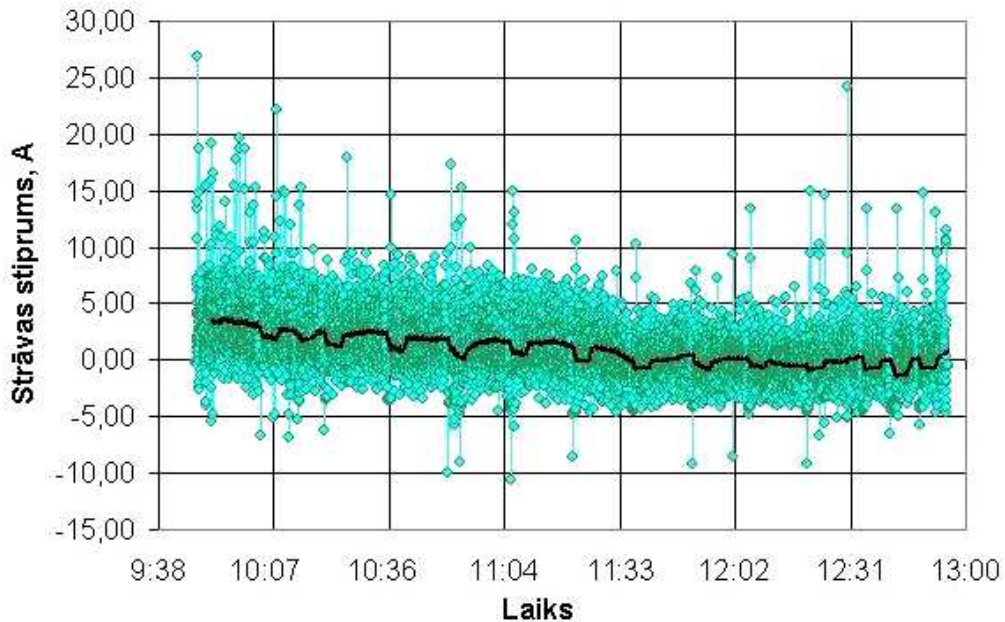
Otrais brauciens tika veikts saulainos laika apstākļos, kad visu brauciena laiku saules vidējā radiācija nebija mazāka par 600 W m^{-2} . Brauciens uzsākts 9:46. Otrais brauciens tika veikts agrāk no rīta, lai varētu pārbaudīt, kā pieaugošā saules radiācija ietekmē sprieguma un strāvas stipruma vērtības. Otrā brauciena sprieguma grafikā redzams, ka sprieguma vērtības līdz pulksten 11:30 bija 25 V robežās (skat. 6.8. att.).



6.8. att. Otrā brauciena sprieguma izmaiņas grafiks

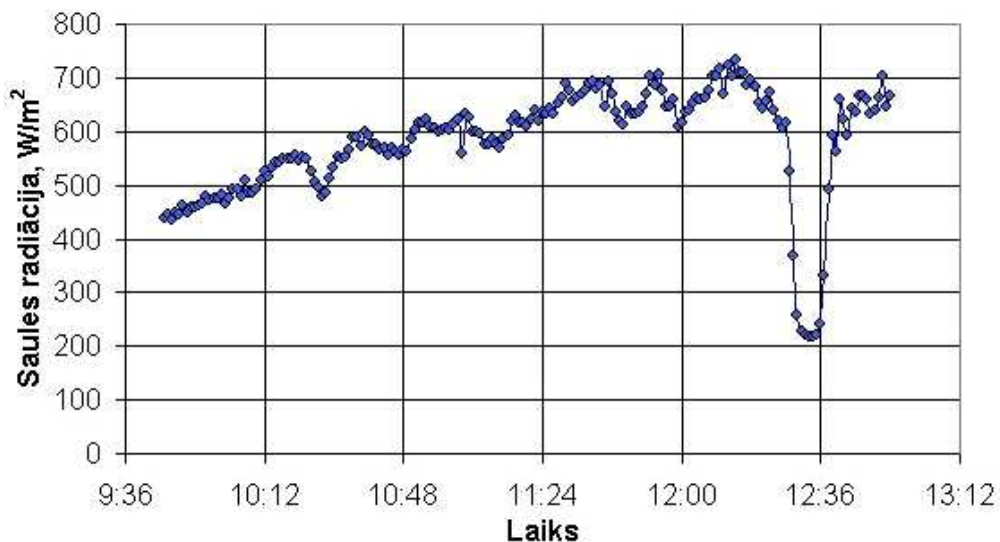
Pēc tam spriegums sāka pieaugt līdz vidēji 25.5 V. Tā kā sprieguma vērtība pieauga un divu stundu laikā nekritās, tad tika pieņemts, ka šādos apstākļos ar elektromobili varētu braukt neierobežoti ilgi, un eksperimentālais brauciens tika pārtraukts.

No patērētās strāvas stipruma grafika (skat. 6.9. att.) var redzēt, ka patērētās strāvas vērtības otrā brauciena laikā samazinās, bet saražotās strāvas vērtības pieaug.



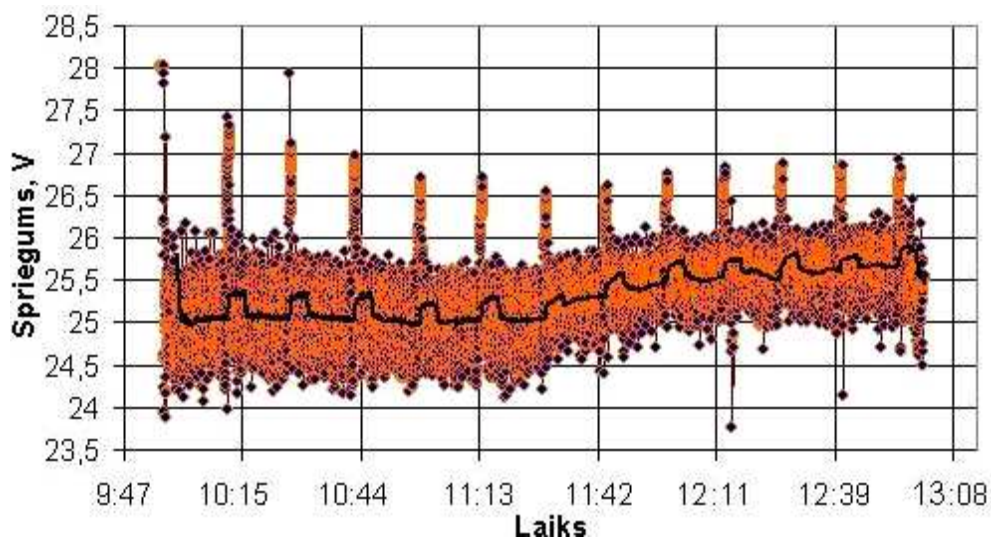
6.9. att. Otrā brauciena strāvas stipruma izmaiņas grafiks

Otrā brauciena saules radiācijas grafikā redzams (skat. 6.10. att.), kā saules radiācija pieaug no 450 W m^{-2} no rīta līdz virs 700 W m^{-2} pusdienas laikā. Īslaicīgs kritums līdz 200 W m^{-2} parādās ap 12:30. Tas skaidrojams ar to, ka sauli uz brīdi aizsedz mākonis, pēc tam saules radiācijas vērtība atkal pieaug līdz 650 W m^{-2} .



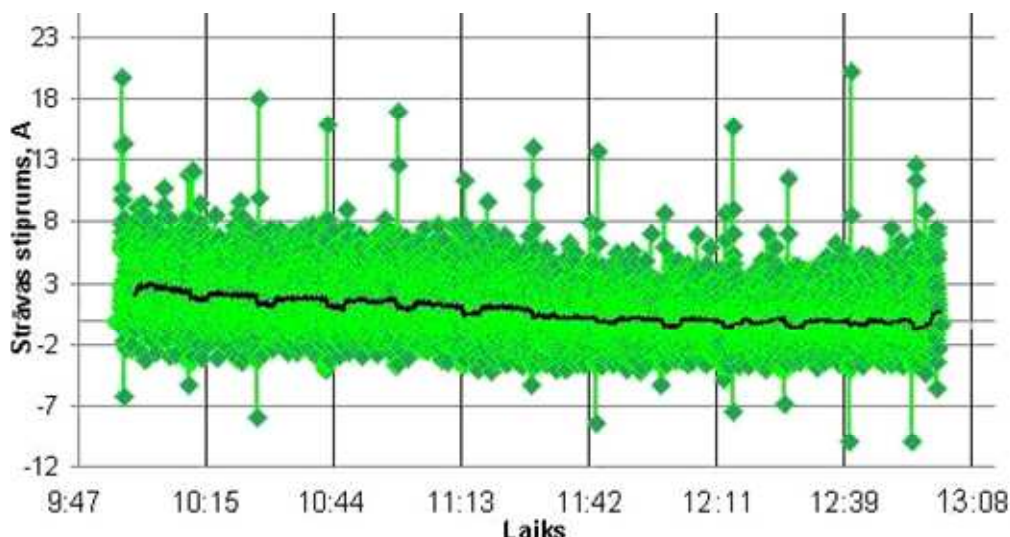
6.10. att. Saules radiācija otrā brauciena laikā

Trešajā braucienā (skat. 6.11. att.) ir novērojama līdzīga tendence kā otrajā braucienā. Sprieguma vidējās vērtības sākumā variē ap 25 V, pēc tam tās pieaug līdz aptuveni 25.5 V un vairs nekrītas. Trešajā braucienā arī bija saulaini laika apstākļi, līdz ar to apstiprinājās otrā brauciena teorija par to, ka saulainos apstākļos ar saules bateriju aprīkotajam elektromobilim saules baterijas jauda ir pietiekama vilces spēka nodrošināšanai.



6.11. att. Trešā brauciena sprieguma izmaiņas grafiks

No trešā brauciena patērētās strāvas stipruma grafika (skat. 6.12. att.) var izdarīt līdzīgus secinājumus kā par otrā brauciena grafiku. Patērētās strāvas lielums pamazām samazinās, līdz ar to pieaug saražotas strāvas daudzums, kas ir pietiekams kustības nodrošināšanai.



6.12. att. Trešā brauciena strāvas stipruma izmaiņas grafiks

6.1.7. Mazjaudas elektrospekratu saules baterijas uzstādīšanas ekonomiskais pamatojums

Elektromobiļa pārbūves materiālu izmaksas darbībai ar saules bateriju apkopotas 6.4. tabulā (Solar panels, S.a.).

6.4. tabula. Pārbūves materiālu izmaksas 2013. gadā

N.p.k.	Iekārta, materiāli	Cena, LVL
1.	Saules baterija	180.00
2.	Saules baterijas kontrolers	22.00
3.	Akumulatori	30.00
4.	Metāla profili	35.00
5.	Vadi, uzgaļi	10.00
Kopā		277.00

Elektromobiļa izmaksas 100 km nobraukumam bez saules baterijas ar oriģinālajiem akumulatoriem aprēķināmas pēc sakarības:

$$I_{100} = \frac{C_{1uzl} \cdot 100}{l_{1uzl}}, \quad (6.1)$$

kur C_{1uzl} - vienas uzlādes izmaksas, LVL;
 l_{1uzl} - nobrauktais attālums ar vienu uzlādi, km.

Ar saules bateriju ekspluatāciju pieņem bez papildus uzlādes.

Elektromobiļa potenciālais gada nobraukums:

$$l_{gadā} = l_{dienā} \cdot D, \quad (6.2)$$

kur $l_{dienā}$ - vienas dienas nobraukums, km;
 D - braucamo dienu skaits gadā.

Gada uzlādes izmaksas elektromobilim ar standarta akumulatoriem:

$$I_{gadā} = \frac{l_{gadā} \cdot I_{100}}{100}, \quad (6.3)$$

kur $l_{gadā}$ - gada nobraukums, km;
 I_{100} - izmaksas uz 100 kilometriem, LVL (100 km)⁻¹.

Akumulatoru izmaksas gada laikā aprēķināmas pēc sakarības:

$$I_{AKB} = \frac{2 \cdot C_{AKB}}{T_g}, \quad (6.4)$$

kur I_{AKB} - akumulatoru izmaksas gadā, LVL;
 C_{AKB} - akumulatora cena, LVL;
 T_g - ekspluatācijas laiks, gadi.

Elektromobiļa kopējās gada izmaksas ar oriģinālajiem akumulatoriem:

$$I_{gadakop.} = I_{gadā} + I_{AKB1}, \quad (6.5)$$

kur $I_{gadā}$ - gada uzlādes izmaksas, LVL;
 I_{AKB1} - oriģinālo akumulatoru izmaksas gadā, LVL.

Pieņem, ka akumulatoru kalpošanas laiks būs 4 gadi. Izmaksas 4 gadu laikā ar oriģinālajiem akumulatoriem:

$$I_{4gAKB1} = 4 \cdot I_{gadakop.}, \quad (6.6)$$

kur $I_{gadakop.}$ - kopējās gada izmaksas ar oriģinālajiem akumulatoriem, LVL.

Izmaksas 4 gadu laikā ar mazjaudīgajiem akumulatoriem:

$$I_{4gSB} = 4 \cdot I_{AKB2}, \quad (6.7)$$

kur I_{AKB2} - mazjaudīgo akumulatoru izmaksas gadā, LVL.

Elektromobiļa kopējās izmaksas 4 gadu laikā ar oriģinālo akumulatoru maiņu:

$$I_{kop1} = I_{4gAKB1} + 2 \cdot C_{AKB1}, \quad (6.8)$$

kur I_{4gAKB1} - izmaksas 4 gadu laikā ar oriģinālajiem akumulatoriem, LVL;
 C_{AKB1} - oriģinālā akumulatora cena, LVL.

Elektromobiļa kopējās izmaksas 4 gadu laikā ar mazjaudīgo akumulatoru maiņu un saules baterijas uzstādīšanu:

$$I_{kop2} = C_{mat} + I_{4gSB} + 2 \cdot C_{AKB2}, \quad (6.9)$$

kur C_{mat} - pārbūves materiālu izmaksas, LVL;
 I_{4gSB} - izmaksas 4 gadu laikā ar mazjaudīgajiem akumulatoriem, LVL;
 C_{AKB2} - mazjaudīgā akumulatora cena, LVL.

Pēc četrus gadu ekspluatācijas izdevīgāk veikt elektromobiļa pārbūvi darbībai ar saules bateriju un lietot divus mazjaudīgākus 12 V, 12 Ah akumulatorus nekā pirkt divus jaunus oriģinālos 12 V, 40 Ah akumulatorus un turpināt lietot elektromobili ar tiem. Veicot aprēķinus pēc sakarībām 6.1. - 6.9., ietaupījums ir 115 LVL, kas turpmākajā ekspluatācijā pieaugs. Iespējama arī elektromobiļa ekspluatācija ar saules bateriju, kuras jauda nepārsniedz 120 W, tomēr šādā gadījumā ir mazākas jaudas rezerves daļēji apmākušā dienā, kā arī pie neizdevīgiem saules krišanas leņķiem.

6.1.8. Secinājumi

1. Latvijas klimatiskajos apstākļos vasaras mēnešos ir pietiekams saules radiācijas līmenis, kas pārsniedz 500 W m^{-2} , lai varētu efektīvi izmantot saules baterijas automobiļos.
2. Saules bateriju izgatavošanas tehnoloģijas strauji attīstās. Tas nozīmē, ka tās nākotnē kļūs plašāk pieejamas par zemākām cenām un ar augstāku efektivitāti.
3. Izstrādāts darbaspējīgs eksperimentālais saules elektromobilis. Pētāmajam elektromobilim izveidotā konstrukcija papildus kalpo kā jumts, kas pasargā braucēju no lietus vai saules starojuma.
4. Saulainos apstākļos, kad saules radiācijas vidēja vērtība ir 600 W m^{-2} , ar saules bateriju aprīkotā elektromobiļa nobraukums no enerģijas izmantošanas viedokļa ir neierobežots.

5. Mākoņainā laikā, kad saules radiācijas vidējā vērtība ir 300 W m^{-2} , saules baterija nespēj pietiekoši uzlādēt elektromobiļa akumulatorus, un enerģija nav pietiekama nepārtrauktai ekspluatācijai bez papildus akumulatoru uzlādes.
6. Eksperimentos intensīvas saules radiācijas apstākļos vērojams akumulatoru sprieguma palielinājums vidēji no 24.8 V līdz 25.5 V.
7. Izstrādātā konstrukcija ar mazjaudas akumulatoriem var atmaksāties 4 gadu laikā.

6.2. Lēngaitas elektropēkratu ieskriešanās parametri

Lēngaitas elektropēkrati nav paredzēti ātri braukšanai, tomēr nosakot dinamiskuma parametrus iespējams analizēt elektropēkratu spēju pielāgoties pilsētas satiksmes plūsmai, kā arī pēc ieskriešanās raksturlīknēm noteikt optimālo vidējo braukšanas ātrumu lielākā nobraukuma nodrošināšanai ar vienu uzlādi.

Pirms testu uzsākšanas elektropēkratu riepās tika nodrošināts ražotāju paredzētais gaisa spiediens. Visi elektropēkrati tika testēti ar pilnībā uzlādētiem akumulatoriem.

Elektropēkratiem mērījumi veikti 200 m garā ceļa posmā. Ceļa segums - bija asfaltbetons labā stāvoklī ar rītes pretestības koeficientu 0.018 - 0.020, izmēģinājumu ceļa posma slīpums nepārsniedza 1%. Gaisa temperatūra eksperimentu laikā bija $15 \text{ }^\circ\text{C}$, vēja ātrums $2 - 3 \text{ m s}^{-1}$.

Mērījumiem izmantots zinātniskais radars *Stalker ATS* ar statīvu. Datu fiksēšanai izmantots portatīvais dators. Ar radaru fiksē ātrumu, bet pārējie saistītie parametri - ceļš un paātrinājums tiek aprēķināti.

Radara galvenie parametri (*Stalker ATS...*, S.a.):

- mērāmā kustības ātruma diapazons: $1 - 480 \text{ km h}^{-1}$;
- precizitāte: $\pm 1.069 \text{ km h}^{-1}$;
- mērķa (spēkratu) fiksēšanas laiks: 0.01 s;
- darbības attālums: 1.82 km;
- svars: 1.45 kg.

Pētījuma veikšanai izvēlēti pieci dažādi elektropēkrati:

- elektromobilis *Melex 963DS*;
- elektromopēds *eGO Helio M37*;
- elektrovelosipēds *ER61*;
- iepirkšanās elektromobilis *Hawaii*;
- iepirkšanās elektromobilis *City-Liner*.

Eksperimentos izmantoto spēkratu tehniskie parametri apkopoti 6.5. tabulā. Tajā aprēķināta arī elektropēkratu īpatjaua.

Lielākā īpatjaua norāda uz lielāku potenciālo ieskriešanās dinamiku. Spriežot pēc šī parametra, lielākā potenciālā ieskriešanās dinamika būs elektromopēdam *eGO Helio M37*, bet mazākā - elektrovelosipēdam *ER61*.

6.5. tabula. Eksperimentos izmantoto elektropēkratu tehniskie parametri

N.p.k.	Tehniskais parametrs	Elektropēkratu modelis				
		Melex 963DS	eGO Helio M 37	ER 61	Hawaii TM4401DX	City-Liner
1.	Nobraukums ar pilnu uzlādi, km	65	40	65	40	35
2.	Maksimālais braukšanas ātrums, km h ⁻¹	25	37	32	6	6 - 8
3.	Akumulatoru baterijas	8 gab. 12 V	2 gab. 12V, 34Ah	4 gab. 12 V, 12Ah	2 gab. 12 V, 40 Ah	2 gab. 12 V, 40 Ah
4.	Elektromotora spriegums, V	48	24	48	24	24
5.	Elektromotora jauda, kW	3.90	1.75	0.35	1.00	1.00
6.	Celtspēja, kg	450	114	115	159	150
7.	Pilna masa, kg	1135	173	150	255	245
8.	Īpatjauda, kW t ⁻¹	3.44	10.12	2.33	3.92	4.08
9.	Īpatjauda eksperimentā, kW t ⁻¹	5.30	12.50	2.80	5.12	5.37

6.2.1. Eksperimenta rezultāti

Viens no būtiskiem rādītājiem spēkratu dinamikā ir ieskriešanās līdz noteiktam ātrumam.

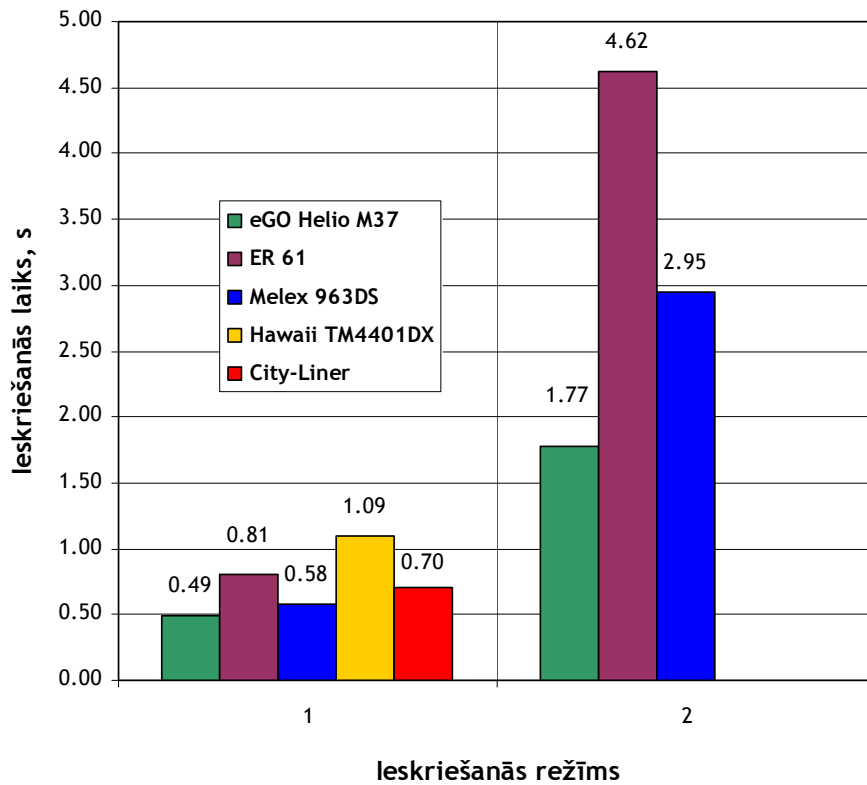
Vieglajiem automobiļiem šāds ātrums ir 100 km h⁻¹, un mūsdienu ielas automobiļi šādu ātrumu parasti var sasniegt 6 - 15 s. Pētītie lēngaitas elektropēkrati ir ar ļoti dažādu maksimālo braukšanas ātrumu, kas variē no 6 - 37 km h⁻¹. Ieskriešanās dinamikas salīdzinājumam izvēlēti ātrumi 5 km h⁻¹ un 15 km h⁻¹.

Ar katru no spēkratiem katrā režīmā veikti 3 atkārtojumi. Šo atkārtojumu vidējās vērtības apkopotas 6.13. attēlā.

Labākā ieskriešanās dinamika gan līdz ātrumam 5 km h⁻¹, gan arī līdz 15 km h⁻¹ ir elektromopēdam eGO Helio M37, attiecīgi - 0.49 s un 1.77 s.

