

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte

Enerģētikas institūts

Larisa Gračkova

Doktora studiju programmas “Enerģētika un elektrotehnika” doktorante

ELEKTROMOBIĻU UN UZLĀDES STACIJU IETEKME UZ LATVIJAS ENERĢĒTIKAS SISTĒMAS ATTĪSTĪBU UN VIDES KVALITĀTI

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
profesore *Dr. sc. ing.*
IRINA OĻEINIKOVA

RTU Izdevniecība
Rīga 2018

Gračkova, L. Elektromobiļu un uzlādes staciju ietekme uz Latvijas enerģētikas sistēmas attīstību un vides kvalitāti. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2018. 49 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU promocijas padomes “RTU P-05” (Enerģētika) 2018. gada 23. oktobra lēmumu, protokols Nr. 49/18.



Šis darbs izstrādāts ar daļēju valsts pētījumu programmas “LATENERGI” atbalstu.

ISBN 978-9934-22-174-3 (print)
978-9934-22-175-0 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2018. gada 22. novembrī plkst. 14.00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12 k-1, 306. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. habil. sc. ing.* Antans Sauļus Sauhats
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors *Dr. habil. sc. ing.* Igors Kabaškins
Transporta un sakaru institūts, Latvija

Profesors *Dr. sc. ing. Argo Rosin*
Tallinas Tehniskā universitāte, Igaunija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Larisa Gračkova..... (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 56 attēli, 22 tabulas, trīs pielikumi, kopā 138 lappuses. Literatūras sarakstā ir 132 nosaukumi.

SATURA RĀDĪTĀJS

1.	Ievads	5
1.1.	Promocijas darba aktualitāte	5
1.2.	Promocijas darba mērķis un atrisinātie uzdevumi	5
1.3.	Pētījumu metodes un līdzekļi	6
1.4.	Promocijas darba zinātniskā novitāte	6
1.5.	Promocijas darba praktiskā nozīme	6
1.6.	Aizstāvēšanai izvirzītas pamatnostādnes	7
1.7.	Promocijas darba aprobācija	7
1.8.	Promocijas darba struktūra un apjoms	10
2.	Enerģijas bilances, energosistēmas un siltumnīcefekta gāzu emisijas raksturojums	11
2.1.	Enerģijas bilance kā integrēta enerģētikas sistēma visā pasaulē	11
2.2.	Siltumnīcefekta gāzu emisijas pasaulē	12
2.3.	Latvijas enerģētikas sektora segmentu analīze	13
2.4.	Eiropas Savienības enerģētikas un klimata politika	15
3.	Elektroenerģijas sadales tīklu ekspluatācijas un lādēšanas staciju plānošanas nosacījumi 16	
3.1.	Elektriskie transportlīdzekļi un uzlādes stacijas pasaulē	16
3.2.	Pārskats par publiskām stacijām un transportlīdzekļiem ar elektriskiem dzinējiem Latvijā. 17	
3.3.	Pārskats par lādēšanas ierīču integrācijas pētījumu un metodoloģiju	18
4.	Lokālā sadales tīkla novērtēšanas algoritms, ņemot vērā elektromobiļu uzlādes staciju novietojumu	19
4.1.	Algoritma arhitektūra un tā izpilde pa posmiem	19
4.2.	Algoritma metodoloģijas apraksts	21
4.3.	Algoritma pārbaude. Efektīva pilsētvides elektrotīkla infrastruktūra ar publisko lādēšanas stacijas attīstību	32
5.	Enerģijas patēriņa ilgtermiņa prognozes analīze un attīstība Latvijā līdz 2030. gadam ..	42
5.1.	Modelēšanas sistēma un scenāriji	42
5.2.	Rezultātu analīze un salīdzinājums	43
	Secinājumi	45
	Turpmākie pētījumi	46
	Izmantotā literatūra	47

1. IEVADS

1.1. Promocijas darba aktualitāte

Visās pasaules valstīs cilvēku dzīves, darba un atpūtas kvalitāte pilnībā atkarīga no primāriem enerģijas avotiem. To pieejamība un mūsdienu tehniskās iespējas siltuma un elektroenerģijas pārstrādē vēršas ne tikai uz labvēlīgu sadzīves apstākļu radīšanu, bet arī uz augstu tehnoloģisku iekārtu izmantošanu visās cilvēka darbības jomās.

Pasaules energobilances statistikas pārskatā primāro energoresursu patēriņš laikā no 1965. līdz 2016. gadam palielinājies vairāk nekā 3,5 reizes, kam bija pozitīva ietekme uz ekonomisko attīstību vairākās tautsaimniecības nozarēs, bet negatīva ietekme uz apkārtējo vidi, jo atmosfērā nokļuva toksiskie izmeši, sadedzinot fosilo degvielu [1].

Statistikas dati par naftas energoresursu patēriņu Latvijā pēdējo 15 gadu laikā liecina, ka ik gadus tas pieaug transporta sektorā, kas ir 40 % no kopējā rādītāja. Turklāt 90 % tiek izmantoti ceļu transportā [2].

Ekonomikas ministrija un Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, pieņemot dokumentus par tautsaimniecības nozaru finansēšanu, ievēro „Eiropas tīru un energoefektīvu transportlīdzekļu stratēģiju, Ministrijas realizē stratēģiju, kuras galvenās prioritātes ir tādas ekonomikas attīstība, kurā tiek samazināti primārie energoresursi, palielināti atjaunojamie enerģijas avoti, modernizējot transporta nozari un veicinot energoefektivitāti. Transporta sektorā mērķis ir autotransporta parka izveidošana ar alternatīvās degvielas izmantošanu (ceļu transports ar hibrīdu dzinēju, elektriskiem un ūdeņraža dzinējiem), kā arī infrastruktūras attīstīšana to apkalpošanai [3].

Visi minētie aspekti un to aplūkošanas aktualitāte noteikuši šī promocijas darba tēmas, mērķu un satura izvēli.

1.2. Promocijas darba mērķis un atrisinātie uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt algoritmu lokāla sadales elektrotīkla izpētei atbilstoši elektrotansporta tehniskajām prasībām, kā arī novērtēt un izpētīt Latvijas energosistēmas elektriskās slodzes potenciālu ar ceļu transporta sektora attīstības līdz 2030. gadam, ievērojot tehniskos, ekoloģiskos un ekonomiskos aspektus. Mērķa sasniegšanai darbā atrisināti šādi uzdevumi:

- izanalizēta enerģijas balance Latvijā, Eiropā un pasaules valstīs no 1990. līdz 2016. gadam;
- veikta uzlādes staciju tehniskā un ekonomiskā analīze un to novērtējums, ņemot vērā elektriskā transportlīdzekļa un ar to saistīto viedo tehnoloģiju attīstību Latvijā un pasaulē;
- izstrādāts algoritms, lai modelētu un novērtētu elektromobiļu lietotāju iedarbību uz sadales tīkla infrastruktūru un elektroapgādes sistēmu pilsētās un rajonos;
- apskatītas elektrotansporta parka attīstības tendences Latvijā un tā attīstības potenciāls līdz 2030. gadam, ievērojot valsts enerģētikas politikas vadošos principus;

- izstrādāta enerģijas balance sektoriem un izmešiem Latvijā līdz 2030. gadam, īpašu uzmanību veltot automobiļu nozarei.

1.3. Pētījumu metodes un līdzekļi

Darba rezultāti iegūti, lietojot šādas pētījumu metodes un līdzekļus:

- Centrālās statistikas pārvaldes datubāzes Latvijā;
- *Eurostat* datubāzes;
- energoresursu bilances statistika Latvijas un pasaules valstīs;
- elektrotransportlīdzekļu un uzlādes stacijas standartizāciju Latvijas un pasaules valstīs;
- pētījumu fiziskas un juridiskas personas elektroenerģijas patērētāju ar analīzes statistikas metodes (regresijas un korelācijas analīzes);
- simpleksa matemātiskās optimizācijas metode lineārās programmēšanas uzdevumam, matemātiskās statistikas metodes, varbūtību teorija un *MATLAB* interaktīvā vide (*SimPowerSystems*) inženierproblēmu risināšanai, kas paredzēta datu analīzei, vizuālai attēlošanai un intensīvai skaitļošanai;
- datorprogramma *COPERT 5* autotransporta un vides analīzei, emisiju efekta novērtēšanai;
- modelis *MARKAL* enerģijas un vides analīzei, bāzes attīstības scenāriju izveidei un salīdzināšanai, ievērojot nākotnes notikumu nenoteiktību.

1.4. Promocijas darba zinātniskā novitāte

- Novērtētas un klasificētas enerģijas bilances Latvijas un pasaules valstīs pēc nozarēm, ražošanas un patēriņa laikā no 1965. līdz 2016. gadam.
- Izpētītas un izanalizētas esošās elektriskās uzlādes stacijas pasaulē un Latvijā.
- Izstrādāti algoritmi, lai modelētu un novērtētu lietotāju elektrisko transportlīdzekļu ietekmi uz sadales tīklu infrastruktūru un elektroapgādes sistēmu kopumā pilsētās vai tās rajonos.
- Izpētītas elektrotransporta parka attīstības tendences un iespējas Latvijā līdz 2030. gadam. Izstrādāta enerģijas balance pēc nozarēm un izmešiem Latvijā līdz 2030. gadam, kur īpaša uzmanība pievērsta ceļu transporta nozarei.

1.5. Promocijas darba praktiskā nozīme

Promocijas darbā tika risināti gan ar fundamentālo zinātnei, gan ar praktiskiem lietojumiem saistīti jautājumi. Tā realizācija būtiski veicinās Latvijas integrācijas procesu vienotajā Eiropas pētniecības telpā.

Darbā piedāvātās metodikas un algoritmus var izmantot:

- kompānijas un organizācijas, kas realizē valsts politiku automobiļu transporta sektorā un apkārtējas vides un dabas resursu novērtējumā;
- teorētiskos un zinātniskos pētījumos, kas saistīti ar elektroapgādes sistēmu racionālu izbūvi, parametru optimizāciju un attīstības plānošanu pilsētās vai tās rajonos;
- enerģētikas uzņēmumos un organizācijās, kas nodarbojas ar elektroapgādes shēmu attīstības jautājumiem, jaunu 0,4 kV tīklu un 20–10/0,4 kV transformatoru apakšstaciju projektēšanas un modernizācijas jautājumiem, atbilstoši elektrisko transportlīdzekļu lietotāju (klientu) vajadzībām pilsētās vai tās rajonos;
- novērtējot gala patērētāja līdzdalību gan elektroenerģijas, gan balansēšanās tirgū.

1.6. Aizstāvēšanai izvirzītas pamatnostādnes

Lai sasniegtu izvirzītos mērķus, tika izpildīti šādi uzdevumi:

- izstrādāts jauns algoritms, lai pētītu dzīvojamo rajonu vietējo sadales tīklu un iegūtu optimālu risinājumu infrastruktūras izveidošanai tā rajona teritorijā saskaņā ar iedzīvotāju (elektrisko transportlīdzekļu īpašnieku) prasībām, vienlaikus nodrošinot energoapgādes tīkla drošumu pilsētās vai laukos;
- izvērtēts un pētīts elektroenerģijas patēriņa pieaugums un fosilā kurināmā patēriņa samazinājums Latvijā līdz 2030. gadam, pateicoties elektrisko transportlīdzekļu integrācijai autotransporta apakšsektorā, kā arī novērtēts siltumnīcefekta gāzu emisiju samazinājums saskaņā ar pieņemtajiem valsts mērķiem.

Pētījuma rezultāti daļēji atspoguļoti četros projektos un 18 līgumos.

1.7. Promocijas darba aprobācija

Par darba rezultātiem ziņots un tie apspriesti 17 starptautiskās konferencēs.

1. 17th International Multi-Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'17). Transport and Telecommunication Institute. 18–21 October 2017, Riga, Latvia.
2. 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 12–13 October 2017, Riga & Mežotne, Latvia.
3. 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2017, 12–14 September 2017, Stara Lesna, Slovak Republic.
4. 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 13–14 October 2016, Riga & Cesis, Latvia.
5. 13th International Conference on the European Energy Market (EEM) FEUP, 6–9 June 2016, Porto, Portugal.
6. 15th International Multi-Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'15). Transport and Telecommunication Institute. 21–24 October 2015, Riga, Latvia.
7. 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2015, 16–18 September 2015, Stara Lesna, Slovak Republic.

8. 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. POWERENG 2015, 11–13 May 2015, Riga, Latvia.
9. 11th International Conference on the European Energy Market (EEM), 28–30 May 2014, Krakow, Poland.
10. 11th International Conference of Young Scientists on Energy Issues (CYSENI), 29–30 May 2014, Kaunas, Lithuania.
11. 3rd International Doctoral School of Electrical Engineering and Power Electronics, 23–24 May 2014, RTU Semināru, sporta un atpūtas bāze “Ronīši”. Engures novads, Klapkalnciems. Latvia.
12. 71st Conference of the University of Latvia on Environmental Management. 7 February 2013, Riga, Latvia.
13. 5th Scientific and Practical Seminar “The Economic Security of the State and the Scientific and Technological Aspects of its Provision”, 21–22 October 2013, Kiev, Ukraine.
14. 2nd International Doctoral School of Electrical Engineering and Power Electronics, 24–25 May 2013, RTU Semināru, sporta un atpūtas bāze “Ronīši”. Engures novads, Klapkalnciems. Latvia.
15. 54th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 14–16 October 2013, Riga, Latvia.
16. 4th Scientific and Practical Seminar “The Economic Security of the State and the Scientific and Technological Aspects of its Provision”, 23–26 October 2012, Dnipropetrovsk, Ukraine.
17. 70th Conference of the University of Latvia on Environmental Management. 9 February 2012, Riga, Latvia.

Darba materiāli publicēti 16 starptautiskajos izdevumos.

1. A. Fedotov, R. Basirov, G. Vagapov, L. Abdullin, **L. Grackova**. Detection of places of single-phase ground fault by frequency of the resonance. 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) 12–14 November, 2018. Riga, Latvia. (Pieņemts 03.09.2018).
2. **L. Grackova**, I. Oleinikova, G. Klavs. Modelling the location of charging infrastructure for electric vehicles in urban areas. The 17th International Multi-Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'17). Transport and Telecommunication Institute. 18–21 October 2017, Riga, Latvia, pp. 54–64. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-74454-4_5.
3. **L. Grackova**, A. Zhiravetska, I. Oleinikova, G. Klavs. Aspects of effective urban electrical network infrastructure development for the introduction of electric vehicles charging stations. 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 12–13 October 2017, Riga & Mezotne, Latvia. RTUCON, pp. 1–6 Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55749620300>.
4. **L. Grackova**, I. Oleinikova, G. Klavs. Algorithm-based analysis for the charging stations impact evaluation on the low-voltage distribution networks. Proceedings of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2017, 12–14 September 2017, Stara Lesna, Slovak Republic, pp. 580–584.
5. A. Fedotov, R. Abdullazyanov, G. Vagapov, **L. Grackova**. Detection of places of single-phase ground fault by frequency of the resonance. 57th International Scientific

- Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 13–14 October 2016, Riga & Cesis, Latvia.
6. **L. Grackova**, I. Oleinikova. Impact of electric vehicle charging on the urban distribution network. 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 13–14 October 2016, Riga & Cesis, Latvia.
 7. **L. Grackova**, I. Oleinikova, G. Klavs. Electric vehicles charging simulation for an urban distribution network's service sector. 13th International Conference on the European Energy Market (EEM), 6–9 June 2016, Porto, FEUP, Portugal. INSPEC Accession Number: 16192069. DOI: 10.1109/EEM.2016.7521184. IEEE Xplore: ISSN: 2165-4093. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7521184/>
 8. **L. Grackova**, I. Oleinikova, G. Klavs. Electric vehicles in the concept of smart cities. 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. 11–13 May 2015, Riga, Latvia. LF-002313. CDROM.
 9. **L. Grackova**, I. Oleinikova, G. Klavs. The planning of electric vehicle charging in the urban network. Proceedings of the 8th International Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA, 16–18 September 2015, Stara Lesna, Slovak Republic, pp. 188–191. ISBN 978-80-553-2187-5. CDROM. International scientific index Thomson-Reuters CPCI-S. webofknowledge.com.
 10. **L. Grackova**, I. Oleinikova, G. Klavs. Role of electrical vehicles for improvement of electrical networks efficiency. 11th International Conference of Young Scientists on Energy Issues. CYSENI 2014, 29–30 May 2014, Kaunas, Lithuania, ISSN 1822-7554-015, p. 9.
 11. **L. Grackova**, I. Oleinikova. Economic motivation for electric vehicles participation in power market. 11th International Conference on the European Energy Market (EEM), 2014. 28–30 May 2014, Krakow, INSPEC Ac.No:14469069, DOI:10.1109/EEM.2014.6861224 Publisher: IEEE, p. 5.
 12. **L. Grackova**, I. Oleinikova, G. Klavs. Charging of the electric vehicles in private sector: Technical and economic aspects. //Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, ISSN 0868-8257, 2014, NR 6 (Vol.51): pp. 3–12. DOI: 10/1515/lpts-2014-0032.
 13. **Грачкова Л. В.**, Клавс Г. И. Оценка воздействия отдельных мероприятий на сдерживание выбросов от автотранспорта. Экономическая безопасность государства: междисциплинарный подход: коллективная монография под научной редакцией д. эк. н., профессора Хлобыстова Е. В. – Черкассы: издатель Чабаненко Ю. А., 2013. – 642 с. стр. 183–188.
 14. **L. Grackova**, G. Klavs. Factors of greenhouse gas emissions reduction in the road transport of Latvia. //Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, ISSN 0868-8257, 2013, NR 1 (Vol. 50): pp. 3–9. DOI: 10.2478/lpts-2013-0001.
 15. **L. Grackova**, I. Oleinikova. Implementation of electric vehicles for fossil fuel reduction. 54th International Scientific Conference of Riga Technical Engineering. Section of Power and Electrical Engineering. Digest book and electronic proceedings. RTU Press, Riga, 2013. pp. 68–70.
 16. **Грачкова Л. В.**, Клавс Г. И., Рекис Я. И. Оценка влияния мероприятий по сдерживанию парниковых газов от автотранспорта. IV научно-практической семинар: Экономическая безопасность государства и научно-технологические аспекты ее обеспечения. Под ред. У. М. Письменный, В. М. Шаповал. Днепрпетровск. Национальный Горный Университет. 2012. – 205 с. стр. 41–45.