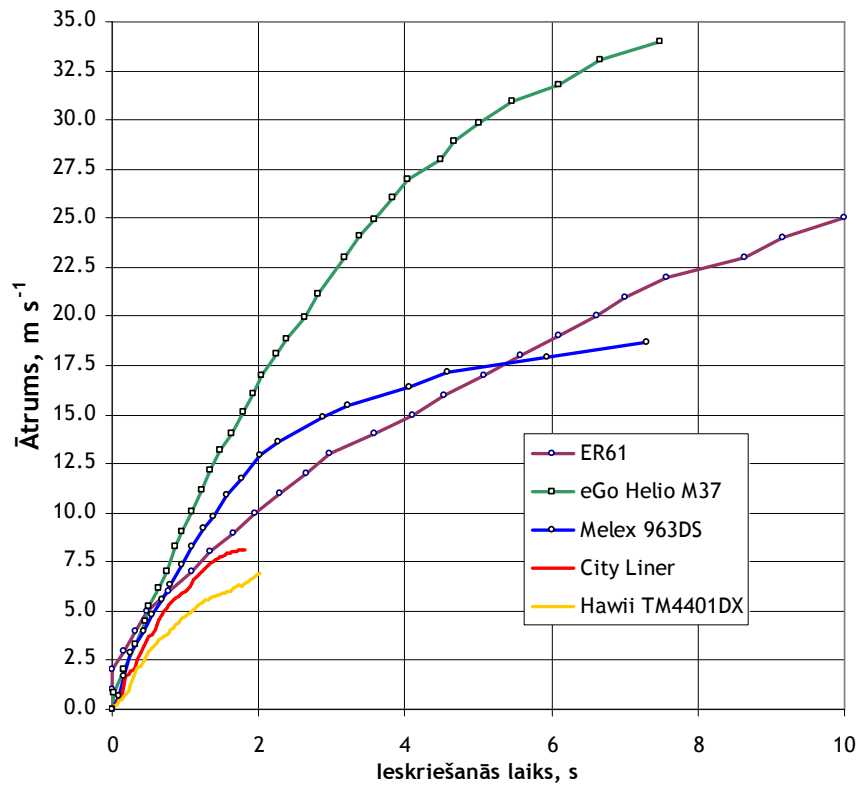
Tā kā iepirkšanās elektropēkratiem maksimālais braukšanas ātrums nepārsniedz 8 km h⁻¹, 2. ieskriešanās režīmā diagrammā tie netiek attēloti.

15 km h⁻¹ no pētītajiem spēkratiem vislēnāk sasniedz elektrovelosipēds ER61. Tas izskaidrojams ar salīdzinoši vājo motoru - tikai 0.35 kW.



6.13. att. Lēngaitas elektropēkratu ieskriešanās laiks:
1 - līdz 5 km h⁻¹; 2 - līdz 15 km h⁻¹

Precīzākai ieskriešanās parametru salīdzināšanai izveidots grafiks $v = f(t)$, kas parādīts 6.14. attēlā.

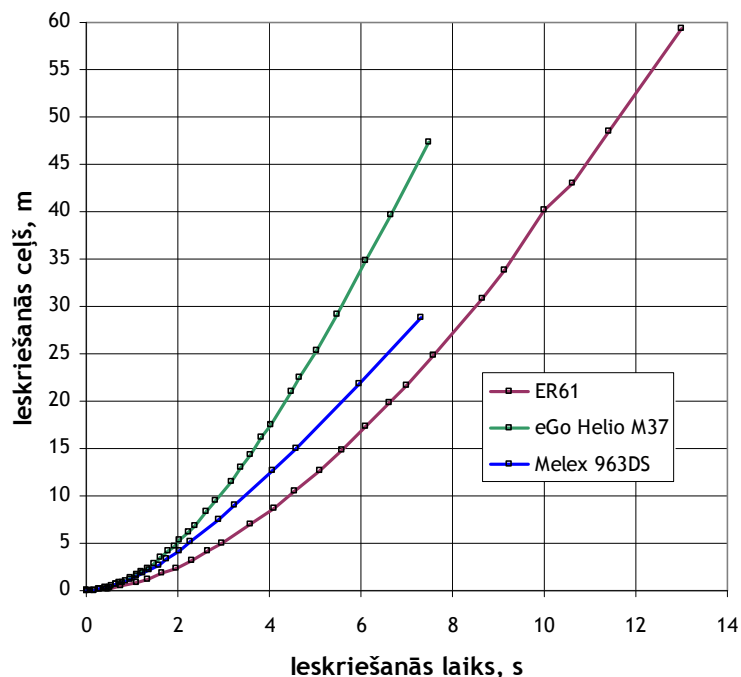


6.14. att. Lēngaitas elektropēkratu ieskriešanās dinamika

Gadījumā, kad spēkratu jauda ir pietiekama laba dinamiskuma sasniegšanai, ātruma līkne ir stāva. Pie lielākiem braukšanas ātrumiem, izsmēlot motora jaudas resursus, ieskriešanās līkne kļūst lēzena. Pētītajiem elektrospekratiem šis līknes pārliekuma punkts vidēji ir pie $(0.7...0.8) \cdot v_{max}$. Pēc provizoriskiem pētījumiem, pārsniedzot šo kustības ātrumu, elektromobiļa motors strādā lielā slodzē un patērē daudz vairāk no akumulatoros uzkrātās elektroenerģijas, tādējādi spēkratu nobraukums ar vienu uzlādi samazinās. Elektromobilim *Melex 963DS* šis pārliekuma punkts ir izteiktākais no visiem pētītajiem elektrospekratiem un tas ir aptuveni pie 15 km h^{-1} . Turpmākā ieskriešanās līdz maksimālajam braukšanas ātrumam notiek ļoti lēni. Jāatzīmē arī fakts, ka ražotāji saviem elektrospekratiem tehniskajos datos dažkārt norādījuši lielākus kustības ātrumus nekā tie ir pēc eksperimenta rezultātiem. Tehniskajos raksturojumos norādītos maksimālos braukšanas ātrumus (6 km h^{-1}) sasniedz tikai iepirkšanās elektromobiļi.

Līdzīgi kā pie ieskriešanās analīzes līdz 15 km h^{-1} , arī pilnā ātruma diapazonā straujākā ieskriešanās ir elektromopēdam *eGO Helio M37*. Maksimālo braukšanas ātrumu tas sasniedz 7.49 sekundēs. Šāda dinamika ir pietiekoša ērtai izmantošanai pilsētas satiksmē un nodrošinās labu iekļaušanos transportlīdzekļu plūsmā. Elektromobilis *Melex 963DS*, ņemot vērā tā salīdzinoši nelielo kustības ātrumu un lielos gabarītus, nav īpaši piemērots lielpilsētas satiksmei. Tas vairāk lietojams izklaides braucieniem maz noslogotās ielās un ārpus pilsētas.

Iepirkšanās elektromobiļu dinamika ir mazākā no pētītajiem spēkratiem. Tomēr ņemot vērā šo spēkratu lietošanas specifiku - pa trotuāriem, veikalos un pa gājēju pārejām, dinamiskums, kad maksimālais ātrums tiek sasniegts pat mazāk kā 2 sekundēs, ir pilnīgi pietiekams. Ņemot vērā šo spēkratu nobraukumu - līdz 40 km, un maksimālo braukšanas ātrumu, kas pārsniedz vidēja gājēja kustības ātrumu ejot soļos, tie pat ir pārāki par vidējo gājēju parametriem.



6.15. att. Elektrospekratu ieskriešanās ceļš

Ieskriešanās ceļš (skat. 6.15. att.) analizēts tikai elektropēkratiem, kuru braukšanas ātrums pārsniedz 10 km h^{-1} . Ieskriešanās ceļš *Melex 963DS* automobilim ir 28.8 m, bet elektromopēds līdz maksimālajam ātrumam ieskrienas 47.4 metru garā ceļā. Lielākais ieskriešanās ceļš - 59.3 m ir elektrovelosipēdam, kas skaidrojams ar tā mazo motora jaudu.

6.2.2. Secinājumi

1. Lielākā īpatjaua - 12.50 kW t^{-1} ir elektromopēdam, kas nodrošina tā augstākos dinamiskuma rādītājus - ieskriešanās laiku līdz 15 km h^{-1} 1.77 sekundēs.
2. Visilgāk līdz 15 km h^{-1} ieskrienas elektrovelosipēds *ER61* - 4.62 s, kas izskaidrojams ar tā zemāko īpatjaudu.
3. Neskatoties uz salīdzinoši nelielo motoru jaudu, pateicoties izdevīgajam motora jaudas un griezes momentu raksturlīknēm, elektropēkrati uzrāda pietiekami labas dinamiskās īpašības.
4. Pētījumiem elektropēkratiem optimālais vidējais ātrums ir $(0.7...0.8) \cdot v_{\max}$, kas nodrošina lielāko elektropēkratu nobraukumu.
5. Lēngaitas elektropēkratu ražotāji tehniskajā raksturojumā norādījuši vidēji par 10% lielāku braukšanas ātrumu nekā tas tiek sasniegts eksperimentos.
6. Elektromopēdam *eGO Helio M37* ir labākie dinamiskuma rādītāji. Maksimālo braukšanas ātrumu tas sasniedz 7.49 sekundēs.

6.3. Elektroautomobiļa *FIAT FIORINO ELETTRICA HC-S* ieskriešanās raksturlielumu noteikšana

Pētījumi veikti ar AS „Latvenergo” piederošo elektromobili *Fiat Fiorino Elettrica HC-S*.

Fiat Fiorino Elettrica HC-S īss tehniskais raksturojums (Fiorino..., 2009):

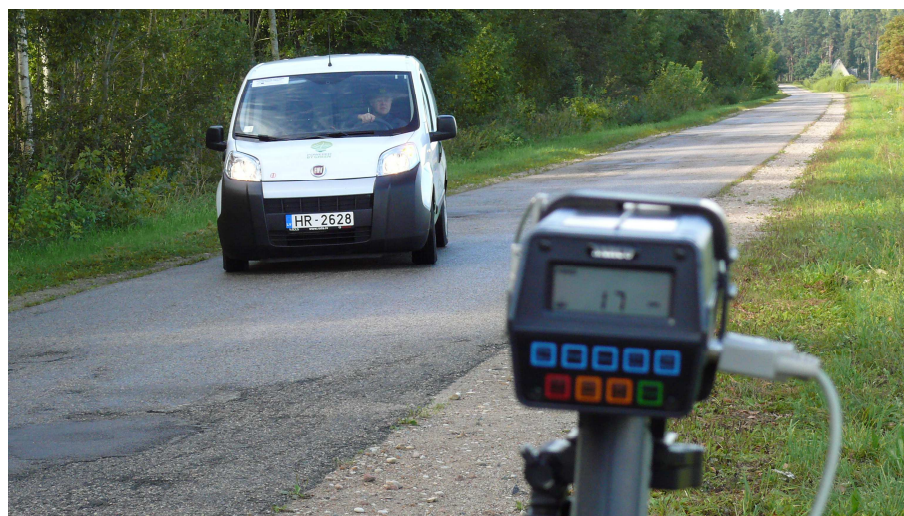
- kategorija - M1;
- elektromotors - asinhronais, nominālā jauda 30 kW, maksimālā jauda 60 kW;
- bremžu tips - enerģijas reģenerācijas;
- uzlādes ligzda - 230 VAC - 16 A - 3 kW;
- baterija - litija līdz 31.1 kWh;
- maksimālais pārvaramais kāpums - 24%;
- transmisija - tiešā piedziņa;
- maksimālais ātrums - līdz 115 km h^{-1} ;
- veicamais attālums ar vienu uzlādi (ciklā ECE 101) - 100 km;
- salona apkures sistēma ar fosilo degvielu.

Automobiļa ieskriešanās dinamika tika noteikta 1 km garā ceļa posmā, izmantojot zinātnisko radaru *Stalker ATS* (skat. 6.16. att.).

Radara būtiskākie tehniskie parametri (*Stalker ATS...*, S.a.):

- mērāmā kustības ātruma diapazons: $1 - 480 \text{ km h}^{-1}$;
- precizitāte: $\pm 1.069 \text{ km h}^{-1}$;
- mērķa (transportlīdzekļa) fiksēšanas laiks: 0.01 s;

- maksimālais mērāmā transportlīdzekļa uztveršanas attālums: 1.82 km;
- svars: 1.45 kg;
- RS-232 pieslēgvietā datoram.



6.16. att. Elektroautomobilis *Fiat Fiorino Elettrica HC-S* un zinātniskais radars *Stalker ATS*

6.3.1. Pētījumu metodika

Pirms eksperimenta automobilim veikta pilna akumulatoru uzlāde. Eksperiments veikts uz līdzena un taisna asfaltbetona ceļa seguma ar vidējo rites pretestības koeficientu 0.018 - 0.020 laikā, kad ceļa segums bija sauss, apkārtējās vides temperatūra +15 °C, vēja ātrums nepārsniedza 2.8 m s⁻¹. Dodoties uz eksperimentu vietu, ar automobili nobrauca 12 km.

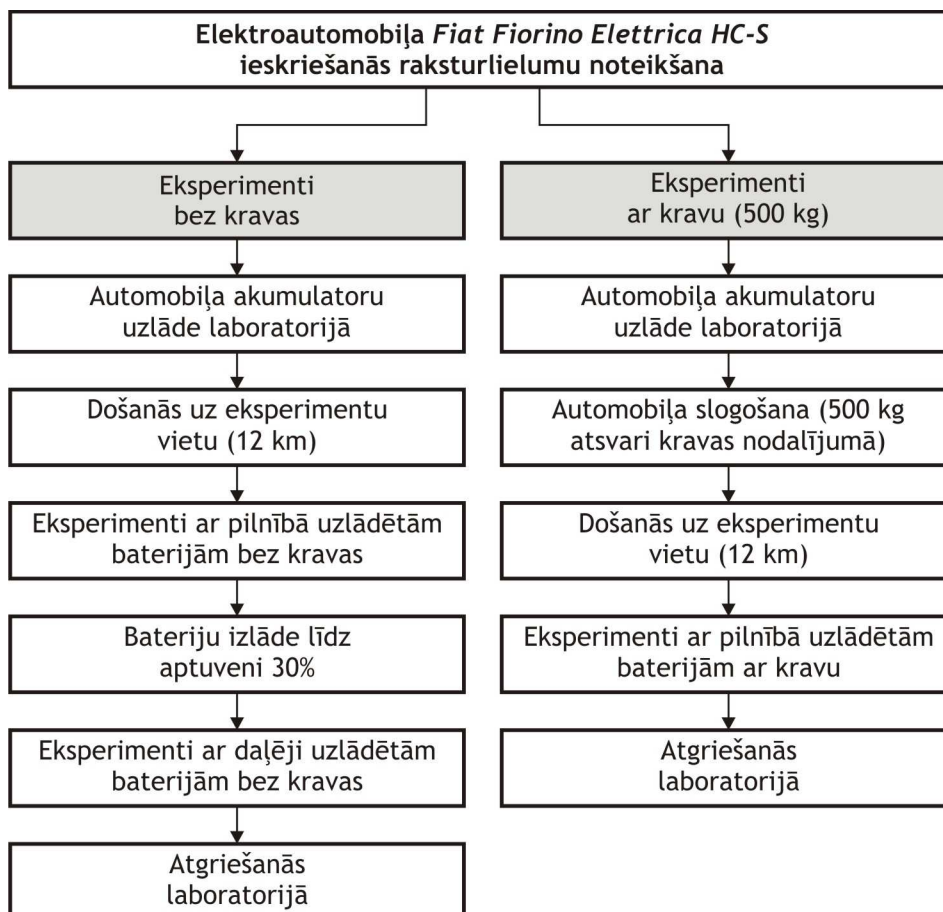
Eksperimentu ceļa posmā 5 m aiz automobiļa tika novietots radars. Eksperimentā piedalījās vismaz 2 operatori. Viens darbojās ar radaru, kas pieslēgts portatīvajam datoram, bet otrs vadīja automobili. Operatori nepieciešamības gadījumā sazinājās ar rācijas starpniecību. Pēc radara operatora komandas automobiļa vadītājs veica strauju automobiļa ieskriešanos, nospiežot akseleratora pedāli līdz galam. Ieskriešanās notika no 0 km h⁻¹ līdz maksimālā ātruma sasniegšanai. Pēc eksperimentu datu fiksēšanas automobilis atgriezās izejas pozīcijā un veica nākamo eksperimenta atkārtojumu.

Eksperimentu atkārtoja braukšanas dinamiskuma parametru noteikšanai, ieskrienoties no 50 līdz 90 km h⁻¹. Ar automobili 100 - 150 m pirms radara uzsāka kustību tā, lai, šķērsojot radara uztveršanas zonu, sasniegtu vienmērīgu kustības ātrumu 50 km h⁻¹. Pēc nonākšanas radara uztveršanas zonā veica ieskriešanos līdz 90 km h⁻¹.

Katrs eksperiments tika atkārtots 5 reizes. Ja eksperimenta veikšanas laikā braukšanas maršrutā parādījās kāds automobilis, kas traucēja radara mērījumus, eksperiments tika atkārtots. No 5 atkārtojumiem tika izvēlēti 3 atkārtojumi ar datu visciešāko sakritību, t.i., starp eksperimentu datu sēriju punktiem tika aprēķināta korelācija. Vidējie lielumi tika aprēķināti tiem

(vismaz 3) atkārtojumiem, starp kuru datu punktu sērijām korelācija bija virs 0.995, t.i., virs 99.5%. Pēc datorā fiksēto mērījumu datiem tika konstruētas vidējo lielumu līknes $v = f(t)$, $s = f(t)$, $v = f(s)$.

Eksperimenti tika veikti ar pilnībā uzlādētām baterijām bez kravas, ar daļēji uzlādētām (25 - 30% no maksimālās kapacitātes) baterijām bez kravas, kā arī ar pilnībā uzlādētām baterijām un 500 kg kravu. Eksperimentu veikšanas blokskāma parādīta 6.17. attēlā.

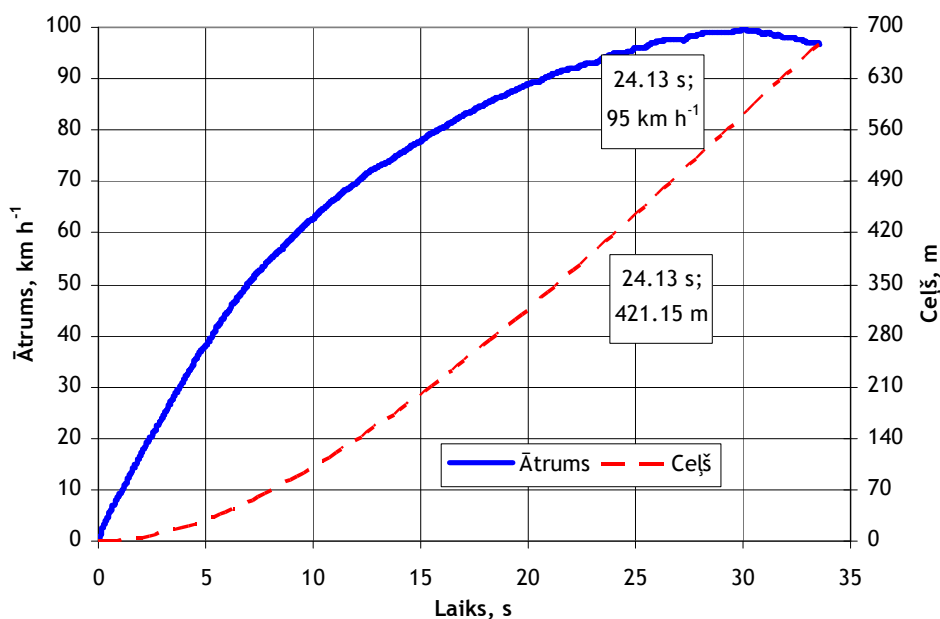


6.17. att. Eksperimentu veikšanas blokskāma

Testi tika veikti divos posmos, jo ar vienu uzlādi nav iespējams nodrošināt pilnu eksperimentu ciklu un atgriezties laboratorijā. Pirmajā posmā tika veikti eksperimenti ar pilnībā un daļēji uzlādētām baterijām bez kravas, otrajā posmā - veikta bateriju uzlāde, iekrauta 500 kg krava, tādējādi sasniedzot automobiļa pilnu masu.

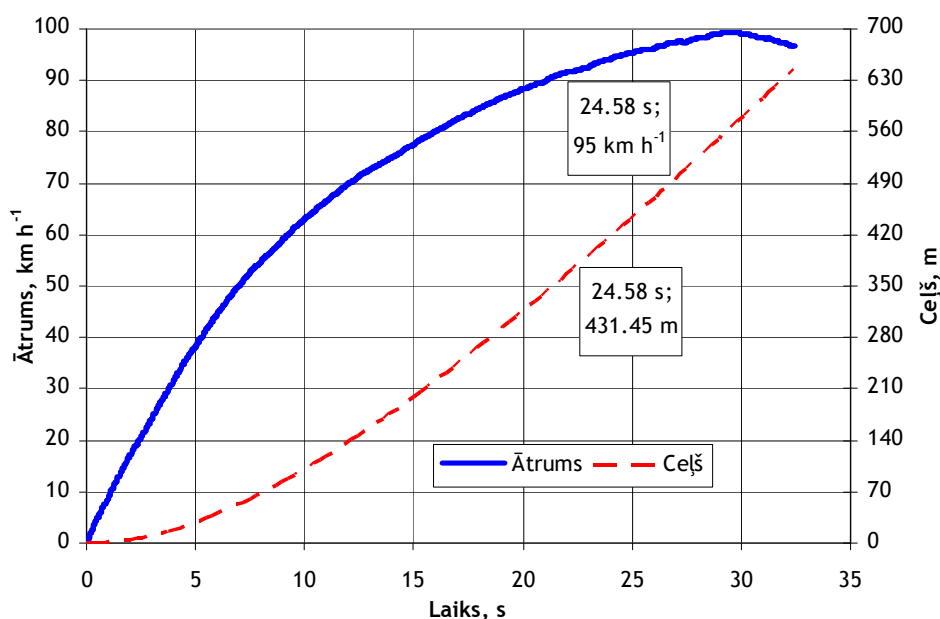
6.3.2. Pētījumu rezultāti

6.18. attēlā parādītas ieskriešanās laika un ieskriešanās ceļa raksturlielums, braucot ar pilnībā uzlādētām akumulatoru baterijām bez kravas. Tā kā maksimālais ātrums 100 km h^{-1} nevienā no testiem netika sasniegts, tad ātrumu salīdzināšanai tika izvēlēts ātrums 95 km h^{-1} , kas vēlāk tika sasniegts arī, braucot ar kravu un daļēji izlādētām akumulatoru baterijām. Datu apstrādē noskaidrots, ka ātrums 95 km h^{-1} tiek sasniegts 24.13 sekundēs, šajā laikā nobraucot 421.15 metrus garu ceļu.