1.8. Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi un rekomendācijas turpmākam darbam, kā arī izmantotās literatūras saraksts. Darba kopējais apjoms ir 142 lappuses, kurās ietverti 56 attēli, 22 tabulas un trīs pielikumi. Literatūras sarakstā norādīti 132 izmantotās literatūras avoti.

Ievads pierāda pētījuma priekšmeta aktualitāti, nosaka tā galvenos mērķus un uzdevumus, zinātnisko novitāti un praktisko nozīmi. Dots publikāciju un konferenču saraksts.

Pirmajā nodaļā tiek aprakstīta Latvijas un pasaules enerģijas bilance, energosistēmas un siltumnīcefekta gāzu izmeši laikposmā no 1965. līdz 2016. gadam un aplūkoti Eiropas Savienības prioritārie uzdevumi enerģētikas sektora attīstībā, kas ir vērsti uz energoapgādi un vidi.

Otrajā nodaļā sniegta analīze par pasaules un Latvijas zinātniskajiem pētījumiem un matemātiskajiem modeļiem, ko izmanto sadales tīkla prognozēšanai un kontrolei, kā arī pētījumu veikšanai par elektrisko transportlīdzekļu un uzlādes stacijas attīstību.

Analīze parādīja, ka pētījumi par elektrotransportlīdzekļu uzlādes infrastruktūras formēšanu pilsētās un apdzīvotos punktos ir sevišķi svarīgi un tiem būtu jābalstās uz esošiem zemo spriegumu sadales tīkliem, tradicionāliem autostāvvietas novietojumiem un dažāda tipa uzlādes stacijām.

Trešajā nodaļā piedāvāts un realizēts algoritms lokālam sadales tīklam atbilstoši elektromobiļu prasībām un parādīta metodoloģija tā izpildei. Algoritma struktūrai ir četri etapi. Visos posmos tika pabeigti un īstenoti konkrēti uzdevumi. Pētījuma pilnai atspoguļošanai un precizitātei algoritms tiek parādīts kopā ar testa gadījumu.

Ceturtajā nodaļā dota Latvijas enerģētikas sistēmas rezultātu analīze līdz 2030. gadam, kur galvenais akcents likts uz ceļu transportu. Scenāriju rezultāti salīdzināti pēc tādiem parametriem, kā primāro energoresursu struktūra, to lietošanas apjoms un siltumnīcefekta gāzu izmeši. Enerģētikas sektora prognožu veikšanā tiek izmantots *MARKAL* Latvijas modelis. Šajā nodaļā pārskatīts laika posms no 2000. līdz 2030. gadam, kurā tika noteikts, ka gadījumā, ja transportlīdzekļu parkā 20 % būtu elektromobiļi, siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisiju mērķis, kas noteikts 2030. gadam, tiktu izpildīts.

Secinājumi un turpmākais darbs – norādīti priekšlikumi četros virzienos:

- jaunais pētījumā aprakstītais algoritms jāpielāgo esošajam sadales tīklam un plānošanas instrumentam, lai to varētu izmantot nākotnē;
- nepieciešams izveidot blokus, kuros viedais tarifu plāns 24 stundu laikā kontrolē elektriskā transportlīdzekļa uzlādi;
- plānots izveidot jaunu bloku, kurā tiks aprēķināta un ņemta vērā atjaunojamās enerģijas avotu (piemēram, saules enerģija, vēja enerģija utt.) ģenerācija, novērtējot papildu jaudu attiecīgajā rajonā;
- algoritms tiks paplašināts ar vairākiem papildu faktoriem un kritērijiem, lai uzlabotu reāllaika piemērojamības situācijas.

2. ENERĢIJAS BILANCES, ENERGOSISTĒMAS UN SILTUMNĪCEFEKTA GĀZU EMISIJAS RAKSTUROJUMS

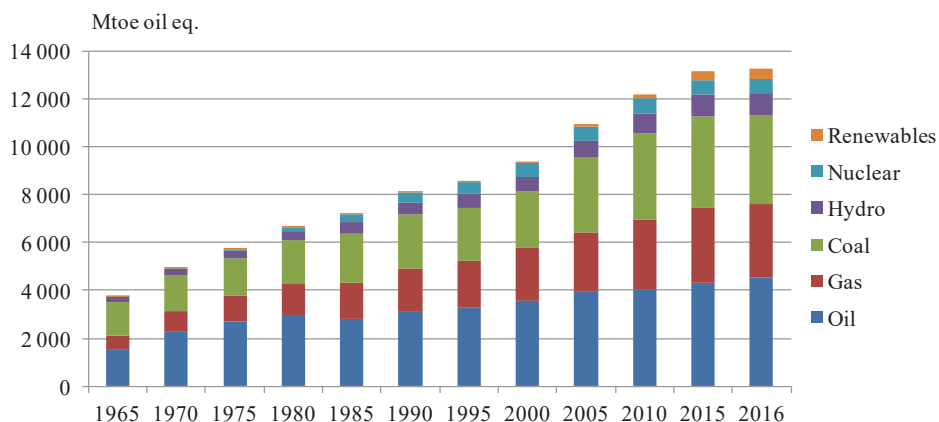
2.1. Enerģijas balance kā integrēta enerģētikas sistēma visā pasaulē

Energobalances dati tiek vākti, lai apkopotu informāciju par energoresursu ražošanu, importu, eksportu un patēriņu valstī. Enerģētikas bilancē tiek parādīti izmantotie visu veidu enerģētisko resursu rādītāji naturālajās vienībās. Lai enerģētikas bilanci sastādītu vienotā vienību sistēmā, piemēram, TJ vai ktoe, tiek izmantoti attiecīgi pārrēķinu koeficienti katram atsevišķam kurināmā un enerģijas veidam.

Primāro enerģijas resursu patēriņš pasaulē pēdējos 50 gados palielinājies vairāk nekā 3,5 reizes.

Turklāt apskatāmajā laika periodā (1965.–2016.) nafta, gāze, ogles ir globālā pieprasījuma galvenie primārie enerģijas avoti, 2.1. attēls. Atsevišķu veidu energoresursu patēriņa dinamikā ir neliela ogļūdeņraža energoresursu izmantošanas samazināšanās un izskatās šādi [4]:

- **1965. gads:** nafta – 40,9 %, ogles – 37,6 %, gāze – 15,7 %, hidroenerģētika – 5,6 %, atomenerģētika – 0,2 %, atjaunojamie enerģijas avoti – 0 %;
- **2000. gads:** nafta – 38,2 %, ogles – 25,3 %, gāze – 23,3 %, hidroenerģētika – 6,4 %, atomenerģētika – 6,2 %, atjaunojamie enerģijas avoti – 0,6 %;
- **2015. gads:** nafta – 32,9 %, ogles – 29,2 %, gāze – 23,8 %, hidroenerģētika – 6,8 %, atomenerģētika – 4,4 %, atjaunojamie enerģijas avoti – 2,8 %;
- **2016. gads:** nafta – 34,4 %, ogles – 28,0 %, gāze – 23,2 %, hidroenerģētika – 6,9 %, atomenerģētika – 4,5 %, atjaunojamie enerģijas avoti – 3,1 %.



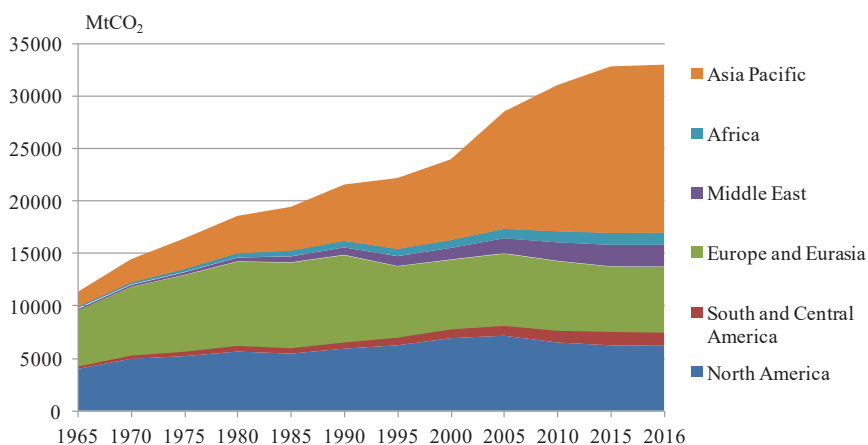
2.1. att. Primāro resursu struktūra, 1965.–2016. g., Mtoe oil vien.

2.2. Siltumnīcefekta gāzu emisijas pasaulē

Vēsturiskie dati liecina, ka pēdējo 50 gadu laikā, no 1965. līdz 2016. gadam, globālās CO₂ emisijas ir gandrīz trīskāršājušās – no 11 357,79 miljoniem tonnu līdz 33017,6 miljoniem tonnu, kā parādīts 2.2. attēlā.

Laikposmā no 2000. līdz 2016. gadam Āzijas un Klusā okeāna reģionā fiksēts ievērojams pieaugums par 8301,8 miljoni tonnu jeb 107,6 %. Citi pieguma fakti par vairāk nekā 400 miljonu tonnu bija reģistrēti Tuvos Austrumos (966,3 miljoni tonnu, 88,5 %), Dienvidamerikā un Centrālamerikā (411,3 miljoni tonnu, 44,9 %) un Āfrikā 412,3 miljoni tonnu, 53,4 %). CO₂ emisiju samazinājums tika reģistrēts šādi: Ziemeļamerikā – par 723,7 miljoniem tonnu jeb par 10,5 %; Eiropā un Eirāzijā – par 353,8 miljoniem tonnu jeb par 5,3 %.

Rādītāju salīdzinājums par 2000. un 2016. gadu liecina par pieaugumu par 37,6 %, bet no 2014. līdz 2015. gadam tas samazinājās par 0,12 %, kas norāda, ka globālo ikgadējo CO₂ emisiju samazināšanas tendence var turpināties vai stabilizēties. Tas pierāda, ka pat enerģijas patēriņa vienmērīga pieauguma apstākļos pastāv iespēja pazemināt un izmantot emisiju pieaugumu.



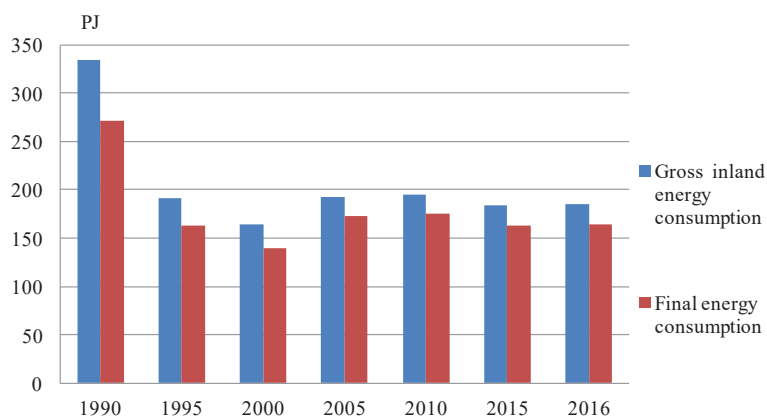
Source: BP Statistical Review of World Energy 2018://www.bp.com/

2.2. att. CO₂ izmeši pasaulē reģionos, 1965.–2016. g.

2.3. Latvijas enerģētikas sektora segmentu analīze

2.3.1. Latvijas enerģētikas sistēmas un enerģijas bilances pārskats

Latvijas enerģijas bilances dati laikposmā no 1990. līdz 2016. gadam parāda valsts ekonomisko attīstību šajā laikā (sk. 2.3. att.). Līdz 2000. gadam iekšzemes kopējā enerģijas patēriņa un galīgā enerģijas patēriņa galvenie rādītāji valstī tika samazināti uz pusi. Tad nākamo 16 gadu laikā pakāpeniski palielinājās ražošana un patēriņš. Kopējais iekšzemes enerģijas patēriņš 2016. gadā palielinājās par 12,7 %, bet gala enerģijas patēriņš, salīdzinot ar 2000. gadu, pieauga par 17,7 % [5].



2.3. att. Latvijas enerģijas balance: bruto iekšzemes enerģijas patēriņš un galīgais enerģijas patēriņš, 1990.–2016. g.

Gala enerģijas patēriņa skaitļi ietver enerģijas patēriņu dažādos ekonomikas sektoros, proti, lauksaimniecībā, mājsaimniecībā, transportā, rūpniecībā, tirdzniecībā un citur. Pēdējo 11 gadu laikā gala enerģijas patēriņa rādītāji būtiski nemainījās. 2010. gadā galīgais enerģijas patēriņa rādītājs bija par 1,9 % augstāks nekā 2005. gadā (3,32 PJ), savukārt 2016. gadā galīgais enerģijas patēriņš (11,5 PJ), salīdzinot ar 2010. gadu, samazinājās par 6,6 %. Līdz 2005. gadam būtiskas izmaiņas bija vērojamas dažādās tautsaimniecības nozarēs. 2005., 2010., 2015. un 2016. gadā galapatēriņš sektoros procentuāli bija šāds:

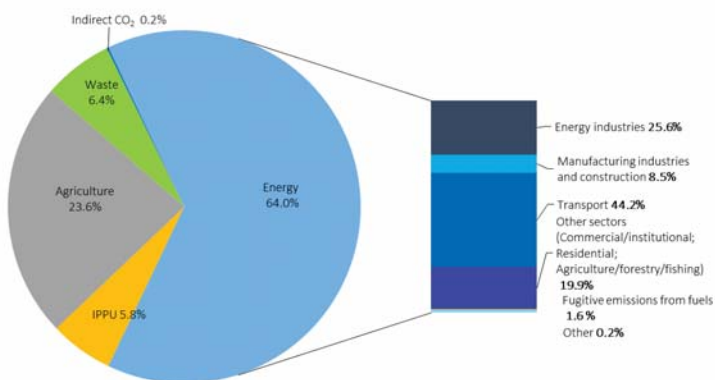
- **2005. gadā** lauksaimniecības nozarē bija 3,1 %, rūpniecības sektorā – 18,7 %, privātā sektorā – 36,5 %, transporta sektorā – 26,6 %, komerciālo un citu nozaru īpatsvars bija 15,1 %;
- **2010. gadā** lauksaimniecības daļa bija 3,5 %, rūpniecības – 19,9 %, mājsaimniecības – 33,1 %, transporta – 29 %, komerciālās un citu nozaru daļa – 14,6 %;
- **2015. gadā** lauksaimniecības nozarē bija 4,0 %, rūpniecības nozarē – 21,8 %, privātā sektorā – 29,9 %, transporta sektorā – 29,7 %, komerciālo un citu nozaru īpatsvars bija 14,6 %;

- **2016. gadā** lauksaimniecības nozarē bija 4,3 %, rūpniecības nozarē – 20,7 %, privātā sektorā – 29,2 %, transporta sektorā – 30,3 %, komercsektoru un citu sektoru īpatsvars bija 15,4 %.

Sektoru enerģijas patēriņa struktūranalīze liecina, ka transporta un mājokļu sektori veido vairāk nekā 60 % no kopējā patēriņa. Lai gan enerģijas patēriņš šajās nozarēs joprojām ir diezgan stabils, jāuzsver, ka dzīvojamo māju sektorā gada vidējais rādītājs ir samazinājies par 2,1 %, savukārt transporta nozarē tas ir palielinājies par aptuveni 1,2 %. Transporta nozare ietver šādas apakšnozares: autotransports, dzelzceļš, civilā aviācija un iekšzemes kuģošana. Transporta nozarē dominējošais energoresurss ir naftas produkti, un tas ir detalizēti parādīts Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) gada pārskatā. Lielākais enerģijas patēriņš vērojams autotransportā, tas ir 85 %.

2.3.2. Siltumnīcefekta gāzu emisijas Latvija

2016. gadā kopējās siltumnīcefekta gāzu emisijas samazinājās par 57,3 %, salīdzinot ar 1990. gadu (bāzes gads). Tāpēc sektoros var novērot šādas tendences: samazinājums par 62,7 %, enerģētikas sektorā; pieaugums par 8,3 % rūpnieciskie procesi un produktu lietošana (IPPU) un zemes izmantošana, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība (LULUCF) sektoros; samazinājums par 52,5 % lauksaimniecības sektorā; palielinājums par 3,8 % atkritumu sektorā. Būtu jāuzsver, ka enerģētikas sektors ir nozīmīgākais avots siltumnīcefekta gāzu emisijām, kuru īpatsvars no kopējām emisijām laika posmā no 1990. līdz 2016. gadam ir 60–80 %. Relatīvais sektoru ieguldījums siltumnīcefekta gāzu emisijās 2016. gadā ir parādīts 2.4. attēlā.