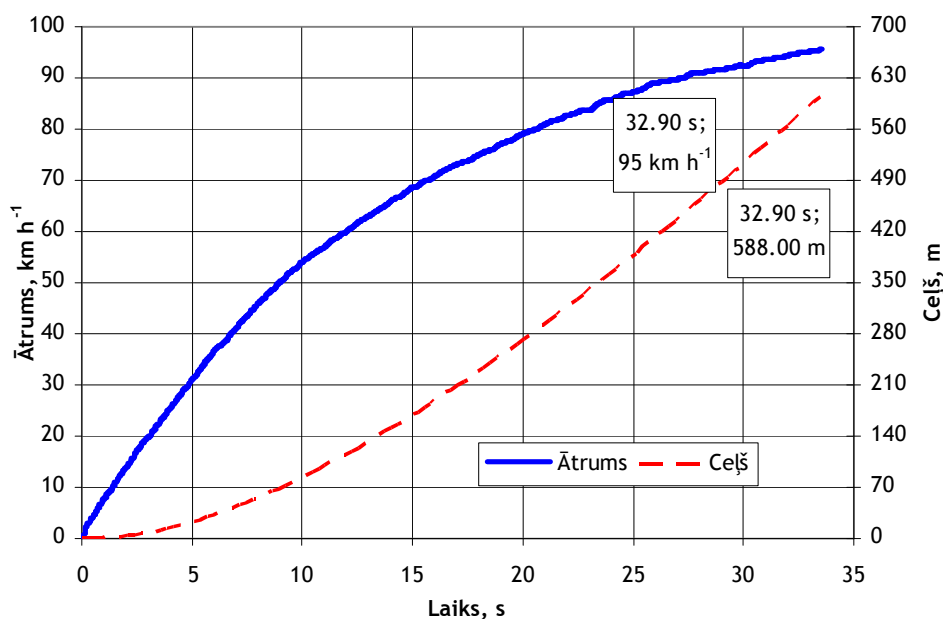
6.18. att. Ieskriešanās ātruma un ieskriešanās ceļa raksturlīknes, braucot ar pilnībā uzlādētām akumulatoru baterijām bez kravas

6.19. attēlā parādītas ieskriešanās laika un ieskriešanās ceļa raksturlīknes, braucot ar daļēji (25 - 30%) uzlādētām akumulatoru baterijām bez kravas. Datu apstrādē noskaidrots, ka ātrums 95 km h⁻¹ tiek sasniegts 24.58 sekundēs, šajā laikā nobraucot 431.45 metrus garu ceļu.



6.19. att. Ieskriešanās ātruma un ieskriešanās ceļa raksturlīknes, braucot ar daļēji (25 - 30%) uzlādētām akumulatoru baterijām bez kravas

6.20. attēlā parādītas ieskriešanās laika un ieskriešanās ceļa raksturlīknes, braucot ar pilnībā uzlādētām akumulatoru baterijām un 500 kg noslogojumu. Datu apstrādē noskaidrots, ka ātrums 95 km h⁻¹ tiek sasniegts 32.90 sekundēs, šajā laikā nobraucot 588.00 metrus garu ceļu.



6.20. att. Ieskriešanās ātruma un ieskriešanās ceļa raksturlīknes, braucot ar pilnībā uzlādētām akumulatoru baterijām un 500 kg noslogojumu

Tā kā elektroautomobiļa paātrināšanos ierobežo elektroniskais vadības bloks, ieskriešanās ātruma un ceļa līknes, paātrinoties no 0 līdz 95 km stundā, un no 50 līdz 90 km stundā ir ļoti līdzīgas un atšķiras mazāk nekā par 3%. Visu iepriekš minēto testa režīmu rezultāti apkopoti 6.6. tabulā.

6.6. tabula. Automobiļa ieskriešanās parametru apkopojums visos testēšanas režīmos

N.p.k.	Testēšanas režīms	Testu rezultāti				
		Ieskriešanās laiks no 0 līdz 95 km h ⁻¹ , s	Ieskriešanās ceļš no 0 līdz 95 km h ⁻¹ , m	Sasniegtais ātrums 500 m ceļa posmā, km h ⁻¹	Ieskriešanās laiks no 50 līdz 90 km h ⁻¹ , s	Ieskriešanās ceļš no 50 līdz 90 km h ⁻¹ , m
1.	Ar pilnībā uzlādētām akumulatoru baterijām bez kravas	24.13	421.15	97.67	13.86	283.95
2.	Ar daļēji (25 - 30%) uzlādētām akumulatoru baterijām bez kravas	24.58	431.45	97.55	14.21	290.79
3.	Ar pilnībā uzlādētām akumulatoru baterijām un 500 kg noslogojumu	32.90	588.00	92.10	18.37	377.21

Bez slodzes elektromobiļa ieskriešanās laiks ar 30% izlādētiem akumulatoriem ir tikai par 1.9% (0 līdz 95 km h⁻¹) un 2.5% (50 līdz 90 km h⁻¹) lielāks nekā ar pilnīgi uzlādētiem akumulatoriem. Savukārt ieskriešanās ceļš palielinājās vidēji par 2.4%.

Slogojot automobili, tā ieskriešanās laiks palielinās vidēji par 34%. Ieskriešanās ceļam šī procentuālā atšķirība ir lielāka un sasniedz 39%.

Salīdzinājumam automobilis ar benzīna motoru *Fiat Fiorino Combi 1.4 Euro 5* (1368 cm³, 54 kW) no 0 līdz 100 km h⁻¹ paātrinās 16.6 sekundēs, bet ar gāzes motoru 17.5 sekundēs (Fiat Fiorino Combi..., 2011; Fiorino Van..., 2011). Protams, šādā kontekstā elektroautomobilis šķiet mazāk dinamisks, bet šāds salīdzinājums nav īsti korekts, jo ar benzīna motoru darbināmā automobiļa maksimālais ātrums ir 155 km h⁻¹ un paātrināšanās līdz 100 km h⁻¹ ir tālu no maksimālā ātruma, bet elektroautomobilim šis ātrums ir tuvu maksimumam. Tāpēc objektīvāks būtu salīdzināt ieskriešanos, piemēram, līdz 80 km h⁻¹.

6.3.3. Secinājumi

1. Eksperimentos ar pilnībā uzlādētu bateriju bez kravas automobilis *Fiat Fiorino Elettrica HC-S* uzrāda pietiekami labu dinamiku, paātrinoties līdz 95 km h⁻¹ 24.13 sekundēs, līdz 80 km h⁻¹ - 15.72 sekundēs, bet līdz 50 km h⁻¹ - 7.07 sekundēs.
2. Elektroautomobiļa dinamika ar daļēji izlādētām baterijām ir tuva pilnībā uzlādētām baterijām. Paātrinājums laiks no 0 līdz 95 km h⁻¹ un no 50 līdz 90 km h⁻¹ bija attiecīgi tikai 1.9% un 2.5% lielāks nekā ar pilnīgi uzlādētu baterijām.
3. Slogojot automobili ar 500 kg kravu, ieskriešanās laiks pieauga par aptuveni 34%, bet ieskriešanās ceļš par 39%.
4. Ņemot vērā to, ka testētā elektromobiļa maksimālais ātrums ir tuvs 100 km h⁻¹, salīdzinājumam ar iekšdedzes motoru transportlīdzekļiem ieteicams izvēlēties mazāku ātrumu, piemēram, 80 km h⁻¹, kad visa elektroautomobiļa dinamika vēl nav iztērēta.

6.4. Elektrovelosipēdu ieskriešanās raksturlielumu noteikšana

Šajā pētījumā tika testēti pieci dažādi elektrovelosipēdi.

Eksperimentos tiem piešķirti nosacīti apzīmējumi EB1 (*electric bicycle*), EB2, ..., EB5. Apzīmējumam pievienoti skaitļi, kas atbilst katra elektrovelosipēda motora jaudai (skat. 6.7. tabulu).

6.7. tabula. Testēto elektrovelosipēdu tehniskie parametri

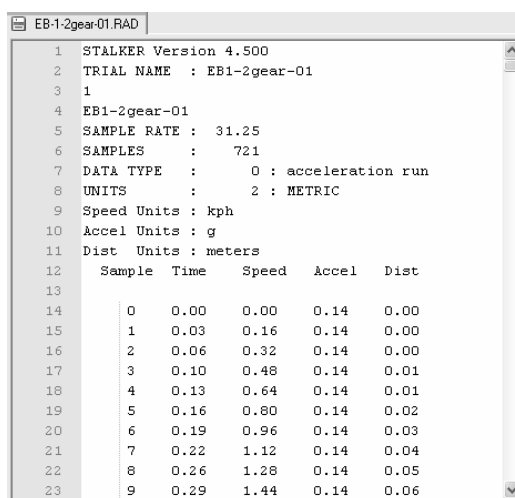
N.p.k.	Elektrovelosipēda nosacītais apzīmējums	Motora nominālā jauda, W	Svars kopā ar AKB, kg	Svars kopā ar AKB un vadītāju, kg	Jaudas-svara faktors, W kg ⁻¹
1.	EB1-1000	1000	39.5	121.5	8.23
2.	EB2-500	500	68.5	150.5	3.32
		500	68.5	230.5*	2.17
3.	EB3-250	250	31.0	113.0	2.21
4.	EB4-200	200	35.8	117.8	1.70
5.	EB5-200	200	37.5	119.5	1.67

* - elektrovelosipēds EB2-500 tika testēts arī ar papildus pasažieri

6.4.1. Pētījumu metodika

Elektrovelosipēdu ieskriešanās dinamika tika noteikta, izmantojot zinātnisko radaru *Stalker ATS* vairāku dienu laikā divos dažādos 300 m garos taisnos asfaltbetona ceļa posmos ar vidējo rītes pretestības koeficientu 0.018 - 0.020. Ceļa segums bija sauss, apkārtējās vides temperatūra $+15 \pm 2$ °C, vēja ātrums nepārsniedza 2.5 m s^{-1} . Pirms testu veikšanas tika veikta pilna akumulatoru uzlāde, bet elektrovelosipēdi uz eksperimentu veikšanas vietu aizvesti ar automobili.

Stalker ATS programmatūrā ik pēc 0.03 sekundēm tiek fiksēts kustības ātrums, bet nobrauktais attālums un paātrinājums šajā laika intervālā tiek automātiski aprēķināts. Fails tiek saglabāts *.RAD* formātā (skat. 6.21. att.).



```
EB1-2gear-01.RAD
1 STALKER Version 4.500
2 TRIAL NAME : EB1-2gear-01
3 1
4 EB1-2gear-01
5 SAMPLE RATE : 31.25
6 SAMPLES : 721
7 DATA TYPE : 0 : acceleration run
8 UNITS : 2 : METRIC
9 Speed Units : kph
10 Accel Units : g
11 Dist Units : meters
12 Sample Time Speed Accel Dist
13
14 0 0.00 0.00 0.14 0.00
15 1 0.03 0.16 0.14 0.00
16 2 0.06 0.32 0.14 0.00
17 3 0.10 0.48 0.14 0.01
18 4 0.13 0.64 0.14 0.01
19 5 0.16 0.80 0.14 0.02
20 6 0.19 0.96 0.14 0.03
21 7 0.22 1.12 0.14 0.04
22 8 0.26 1.28 0.14 0.05
23 9 0.29 1.44 0.14 0.06
```

6.21. att. Elektrovelosipēdu ieskriešanās datu saglabāšanas piemērs

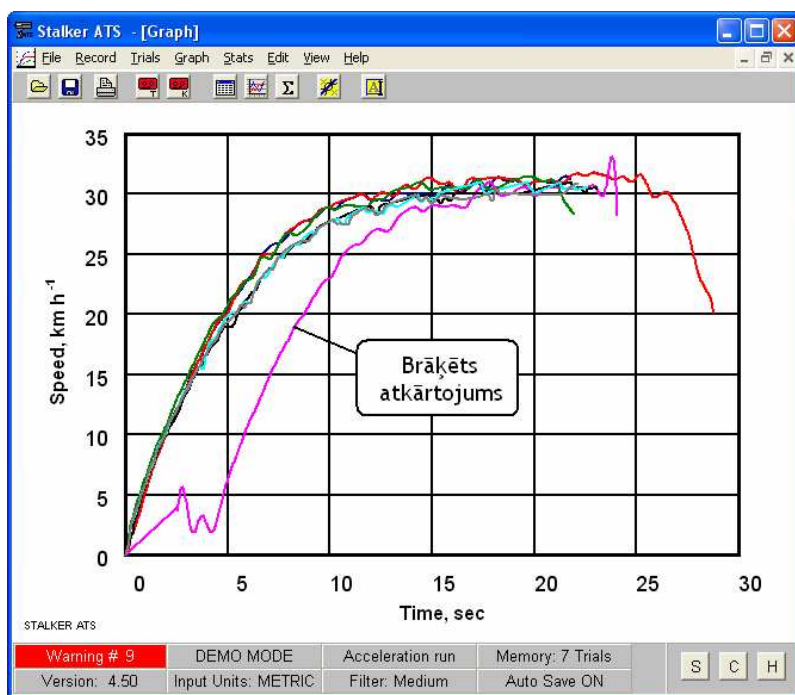
Pirms eksperimenta radars tika novietots tieši aiz elektrovelosipēda (skat. 6.22. att.). Eksperimentā piedalījās vismaz 2 operatori. Viens darbojās ar radaru, kas pieslēgts portatīvajam datoram, bet otrs vadīja velosipēdu.



6.22. att. Elektrovelosipēda ieskriešanās parametru noteikšana, izmantojot zinātnisko radaru *Stalker ATS*

Pēc radara operatora komandas vadītājs veica strauju elektrovēlspēda ieskriešanos. Ieskriešanās notika no 0 km h^{-1} līdz maksimālā ātruma sasniegšanai. Pēc eksperimentu datu fiksēšanas ar elektrovēlspēdu atgriezās izejas pozīcijā un veica nākamo eksperimenta atkārtojumu.

Katrs eksperiments katrā testu dienā tika atkārtots vismaz 5 reizes. Ja eksperimenta veikšanas laikā braukšanas maršrutā parādījās kāds automobilis vai cits transportlīdzeklis, kas traucēja radara mērījumus, eksperiments tika atkārtots. Tāpat tika brāķēti tie atkārtojumi, kuriem jau radara *Stalker ATS* programmatūrā bija redzami ieskriešanās līkņu kropļojumi. Brāķēta atkārtojuma piemērs parādīts 6.23. attēlā.



6.23. att. Neapstrādātu radara datu un atkārtojuma brāķēšanas piemērs

No visiem atkārtojumiem katrā testēšanas režīmā tika izvēlēti 3 līdz 6 atkārtojumi ar datu visciešāko sakritību, t.i., starp eksperimentu datu sēriju punktiem tika aprēķināta korelācija.

Vidējie lielumi tika aprēķināti tiem (vismaz 3) atkārtojumiem, starp kuru datu punktu sērijām korelācija bija virs 0.995, t.i., virs 99.5%. Pēc datorā fiksēto mērījumu datiem tika konstruētas vidējo lielumu līknes $v = f(t)$ un $s = f(t)$.

Eksperimentos ar vēlspēdiem *EB1-1000*, *EB3-250* un *EB5-200* ieskriešanās tika veikta, visā paātrināšanās laikā turot akseļeratora rokturi maksimālajā stāvokli.

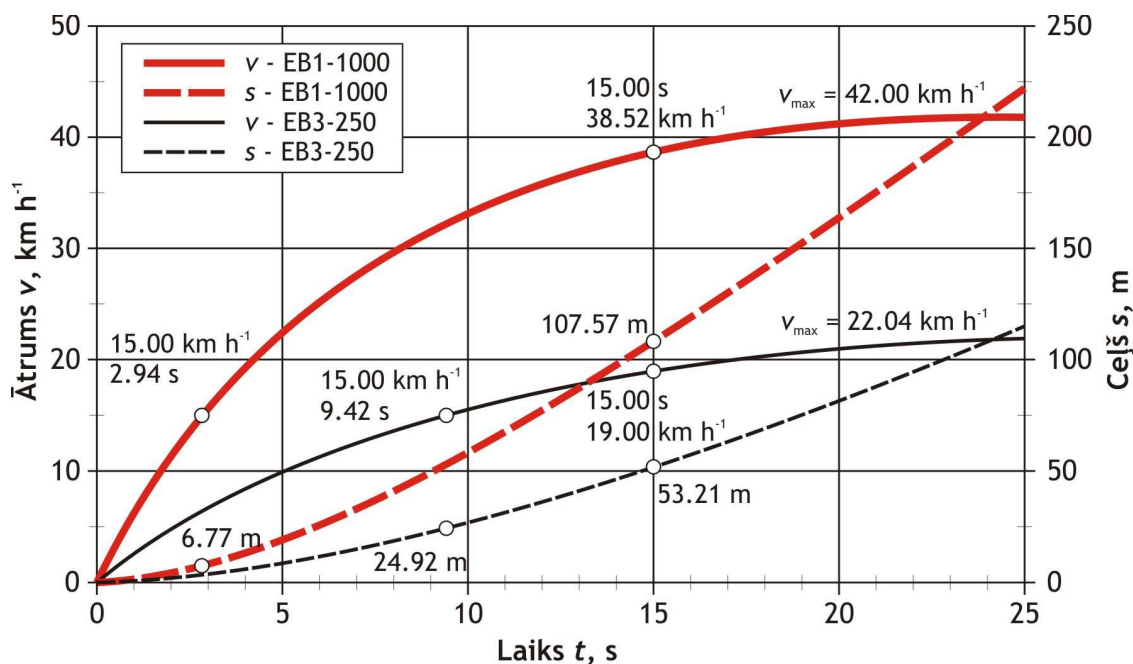
Vēlspēdam *EB4-200* papildus tika noteikta „pedalēšanas” ietekme uz paātrināšanās raksturu - pašā braukšanas uzsākšanas laikā tika veikta pedāļu piemīšana par pusapgriezīenu.

EB2-500 testi tika veikti, izmantojot trīs dažādus kustības režīmus (nosacīti tos var dēvēt par pārnēsumiem) un papildus pasažieri (tikai 3. kustības režīmā).

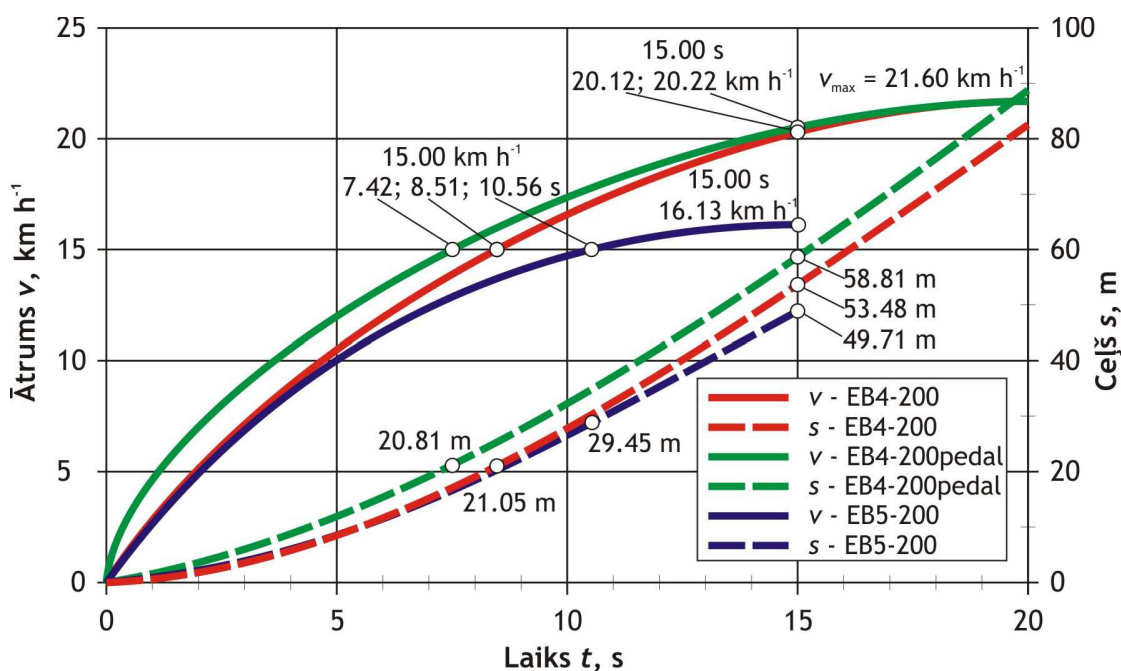
6.4.2. Pētījumu rezultāti

Visu testēto elektrovelosipēdu ieskriešanās raksturlīknes parādītas 6.24., 6.25. un 6.26. attēlā.

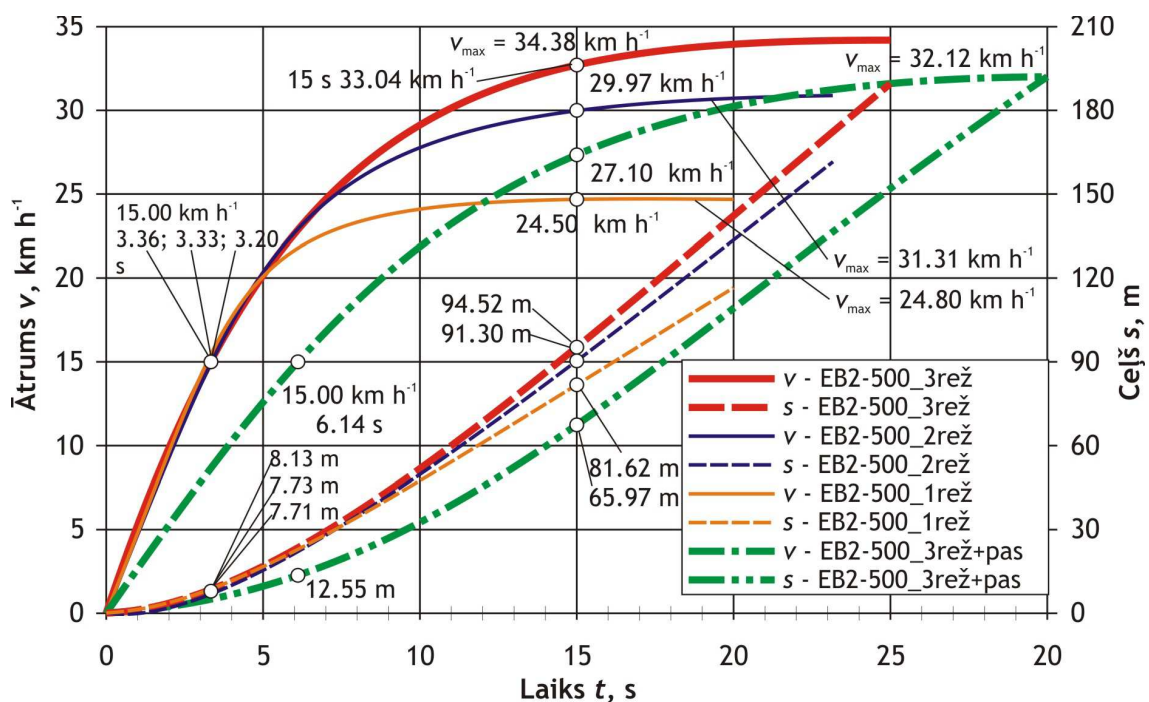
Tā kā maksimālais ātrums katram velosipēdam ir atšķirīgs, savstarpējai salīdzināšanai izvēlēti divi punkti - laiks un attālums, kad velosipēds sasniedz ātrumu 15 km h^{-1} , kā arī sasniegtais ātrums un nobrauktais attālums pirmo 15 ieskriešanās sekunžu laikā.



6.24. att. Elektrovelosipēdu EB1-1000 un EB3-250 ieskriešanās raksturlīknes



6.25. att. Elektrovelosipēdu EB4-200 un EB5-200 ieskriešanās raksturlīknes



6.26. att. Elektrovelosipēda EB2-500 ieskriešanās raksturliķnes

Visu eksperimentu rezultāti apkopoti 6.8. tabulā.