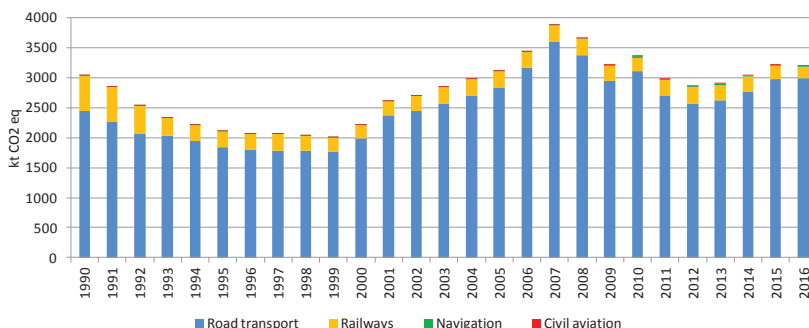


2.4. att. Latvijas siltumnīcefekta gāzu emisiju relatīvais sadalījums pa nozarēm 2016. gadā.

2016. gadā lielākā daļa siltumnīcefekta gāzu emisiju ir 44,2 % enerģētikas sektorā, kurā 90 % izmešu rada transporta sektors enerģētikas sektorā.

Transporta apakšnozarē ir ietverta civilā aviācija, autotransports, dzelzceļi un iekšzemes navigācija. Kā redzams 2.5. attēlā, laika posmā no 1990. līdz 2016. gadam autotransporta

emisijas palielinājās katru gadu, un tās veido vairāk nekā 90 % no kopējās emisijas sektorā. 2016. gadā kopējais siltumnīcefekta gāzu emisijas apjoms transporta apakšnozarē pieauga par aptuveni 5,1 %, salīdzinot ar 1990. gadu, bet 2007. gadā šis skaitlis sasniedza 27,4 %.



2.5. att. Transporta sektora SEG emisiju tendences 1990.–2016. g., kt CO₂ ekv.

2.4. Eiropas Savienības enerģētikas un klimata politika

Eiropas Savienība 2009. gadā pieņēma klimata un enerģētikas paketi, kas ir obligātu likumu un instrumentu kopums, kura mērķis ir līdz 2050. gadam samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas. Galvenie klimata un enerģētikas mērķi ir noteikti:

- ES Klimata un enerģētikas politikas satvaru 2020. gadam [6];
- ES Klimata un enerģētikas politikas satvaru 2030. gadam [7].

Latvijas transporta ilgtspējīgas attīstības politikas mērķis saskaņā ar “Latvijas Nacionālajā attīstības plāna 2014.–2020. gadam”, “Nacionālo reformu programmu stratēģijas ES2020” un “Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģija līdz 2030. gadam” dokumentiem ir radīt sabalansētu, efektīvu drošu, konkurentsipējīgu un ekoloģiski tīru transporta sistēmu valstī [8], [9].

Enerģētikas sistēmu analīzes modeļi un rīki. Daudzās pasaules valstīs tādu uzdevumu risināšanā tiek izmantoti aprēķinu modeļi *BALTMOREL*, *EMPS*, *MESSAGE*, *MINICAM*, *PERSEUS*, *WILMAR*, *EnergyPlan*, *Mesap*, *Markal*. Šie modeļi ļauj novērtēt valsts enerģētikas sistēmu gan pašlaik, gan arī var izveidot enerģētikas politikas ilgtspējīgas attīstības scenārijus Latvijas Republikas valsts institūcijām (tiek izmantotas *MARKAL*, *EFOM*, *TIMES* un *Mesap*) [10], [11].

3. ELEKTROENERĢIJAS SADALES TĪKLU EKSPLUATĀCIJAS UN LĀDĒŠANAS STACIJU PLĀNOŠANAS NOSACĪJUMI

3.1. Elektriskie transportlīdzekļi un uzlādes stacijas pasaulē

Saskaņā ar *Global Outlook 2017* datiem, 2016. gadā tika pārdots 750 tūkstoši jaunu elektrotransportlīdzekļu (ETL). Veiksmīga pārdošana sākās 2010. gadā. 2005. gadā tika pārdots mazāk nekā divi tūkstoši elektrisko transportlīdzekļu, savukārt 2010. gadā – vairāk nekā 12,48 tūkstoši, un 2015. gadā to skaits pārsniedza 1,26 miljonus [12], [13]. Jāatzīmē, ka šo gadu gaitā elektrisko automobiļu skaits (60 %) un ar elektrību uzlādējamu hibrīdauto skaits (40 %) ir salīdzinoši vienmērīgi sadalīts. Elektrotransportlīdzekļu tirgus attīstība visā pasaulē no 2010. līdz 2016. gadam liecina, ka tādās valstīs kā Ķīnā, Japānā, Norvēģijā un Nīderlandē 80 % no to kopējā skaita ir reģistrēti 2016. gadā.

Elektrisko transportlīdzekļu tīkla infrastruktūra ir vislabāk attīstīta valstīs, kurās elektrisko transportlīdzekļu skaits ik gadu palielinās, tāpēc pasaules līderi ir ASV, Ķīna un Japāna. Eiropā, Eirāzijā un Eiropas reģionos šādas valstis ir Francija, Nīderlande, Vācija, Lielbritānija un Norvēģija. Dažās Eiropas valstīs veikto publisko uzlādes punktu izpēte, kas atšķiras pēc jaudas un uzlādes ātruma, parādīja, ka Norvēģijā, Dānijā un Francijā vairāk nekā 70 % staciju ir standarta uzlādes stacijas. Nīderlandē, Apvienotajā Karalistē un Vācijā vairāk nekā 53 % staciju ir paātrinātas uzlādes stacijas. Ātru uzlādes staciju skaits ir aptuveni 10 % no kopējā skaita šajās valstīs. Izņēmums ir lādēšanas staciju tīkls Igaunijā, kur paātrinātas un ātras uzlādes stacijas ir 96 % [14].

Elektrisko transportlīdzekļu skaits pārsniedz parasto uzlādes staciju skaitu, kas norāda, ka lielākā daļa autovadītāju galvenokārt izmanto privātās lādēšanas stacijas (standarta lādēšana ir lēna). Elektriskās automašīnas akumulatora galvenās īpašības ir uzlādes laiks, enerģijas patēriņš un uzlādes ātrums (sk. 3.1. tab.).

3.1. tabula

Uzlādes stacijas režīmi. Standarta lādēšanas jaudas līmeņi [15]–[17]

Charging mode	Connection mode (Grid connection)	Alternating (AC) and direct current (DC) voltage (V) / current (A)
Standard charging (lēnā uzlāde) – StEVCS: nominal power 3 kVA (1-phase) and 7 kVA (3-phase), 6–12 h	Mode 1 (1 phase / 3 phase) and Mode 2 (1 phase / 3 phase)	230/16 un 400/16 230/32 un 400/32
Accelerated charging (ātrā uzlāde) – AcEVCS: nominal power 7–22 kVA (1- or 3-phase, 32 A), 1–4 h	Mode 3 (1 phase / 3 phase)	230/32 un 690/250
Rapid charging (super ātrā uzlāde) – RapEVCS: nominal power 50 kVA (DC) and 43 kVA (AC), 80 %, < 1 h	Mode 4 (3 phase)	600/400

Starptautiskās Enerģētikas aģentūras (*International Energy Agency – IEA*) veiktā analīze, kuras pamatā ir pasaules valstu vadošo valstu mērķu prognozes, ko nosaka automobiļu ražotāji un pētījumu scenāriji, paredz, ka ETL (vieglajiem automobiļiem un kravas automobiļiem līdz 3,5 tonnām) būs no 9 līdz 20 miljoniem 2020. gadā, no 40 līdz 70 miljoniem 2025. gadā un no 2030. gada no 55 miljoniem līdz 200 miljoniem.

3.2. Pārskats par publiskām stacijām un transportlīdzekļiem ar elektriskiem dzinējiem Latvijā

2014. gadā, izmantojot valsts programmas par klimata pārmaiņām paredzētos līdzekļus, LR Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija rīkoja projektu konkursu par siltumnīcefekta gāzu emisijas samazināšanu autotransporta sektorā. Konkursa rezultātā 2014.–2015. gadā tika piešķirts papildu finansējums 200 elektrotransportlīdzekļu iegādei un 235 publisko elektrotransportlīdzekļu uzlādes staciju (*EVCS*) uzstādīšanai līdz 2023. gadam [18]. Pašlaik publisko uzlādes staciju Latvijas teritorijā ir aptuveni divas reizes lielās nekā 2014. gadā, un ir skaidrs, ka elektromobiļu un infrastruktūras tirgus publiskām uzlādes stacijām tiks paplašināts [19].

Valsts iepirkuma rāmjos “Ceļu satiksmes drošības direkcija” (CSDD) veica analīzi par ātros uzlādes staciju atrašanās vietām pie galvenajām automaģistrālēm. Plānots, ka attālums starp uzlādes stacijām būs no 30 līdz 50 km [21]. No 2018. gada 1. janvāra Latvijā reģistrēti 275 *BEV* (elektrisko automobiļu) un 37 *PHEV* (hibrīdo elektromobiļu) automašīnas, kurās *Volkswagen e-up* un *Nissan* ir populārākie *BEV* modeļi [20]. Kopējais transportlīdzekļu skaits ar elektrodzinējiem parādīts 3.2. tabulā.

3.2. tabula

Transportlīdzekļu skaits ar elektriskiem dzinējiem Latvijā, 2011.–2017.

<i>Type</i>	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<i>Passenger cars</i>	2	11	18	192	223	268	368
<i>Light commercial vehicles</i>	2	2	2	6	7	11	13
<i>Buses</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Motorcycles</i>	0	0	0	0	3	3	5
<i>Mopeds/quadracycle</i>	0	0	0	50	56	58	75
<i>Total</i>	4	13	20	248	289	340	462

3.3. Pārskats par lādēšanas ierīču integrācijas pētījumu un metodoloģiju

Pirms promocijas darba autore izpētīja mūsdienu tehniskos un teorētiskos pētījumus. Tie atspoguļo dažādas pozīcijas un pieeju izvirzīto mērķu risināšanai un ierosina iespējamās darbības, lai nodrošinātu elektrotīkla drošumu un valsts vides drošību saistībā ar transportlīdzekļu plašo izmantošanu ar elektrodzinējiem.

Ir svarīgi atzīmēt, ka 18 zinātnisko pētījumu liecina, ka tādās apakšnozarē kā autotransports, elektroenerģijas ražošana un elektroenerģijas sadale patērētājam ir ievērojama teorētiska un praktiska nozīme visos pasaules reģionos.

Īpaša uzmanība tika pievērsta matemātiskiem modeļiem, kas tiek izmantoti, lai prognozētu un kontrolētu sadales tīklu, kā arī pētījumiem par elektrisko transportlīdzekļu attīstību. Lai izveidotu ETL algoritmus un infrastruktūras modeļus, dažādu valstu pētnieki izmantoja šādus komponentus: iedzīvotāju nodrošinājums ar transportlīdzekļiem, transportlīdzekļa vidējais dienas nobraukums, attālums starp galamērķiem, individuālo braucienu skaits, darba laiks un pārkošanas, sadales tīkla tehnisko indikatoru pieejamība utt.

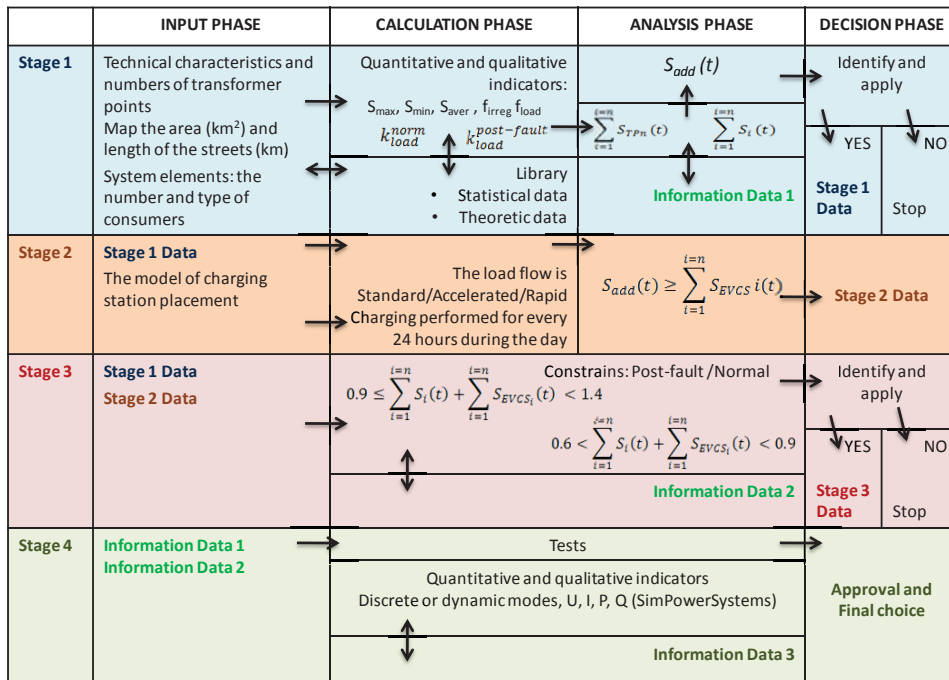
4. LOKĀLĀ SADALES TĪKLA NOVĒRTĒŠANAS ALGORITMS, ŅEMOT VĒRĀ ELEKTROMOBILU UZLĀDES STACIJU NOVIETOJUMU

4.1. Algoritma arhitektūra un tā izpilde pa posmiem

Šajā promocijas darbā izstrādāts algoritms pilsētu un lauku apvidu zemsprieguma sadales tīklu izpētei atbilstošu uzlādes staciju prasībām. Galvenie algoritma uzdevumi ir šādi:

- novērtēt vietējā sadales tīkla slodzes jaudu un iespējamo papildu slodzi ikdienas laika intervālos;
- izvēlieties uzlādes stacijas vietu, ņemot vērā auto īpašnieku uzvedību stāvvietās 24 stundu laikā un elektrisko tīklu vietējā sadales tīklā esošo slodzi;
- izvēlieties uzlādes stacijas atrašanās vietu, ņemot vērā to sadarbību ar enerģētikas kompānijām, ietverot ekonomiskās un ekoloģiskās komponentes, esošās slodzes;
- izpētīt sadales tīklu atbilstoši lādēšanas staciju vajadzībām kā viedo tīklu elementiem;
- pārbaudīt algoritma metodoloģiju.

Algoritma ir četri soli. Konfigurācija ir parādīta 4.1. attēlā. Katrs solis tiek īstenots, lai atrisinātu konkrētas problēmas, un tam ir šādi posmi: ievade, aprēķins, analīze un risinājums.



4.1. att. Algoritmu struktūra.

Pirmajā posmā tiek aprēķināta esošā slodze uz apskatāmo lokālo tīklu un papildu slodzes iespējas atbilstoši diennakts laika intervāliem.

Datu ievades fāze: tiek apkopoti dati, kas ir nepieciešami, lai raksturotu sadales tīkla objektus un tā sistēmas elementus, ko vēlāk varēs izmantot aprēķināšanas fāzē.

Aprēķinu fāze: tiek aprēķināti visu objektu kvantitatīvie un kvalitatīvie rādītāji, kas nepieciešami analīzei.

Analīzes fāze: nodrošina informatīvos datus, kas var tikt lietoti kā konkrētā testā, kā arī atkārtotos pētījumos (*Information data 1*). Šeit tiek aprēķināta potenciālā objektu un transformatoru apakšstaciju papildu slodze. Uz iegūtās transformatoru apakšstaciju papildu slodzes bāzes tiek piedāvāti divi nosacījumi: $IF S_{add} > 0$ un $IF S_{add} < 0$.

Lēmumu pieņemšanas fāze: lēmumu pieņemšanas fāze nosaka pāreju uz otro posmu, ja $S_{add} > 0$. Ja $S_{add} < 0$, tad notiek atgriešanās uz datu ievadu fāzi vai algoritms pārstāj darboties.

Otrajā posmā, lai noteiktu uzlādes stacijas novietojumu un tipu, tiek lietots uzlādes stacijas novietojuma optimālais modelis. Tam tiek izmantota simpleksa matemātiskās optimizācijas metode lineārās programmēšanas uzdevumam. Datu ievades fāze – tā vērtība $S_{add} > 0$ un uzlādes stacijas izvietojuma modeļa (sk. turpmākajās nodaļas “Algoritma metodoloģijas apraksts”).

Aprēķinu fāze novērtē visu tipu uzlādes staciju (lēnā uzlāde, ātrā uzlāde un super ātrā uzlāde) kopējo elektrisko slodzi apskatāmajā rajonā.

Analīzes fāze: salīdzina iegūto kopējo elektrisko slodzi no uzlādes stacijām ar transformatoru apakšstaciju potenciālām papildu slodzēm. Ja noteikums $S_{EVCS} \leq S_{add}$ izpildās, tad notiek pāreja uz lēmumu pieņemšanas fāzi, kur tiek noteikta pāreja uz trešo posmu vai atgriešanās uz pirmo etapu – datu ievades fāzi.