6.8. tabula. Elektrovelosipēdu ieskriešanās parametru apkopojums visos testēšanas režīmos

N.p.k.	Testēšanas režīms un objekts	Testu rezultāti				
		Maksimālais ātrums, km h ⁻¹	Ieskriešanās laiks no 0 līdz 15 km h ⁻¹ , s	Ieskriešanās ceļš no 0 līdz 15 km h ⁻¹ , m	Ātrums pēc 15 s ieskriešanās, km h ⁻¹	Nobrauktais ceļš pēc 15 s ieskriešanās, m
1.	EB1-1000	42.00	2.94	6.77	38.52	107.57
2.	EB2-500 1. režīms	24.80	3.20	7.71	24.50	81.62
3.	EB2-500 2. režīms	31.31	3.33	7.73	29.97	91.30
4.	EB2-500 3. režīms	34.38	3.36	8.13	33.04	94.52
5.	EB2-500 3. režīms un pasažieris	32.12	6.14	12.55	27.10	65.97
6.	EB3-250	22.04	9.42	24.92	19.00	53.21
7.	EB4-200 bez pedalēšanas	21.60	8.51	21.05	20.12	53.48
8.	EB4-200 ar pedalēšanu	21.60	7.42	20.81	20.22	58.81
9.	EB5-200	16.13	10.56	29.45	16.13	49.71

Jau pirms eksperimentu veikšanas bija skaidrs, ka elektriskie velosipēdi ar lielāku motora jauda attīstīs lielāku maksimālo ātrumu, un, uzsākot braukšanu, būs dinamiskāki. Kopumā tas arī tika apstiprināts testos, bet bija arī daži izņēmumi. Piemēram, vienādas motora jaudas elektrovelosipēdi *EB4-200* un *EB5-200* attīstīja par 34% atšķirīgu maksimālo ātrumu. Daļa no starpības izskaidrojama ar atšķirībām velosipēdu svarā, tātad jaudas-svara faktorā (skat. 6.7. tabulu), bet šajā gadījumā noteicošā bija atšķirīgā pārnesumu attiecība no motora uz riteņiem (piemēram, velosipēdam *EB5-200* bija mazāka izmēra riteņi), kā arī *EB5-200* elektromotora nolietojums un līdz ar to zemāks lietderības koeficients. Atšķirības pārnesuma skaitļos un riteņu izmēros bija arī galvenais iemesls, kas izskaidro *EB3-250* un *EB2-500* (braucot 1. režīmā) līdzīgos maksimālos ātrumus. Tajā pašā laikā, augstāka *EB2-500* motora jauda nodrošina to, ka ātrumu 15 km h^{-1} šis velosipēds sasniedz aptuveni 3 reizes ātrāk un īsākā ceļa posmā, salīdzinot ar *EB3-250*.

Saskaņā ar Latvijas normatīvajiem aktiem velosipēdi, kas aprīkoti ar elektromotoru, kura jauda pārsniedz 250 W vai, kuri spēj attīstīt lielāku ātrumu par 25 km h^{-1} , tiek klasificēti kā mopēdi. Eksperimenti liecina, ka šāds dalījums ir pareizs, jo, piemēram, testētie elektrovelosipēdi *EB1-1000* un *EB2-500*, braucot pa ietvi (kas ir atļauts parastajiem velosipēdiem), var būt bīstami pašiem vadītājiem, gājējiem, kā arī autovadītājiem vietās, kur ceļu šķērso gājēju celiņi. Velosipēdi, kas 15 sekunžu laikā var sasniegt ātrumu līdz 30 km h^{-1} , nobraucot gandrīz 100 m attālumu, var pārsteigt citus satiksmes dalībniekus nesagatavotus.

Analizējot elektrovelosipēda *EB2-500* ieskriešanās dinamiku, var secināt, ka pēc pirmajām 5 sekundēm tas paātrinās vienādi, neatkarīgi no izmantotā kustības režīma (pārnesuma), sasniedzot ātrumu aptuveni 20 km h^{-1} . Turpmākais ieskriešanās līkņu raksturs ir atšķirīgs, jo katrs režīms ir paredzēts citam maksimālajam ātrumam. Ieskrienoties trešajā režīmā ar 80 kg smagu pasažieri līdz 15 km h^{-1} , elektrovelosipēda ātruma uzņemšana aizņem 83% ilgāku laiku un 54% lielāku attālumu. Vēl vairāk palielinot ātrumu, paātrināšanās rakstura atšķirība nav tik jūtama, bet maksimālā ātruma atšķirība ir tikai 7%. Tas dod iespēju secināt, ka arī bez pasažiera smagāks vadītājs ar savu elektrovelosipēdu sākotnēji paātrināsies ievērojami lēnāk.

EB4-200 testu rezultāti liecina, ka, izmantojot pedāļu palīdzību, uzsākot braukšanu, elektrovelosipēds ir par 15% dinamiskāks, taču šī „pedalēšana” neietekmē maksimālo ātrumu.

6.4.3. Secinājumi

1. Elektrovelosipēdu maksimālo kustības ātrumu un ieskriešanās dinamiku galvenokārt nosaka motora jauda, bet to ietekmē arī velosipēds svars, pārnesuma attiecība no motora uz riteņiem, kā arī motora un transmisijas lietderības koeficients.
2. Elektrovelosipēdu, kas aprīkoti ar elektromotoru virs 250 W, braukšana pa gājēju celiņiem ir nevēlama, jo to augsto dinamisko īpašību dēļ tie var apdraudēt citus velosipēdistus, gājējus un autovadītājus.
3. Ja elektrovelosipēdam ir vairāki režīmi, tad, izmantojot jebkuru no tiem, ieskriešanās raksturs pirmajās sekundēs ir ļoti līdzīgs. Atšķirās tikai maksimālais sasniedzamais ātrums katrā režīmā.

4. Smagākam elektrovelosipēda vadītājam ir jāreķinās ar dinamisko parametru samazinājumu, it īpaši pirmajās kustības sekundēs, vai arī jāpērk jaudīgāks e-velosipēds.
5. Pedāļu piemīšana par pusapgrieztienu pašā braukšanas uzsākšanas sākumā veicina ātruma uzņemšanu, bet neietekmē elektrovelosipēda maksimālo kustības ātrumu.

6.5. MELEX 963DS lēngaitas elektromobiļa nobraukums ar daļēju uzlādi

Ņemot vērā elektromobiļu raksturīgos ekspluatācijas apstākļus, kad elektromobilis dienas laikā tiek intensīvi izmantots ar periodiskiem pārtraukumiem, LLU Tehniskajā fakultātē veikti elektromobiļa nobraukuma pētījumi, periodiski lādējot tā akumulatoru baterijas. Veikto pētījumu testa objekts *Melex 963DS* ir lēngaitas elektromobilis, kas paredzēts 6 pasažieru pārvadāšanai un ikdienā tiek izmantots Siguldas tūristu pārvadāšanai. Tā kā braucieni notiek pa Gaujas Nacionālo parku, tad acīmredzamas ir elektroautomobiļu priekšrocības: nav izmešu, tie ir klusi, liels griezes moments ļauj pārvarēt stāvus ceļa kāpumus. Lai nodrošinātu elektromobiļa veiktspēju uz visu dienu, tā akumulatoru baterijas tiek daļēji uzlādētas katru reizi, kad tas atgriežas bāzes stacijā.

Melex 963DS tehniskie rādītāji:

- pirmā reģistrācija 03.07.2008.;
- astoņas 6V baterijas un ārējais lādētājs 48 V 30 A;
- maksimālā jauda 3.9 kW;
- maksimālais ātrums 8.9 m s⁻¹;
- pašmasa 762 kg;
- pilna masa 1212 kg.

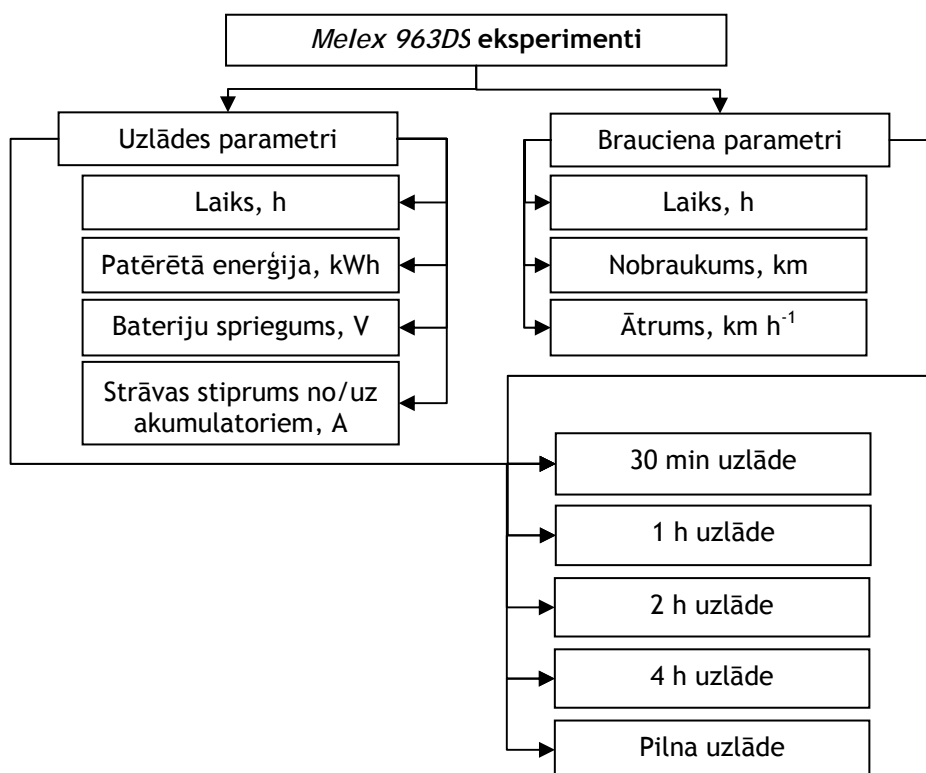
Eksperimentālie pētījumi veikti, elektromobili nostiprinot uz jaudas stenda ruļļiem (skat. 6.27. att.) ar siksnu palīdzību.



6.27. att. *Melex 963DS* uz jaudas stenda: 1 - vadības iekārta; 2 - lādētājs; 3 - REV datu vācējs; 4 - jaudas stenda ruļļi; 5 - eksperimenta objekts; 6 - siksnas

Stenda vadības programmā tika ievadītas gaisa un ceļa pretestības pārvarēšanas konstantes, lai nodrošinātu atbilstošu reālu ceļa apstākļu imitāciju. Izlādes rādītāju noteikšanai tika izmantots REV datu uzkrājējs (190 - 276 V, 20 mA - 16 A, 5 - 3680 W, ±0.01 kWh). Uzlādes un automobiļa elektrosistēmas datu uzņemšanai tika izmantots *GRAPHTEC midi LOGGER GL220* datu uzkrājējs.

Eksperimentu blokshēma parādīta 6.28. attēlā. Elektromobilis tika pilnībā uzlādēts un tad braukts, līdz akumulatoru spriegums nokrita līdz 40 V (vērtība, kas tika noteikta ceļa eksperimentu laikā, pie kuras akumulatori ir izlādēti). Pēc tam tika veikta daļēja uzlāde. Tad atkal tika veikts brauciens uz jaudas stenda līdz noteiktajam akumulatoru spriegumam. Katrs eksperiments tika atkārtots 3 reizes. Eksperiments tika veikts ar pilnīgi nospiestu akceleratora pedāli un ieslēgtiem tuvās gaismas lukturiem.



6.28. att. Eksperimentu blokshēma

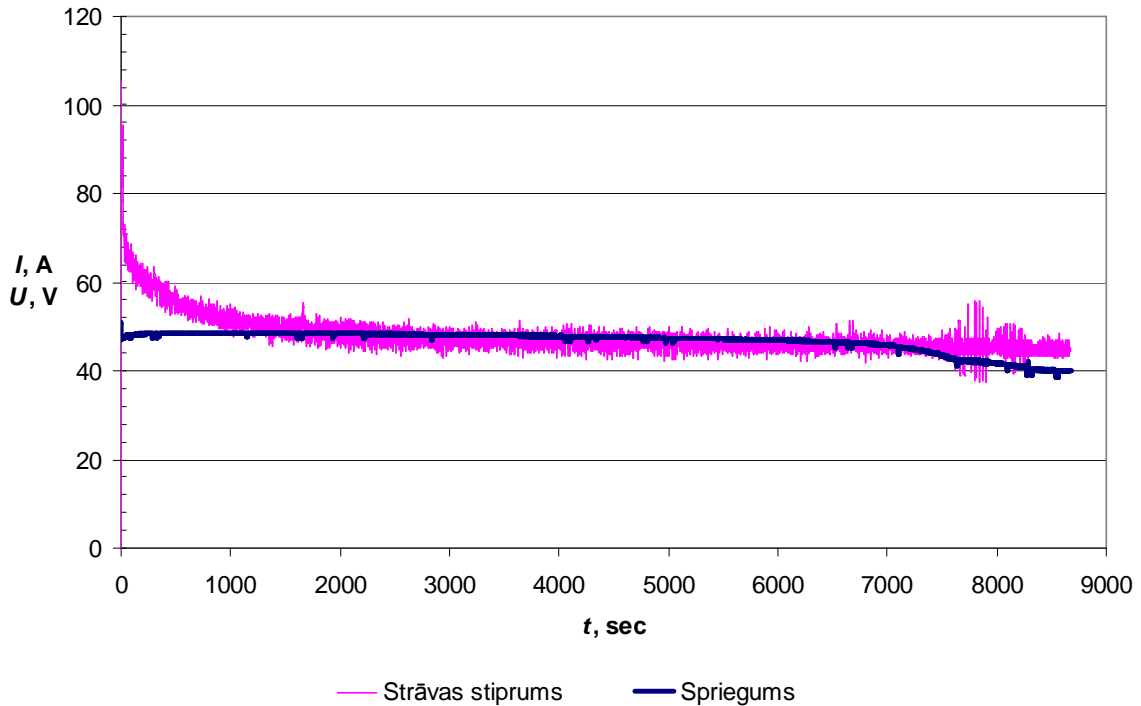
Eksperimentu rezultāti doti 6.9. tabulā.

6.9. tabula. Eksperimentu rezultāti

Uzlādes tips	Nobraukums, km	Patērētā enerģija, kWh	Brauciena ilgums	Bateriju spriegums pirms eksperimenta, V
Pilna uzlāde	64.91	10.13	2 h 21 min	50.96
30 min uzlāde	6.39	0.71	15 min	49.90
1h uzlāde	12.24	1.31	28 min	49.97
2h uzlāde	24.97	2.61	57 min	50.90
4h uzlāde	47.32	4.94	1 h 45 min	51.03

Izlādētiem akumulatoriem bez slodzes ir 43.88 V spriegums, maksimālais spriegums uzlādes laikā sasniedz 61.86 V. Strāvas stiprums uzlādes sākumā ir 14.49 A un lēnām samazinās līdz 8.78 A uzlādes beigās. Pašā sākumā strāvas stiprums netiek pakāpeniski palielināts, taču lādētāja jauda 1440 W nav pietiekama, lai pārslogotu māsaimniecības elektrības pieslēgumu.

Akumulatoru sprieguma kritums ir novērojams brauciena beigās un sakrīt ar maksimālā ātruma kritumu (skat. 6.29. att.). Maksimālais akumulatoru spriegums brauciena sākumā bija 50.9 V, bet maksimālais strāvas stiprums 104.54 A, vidēji 47.96 A.



6.29. att. Brauciena parametri ar pilnībā uzlādētiem akumulatoriem

Pētījumu rezultātā tika secināts, ka elektromobiļa *Melex 963DS* bateriju pilna uzlāde aizņem 11 h, patērē 10.13 kWh enerģiju un izmaksā ap 1.58 eiro. Pilna bateriju uzlāde dod nobraukumu 64.91 ± 2.82 km. 30 min uzlāde dod nobraukumu 6.39 ± 1.78 km vai 10% no pilnā nobraukuma. 1 h uzlāde dod nobraukumu 12.24 ± 2.13 km vai 19% no pilnā nobraukuma. 2 h uzlāde dod nobraukumu 24.97 ± 2.17 km vai 38% no pilnā nobraukuma. 4 h uzlāde dod nobraukumu 47.32 ± 2.31 km vai 73% no pilnā nobraukuma. Borta datora rādījums pēc 4 h uzlādes rāda tukšas baterijas, lai gan tiek sasniegts jau 73% nobraukums no pilnas uzlādes.

Bez akumulatoru normalizēšanas un atslodzes katra nākamā daļējā uzlāde dod mazāku iespējamo nobraukumu - aptuveni 20% pie 30 min un 1 h uzlādes un 10% pie 2 un 4 h uzlādes.

Iegūtie rezultāti ir lielāki nekā ceļa eksperimentos, jo tika nodrošināti nemainīgi apstākļi, kas ceļa apstākļos nebūtu iespējams.

6.6. Elektrosēkratu izmantošanas ekonomiskais pamatojums

Lai noteiktu ekonomisko efektu, izstrādāts algoritms. Šo algoritmu var izmantot jebkuram sēkratu veidam. Galvenās elektrosēkratu grupas, kuras izmanto elektropiedziņu, ir vieglie automobiļi, motocikli un kvadracikli, kā arī dažāda veida lēngaitas četriteņu un divriteņu elektrosēkrati, piemēram, lēngaitas tūristu pārvadāšanas elektrosēkrati, velosipēdi un motorolleru.

Aprēķinos ņemtas vērā tikai tās izmaksas, kuras var mainīties atkarībā no tā, vai šos sēkratus izmanto ar iekšdedzes motora vai elektromotora piedziņu. Kopējie izdevumi sēkratu ekspluatācijai no to iegādes brīža aprēķināmi pēc sakarības:

$$I = I_{ieg} + I_{TA} + I_{TR} + I_D + I_C, \quad (6.10)$$

kur I_{ieg} - sēkratu iegādes izmaksas, LVL;
 I_{TA} - sēkratu tehnisko apkopju izmaksas, LVL;
 I_{TR} - sēkratu tekošā remonta izmaksas, LVL;
 I_D - sēkratu degvielas izmaksas;
 I_C - sēkratu izmaksas daļībai ceļu satiksmē, kas ietver izmaksas tehniskajām apskatēm, nodokļus u.c. maksājumus, LVL.

Elektrosēkratiem degvielas izmaksu vietā aprēķinos izmanto izmaksas elektroenerģijai, kuru izmanto sēkratu uzlādēšanai. Sakarā ar elektrosēkratu izmantošanas specifiku, kas balstīta uz ierobežoto infrastruktūras pieejamību Latvijā, elektrosēkratus vairāk paredzams izmantot braukšanai pilsētas apstākļos, piemēram, braukšanai uz darbu. Šajā gadījumā sēkratu diennakts nobraukums parasti nepārsniegs 50 - 60 km. Līdz ar to elektrosēkratu un iekšdedzes motoru sēkratu ekonomiskajai salīdzināšanai lietderīgi izmantot attiecinātos rādītājus, piemēram, 100 km nobraukumam. Izmaksas 100 kilometru nobraukumam aprēķina, izmantojot sakarību:

$$I_{100km} = (I_{ieg} + I_{TA} + I_{TR} + I_D + I_C) \frac{100}{L}, \quad (6.11)$$

kur L - sēkratu kopīgais nobraukums ekspluatācijas laikā, km.

Iegādes izmaksas aprēķina pēc sakarības:

$$I_{ieg} = I_{sp} + I_{reģ}, \quad (6.12)$$

kur I_{sp} - izmaksas sēkratu iegādei, LVL;
 $I_{reģ}$ - izmaksas sēkratu reģistrācijai, LVL.

Tehnisko apkopju izmaksas nosaka pēc sakarības:

$$I_{TA} = I_{TA-RD} + I_{TA-J}, \quad (6.13)$$

kur I_{TA-RD} - izmaksas tehniskajās apkopēs izmantotajām rezerves daļām un materiāliem, LVL;
 I_{TA-J} - sēkratu tehnisko apkopju darba izmaksas, LVL.

Tekošā remonta izmaksas aprēķina pēc sakarības:

$$I_{TR} = I_{TR-RD} + I_{TR-J}, \quad (6.14)$$

kur I_{TR-RD} - izmaksas tekošajā remontā izmantotajām rezerves daļām un materiāliem, LVL;
 I_{TR-J} - spēkratu tekošā remonta darba izmaksas, LVL.

Izmaksas dalībai ceļu satiksmē nav paredzētas visām spēkratu grupām, piemēram, elektrovelosipēdiem nav jāveic tehniskā apskate. Spēkratiem, kuriem šādas izmaksas ir, tās tiek maksātas vienu reizi gadā. Tādējādi tās saistītas ar spēkratu ekspluatācijas ilgumu:

$$I_c = T \cdot C_c, \quad (6.15)$$

kur T - spēkratu kopējais ekspluatācijas laiks, gadi;
 C_c - izmaksas tehniskajām apskatēm, ceļa nodoklim u.c. ikgadējiem maksājumiem, LVL.

Kopējās izmaksas uz 100 km:

$$I_{100km} = \left(I_{sp} + I_{reģ} + I_{TA-RD} + I_{TA-J} + I_{TR-RD} + I_{TR-J} + \frac{C_{D-1l} \cdot L \cdot Q_{100km}}{100} + T \cdot C_c \right) \frac{100}{L} =$$

$$\left(\frac{I_{sp} + I_{reģ} + I_{TA-RD} + I_{TA-J} + I_{TR-RD} + I_{TR-J}}{100} \right) 100 + C_{D-1l} \cdot L \cdot Q_{100km} + 100 \cdot T \cdot C_c \frac{100}{L} = (6.16)$$

$$= \frac{(I_{sp} + I_{reģ} + I_{TA-RD} + I_{TA-J} + I_{TR-RD} + I_{TR-J} + T \times C_c) 100 + C_{D-1l} \cdot L \cdot Q_{100km}}{L}$$

6.6.1. Ekonomiskais efekts dažādiem spēkratiem

Ekonomiskais efekts noteikts 9 veidu mazās klases vieglajiem automobiļiem, kuri var būt aprīkoti ar 1.2 - 1.4 l Otto motoru vai 1.4 - 1.5 l dīzeļmotoru, piemēram, *Renault Clio*:

- jauns standarta automobilis ar iekšdedzes Otto motoru (JS-OTTO);
- jauns standarta automobilis ar iekšdedzes dīzeļmotoru (JS-DĪZ);
- jauns standarta automobilis ar iekšdedzes sašķidrinātās gāzes motoru (JS-LPG);
- 5 gadus lietots standarta automobilis ar iekšdedzes Otto motoru (5G-OTTO);
- 5 gadus lietots standarta automobilis ar iekšdedzes dīzeļmotoru (5G-DĪZ);
- 5 gadus lietots standarta automobilis ar iekšdedzes sašķidrinātās gāzes motoru (5G-LPG);
- 5 gadus lietots standarta automobilis, pārbūvēts par elektromobili (5G-PĀRB);
- jauns rūpnieciski ražots elektromobilis (J-ELEKTRO);
- 5 gadus lietots par elektromobili pārbūvēts automobilis (5G-ELEKTRO).

Apzīmējums iekavās saīsināti norāda atbilstošo spēkratu veidu. Aprēķinus veic izmantojot 6.16 formulu un dažādus Latvijas statistikas un citus informatīvos datus (piemēram, MMR info, rezerves daļu cenas, CSDD, SS reklama u.tml.).

Aprēķinu rezultāti apkopoti 6.10. tabulā.