Trešajā posmā tiek pārbaudīti transformatoru apakšstaciju tehniskie rādītāji atbilstoši elektrotehniskiem standartiem pie esošām un papildu slodzēm.

Aprēķinu fāze un analīzes fāze tiek apvienotas ieejas datu novērtējumam. Objektu caurlaides spēja un pieļaujamā transformatoru slodze avārijas un normālā režīmā tiek izskatīti un analizēti saskaņā ar Elektrotīkla kodeksu un elektrotehniskajiem standartiem. Informācija tiek apkopotā 2. informācijas blokā (*Information data 2*), kas tiek izmantota kā konkrētā testā, kā arī atkārtotu pētījumu gaitā.

Pie noteikumu izpildes notiek pāreja uz lēmumu pieņemšanas fāzi, bet pēc tam – uz ceturto posmu.

Ceturtais posms: algoritma validācija.

Datu ievadesfāze: ir dati no pirmā un trešā posma informācijas blokiem.

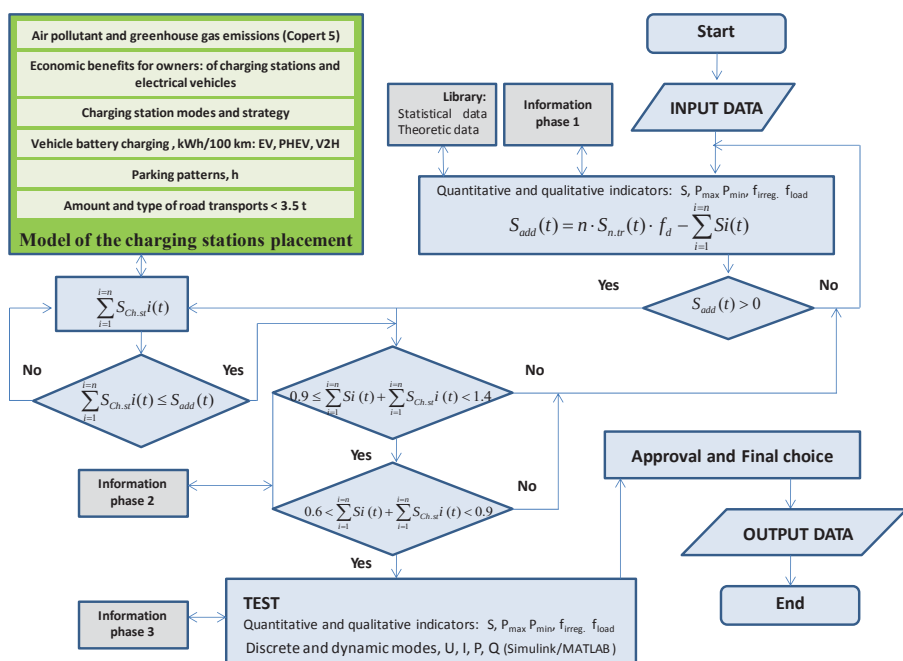
Aprēķinu fāze un analīzes fāze ir apvienotas. Visu objektu kvalitatīvo un kvantitatīvo rādītāju aprēķinu datu validācija tiek veikta atbilstoši pirmajam etapam – aprēķinu fāze, lai pierādītu, ka visi izmantojamie dati algoritmā, tai skaitā – ieejas, ir ar apmierinošu precizitāti un nav pretrunā ar pētāmo sistēmu, bet parametru vērtības ir precīzi noteiktas un tiek korekti izmantotas. Ar *MATLAB* līdzekļiem (*SimPowerSystems*) tiek modelēti arī sadales tīkla objekti, kas ļauj novērtēt sadales tīklu parametrus (spriegumu, strāvu, aktīvo, reaktīvo un pilno jaudu) pie esošām un papildu slodzēm. Daudzo datu dēļ visa informācija nonāk

3. informācijas blokā (*Information data 3*), pēc tam tā tiek izmantota analīzei. Galīgais lēmums tiek pieņemts lēmumu pieņemšanas fāzē.

Sīkāks algoritma metodikas apraksts, pētījumu secība un metožu izvēles pamatojums ir pieejams turpmākajās darba nodaļās. Algoritma aprobācija zemu spriegumu strāvas sadales tīkla izpētei pilsētās un lauku rajonos atbilstoši lādēšanas staciju vajadzībām tika prezentēta un apspriesta zinātniskās konferencēs un publicēta starptautiskos zinātniskos žurnālos [22]–[24].

4.2. Algoritma metodoloģijas apraksts

Šajā sadaļā ir dota algoritma darbību secība un pamatojums aprēķinu metožu izvēlei. Algoritma blokshēma ir parādīta 4.2. attēlā.



4.2. att. Algoritma blokshēma.

Piedāvātā algoritma darba principi ir aprakstīti tālāk tekstā.

4.2.1. I posms. Sadales tīklu datu ievade

Uzlādes stacijas ir jaunie patērētāji, tāpēc ir mērķtiecīgi izpētīt tehniskās iespējas to pieslēgšanai apskatāmajā lokālajā tīklā. Tam nepieciešama šāda informācija: objektu tips un skaits, objektu energopatēriņš un to ikdienas slodzes grafiks, sadalītājtīkla shēma, transformatoru apakšstaciju atrašanās vietas un tehniskie raksturlielumi, teritorijas plāns un ielas garums.

Objektu jaudas, patēriņu un to ikdienas slodzes grafiki tiek novērtēti datubāzes bibliotēkas modulī, izmantojot statistiskās un aprēķināšanas metodes, matemātisko statistiku un varbūtības teoriju.

Turklāt tiek aprēķināti elektrisko slodžu raksturlielumi, koeficienti un diagrammas katram objektam un sadales tīkla transformatoru apakšstacijai. Tiek izmantota aplēses slodzes pieprasījuma koeficienta metode. Aprēķinus var veikt katrai sezonai, mēnesim un dienai (darba diena un brīvdiena) atkarībā no mērķiem un uzdevumiem, kā arī ievaddatu izmaiņas gadījumā.

Transformatoru slodzes spēju pārbauda šādā secībā: vispirms avārijas pārslodzi un pēc tam – normālā darba režīmu [25]–[30].

Visi indikatori un diagrammas, kas iegūti aprēķinu rezultātā, tiek ģenerēti informācijas blokā 1, bet pēc tam notiek datu analīze, kas tiek izmantoti iespējamās papildu slodzes noteikšanai, ņemot vērā diennakts laika intervālus. Iespējamā papildu slodze tiek noteikta atbilstoši 4.1. vienādojumam [31], [32].

$$S_{\text{add}}(t) = 1,4S_{\text{n.tr}}(t) - \sum_{i=1}^{i=n} S_i(t) f_d, \quad (4.1.)$$

kur $S_{\text{n.tr}}$ – transformatora nominālā jauda, kVA;

1,4 – maksimālais slodzes koeficients darba režīmā;

S_i – patērētāju (objektu) jauda, kVA;

f_d – daudzveidības koeficients, ≤ 1 .

Ja tiek izpildīts nosacījums $S_{\text{add}}(t) > 0$, tad notiek pāreja uz nākamo posmu. Pretējā gadījumā algoritms atgriežas ievades datu punktā.

4.2.2. II posms. Uzlādes staciju atrašanās vietas

Šajā etapā definētā mērķa sasniegšanai tiek lietots modelis uzlādes staciju novietojuma un elektrisko jaudu noteikšanai.

Lai noteiktu uzlādes stacijas novietojumu un tipu, tiek izmantots uzlādes stacijas novietojuma optimālais modelis. Tam tiek lietota simpleksā matemātiskās optimizācijas metode lineārās programmēšanas uzdevumam.