6.10. tabula. Automobiļa izmaksas 100 km nobraukumam

N.p.k.	Spēkratu veids	Iegādes izmaksas, LVL	Iegādes izmaksas, LVL (100 km) ⁻¹	Reģistrācijas izmaksas, LVL (100 km) ⁻¹	TA+TR izmaksas, LVL (100 km) ⁻¹	Tehniskā apskate un nodokļi, LVL (100 km) ⁻¹	Degvielas (elektrības) izmaksas, LVL (100 km) ⁻¹	Diennakts nobraukums, km	Kopējās izmaksas, LVL (100 km) ⁻¹
1.	JS-OTTO	8300	2.77	0.01	0.42	0.18	6.84	82.2	10.22
2.	JS-DĪZ	9600	3.20	0.01	0.53	0.19	4.77	82.2	8.70
3.	JS-LPG	8800	2.93	0.01	0.43	0.19	3.60	82.2	7.16
4.	5G-OTTO	3000	2.00	0.02	0.61	0.18	6.84	82.2	9.65
5.	5G-DĪZ	4500	3.00	0.02	0.72	0.19	4.77	82.2	8.70
6.	5G-LPG	3500	2.33	0.02	0.62	0.19	3.60	82.2	6.76
7.	5G-PĀRB	5000	3.33	0.11	3.13	0.32	1.50	27.4	8.39
8.	J-ELEKTRO	20000	6.67	0.01	0.15	0.32	1.40	27.4	8.55
9.	5G-ELEKTRO	7000	4.67	0.02	3.15	0.32	1.50	27.4	9.66

Tabulā veiktajiem aprēķiniem tiek izmantoti vairāki pieņēmumi, kuru analīze veikta turpmāk.

Veicot automobiļa pārbūvi paša spēkiem, automobilis netiek iegādāts no jauna, bet tā vecais iekšdedzes motors nomainīts pret elektromotoru. Paša pārbūvētajam automobilim un 5 gadus vecam rūpnieciski pārbūvētam automobilim izmanto akumulatorus, kuru cena nepārsniedz 3000 LVL. Akumulatoru maiņu veic pēc 100000 km, bet jaunajam elektroautomobilim pieņem, ka akumulatori tiek nomāti no ražotājfirmas. Latvijā šāda veida pieredze pašlaik vēl nav izmantojama.

Reģistrācijas izmaksās paša pārbūvētajam automobilim tiek ietvertas arī pārbūves reģistrācijas izmaksas.

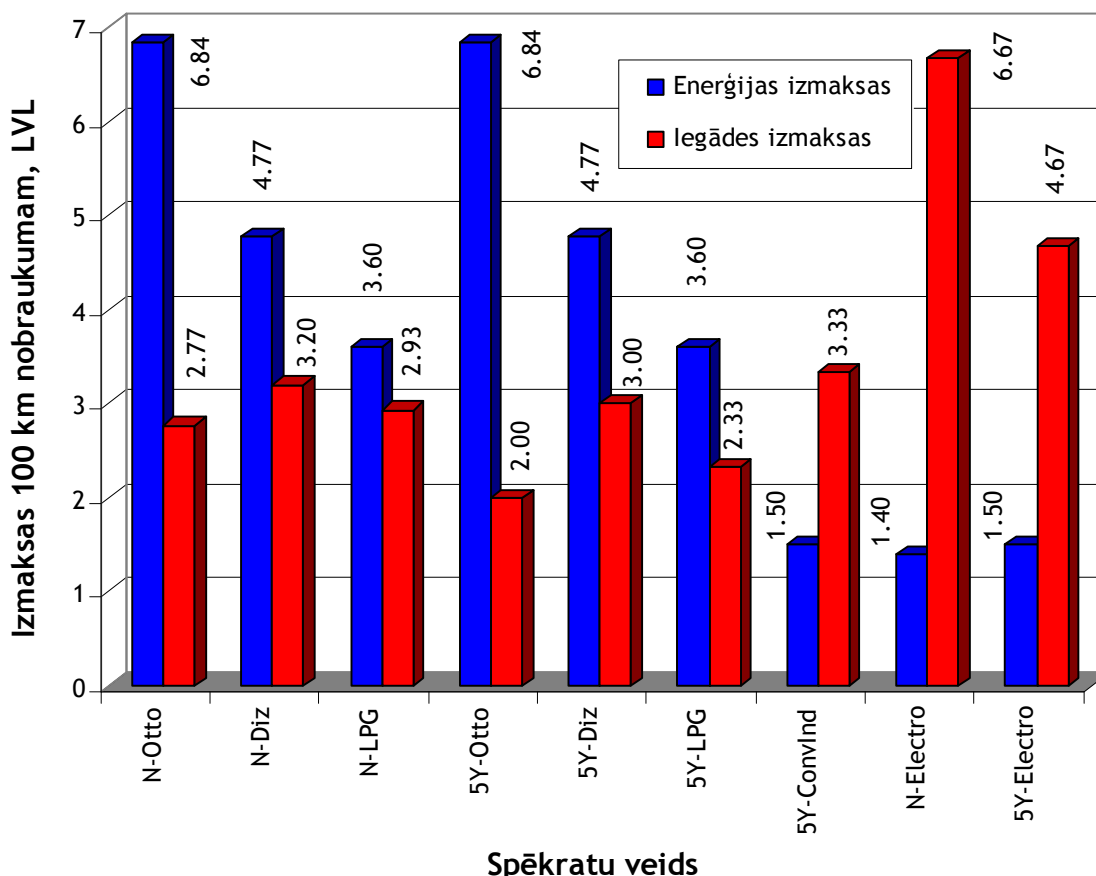
Tehnisko apkopju un tekošā remonta darba stundas izmaksas tiek pieņemtas 15 LVL h⁻¹. Tekošajos remontos netiek ietverti virsbūves darbi. Elektromobiļu (izņemot jaunā elektromobiļa) akumulatoru maiņas izmaksas tiek ietvertas tekošajā remontā, bet tekošā remonta izmaksas elektromotoram būtiski samazinās sakarā ar tā vienkāršo uzbūvi un nelielo mezglu skaitu.

Tehniskās apskates izmaksas elektromobilim tiek pieņemtas tādas pašas kā analogiskam ar Otto motoru darbināmam automobilim. Tiek pieņemts, ka ceļa nodoklis elektromobilim tiks maksāts tikai par masu, bet nevis par motora tilpumu.

Jaunajiem automobiļiem pilnais nobraukums līdz norakstīšanai tiek paredzēts 300000 km, bet lietotajiem - 150000 km.

Patērētās elektroenerģijas izmaksas 100 km nobraukumam jaunajam automobiļim tiek paredzētas 1.40 LVL, bet lietotajiem - 1.50 LVL zemākas akumulatoru efektivitātes dēļ.

Analizēto spēkratu enerģijas izmaksas un iegādes izmaksas apkopotas 6.30. attēlā.



6.30. att. Dažādu spēkratu enerģijas un iegādes izmaksas

Augstākās enerģijas izmaksas ir analizētajiem automobiļiem, kuri aprīkoti ar Otto motoriem un dīzeļmotoriem. Šīs izmaksas tuvojas 7 LVL (100 km)⁻¹. Tiem seko ar sašķidrināto gāzi aprīkoti automobiļi, kuru izmaksas nepārsniedz 4 LVL (100 km)⁻¹. Zemākās enerģijas izmaksas ir elektrospekratiem. Turpretī iegādes izmaksas elektrospekratiem pašlaik ir daudz augstākas nekā analogiska vecuma iekšdedzes motoru spēkratiem.

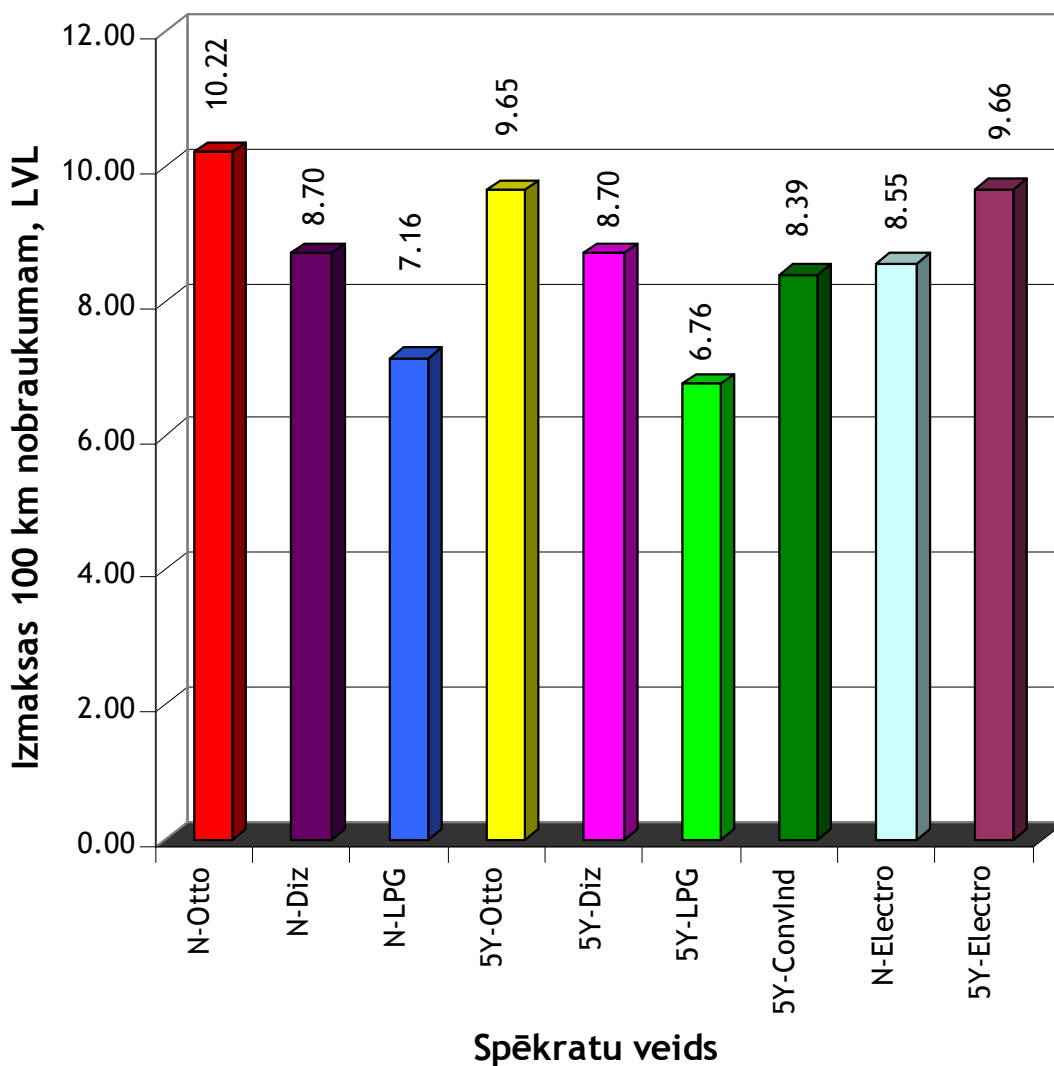
Lai uzskatāmi varētu salīdzināt izmaksas, noteiktas attiecinātās izmaksas, LVL (100 km)⁻¹ (skat. 6.31. att.).

Sakarā ar sašķidrinātās gāzes salīdzinoši zemajām cenām visizdevīgākais ir šāda veida automobiļi, pie tam šādam lietotam automobiļim ir zemākās izmaksas - 6.76 LVL·(100 km)⁻¹.

No elektromobiļiem augstākā efektivitāte jeb zemākās izmaksas ir paša pārbūvētajam automobiļim.

Kopumā, visiem elektromobiļiem izmaksas palielina akumulatoru baterijas nomaiņas izmaksas. Ja pēc 100000 km nobraukuma paredz Li-jonu bateriju nomaiņu jaunam automobilim, tā efektivitāte ir ļoti zema un sasniedz $20.50 \text{ LVL} (100 \text{ km})^{-1}$, kas ir divas reizes vairāk, nekā iekšdedzes motoru automobiļiem.

Lietotā elektromobiļa izmaksas ir salīdzinoši augstas sakarā ar to, ka to automobiļu tirgū ir salīdzinoši maz un to cenas 5 gadus veciem automobiļiem parasti ir 7000 - 8000 LVL.



6.31. att. Dažādu veidu spēkratu kopējās attiecinātās izmaksas

Veiktā analīze parāda, ka perspektīvākie no analizētajiem elektrospēkratiem ir pašu pārbūvētie automobiļi. Šādam automobilim tā īpašnieks var izvēlēties tieši viņam individuāli nepieciešamos un specifiskos automobiļa jaudas, nobraukuma un akumulatoru bateriju parametrus, kas tiešā veidā saistīti ar automobiļa izmantošanas sfēru.

Piemēram, ja ik dienu ar šādu automobili nobrauc tikai 30 - 40 km, var izvēlēties mazākas kapacitātes un lētākus akumulatorus tikai 50 km nobraukumam. Šajā gadījumā nav nepieciešama arī speciāla infrastruktūra, jo akumulatoru lādēšanu var veikt mājās.

6.6.2. Secinājumi

1. Izstrādātais ekonomiskā efekta aprēķina algoritms ievērtē visas izmaksas automobiļu ekspluatācijai 100 km nobraukumam. Algoritms aprobēts, izmantojot datus par mazās klases automobiļiem un atzīts par darbotiespējīgu dažādu veidu spēkratu izmaksu salīdzināšanai.
2. No fosilās degvielas automobiļiem mazākās izmaksas 6.76 LVL (100 km)⁻¹ ir 5 gadus vecam sašķidrinātās gāzes automobilim sakarā ar tā nelielo iegādes vērtību un degvielas izmaksām.
3. No elektropēkratiem augstākā ekonomiskā efektivitāte ir 5 gadus vecam pārbūvētam automobilim - 8.39 LVL (100 km)⁻¹. Lietota elektromobiļa iegāde ir salīdzinoši neizdevīga sakarā ar tā augstajām cenām, kas var pārsniegt 7000 LVL.
4. Jauna elektromobiļa efekts - 8.55 LVL (100 km)⁻¹ ir tikai gadījumā, ja akumulatoru baterijas tiek nomātas un tekošā remonta laikā nav jāmaina.
5. Elektromobiļi pilsētas un piepilsētas satiksmē ir konkurētspējīgi ar fosilās enerģijas automobiļiem, īpaši gadījumos, ja tie tiek konstruēti konkrētu ekspluatācijas parametru nodrošināšanai.

6.7. Elektropēkratu ekspluatācijas ekoloģiskie ieguvumi

Viena no ekoloģiju ietekmējošām sfērām ir autotransports. To darbināšanai galvenokārt tiek izmantoti importēti energoresursi.

Ekspluatējot elektropēkratus, iespējams izmantot vietējos energoresursus - Latvijā saražotu elektroenerģiju. Turklāt šī elektroenerģija Latvijā 70% gadījumu tiek iegūta no atjaunojamiem energoresursiem, piemēram, izmantojot hidroelektrostacijas. Pārējie 30% elektroenerģijas tiek saražoti termoelektrostacijās.

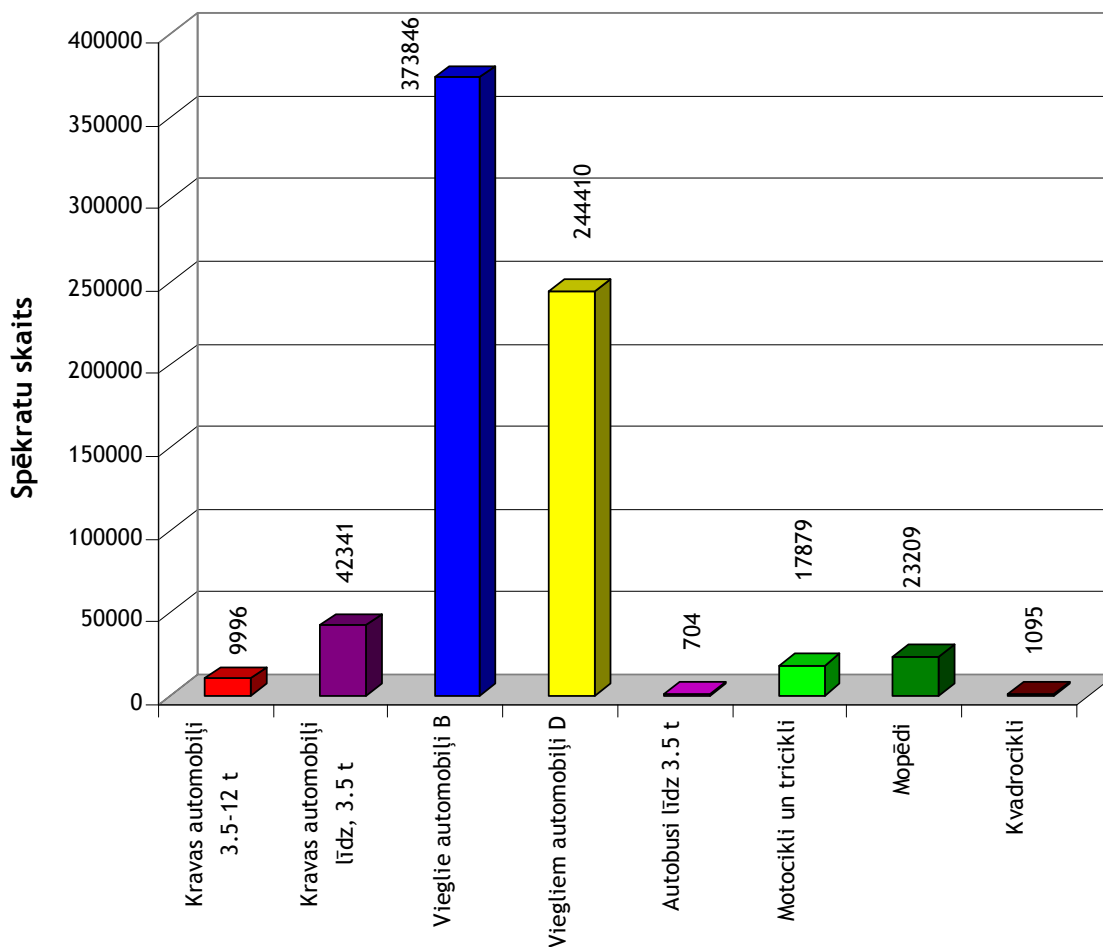
Balstoties uz šiem principiem, Latvijā, izmantojot elektropēkratus, 100% tiktu lietota Latvijā ražota enerģija, kā arī šo enerģiju varētu saražot no atjaunojamiem resursiem.

Lai samazinātu izmešu daudzumu no transportlīdzekļiem, elektropiedziņa jāizmanto spēkratos, kuros iekšdedzes motors var tik aizvietots ar elektromotoru. Tādos spēkratos, kuros nav motora, bet tiek uzstādīts elektromotors, piemēram, velosipēdi, nekādu pozitīvo efektu ekoloģiskā ziņā iegūt nevar. Pozitīvs variants no dabas saudzēšanas viedokļa būs gadījumā, ja lietotājs, veicot jauna transportlīdzekļa iegādi, nopērk nevis iekšdedzes mopēdu, bet gan elektrovelosipēdu vai elektromopēdu.

6.7.1. Transportlīdzekļu struktūra Latvijā

Latvijā tiek izmantoti dažāda veida transportlīdzekļi, tomēr sakarā ar to, ka elektropiedziņu pašlaik plašāk izmanto tikai spēkratos ar pilno masu, kas nepārsniedz 3.5 t, analīze veikta par šīm spēkratu grupām.

Pēc CSDD datiem uz 01.01.2013. transportlīdzekļu iedalījums pa dažādām analizējamām grupām parādīts 6.32. attēlā.



6.32. att. Spēkratu veidi Latvijā 2013. gada sākumā

Turpmākā analīze veikta attiecībā uz transportlīdzekļu skaitu 2013. gadā, veicot pieņēmumu, ka 2020. gadā Latvijā 10% no spēkratiem tiks ekspluatēti ar elektropiedziņu.

6.7.2. Elektromobiļu ekoloģiskā ieguvuma izvērtējuma algoritms

Ar pašreizējām elektroenerģijas akumulēšanas tehnoloģijām grūti iedomāties, ka elektromobilis varētu būt vienīgais transportlīdzeklis ģimenē.

Pastāv dažādi infrastruktūras risinājumi - ātrā uzlāde, kad akumulatorus 30 minūtēs iespējams uzlādēt līdz 80%, kā arī akumulatoru maiņas punkti, kad robots akumulatoru nomaina dažās minūtēs. Tomēr, lai šīs dārgās infrastruktūras sistēmas pilnā mērā darbotos, tām ir jābūt visās valstīs, kur izmanto elektromobiļus. Tas nozīmē, ka ieviešot šādas sistēmas Eiropā, iespējams ceļot cauri visai Eiropai, veicot automobiļa ātro uzlādi, vai mainot akumulatorus. Diemžēl uz pašreizējo mirkli šāda infrastruktūra vēl nedarbojas un tuvākajā laikā tādas globālas sistēmas ieviešana vēl nav paredzama.

Tādējādi nākas secināt, ka elektromobiļa izmantošana galvenokārt ir lietderīga pilsētās un piepilsētā, kad vidējie diennakts nobraukumi ar automobili nepārsniedz 120-150 km. Gadījumā, ja nobraukums paredzams lielāks, lietderīgi izmantot iekšdedzes motoru automobili.

Galvenie ieguvumi, ieviešot elektrotransportu:

- ja elektrību ražo Latvijā, piemēram, hidroelektrostacijās, elektrospēkratu darbināšanai tiek izmantoti vietēji energoresursi, pie tam šie resursi ir atjaunojami;
- gadījumā, ja elektrība tiek ražota no neatjaunojamiem resursiem, piemēram, no oglēm, elektrospēkrati nodrošina piesārņojuma lokalizāciju elektrības ražošanas vietā (termoelektrostacijā);
- elektrospēkratiem nav izmešu;
- elektrospēkratu piedziņai ir vienkāršāka konstrukcija un tehniskā apkope, motoram ir mazāk dilstošo daļu;
- elektrospēkrati nav trokšņaini, elektrospēkratus bez traucējuma var izmantot zonās, kur nav vēlams troksnis;
- elektrospēkratiem nav nepieciešama degviela, kas ir ar nepatīkamu smaku, elektromobiļiem eļļas daudzums ir daudz mazāks nekā iekšdedzes motoru spēkratiem;
- elektromotoram ir augstāks lietderības koeficients, izdevīgākas un kustībai piemērotākas jaudas un griezes momenta līknes;
- sakarā ar ierobežoto nobraukumu, elektrospēkratu vadītājam dažkārt nākas izvēlēties saudzīgāku kustības režīmu, ekonomējot un taupot resursus.

Veicot ekoloģiskā ieguvuma aprēķinu, jāievērtē, ka analizējamajās spēkratu grupās pamatā tiek izmantoti divi motoru veidi - Otto motori un dīzeļmotori. Katrai no šīs spēkratu grupas ir atšķirīgi izplūdes gāzu normatīvi, kas jāņem vērā aprēķinos.

Tā kā Latvijā vidējais automobiļu vecums ir 12 gadi, izmantoti atbilstošajā laika posmā spēkā esošo Eiro normatīvi. Izplūdes gāzu normatīvi, atbilstoši jaunu automobiļu sertifikācijai, paredz automobiļu izplūdes gāzu normatīva korekciju.

Aprēķini tiek orientēti uz prognozi 2020. gadā.

Ņemot vērā, ka jau pēdējos 10 gadus Latvijā tiek ekspluatēti automobiļi, kuri vidējais vecums ir 10 - 12 gadi, pieņem, ka līdzīga tendence saglabāsies arī uz aprēķināto periodu. Šī iemesla dēļ, salīdzinājumam ar iekšdedzes motoru automobiļiem, izmanto izplūdes gāzu normatīvu, kas atbilst 2008. - 2010. gadam.

Šim periodam atbilstošs ir izplūdes gāzu normatīvs Euro 5. Jāņem vērā arī atbilstošais pasliktinājuma faktors automobiļiem, kuriem nobraukums pārsniedz 80000 km.

Euro 5 normatīvam atbilstošie izplūdes gāzu normatīvi un pārrēķins pēc pasliktināšanās faktora apkopots 6.11. tabulā.

6.11. tabula. Aprēķiniem izmantotie Euro 5 (motocikliem, kvadracikliem un mopēdiem Euro4) normatīvi un to korekcija

N.p.k.	Spēkratu raksturojums		Izplūdes gāzu komponentes					
	Spēkratu veids	Degviela	CO	CH+NO _x	Visu ogļūdeņražu masa THC	Ogļūdeņraži, kas nav metāns, masa NMHC	NO _x	Cietās daļiņas PM
1.	Kravas automobiļi ar pašmasu virs 3.5 t, g (kWh) ⁻¹	D	1.5	-	0.46	-	2.0	0.02
2.	Vieglie automobiļi M kat.	B	1.0	-	0.10	0.068	0.060	0.005*
		D	0.50	0.230	-	-	0.18	0.005
3.	Motocikli un tricikli	B	0.114	-	0.017	-	0.009	-
4.	Mopēdi	B	0.1	-	0.063	-	0.017	-
5.	Kvadracikli	B	0.19	-	0.073	-	0.017	-
6.	Nolietojuma koeficients	B	1.3	-	1.3	1.3	1.3	-
		D	1.3	-	1.1	1.1	1.1	1.0

* *Tiešās iesmidzināšanas motori*

Iekšdedzes motoru spēkratiem atbilstošās komponentes izmešu daudzumu gadā aprēķina pēc sakarības:

$$\sum I_G = \frac{A_v \cdot l_g \cdot M_{km}}{10^6}, \text{ t gadā}, \quad (6.17)$$

kur A_v - automobiļu skaits ar iekšdedzes motoru atbilstošajā grupā;
 l_g - atbilstošās grupas automobiļu nobraukums gadā, km;
 M_{km} - automobiļu atgāzu n-tās komponentes daudzums pēc Euro 5 normatīva, g km⁻¹.

Pēc sakarības 6.17 var aprēķināt izmešu daudzumu tikai tiem spēkratiem, kuriem Euro 5 normatīvs paredz izmēģinājumus veikt uz ruļļu jaudas stenda. Kravas automobiļiem izmēģinājumi tiek veikti uz stacionāra motora slogošanas stenda, bet normatīvs tiek dots g (kWh)⁻¹. Šiem spēkratiem izplūdes gāzu atbilstošās komponentes daudzumu var aprēķināt pēc sakarības:

$$\sum I_G' = \frac{A_k \cdot l_g \cdot M_{kWh-km}}{10^6}, \text{ t gadā}, \quad (6.18)$$

kur A_k - automobiļu skaits ar iekšdedzes motoru atbilstošajā grupā;
 l_g - atbilstošās grupas automobiļu nobraukums gadā, km;
 M_{kWh-km} - automobiļu atgāzu n-tās komponentes daudzums pēc Euro 5 normatīva, kuriem izmēģinājumus veic uz motoru stenda, pārrēķināts g km⁻¹.

Lai noteiktu, cik daudz izplūdes gāzu tiek izmestas uz 1 km automobiļiem, kuriem izmanto normatīvu $g (kWh)^{-1}$, izmanto sakarību:

$$M_{kWh-km} = \frac{N_{e.vid} \cdot t_k}{s} \cdot m_{kWh}, g km^{-1}, \quad (6.19)$$

kur $N_{e.vid}$ - spēkratu vidējā patērētā motora jauda aprēķināmajā ceļa posmā, kW;
 t_k - spēkratu kustības laiks mērāmajā ceļa posmā, h;
 s - ceļa posma garums, km;
 m_{kWh} - automobiļu atgāzu n-tās komponentes daudzums pēc Euro 5 normatīva, $g (kWh)^{-1}$.

Veicot 6.19 sakarības ievietošanu 6.18 izteiksmē un, ņemot vērā to, ka kustības ātrumu var izteikt ar sakarību $v = s t^{-1}$ ($km h^{-1}$), iegūst:

$$\sum l_G' = \frac{A_k \cdot l_g \cdot N_{e.vid} \cdot m_{kWh}}{10^6 \cdot v}, t \text{ gadā}. \quad (6.20)$$

Aprēķins tiek orientēts tikai uz toksiskajiem savienojumiem. CO₂ izmešu izpētei, kas tiešā veidā ir saistīti arī ar degvielas patēriņu, nepieciešama atsevišķa, dziļāka analīze.

Aprēķinu veikšanai izmanto 6.17 un 6.20 sakarības, kā arī normatīvus un nolietojuma koeficientus no 6.11. tabulas, kā arī pieņēmumu, ka elektrospēkrati 2020. gadā būs 10% no kopējā Latvijas spēkratu parka. Gada vidējais nobraukums kravas automobiļiem pieņemts 40000 km, bet vieglajiem automobiļiem - 20000 km. Vidējā kravas automobiļu patērētā jauda kustībā 100 kW, bet vidējais kustības ātrums 50 km h⁻¹.

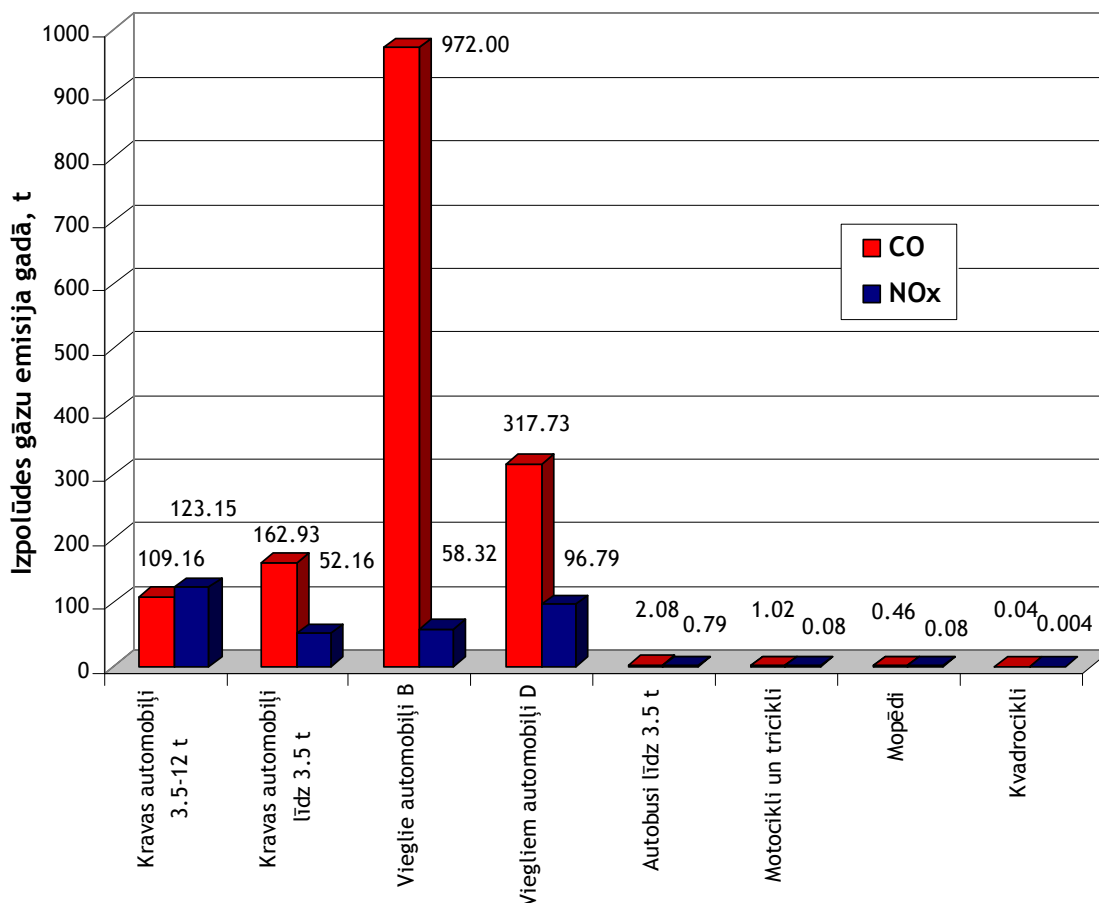
Izmešu daudzuma aprēķinu rezultāti apkopoti 6.12. tabulā.

6.12. tabula. Izmešu daudzuma aprēķinu rezultāti

N.p.k.	Transportlīdzekļa veids	CO	CH+NO _x	THC	NMHC	NO _x	PM
1.	Kravas automobiļi ar pašmasu virs 3.5 t	660.52	—	155.81	—	745.20	6.77
2.	Vieglie automobiļi B	972.00	—	97.20	66.1CO	58.32	3.74
3.	Vieglie automobiļi D	317.73	112.43	—	—	96.79	2.44
4.	Autobusi ar pašmasu līdz 3.5 t	2.08	0.99	—	—	0.79	0.01
5.	Motocikli un tricikli	0.02	—	0.15	—	0.08	—
6.	Mopēdi	0.46	—	0.29	—	0.08	—
7.	Kvadracikli	0.04	—	0.02	—	0.004	—

6.33. attēlā apkopoti dati CO un NO_x izplūdes gāzu komponentēm. Šīs komponentes tiek normētas visiem analizētajiem spēkratiem.

Attēlā redzams, ka lielākā CO piesārņojuma daļa Latvijā ir no vieglajiem automobiļiem. Summējot vieglos automobiļus ar benzīnmotoru un dīzeļmotoru, iegūst CO izmešu daudzumu 1289.73 tonnas gadā, kas ir gandrīz divas reizes vairāk nekā no kravas automobiļiem.



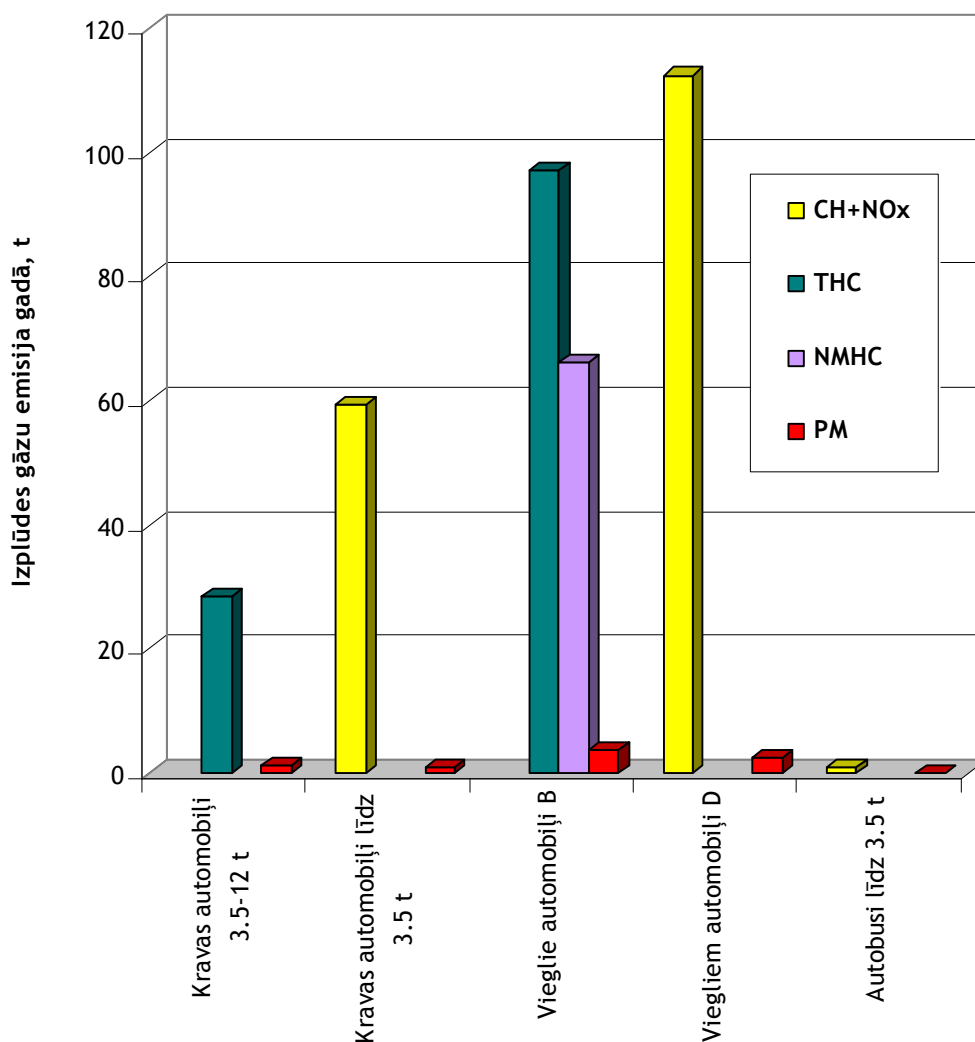
6.33. att. CO un NO_x izplūdes gāzu komponentu daudzums gadā no 10% Latvijas spēkratu parka

Sakarā ar plašo dīzeļmotoru pielietojumu kravas automobiļu sektorā, NO_x izplūdes gāzu komponentu izmešu kopsumma gadā šiem automobiļiem ir 4.8 reizes lielāka nekā vieglajiem automobiļiem. Tādu spēkratu kategoriju, kā autobusi, motocikli, mopēdi un kvadracikli, analizēto izmešu daudzuma kopsumma Latvijā ir minimāla sakarā ar nelielo šo spēkratu skaitu.

Pārējās normētās izplūdes gāzu komponentes (CH, NO_x un PM) galvenokārt netiek noteiktas motocikliem, mopēdiem un kvadracikliem, tāpēc tās grafiski netiek analizētas (skat. 6.34. att.).

Kravas automobiļiem komponentes CH gada izmešu daudzums ir par 38.1% lielāks nekā vieglajiem automobiļiem. Cieto daļiņu izmešu daudzums vieglajiem automobiļiem ir tikai par 9.6% mazāks nekā kravas automobiļiem.

Pēc aprēķinu rezultātiem, Latvijas izmešu bilancē lielākais piesārņojums ir no kravas automobiļiem, īpaši komponentēm, kas saistītas ar NO_x izmešiem. Tomēr, izvērtējot pašreizējās tehnoloģijas un iespējas elektropiedziņas izmantošanai, paredzams, ka tas uz analizējamo laika posmu vienkāršāk būs realizējams tieši vieglajiem automobiļiem. Šajā gadījumā, ieviešot 10% vieglos automobiļus ar elektropiedziņu, Latvijā būs iespējams samazināt CO izmešus par 1289.73 t, CH+NO_x par 112.43 t, kopējo ogļūdeņražu daudzumu par 97.20 t, NO_x par 155.11 t un PM par 6.18 tonnām gadā.



6.34. att. CH, NO_x un PM izplūdes gāzu komponentu daudzums gadā no 10% Latvijas spēkratu parka

Vēl kā pozitīvais aspekts jāatzīmē elektrotransporta klusā darbība, kas samazinātu kopējo trokšņa līmeni, kas īpaši svarīgi pilsētās.

Lietderīga ir elektropiedziņas izmantošana arī mopēdos, motociklos un kvadraciklos, tomēr uz kopējo izmešu daudzumu ietekme būs ļoti niecīga, īpaši salīdzinot ar kravas automobiļu un vieglo automobiļu izmešu daudzumu.

6.7.3. Secinājumi

1. Izstrādātā automobiļu izplūdes gāzu komponentu izvērtēšanas metode aprobēta un atzīta par derīgu gan atsevišķu spēkratu grupu ietekmes noteikšanai, gan arī dažādu spēkratu toksiskuma salīdzinošajai analīzei atkarībā no nobraukuma.
2. Latvijas vieglo automobiļu parka desmitās daļas CO izmešu kopējais daudzums ir 1.95 reizes lielāks nekā analogiskā procentuālā daudzuma kravas automobiļiem.
3. Sakarā ar plašo dīzeļmotoru izmantošanu kravas automobiļos un lielajiem motoru darba tilpumiem, NO_x izmešu daudzums šiem automobiļiem ir 4.8 reizes lielāks.

4. Ieviešot 10% vieglos automobiļus ar elektropiedziņu, tiks sasniegts ekoloģiskais efekts saistībā ar šādu izmešu samazinājumu: CO par 1289.73 t, CH+NO_x par 112.43 t, C_nH_m par 97.20 t, NO_x par 155.11 t un PM par 6.18 tonnām gadā.
5. Elektropiedziņas izmantošana motocikliem, kvadracikliem un mopēdiem var samazināt troksni pilsētās, tomēr tā Latvijā nav pamatota ar ekoloģisko efektivitāti sakarā ar šo spēkratu nelielo skaitu un nelielajiem gada nobraukumiem.

KOPSAVILKUMS UN REKOMENDĀCIJAS

1. Ar elektroenerģiju darbināmu spēkratu priekšrocības - ekonomiski izdevīgi, vidi saudzējoši, klusi, vienkārši ekspluatācijā - perspektīvā var nodrošināt to popularitāti un plašu izmantošanu arī Latvijā, kur ir piemērots klimats, reljefs un relatīvi biezs apdzīvoto vietu un ceļu tīkls.
2. Elektrospēkratus atkarībā no pielietojuma, pārvietošanās ātruma, jaudas, konstruktīvām īpatnībām iedala: lēngaitas elektroautomobiļi, lēngaitas iepirkšanās elektromobiļi, trīsriteņu elektromobiļi, elektrovelosipēdi, elektromopēdi, elektromotocikli un elektroautomobiļi.
3. Lēngaitas elektroautomobiļi ir pasaulē pazīstami pārvietošanās līdzekļi lidostās, golfa laukumos, ārstniecības iestādēs, viesnīcās, atrakciju parkos, rūpniecības zonās un citur. Pēc nozīmes lēngaitas elektroautomobiļus var iedalīt trīs grupās - pasažieru, kravas un specializētajos. Lēngaitas elektroautomobiļi ir dažāda lieluma un atšķiras ar jaudu, ar pasažieru vietu skaitu, ar celjspēju, ar pielietošanas sfērām. Lēngaitas elektroautomobiļi tiek ražoti gan ar slēgtu, gan vaļēju virsbūvi. Elektromobiļi ar slēgto virsbūvi var būt aprīkoti ar apkures sistēmu. Lēngaitas elektroautomobiļa būtisks raksturotājs ir tā autonomija un akumulatoru baterijas uzlādes laiks. Lēngaitas elektromobiļi ir ļoti ērti tūristu pārvadāšanai, golfa laukumu apsaimniekošanai, lauku saimniecībās un kustībai slēgtās teritorijās. Lēngaitas elektroautomobilis Latvijā ir pielīdzināts kvadraciklam, tāpēc tā vadīšanai ir nepieciešama B1 vai B (ar piekabi) autovadītāja apliecība.
4. Lēngaitas iepirkšanās elektrospēkrati galvenokārt izmantojami, lai nodrošinātu mobilitāti vecākiem cilvēkiem un cilvēkiem ar pārvietošanās grūtībām. Iepirkšanās elektromobiļus lieto gan braukšanai pa ietvi, gan arī lielākos veikalos, tomēr infrastruktūra Latvijā (ietvju nobrauktuves, kāpnes, augstas apmales) ne visur ir piemērota šāda veida elektromobiļu ekspluatācijai. Iepirkšanās elektromobiļu glabāšana daudzdzīvokļu mājās ir apgrūtināta. Veicot jaunu māju būvniecību, iepirkšanās elektromobiļu glabāšanai varētu atvēlēt pagrabstāvu, izveidojot arī šo spēkratu uzlādēšanas infrastruktūru. Iepirkšanās elektromobiļu izmantošanai Latvijā plašākas iespējas ir privātmāju iedzīvotājiem, jo tie savas privātmājas infrastruktūru var izmantot elektromobiļa ērtai glabāšanai un uzlādēšanai, piemēram, garāžā.
5. Trīsriteņu elektromobiļus ieteicams izmantot pilsētās, jo tiem ir mazs enerģijas patēriņš un uzturēšanas izmaksas, tiem viegli atrast autostāvvietu mazo gabarītu dēļ, un ar tiem ir ērti pārvietoties nelielos attālumos. Ja elektromobiļa ekspluatācija saistīta ar ārpuspilsētas izbraukumiem, tad ieteicams izvēlēties modeli ar litija baterijām, kas nodrošina braucienu bez uzlādes līdz 120 km.
6. Par elektrovelosipēdu uzskatāms divriteņu transportlīdzeklis, kura braukšanas ātrums nepārsniedz 25 km h^{-1} un motora jauda nepārsniedz 250 W, vai tā tiek elektroniski ierobežota līdz 250 W. Pārsniedzot minētos jaudas vai kustības ātruma parametrus, atbilstošais transportlīdzeklis klasificējams kā elektromopēds. Elektrovelosipēdi ir

viens no Latvijā plašāk izmantotajiem elektropēkratu veidiem. Elektrovelosipēdam svarīgs ir tā akumulatoru tehniskais stāvoklis. Parasti tiek piedāvāti velosipēdi ar svina želejas akumulatoriem. Šo akumulatoru kapacitāte ir 10 - 12 Ah. Biežāk izmantotais elektrosistēmas veids - 36 V jeb trīs akumulatori. Iespējami arī varianti ar 2 (24 V), 4 (48 V) un 5 (60 V) akumulatoriem. Palielināts akumulatoru skaits orientēts uz lielāku braukšanas ātrumu sasniegšanu, kā arī lielāku nobraukumu. Svarīgi ir, lai akumulatori būtu noņemami uzlādes veikšanai mājās. Parasti velosipēdiem izmanto ārējos lādētājus, kuri ir nedroši lādēšanai atklātos stāvlaukumos mitruma ietekmes dēļ. Izvēloties elektrovelosipēdu, būtiska vērība jāpievērš svaram, bateriju izvietojuma augstumam jeb smagumcentra augstumam, kā arī patvaļīgas kustības ierobežošanas slēdzim. Efektīgas ir elektrovelosipēdu konstrukcijas ar elektromagnētiskajām bremzēm. Šāda bremze būtiski palielina bremzēšanas efektivitāti un saudzē standarta bremžu sistēmu. Elektrovelosipēdu vidējais nobraukums ar vienu uzlādi ir no 20 līdz 45 km, atkarībā no elektrovelosipēda jaudas un braukšanas stila. Ja nepieciešams lielāks nobraukums, uzsākot kustību, ieteicams veikt palīdzību ar pedāļiem - vismaz pusi no pilna pedāļu apgrieziena. Šādā veidā var intensīvāk ieskrieties un palielināt nobraukumu. Lielāks nobraukums ir elektrovelosipēdiem, kuriem ir ierobežota jauda. Elektrovelosipēdam, kurš izgatavots uz klasiskā velosipēda rāmja, nevajadzētu būt ar lielāku jaudu kā 500 W. Šāds ieteikums ir gan no drošības, gan arī optimāla nobraukuma viedokļa. Arī kustības ātrumu būtu lietderīgi ierobežot līdz 30 km h⁻¹. Eksperimentējot ar elektrovelosipēdu, kura jauda 1000 W, tā nobraukums maksimālā ātruma (45 km h⁻¹) režīmā bija tikai 15 km, bet, braucot ar 25 km h⁻¹ - 2 reizes lielāks - 30 km. Braucot kalnā ar mazjaudas elektrovelosipēdu, nepieciešams piepalīdzēt ar pedāļiem, lai nepārslogotu motoru un saudzētu akumulatorus. Vienkāršu elektrovelosipēdu cena parasti nepārsniedz 600 EUR. Šādi velosipēdi parasti ražoti Ķīnā un to kvalitāte ir zema. Ja izvēlas ES ražotu kvalitatīvu velosipēdu, tā cena tuvojas 1400 EUR, bet arī kvalitāte ir daudz labāka. Velosipēda cenu būtiski var palielināt litija grupas akumulatoru izmantošana.

7. Pilsētas satiksmei Latvijas apstākļiem piemēroti ir elektromobiļi. To kustības ātrums ir vismaz 40 - 50 km h⁻¹ un tie ērti iekļaujas pilsētas satiksmē. Ja elektromobili izmantot visu gadu, tā virsbūvei jābūt slēgtai un ar apsildes sistēmu. No jaunajiem elektromobiļiem var izvēlēties jebkuru oriģinālā ražotāja elektromobili, tomēr jāņem vērā, ka gadījumā, ja tam izmantota vienīgi elektriskā salona apsildes sistēma, ekspluatācijai ziemā lietderīgi ir uzstādīt iekšdedzes apsildes sistēmu. Elektromobiļu vidējie nobraukumi ar vienu uzlādi ir no 50 līdz 150 km. Lielākie nobraukumi ir elektromobiļiem ar litija grupas akumulatoriem. Svina skābes akumulatoru ekspluatācijas laiks parasti ir 3 - 4 gadi. Pareizi ekspluatējot litija grupas akumulatorus, to darbmūžs var būt divas reizes lielāks. Elektromobiļa nobraukumu ar vienu uzlādi parasti vienkārši prognozēt, jo tā izkliede nav liela un nepārsniedz 5%. Diezgan precīzi ir arī atlikušās „degvielas” rādītāji, kuri ļauj prognozēt atlikušos nobraukuma kilometrus. Elektromobiļa nobraukums pilsētā un ārpus

pilsētas atšķiras maz. Salīdzinot ar iekšdedzes motoru spēkratiem, elektromobiļiem pilsētā nobraukums ir nedaudz lielāks nekā ārpus pilsētas, jo, stāvot sastrēgumā vai pie luksofora, elektromotors nedarbojas, kā arī tiek izmantota reģeneratīvā bremsēšanas sistēma.

8. Iespējami trīs galvenie elektropēkratu enerģijas papildināšanas veidi: lēnā uzlāde 6 - 8 h, ātrā uzlāde par 80% no akumulatoru kapacitātes 30 minūtēs, akumulatoru apmaiņas punkti, kuros robots veic akumulatora nomaiņu 2 - 3 minūtēs. Sakarā ar nelielo elektropēkratu skaitu Latvijā to attīstībai nepieciešams plaši ieviest lētus bezmaksas uzlādes punktus. Attīstoties elektrotransportam, bezmaksas punktus var pārvērst par maksas uzlādes punktiem. Uzlādes punktu plašu ieviešanu stāvvietās var traucēt pieejamās jaudas. Ja pieslēgums ir ar trim fāzēm un 16 A strāvu, iespējams izveidot tikai trīs lēnās uzlādes punktus elektromobiļiem. Izbūvējot uzlādes punktus, būtiska vērība jāpievērš izmantoto vadu diametram, jo elektromobiļa uzlādei parasti tiek patērēta strāva, kas sasniedz 12 - 13 A, kas ir tuvu vienfāzu rozetes nominālajai strāvai.
9. Vienkāršākā sistēma norēķiniem par lādēšanas laikā patērēto elektroenerģiju ir uzlādes punktu pieejas (atslēgas) abonēšana, katru mēnesi maksājot abonēšanas maksu atkarībā no izmantoto spēkratu veida.
10. No alternatīvajiem elektroenerģijas veidiem elektropēkratiem izdevīgākā ir saules, vēja un hidroenerģija. Izstrādājot šādas elektrostacijas, būtiska vērība jāpievērš to jaudai, kurai jābūt saskaņotai ar elektropēkratiem, kuru uzlāde tiks veikta. Saules paneļi uz elektropēkratu jumta var dot ievērojamu efektu tikai lēngaitas mazjaudas elektropēkratiem (motora jauda līdz 1 kW). Lielākas jaudas spēkratos iespējamais efekts nepārsniedz 20% no nepieciešamās enerģijas. Saules baterijas uz jumta var izmantot akumulatoru uzlādes procesam.
11. Veicot pārbūvi no iekšdedzes motora spēkratiem uz elektropēkratiem, motora un citu mezglu izvēli var veikt, balstoties uz aprēķiniem, tomēr iegūtais pārbūves rezultāts var atšķirties no aprēķinos iegūtā. Svarīgi ir izvēlēties pareizas jaudas elektromobili, ņemot vērā tā potenciālos ekspluatācijas apstākļus - reljefu, kādā tiks veikti pārvadājumi, ceļa segumu, konfigurāciju, joslu platumu, kā arī ceļa iedalījumu pēc satiksmes intensitātes. Pārbūvētajiem automobiļiem var atstāt standarta pārnese kārbus, bet nepieciešamības gadījumā dažus no pārnese zobratiem var demontēt, atvieglojot un vienkāršojot pārnese kārba konstrukciju. Tādā veidā iespējams samazināt rotējošo masu ietekmi ieskriešanās procesā un palielināt transmisijas lietderības koeficientu. Veicot elektropēkratu pārbūvi, kā arī, ekspluatējot jau esošus elektropēkratus Latvijas ziemas apstākļos, būtiska vērība jāpievērš salona apsildes sistēmai. Ziemā ieteicams izmantot iekšdedzes autonomās apsildes sistēmas, kas nodrošina komfortablu salona temperatūru un būtiski nesamazina nobraukumu ar vienu uzlādi, kā tas ir ar elektrību darbināmu apsildes sistēmu gadījumā. Galvenā pārbūvēto elektropēkratu priekšrocība, salīdzinot ar rūpnieciski ražotajiem, ir to pielāgošanas iespēja konkrēta lietotāja vajadzībām (maksimālais kustības

ātrums, nobraukums ar vienu uzlādi), kas var būtiski samazināt pārbūves izmaksas.

12. Elektropēkrotu elektroenerģijas izmaksas ir atkarīgas no uzlādes punkta veida un elektroenerģijas cenas uzlādes punktā. Lētākā ir uzlāde mājas apstākļos. No enerģijas izmaksu viedokļa lētākā ekspluatācija ir elektrovelosipēdiem, kas nepārsniedz 0.36 EUR uz 100 km. Izmantojot velosipēdus ar elektromotora aktivizēšanu pie konkrēta pedāļu griešanas ātruma, var iegūt viszemākās enerģijas izmaksas 100 km nobraukumam - 0.31 EUR, kas skaidrojams ar inerces pretestības pārvarēšanu, uzsākot kustību, izmantojot velosipēdista muskuļu spēku un nedaudz atslogojot elektromotoru. Enerģijas izmaksas ir atkarīgas no attiecīgās valsts elektroenerģijas tarifiem un degvielas cenām un var būtiski atšķirties no Latvijas pētījumu rezultātiem.

IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

1. ABB, KredEx un Igaunijas Ekonomikas lietu ministrija uzlādes tīklā Igaunijā izvieto pirmo no 200 līdzstrāvas uzlādes stacijām. (B.g.) [tiešsaiste] [skatīts 14.08.2012.]. Pieejams: <http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/b448cd4e367f1655c1257a2200388afd/Body/191.44CA!OpenElement&FieldElemFormat=gif>
2. AC Induction Motor M2-AC25/4-A/L. (S.a.) [online] [cited 12.03.2012]. Available: http://www.electro-vehicles.eu/public/file/Motore_25kw.pdf
3. Alksnis U., Kļaviņš Z., Kūka P., Ruplis A. (1990) Fizikālā un koloidālā ķīmija. Rīga: Zvaigzne, 424 lpp.
4. America's first public-use quick-charge station for electric vehicles opens. (S.a.) [online] [cited 14.08.2012.]. Available: <http://images.gizmag.com/inline/portlandev-2.jpg>
5. Aschwanden M.J. (2007) The Sun. In: McFadden Lucy-Ann, Weissman Paul R., Johnson Torrence V. (eds). Encyclopedia of the Solar System. Second Edition. USA: Elsevier Inc., p. 71-98.
6. ASHRAE. (2005) Fenestration. In: Owen Mark S. (eds). Handbook - Fundamentals (SI). Atlanta: ASHRAE, chapter 31.
7. Autodata CDA-3. (2007) Autodata Limited 2007. Version 5.373.
8. AV transports. (B.g.) [Tiešsaiste] [skatīts 05.04.2011] Pieejams: <http://www.av.lv/?x=YWIJZAQLH2FiCGQECB9hYgtkBAgfYWIMZAQK>
9. AV transports. Elektroautomobiļi. (B.g.) [tiešsaiste] [skatīts 18.03.2011.] Pieejams: <http://www.av.lv/?x=YWIJZAQLH2FiCGQECB9hYgtkBAgfYWIMZAQO>
10. Battery Handling Systems. (S.a.) [online] [cited 28.08.2012.]. Available: <http://www.bhs1.com>
11. Battery Pack. (S.a.) [online] [cited 01.11.2013]. Available: <http://www.peve.jp/en/product/pack/index.html>
12. Bergs A. Nulles emisijas elektromobiļi: kur paliek CO₂? (2011) [tiešsaiste] [skatīts 24.03.2011.] Pieejams: <http://www.esmaja.lv/?lapa=raksts&id=880>
13. Berjoza D. (2008) Automobiļu teorija. Jelgava: LLU, 200 lpp.
14. Berjoza D., Mickevics A. (2009) Research In Parameters Of Braking For Automobiles In: 8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings, May 28 - 29, 2009. Jelgava: LUA, p. 124 - 130.
15. Berjoza D. (2007) Automobiļu teorija. Metodiskie norādījumi kursa darba izpildei, uzdevumi un laboratorijas darbu metodika. Jelgava: LLU, 54 lpp.
16. Berjoza D. Pirs V. (2012) Automobile technical solutions and selection of parameters for rebuilding into electromobile In: Engineering for Rural Development: Proceedings of 11th International Scientific Conference, Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering. May 24-25, 2012. Jelgava: LUA.
17. Bernal-Agustin J.L., Dufo-Lopez R. (2009) Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 13(8), p. 2111-2118.

18. Better place & Chery Automobile Co partnership / Better Place. (S.a.) [online] [cited 28.08.2012.]. Available: <http://www.betterplace.com/the-company-multimedia-photos/index/id/72157623812642445>
19. Better Place. (S.a.) [online] [cited 20.05.2012.] Available: <http://www.betterplace.com/experience>
20. Better Place Opens Battery-Swap Station in Tokyo for 90-Day Taxi Trial. (2010) [online] [cited 28.08.2012.]. Available: <http://wheels.blogs.nytimes.com/2010/04/29/better-place-opens-battery-swap-station-in-tokyo-for-90-day-taxi-trial/>
21. Better Place swaps electric taxi batteries in Tokyo. (2010) [online] [cited 28.08.2012.]. Available: http://news.cnet.com/8301-11128_3-20003367-54.html
22. Bezmaksas elektrisko auto uzlādes tīkls iespējams būs arī atklātajās autostāvvietās. (2011) [tiešsaiste] [skatīts 12.03.2012.]. Pieejams: <http://garaza.lv/lv/zinas/auto/bezmaksas-elektrisko-auto-uzlades-tikls-iespejams-bus-ari-atklatajas-autostavvietas>
23. Biodegvielas likums. (2005) LR likums. Spēkā ar 15.04.2005. Latvijas Vēstnesis, Nr. 52.
24. Blink charging station. (S.a.) [online] [cited 13.08.2012.]. Available: <http://insideevs.com/wp-content/uploads/2012/05/blink-charging-station-550x415.jpg>
25. Braking System - Career Training. (2005) Bologne-Billancourt, Renault SAS, unpublished training material, 76 p.
26. Brammo. (2011) [Online] [cited 05.04.2011] Available: <http://www.brammo.com/>
27. BRUSA: Home. (S.a.) [online] [cited 29.03.2013.] Pieejams: <http://www.brusa.biz>
28. Canadian Electric Vehicles Ltd. (S.a.) [online] [cited 29.03.2013.] Available: www.canev.com
29. Charge spots network in Israel (S.a.) [online] [cited 28.08.2012.] Available: http://israel.betterplace.com/The_Solution/charge-spots-network/Pages/default.aspx
30. Charging infrastructure Standard „EVINFRA-2011”. Placement of facilities for charging of electric vehicles and plug-in hybrids. 02-08-2011 [online] [cited 12.03.2012.]. Available: <http://ebookbrowse.com/evinfra-charging-infrastructure-standard-v1-3-english1-pdf-d194081076>
31. Charging Systems for Urban and Interurban Roads. (S.a.) [online] CIRCONTROL. [cited 20.03.2012] Available: <http://circarlife.circontrol.com/en/circarlife/charging-systems-for-urban-and-interurban-roads>
32. CityEL. (2011) [online] [cited 31.03.2011.] Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/CityEl>
33. Comp 5500 Electric Vacuum Pump Kit. (2012) [online] [cited 06.05.2012.] Available: <http://shop.brutespeed.com/Comp-5500-Electric-Vacuum-Pump-Kit-FREE-SHIPPING-Comp-5500.htm>
34. Connector on the side of a DC charging stand for EV. (S.a.) [online] [cited 13.05.2012.]. Available: http://charge.yazaki-group.com/english/img/product/quick_outlet_jp_size.jpg

35. Continental press portal. (2011) [online] [cited 20.05.2012.] Available: http://www.conti-online.com/generator/www/com/en/continental/pressportal/themes/press_releases/3_automotive_group/powertrain/press_releases/pr_20110913_elektromotor_en,version=1.html
36. Converting cars with the ELSBETT 1-tank system. (S.a.) [online] [cited 12.01.2012] Available: <http://www.elsbett.com/gb/elsbett-conversion-technology/cars-and-vans.html>
37. Cowan L.K. GE Builds EV Charging Solar Carport in Connecticut. 27.05.2011. [online] [cited 22.04.2012] Available: <http://inhabitat.com/ge-builds-ev-charging-solar-carport-in-connecticut/>
38. Crompton T.R. (2000) Battery Reference Book. Oxford: Newnes, 800 p.
39. Dahlin G.R., Strom K.E. (2010) Lithium Batteries: Research, Technology And Applications. New York: Nova Science Publishers, Inc., 226 p.
40. Dali M., Belhadj J., Roboam X. (2010) Hybrid solarewind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: Control and energy management. Experimental investigation, Energy Nr. 35 p. 2587-2595.
41. Datsun. (2011) [online] [cited 29.01.2011.]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Datsun>
42. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport (2003). Official Journal of the European Union L 123, 17 May, p. 42-46.
43. Duffie J.A., Beckman W.A. (2006) Solar Engineering of Thermal Processes. Third Edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 908 pp.
44. EA. (2003) Nr 2. - Rīga: SIA Enerģētika un Automatizācija, 44. lpp.
45. EK direktīva 71/320/EEC. (2007) [tiešsaiste] [skatīts 29.01.2013.] Pieejams: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1971L0320:20070101:EN:PDF>
46. Electric bicycle history. (S.a.) [online] [cited 27.03.2011] Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_bicycle
47. Electric bicycle parts and structure. (2010) [online] [cited 13.04.2011] Available: <http://www.electric-bicycle-guide.com/electric-bicycle-parts.html>
48. Electric bicycle types. (2010) [online] [cited 10.02.2011] Available: <http://www.electric-bicycle-guide.com/electric-bicycle-types.html>
49. Electric Bikes, Scooters and other Light Electric Vehicles. (S.a.) [online] [cited 20.03.2012] Available: <http://www.electric-bikes.com>
50. Electric Car Quick Charging in Japan: It's Nissan Versus Everybody Else. (2011) [online] [cited 22.10.2012.]. Available: <http://www.plugin-cars.com/japanese-automakers-toyota-honda-mitsubishi-deployment-quick-charge-stations-110759.html>
51. Electro Vehicles Europe - electric vehicles, electric cars, conversions, development of EV components. (2010) [online] [cited 29.03.2013.] Pieejams: <http://www.electro-vehicles.eu/>
52. Elektrische Antriebe und Ingeniersdienstleistungen - ARADEX AG. (S.a.) [online] [cited 29.03.2013.] Pieejams: <http://www.aradex.de>

53. Elektriskais transports. (2011) [tiešsaiste] [skatīts 20.03.2011.] Pieejams: <http://www.e-transport.org/info/modelu-apskati/lengaitas-auto/>
54. Elektroautomobiļu un divriteņu transportlīdzekļu publisko uzlādes punktu karte. (2012) [tiešsaiste] [skatīts 15.02.2012.]. Pieejams: http://www.latvenergo.lv/portal/page/portal/Latvian/latvenergo/main_page/korp_atbildi/UZLADES_PUNKTU_KARTE
55. Elektroenerģētika. (2013) [tiešsaiste] [skatīts 11.09.2013]. Pieejams: <http://www.em.gov.lv/em/2nd/?cat=30175>
56. Elektrotransporta tirdzniecība. (2011) [tiešsaiste] [skatīts 18.03.2011.] http://www.impresso.lv/public/lat/elektrotransporta_tirdznieciba/
57. ELTUS - Electric Vehicle EV Charging Stations. (S.a.) [online] [cited 05.03.2012.]. Available: <http://www.eltusnet.com>
58. Energy consumption, CO₂ emissions and other considerations related to Battery Electric Vehicles. European Association for Battery Electric Vehicles. (S.a.) [online] [cited 25.03.2011.] Available: www.going-electric.org
59. Enerģijas ražošana. (2012) [tiešsaiste] [skatīts 15.02.2012.]. Pieejams: http://www.latvenergo.lv/portal/page/portal/Latvian/latvenergo/main_page/enerģijas_razosana/ENERGIJAS_RAZOSANA
60. EnerSys Battery Handling Solutions. (2012) [online] [cited 28.08.2012.]. Available: www.enersys-hawker.com
61. EREC. (2010) Renewable energy in Europe: markets, trends, and technologies. Second edition. UK: London, 289 p.
62. Europe's first battery switch station for electric cars. (S.a.) [online] [cited 28.08.2012.]. Available: <http://www.alectia.com/eng/news/europes-first-battery-switch-station-for-electric-cars/>
63. EV Convert. Motor Controller. (2010) [online] [cited 06.05.2012.] Available: <http://ev-convert.blogspot.com/2010/11/5-motor-controller.html>
64. EV-Power | Your Complete Power Solutions. (2013) [online] [cited 29.03.2013.] Pieejams: <http://www.ev-power.eu/>
65. Fakham H., Lu D., Francois B. (2011) Power Control Design of a battery charger in a Hybrid Active PV generator for load following applications. IEEE Transaction on Industrial Electronics, No. 58(1), p. 85-94.
66. Fiat Fiorino Combi 1.4 Euro 5 specifications. (2011) [online] [cited 08.03.2012.]. Available: http://www.automobile-catalog.com/make/fiat/fiorino_3gen/fiorino_3gen_combi/2011.html
67. Fiat Fiorino Combi Car emission information. (2012) [online] [cited 15.02.2012.]. Available: <http://www.car-emissions.com/cars/view/28633>
68. Fiorino (Combi). (2009) Micro-Vett SpA veicoli elettrici. [online] [cited 08.03.2012.]. Available: http://www.micro-vett.it/veicoli_en.php?C=7&V=34
69. Fiorino Van: Engines - 1.4 Natural Power Euro 5. (2011) [online] [cited 08.03.2012.]. Available: http://www.fiatprofessional.com/com/Models/Fiorino_Van/Engines/14_Natural_Power

70. Flexible-Fuel Vehicle. (S.a.) [online] [cited 12.02.2011.]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Flexible-fuel_vehicle#cite_note-Methanolstory-8
71. Ford Tehnical Training Courses Literature. (2008) [online] [cited 11.08.2010.]. Available: http://www.motorcraftservice.com/vdirs/training/cdatabase/training_mc_cdatabase.asp?mode=specialty&groupid=09
72. Frequently Asked Questions - Industrial Forklift Batteries. (2008) [online] [cited 28.08.2012.]. Available: gbbattery.com/FAQ.html
73. Future Now: Solar Plug-in Stations. 16.04.2009. [online] [cited 20.04.2012] Available: <http://www.jetsongreen.com/2009/04/solar-powered-ev-charging-stations.html>
74. Galiņš A., Kanceviča L., Laizāns A. (2008) Alternatīvās enerģētikas iekārtas. Jelgava: LLU, 316 lpp.
75. Garg H.P., Prakash J. (2000) Solar Energy: Fundamentals and applications. Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 426 p.
76. GE WattStation - новый вид зарядной станции для электромобилей и мотоциклов на электричестве. (2010) [онлайн] [цитировано 10.02.2012]. Доступен: <http://gadget-ok.ru/ge-wattstation>
77. Gearbox Magazine. (2011) [online] [cited 06.03.2011.] Available: <http://ev.gearboxmagazine.com/2010/03/16/tim-catelliers-2000-bmw-z3-ev/>
78. General Electric builds solar-powered charging station for EVs. (S.a.) [online] [cited 31.03.2012] Available: <http://www.ecofriend.com/entry/general-electric-builds-solar-powered-charging-station-for-evs/>
79. German OEMs pick one electrical charging connector to rule them all. (2010) [online] [cited 06.05.2012.] Available: <http://www.autoblog.com/2010/09/16/german-oems-pick-one-electrical-charging-connector-to-rule-them/>
80. Gipe P. (2004) Wind power. White River Junction, Vermont, USA: Chelsea Green Publishing Company, 2004, 496 p.
81. Goswami Y.D., Kreith F., Kreider J.F. (2000) Principles of Solar Engineering. Second Edition. USA: Taylor&Francis, 696 p.
82. GPS Latitude and Longitude Distance Calculator. (2013). [online] [cited 09.09.2013] Available: <http://www.csgnetwork.com/gpsdistcalc.html>
83. Gulbis V. (2008) Iekšdedzes motoru biodeģvielas. Jelgava: LLU. 318 lpp.
84. Hammond G.P., Kallu S., McManus M.C. (2008) Development of biofuels for the UK automotive market. Applied Energy, No. 85, p. 506 - 515.
85. Hatziargyrio N., Jenkins N., Strbac G., Lopes J.P., Ruela J., Engler A., Oyarzabal J., Kariniotakis G., Amorim A. (2006) Microgrids - Large Scale Integration of Microgeneration to Low Voltage Grids. In: 21, rue d'Artois, F-75008 PARIS, CIGRE 2006.
86. Hazar H., Aydin H. (2010) Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO) - diesel blends. Applied Energy. No. 26, p. 786 - 790.
87. Heating the Oil. (2004) [online] Vegburner. [cited 26.01.2012]. Available: vegburner.co.uk/heat.htm

88. High Power Battery Charger. (2010) [online] [cited 06.05.2012.] Available: <http://www.wholesale-electrical-electronics.com/p-high-power-battery-charger-kp-k-kl-874206.html>
89. Hodkinson R., Fenton J. (2011) *Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design*. Elsevier, 253 p.
90. Holux GPSport 245. (S.a.) [online] [cited 18.04.2013] Available: http://www.holux.com/JCore/en/products/products_download.jsp?pno=349
91. Houyu L., Guirong Z. (2010) Hybrid Electric Vehicle Drive Control. *Proceedings of 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, Vol. 10, p. 403-407.
92. Hughes A. (2006) *Electric Motors and Drives Fundamentals. Types and Applications*. Third edition. Burlington: Elsevier Ltd. 404 p.
93. Husain I. (2003) *Electric And Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*. London: Boca Raton, 270 p.
94. HX-50B/D cable lugs crimping tool, mechanical crimping tool, hand crimping tool. (2011) [online] [cited 06.05.2012.] Available: http://www.alibaba.com/product-gs/212431476/HX_50B_D_cable_lugs_crimping.html
95. IEC releases final draft standards for EV charging. (2011) [online] [cited 22.10.2012.]. Available: <http://www.iec.ch/newslog/2011/nr1511.htm>
96. i-MiEV. (2011) [online] [cited 16.06.2011.] Available: <http://www.mitsubishi-motors.co.jp/i-miev/>
97. Jackey R.A. (2007) A Simple, Effective Lead-Acid Battery Modeling Process for Electrical System Component Selection. The MathWorks, Inc.
98. Jansons A. Bez trokšņa un smakas? (2011) [tiešsaiste] [skatīts 26.03.2011.] Pieejams: http://www2.la.lv/lat/latvijas_avize/jaunakaja_numura/auto..tehnika/?doc=42313
99. Jelgavas pilsētas karte. (2012) [tiešsaiste] [skatīts 01.03.2012.]. Pieejams: <http://www.jelgava24.lv/katalogs/map>
100. Jiayi H., Chuanwen J., Rong X. (2008) A review on distributed energy resources and MicroGrid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 12, p. 2472-2483.
101. Jolly A. Geotectura's Green Gasoline Station Offers Solar Powered EV Charging. 09.02.2010. [online] [cited 20.03.2012] Available: <http://www.ecofriend.com/entry/geotectura-s-green-gasoline-station-offers-solar-powered-ev-charging/>
102. Kalogirou Soteris A. (2009) Solar thermal collectors and applications. *RENEWABLE ENERGY FOCUS HANDBOOK*. USA: Elsevier Inc., p. 333-400.
103. Kaltschmitt M., Streicher W., Wiese A. (2007) *Renewable Energy. Technology, Economics and Environment*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 565 p.
104. Kampars V. (2008) Biodegvielu ražošanas perspektīvas Latvijā. *Zinātnes Vēstnesis*, Nr. 4 (358), 18. feb.
105. Kaškarova G. (2003) Saules enerģijas izmantošanas iespējas Latvijā. *ENERĢĒTIKA UN AUTOMATIZĀCIJA*. Nr. 07, 52.-55. lpp.

106. Kelman L.F. Cohen Seglias Co-Hosts Solar Networking Event. 18.04.2011. [online] [cited 31.03.2012] Available: <http://www.constructionlawsignal.com/by-subject/energy/>
107. Kicking Tires. (2011) [online] [cited 06.05.2012.] Available: <http://blogs.cars.com/.a/6a00d83451b3c669e20168e94d0d8a970c-pi>
108. Kiehne H.A. (2003) Battery Technology Handbook. New York: CRC Press, 542 p.
109. Kiršbaums Ē. (2007) Vācija uzņem kursu uz Saules enerģiju. Diena. 20. augusts. 6. lpp.
110. Klemen M.A. (2001) Perfect turbine performance. [online] [cited 08.05.2007]. Available: http://www.ndsu.nodak.edu/ndsu/klemen/Perfect_Turbine.htm
111. Koç M., Sekmen Y., Topgöl T., Yücesu H.S. (2009) The effects of ethanol-unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine. Renewable Energy, No. 34, p. 2101 - 2106.
112. Koutroulis E., Kalaitzakis K. (2006) Design of a Maximum Power Tracking System for Wind-Energy-Conversion Applications. IEEE Transactions on industrial electronics, No. 53, p. 486-494.
113. Ķirsis M. (2007) Spēkratu ekspluatācijas materiāli. Jelgava, 200 lpp.
114. Lara D.D., Merino G.G., Pavez B.J., Tapia J.A. (2011) Efficiency assessment of a wind pumping system. Energy Conversion and Management, Vol. 52, p. 795-803.
115. Larminie J., Lowry J. (2012) Electric Vehicle Technology Explained. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd., 296 p.
116. Latvenergo elektorenerģijas tarifi. (2012) [tiešsaiste] [skatīts 15.02.2012.]. Pieejams: http://www.latvenergo.lv/portal/page/portal/Latvian/latvenergo/main_page/pakalpojumi_priv/tarifi_privatpersonam
117. Latvijas vēja enerģijas rokasgrāmata. (2001) [tiešsaiste] Phare. [skatīts 05.01.2013]. Pieejams: http://www.windenergy.lv/DOC/wind_energy_lv_final.pdf
118. Leitman S., Brant B. (2009) Build Your Own Electric Vehicle. The McGraw-Hill Companies, Inc., 329 p.
119. Linkevičs O. (2012) Elektroautomobiļi Latvijā un to uzlādes infrastruktūras attīstība [tiešsaiste] [skatīts 12.03.2012.] Pieejams: http://www.rea.riga.lv/files/Seminars_RD_Olegs_Linkevics_27-01-2012.pdf
120. MacLean H.L., Lave L.B. (2003) Evaluating automobile fuel/propulsion system Technologies. Progress in Energy and Combustion Science, No. 29, p. 1 - 69.
121. Manwell J.F., Rogers A., Hayman G., Avelar C.T., McGowan J.G., Abdulwahid U., Wu K. HYBRID2 - a hybrid system simulation model. (2006) [online] Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts [cited 22.03.2007.]. Available: http://www.ceere.org/rerl/projects/software/hybrid2/Hy2_theory_manual.pdf
122. Marino A. Princetown Power Systems: Next Gen Solar Energy Storage. 03.08.2010. [online] [cited 31.03.2012] Available: http://www.energydigital.com/renewable_energy/princeton-power-systems-next-gen-solar-energy-storage

123. Melex electric vehicles. Cargo vehicles. (S.a.) [online] [cited 21.03.2011.] Available: <http://www.melex.pl/produkty/11/bagazowe.html#produkt>
124. Melex electric vehicles. Passenger vehicles. (S.a.) [online] [cited 21.03.2011.] Available: <http://www.melex.pl/produkty/6/pasazerskie.html#produkt>
125. Melex electric vehicles. Special vehicles. (S.a.) [online] [cited 21.03.2011.] Available: <http://www.melex.pl/produkty/14/specjalne.html#produkt>
126. Milasauskas M. Building Electric Heater. 13.08.2009. [online] [cited 31.01.2013] Available: <http://hr-ev.blogspot.com/search/label/Heater>
127. Mitsubishi i-MiEV. (2011) [online] [cited 16.06.2011.] Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Imiev>
128. More Than 1,800 EV chargers installed under Recovery Act. (2011) [online] [cited 03.02.2012]. Available: <http://www.greencarcongress.com/2011/05/1800-20110513.html>
129. Muneer T. (2004) Solar Radiation and Daylight Models. Great Britain: Elsevier Ltd., 390 p.
130. Naaz S. Lotus Solar-Powered Carport Delivers Carbon Neutral Electricity. 01.2012. [online] [cited 31.03.2012] Available: <http://www.automotto.com/lotus-solar-powered-carport-delivers-carbon-neutral-electricity.html>
131. Nickel Metal Hydride (NiMH): Handbook and Application Manual. (2010) [online] [cited 01.11.2013]. Available: http://data.energizer.com/PDFs/nickelmetalhydride_appman.pdf
132. Nissan LEAF Press Information. (2010) [online] [cited 30.01.2011.] Available: http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2010/_STORY/101203-01-e.html
133. Nissan LEAF Press Information. Nissan Motor Co., Ltd. Tokyo, 2010, 38 p.
134. Nissan Leaf Review. (2011) [online] [cited 06.05.2012.] Available: <http://www.expertreviews.co.uk/car-tech/1284151/nissan-leaf/2>
135. Nissan Working on New Battery to Double the Leaf's Range by 2015: TreeHugger. (S.a.) [online] [cited 12.08.2012.]. Available: <http://media.treehugger.com/assets/images/2011/10/nissan-leaf-plugin-photo325.jpg>
136. Noteikumi par biodegvielas kvalitātes prasībām, atbilstības novērtēšanu, tirgus uzraudzību un patērētāju informēšanas kārtību (2007): Ministru kabineta noteikumi Nr. 515 „Grozījumi Ministru kabineta 2005. gada 18. oktobra noteikumos Nr. 772”. Spēkā ar 28.07.2007. Latvijas Vēstnesis, Nr. 121, 27. jūl.
137. Nouvelles motorisations «vertes» pour les Dacia Logan et Sandero. (2009) [online] [cited 03.02. 2011] Available: <http://www.carttech.fr/news/dacia-logan-sandero-eco2-39386947.htm>
138. Omari O., Ortjohann E., Saiju R., Hamsich N., Morton D. (2003) A Simulation Model for Expandable Hybrid Power Systems. In: 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, September 25-26, Kassel, Germany.
139. Osadčuks V., Galiņš A. (2010) GIS based evaluation of renewable energy sources for small-scale electrical power grids. In: Proceedings of the IEESE-5.

140. Paska J., Biczal P., Klos M. (2009) Hybrid power systems - An effective way of utilising primary energy sources. *Renewable Energy*, No. 34, p. 2414-2421.
141. Pavlov D. (2011) *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*. Amsterdam: Elsevier, 656 p.
142. Peugeot iOn Catalogue. (S.a.) [online] [cited 18.06.2011.] Available: http://www.peugeot-pressepro.com/homepage_other.php?id_rubrique=897#
143. Photos: World's Most Effective Office. (2011) [online] Earth911.com. [cited 16.04.2012] Available: <http://earth911.com/news/2011/11/18/photos-sanyo-kasai-energy-park-japan/>
144. Pīrs V. (2011) Bioetanola izmantošana ottomotoros: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 190 lpp.
145. Pistoia G. (2010) *Electric And Hybrid Vehicles: Power Sources, Models, Sustainability, Infrastructure And The Market*. Elsevier, 648 p.
146. Pommers J., Liberts G. (1985) *Automobiļu teorija*. Rīga: Zvaigzne, 248 lpp.
147. Quanta bikes. (2011) [Online] [cited 05.04.2011] Available: <http://www.quantybikes.co.uk/products/>
148. Quaschnig V. (2005) *Understanding Renewable Energy Systems*. London: Sterling, VA, 289 p.
149. Ramachandran B. (2012) Solar powered charging stations to keep your EV commutes completely zero emission. [online] [cited 22.04.2012] Available: <http://www.ecofriend.com/entry/10-solar-powered-charging-stations-ev-commutes-completely-green/>
150. Renault Clio electric power steering column. (S.a.) [online] [cited 16.01.2013.] Available: <http://northandsouthcarparts.blogspot.com/2012/04/renault-clio-electric-power-steering.html>
151. Renault Fluence Spare Parts Catalogue, Bologne-Billancourt. (2013a) Renault SAS, unpublished catalogue, 135 p.
152. Renault Fluence Spare Wiring Diagrams, Bologne-Billancourt. (2013b) Renault SAS, unpublished repair manual, 240 p.
153. Renault Fluence Z.E. (2011) [online] [cited 20.05.2012.] Available: <http://www.renault.com/en/vehicules/renault/pages/fluence-ze.aspx>
154. Renault InfoTech. (S.a.) [online] [cited 20.05.2012.] Available: www.infotech.renault.com
155. Renault Twizy Spare Parts Catalogue, Bologne-Billancourt (2013) Renault SAS, unpublished catalogue, 95 p.
156. Renault Zoe Spare Parts Catalogue, Bologne-Billancourt. (2013) Renault SAS, unpublished catalogue, 210 p.
157. Renault-Nissan Press Information. (S.a.) [online] [cited 28.08.2012.]. Available: <http://media.renault.com>
158. „Rīgas satiksme” sāk piecu jaunu elektromobiļu ekspluatāciju. (2012) [tiešsaiste] [skatīts 03.01.2011.] Pieejams: <http://www.rigassatiksme.lv/lv/aktualitates/-rigas-satiksme-sak-piecu-jaunu-elektromobilu-ekspluataciju/>




159. Root M. (2001) *The TAB Battery Book: An In-Depth Guide to Construction, Design, and Use*. New York: The McGraw-Hill Companies, 269 p.
160. SAE j1772 EV Connector. (2011) [online] [cited 06.05.2012.] Available: http://uchen.en.alibaba.com/product/477258681-210389371/SAE_j1772_EV_Connector_SAE_EV_charging_Connector.html
161. Schwarz A. SunPods Modular Solar EV Charging Station Debuts in California. 15.10.2009. [online] [cited 22.04.2012] Available: <http://inhabitat.com/sunpods-modular-solar-ev-charging-station-debuts-in-california/>
162. Sen Z. (2008) *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques: Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy*. London: Springer Verlag London Limited, 276 p.
163. Shnayerson M. (1996) *The Car That Could: The Inside Story of GM's Revolutionary Electric Vehicle*. New York: Random House, 295 p.
164. Singh T. Plug-N-Go EV Charging Station Showcased at Green Energy Expo. 18.08.2010. [online] [cited 22.04.2012] Available: <http://inhabitat.com/plug-n-go-ev-charging-station-showcased-at-green-energy-expo/>
165. Solar Charging Station. (S.a.) [online] Panasonic. [cited 20.04.2012] Available: <http://panasonic.net/ec/gep/guide/16.html>
166. Solar Filling Station Opened in Bozen. 13.07.2009. [online] Detail. [cited 22.04.2012] Available: <http://www.detail-online.com/architektur/themen/solar-filling-station-opened-in-bozen-007549.html>
167. Solar panels. (S.a.) [online] [cited 22.04.2013] Available: <http://www.ev-power.eu/Solar-Panels/?cur=1>
168. Solar Parking Lot. (S.a.) [online] Panasonic. [cited 20.04.2012] Available: <http://panasonic.net/ec/gep/guide/15.html>
169. Stalker ATS (Acceleration Testing System). (S.a.) Radar sports [online] [cited 08.03.2012]. Available: [http://www.radargunsales.com/Stalker-ATS-\(-Acceleration-Testing-System\).html](http://www.radargunsales.com/Stalker-ATS-(-Acceleration-Testing-System).html)
170. Steca PR3030. (S.a.) [online] [cited 16.04.2013] Available: http://www.steca.com/index.php?Steca_PR_10_30_en
171. Stone R., Ball J.K. (2004) *Automotive Engineering Fundamentals*. SAE International, Technology & Engineering, - 594 p.
172. Streicher W. (2003) *The solar resource*. In: Weiss W. (eds). *Solar heating systems for houses - a design handbook for solar combisystems*. London: James&James Ltd, p. 10-16.
173. *The basics of an EV conversion*. (2012) [online] [cited 06.05.2012.] Available: <http://harveyev.com/services/services-conversions.html>
174. *The charge is on: Britain gears up for electric cars*. (S.a.) [online] [cited 03.02.2012]. Available: http://driving.timesonline.co.uk/tol/life_and_style/driving/news/article4187546.ece
175. *The EV PROJECT*. (S.a.) [online] [cited 20.03.2012] Available: <http://www.theevproject.com/education.php>
176. *Think City Specifications*. (2011) [online] [cited 03.01.2011.] Available: <http://www.thinkev-usa.com/why-think-city/specs/>

177. Tiwari G.N. (2006) Solar energy technology advances. New York: Nova Science Publishers, Inc., 140 p.
178. Trendmobil Hawaii. (S.a.) [online] [cited 02.04.2013] Available: <http://trendmobil-gmbh.de/downloads/category/27-hawaii4.html>
179. Twidell J., Weir T. (2006) Renewable Energy Resources. Second edition. New York: John Wiley&Sons, 919 p.
180. Vairākās maksas autostāvvietās uzlādēs elektriskos auto. (2011) [tiešsaiste] [skatīts 17.02.2012.]. Pieejams: http://www.tvnet.lv/auto/par_un_ap/402185-vairakas_maksas_autostavvietas_uzlades_elektriskos_auto
181. Viļķina S. (2003) Saules baterijas. ENERĢĒTIKA UN AUTOMATIZĀCIJA. Nr. 02, 44.-49. lpp.
182. Vincent C., Scrosati B. (1997) Modern Batteries: An Introduction to Electrochemical Power Sources. Oxford: Butterworth-Heinemann, 351 p.
183. Vogel C. (2009) Build Your Own Electric Motorcycle. The McGraw-Hill Companies, Inc. 347 p.
184. Volvo C30 Comptence Development, Volvo Car Corporation, Gotheburg (2011) unpublished training material, 72 p.
185. Wang R., Chen Y., Feng D., Xiaoyu H., Wang J. Development and performance characterization of an electric ground vehicle with independently actuated in-wheel motors. Journal of Power Sources Vol. 196 (2011) p. 3962 - 3971.
186. XR5-SE loger. (S.a.) [online] [cited 20.04.2013] Available: <http://pace-sci.com/specifications-xr5.htm>
187. Yamamoto A. (2010) Tokyo's taxis try electric cars. [online] [cited 28.08.2012.]. Available: http://worldblog.nbcnews.com/_news/2010/07/13/4669043-tokyos-taxis-try-electric-cars?lite
188. Yüksel F., Yüksel B. (2004) The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine. Renewable Energy, No. 29, p. 1181 - 1191.
189. Zauers A. (2004) Saules bums pasaulē. ENERĢIJA UN PASAULE. Nr. 3(26), 24.-28. lpp.
190. Zero motorcycles. (2010) [online] [cited 05.04.2011] Available: <http://www.zeromotorcycles.com/>
191. Zhou T., François B. (2011) Energy Management and Power Control of a Hybrid Active Wind Generator for Distributed Power Generation and Grid Integration. IEEE Transaction on Industrial Electronics, No. 58, p. 95-104.
192. Ziemelis I., Kanceviča L. (2005) Ūdens sildīšana ar saules kolektoriem. Vides Vēstis. Nr. 10, 38.-39. lpp.
193. 300ZX Electric Vehicle Conversion. (2009) [online] [cited 06.05.2012.] Available: <http://300zxev.blogspot.com/2009/06/so-what-goes-into-electric-car.html>
194. Гольфкары. Эко Моторс. Альтернативный транспорт и энергетика. (2012) [онлайн] [цитировано 05.06.2012.] Доступен: <http://ecomotors.ru/index.php?categoryID=29>
195. Инфраструктура зарядки электромобилей (2012) [онлайн] [цитировано 03.02.2012.]. Доступен: http://ru.wikipedia.org/wiki/Инфраструктура_зарядки_электромобилей
196. Мак - Вейч Д. (1981) Применение солнечной энергии. Москва: Энергоиздат, 216 с.

197. Молодцов Д. (2008) История электромобиля. Начало, первые достижения и рекорды. [онлайн] [цитировано 18.03.2011.] Доступен: <http://electroauto.ru/index.php?module=catalog&id=2&articlesdetail=57>
198. Угол наклона солнечных батарей. (Б.г.) [онлайн] [цитировано 31.03.2012] Доступен: <http://www.solarhome.ru/ru/basics/pv/techtilt.htm>
199. Харченко Н.В. (1991) Индивидуальные солнечные установки. Москва: Энергоиздат, 208 стр.
200. Электромеханический усилитель рулевого управления. (Б.г.) [онлайн] [цитировано 16.01.2013] Доступен: <http://www.avem.ru/production/avtoelektro/euru>
201. Электромобили Ипполита Романова (2001) [онлайн] [цитировано 18.03.2011.] Доступен: <http://autotesla.com/elektromobili-ippolita-romanova/>
202. Электронная электротехническая библиотека. (Б.г.) [онлайн] [цитировано 18.03.2011.] Доступен: <http://www.electrolibrary.info/history/electromobi.htm>

PIELIKUMI

1. pielikums. Otrās nodaļas grafiskajos attēlos izmantotie apzīmējumi

Apzīmējums	Skaidrojums
	Elektrospēkrati
	Elektrospēkratu lietotājs
	Elektrospēkratu uzlādes punkts
	Elektrospēkratu sasaiste ar uzlādes punktu, izmantojot kabeli
	Fiziskā piekļuve
	Lokālā vienvirziena bezvadu saziņa ar bezvadu iekārtu
	Lokālā divvirzienu bezvadu saziņa ar bezvadu iekārtu
	Globālā bezvadu saziņa
	Centrālās vadības serveris un datubāze
	Elektrospēkratu lietotājs ar mobilo komunikāciju ierīci
	Elektrospēkrati, kas saņem atrašanās koordinātes no GPS (Globālā Pozicionēšanas Sistēma)
	Akumulatoru apmaiņa
	Akumulatoru apmaiņas punkts ar publisko elektrotīkla pieslēgumu
	Akumulatoru apmaiņas punkts ar alternatīvās elektroenerģijas ieguves pieslēgumu

2. pielikums. Mazjaudas elektrotransporta akumulatoru uzlādes iekārtas patents

Izgdrojumu pieteikumu publikācijas

PATENTI UN PREČU ZĪMES - 20.03.2013

sensor's driving disc 2 is mounted on the drive shaft, and the driven disc 1 is mounted on the console of drive shaft supported in easily rotating bearings. Outer ends of the elastic elements are fixed to the driven disc and the inner ends are fixed to the driving disc. Strain gauges 4 are mounted on the flexible plates 3 and convert mechanical deformation in the proportional electrical signal. The torque sensor has the advantage that by changing the number of elastic plates the sensor's maximum torque and sensitivity can easily be changed.

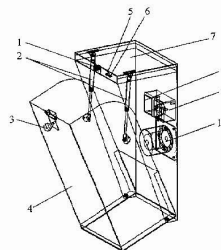
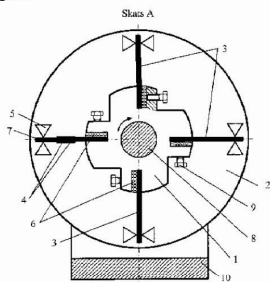


Fig.1

H sekcija

- (51) H01M10/44 (11) 14653 A
(21) P-12-202 (22) 27.12.2012
(41) 20.03.2013
(71) LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE;
Lielā iela 2, Jelgava LV-3001, LV
(72) Dainis BERJOZA (LV),
Daina KANAŠKA (LV),
Vilnis PĪRS (LV),
Gunārs VĒRDIŅŠ (LV)
(54) MAZJAUDAS ĒLEKTROTRANSPORTA AKUMULATORU
UZLĀDES IEKĀRTA
CHARGING DEVICE FOR LOW-POWER ELECTRIC
VEHICLE

(57) Izgdrojums attiecas uz mazjaudas elektrotransporta akumulatoru uzlādes iekārtām publiskās vietās un uzņēmumos. Piedāvātā elektrotransporta mazjaudas akumulatoru uzlādes iekārta (Fig. 1) ir raksturīga ar to, ka tās korpuss (7) ir izveidots ar aizslēdzamām durtiņām (4) un tajā atrodas gan lādētājs, kas var būt vai nu iebūvēts stacionāri, vai ienesams no ārpusē kopā ar tajā ievietotajiem akumulatoriem, gan uzlādes procesa vadības bloks (9), ventilators (10), komutācijas mezgls, kas aprīkots ar slēdzi (8), visu iekārtas sastāvā ietilpstošo elektrisko ierīču pieslēgšanai pie ārēja strāvas avota, kā arī durtiņu kustības vadības elementi (2), bet uz korpusa fasādes ir izvietotas uzlādes procesa indikācijas spuldzītes (5, 6), kā arī ierīce iekārtas lietotāja identificēšanai un piekļuves nodrošināšanai pie lādētāja.

The invention is related to devices for charging of low-power electric motor vehicle battery(-ies) in public places and on enterprise premises. The offered low-power battery charging device (Fig. 1) is characterized in that an enclosure (7) of device is provided with locking doors (4). Inside of it a charging unit is placed, which can be built in it stationary or can be insertable from the outside and removable together with the battery to be charged. The device also comprises: the control unit of charging process (9); a ventilator (10); a commutation unit provided with switch (8) in order to switch on/off all the electric devices of charging device and to connect them with an external current source; the elements for control of the movement of the doors (2). Besides, on the front side of the device a block of indicating lights (5, 6) is placed, as well as unit for identification of user is provided in order to prevent access to it by an unauthorized person.