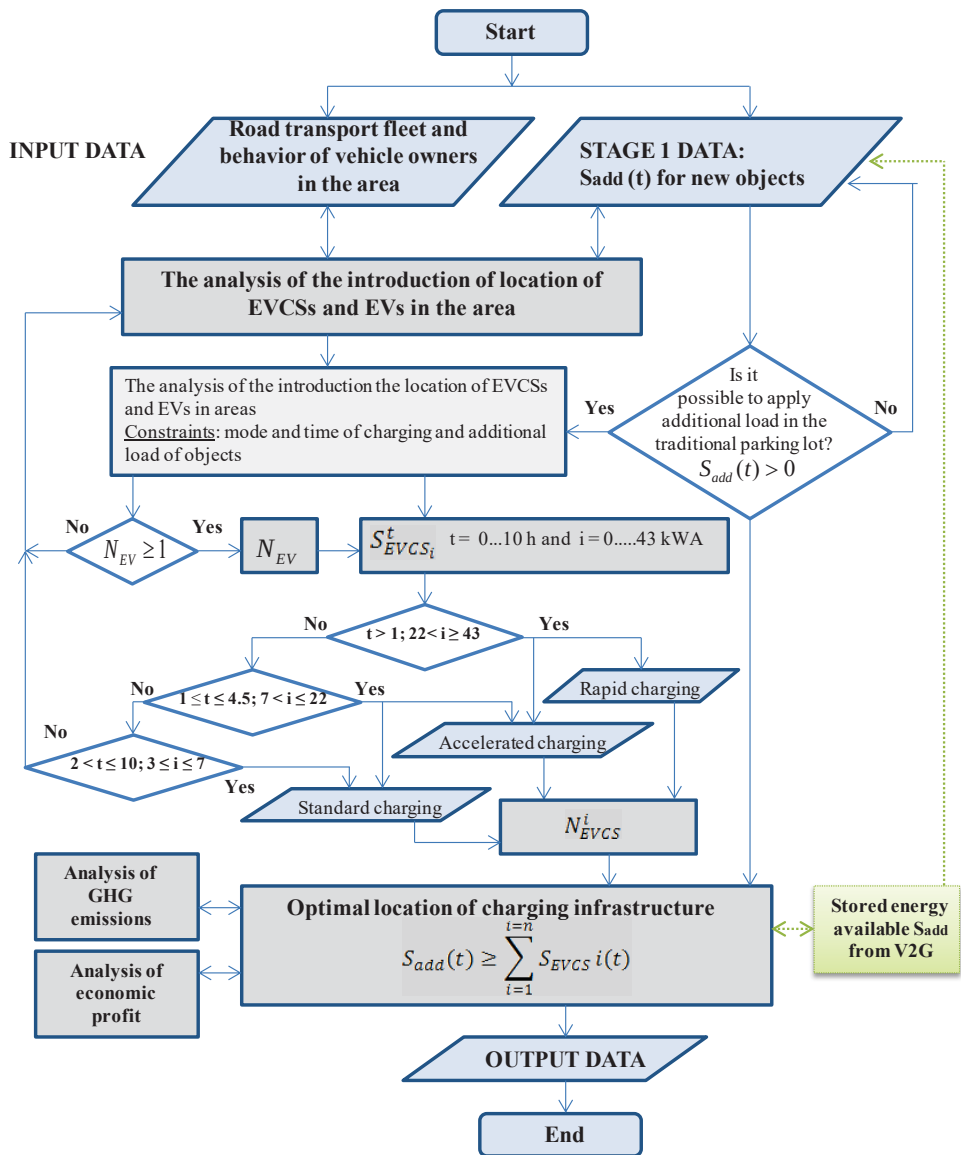
Modelis tiek īstenots šādi:

- ievades dati tiek parādīti kā pirmā etapa dati (S_{add});
- transportlīdzekļu skaits, kuru bruto masa ir mazāka par 3,5 tonnām, un to izvietošana 24 stundu laikā attiecīgajā rajonā;
- transportlīdzekļu īpašnieku uzvedība stāvvietās tiek analizēta 24 stundu laikā, izmantojot klasteru analīzi;
- tehniskais raksturojums: tiek ņemta vērā uzlādēšana stacijas (lēnā, ātrā un super ātrā) un visbiežāk izmantotie elektriskie tīkli;
- pamatojoties uz transportlīdzekļu sarakstu, tika izveidots iespējamais elektrotransportlīdzekļu parks;

- autotransporta kaitīgo emisiju izmaiņas tiek aprēķinātas un analizētas *COPERT 5* programmā;
- saskaņā ar diviem kritērijiem – vislabākais akumulatora uzlādes laiks (transportlīdzekļu īpašniekam nepieciešamā lādēšanas pakāpe) un lādēšanas stacijas (lēnā uzlāde, ātrā uzlāde un super ātrā uzlāde) tradicionālās autostāvvietas vietās – aprēķina lādēšanai nepieciešamo slodzi (enerģijas patēriņš);
- lai nodrošinātu vislabāko risinājumu procesā, analizē slodzi, pārbauda vairākas iespējas un pēc tam sniedz infrastruktūras atrašanās vietas galīgo izvēli;
- pēc infrastruktūras galīgās atrašanās vietas noteikšanas un pieprasīšanas (maksā par uzlādēšanu S_{EVCS}) tiek aprēķināts ikdienas enerģijas patēriņš lādēšanas laikā un salīdzināts ar $S_{add}(t)$, izmantojot 4.8. vienādojumu.

Ja 4.8. vienādojums ir izpildīts, process ir pabeigts, un mēs pārejam uz 3. posmu. Pretējā gadījumā process atgriežas pie vaicājuma “Infrastruktūra un piekļuve”. Ir nepieciešams aprēķināt jaunās slodzi uz uzlādes staciju.

Uzlādes stacijas modeļa atrašanās vietas strukturālais izkārtojums ir dots 4.3. attēlā.



4.3. att. Uzlādes staciju izvietojuma modeļa blokshēma.

Uzlādes stacijas novietojuma optimālā modeļa realizācija

A. Datu apkopošana un analīze par stāvvietām teritorijas infrastruktūrā

Autostāvvietas modeļa infrastruktūrā analīze ir balstīta uz ieejas datu vākšanu, kas izteikti trīs grupās.

1. grupa. Pirmā etapa dati – ir nosacījums $S_{add}(t) > 0$.

2. grupa. To transportlīdzekļu skaits, kuru svars ir mazāks par 3,5 tonnām, kā arī autostāvvietas atrašanās vieta un ilgums 24 stundas attiecīgajā apgabalā. Otrajai grupai ir nepieciešama informācija par transportlīdzekļa īpašnieku uzvedību: transportlīdzekļu skaits, stāvvietas atrašanās vieta un ilgums, vidējais dienas nobraukums.

3. grupa. Elektriskā automobiļa akumulatora uzlādes process. Trešajai grupai ir nepieciešama informācija par elektromobiļiem: pieejamiem BEV un PHEV tirgū un elektromobiļa akumulatora uzlāde.

2. grupa. Latvijā ir izveidots elektromobiļu parks, tāpēc modelēšanas izejas dati ir par autotransporta līdzekļiem ar iekšdedzes dzinējiem. Ievades datus par transportlīdzekļu skaitu var atrast Latvijas Nacionālās statistikas sistēmas publikācijās vai CSDD tīmekļa vietnē [20], [33].

Lai iegūtu ievaddatus par autostāvvietas atrašanās vietu un stāvēšanas ilgumu, nepieciešams savākt informāciju no dažādiem datu avotiem un jāizvēlas tās apstrādes metodes. Pētījumam tika noteikta šāda informācija: kopējais transportlīdzekļu skaits autostāvvietā (stāvvietu skaits); transportlīdzekļu skaits stāvvietā noteiktā laikā (stāvvietas uz katru stundu); transportlīdzekļu ikgadējais nobraukums vai dienas nobraukums.

Informācija tika apkopota, izmantojot tradicionālās metodes, kā monitoringa un spēkā esošo likumdošanas dokumentu pārbaude, ziņojumi par atrašanās vietu un stāvēšanas ilgums autostāvvietā pie mājas, darbā, pie veikala utt. [20], [34], [35]. Informācija tika apstrādāta ar korelācijas analīzi, kas ir laba analītiskā metode vienādu elementu sagrupēšanai vai segmentēšanai.

Analīzei ir jāatrisina šādi uzdevumi:

- novērtēt stāvvietas izmantošanas un pieprasījuma skaitu 24 stundu laikā;
- izvēlēties visbiežāk izmantoto stāvvietu un atbilstoši tās izmantošanas apjomam un pieprasījumam, izmantojot korelācijas analīzi;
- noteikt vidējo dienas nobraukumu.

Lai novērtētu izmantošanas un stāvvietas pieprasījuma apjomu šajā rajonā, tika izmantota vienkārša vidējā metode. Izmantojot šo metodi, tika aprēķināts kopējais stāvvietu skaits katrā stāvvietā, pēc tam dalīts ar kopējo vienību skaitu. Vienkāršās vidējās metodes formula ir šāda:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (4.2.)$$

kur $\bar{X}$ – paraugu ņemšana nozīmē;

n – novērojumu kopums;

X_i – i parauga komponents.

Korelācijas līmeni analizē, izmantojot MS Excel programmu.

Eiropas Vides aģentūras (EEA) ceļvedī tika pieņemta standartizēta autotransporta līdzekļu kategorija – līdz 3,5 tonnām bruto svarā: pasažieru automobiļi un vieglo kravas automobiļi [36]. Savukārt Rīgas domē veiktajā pētījumā transportlīdzekļi tika iedalīti divās grupās: privātpersonu īpašumā un juridisko personu īpašumā esošie, jo ikgadējais nobraukums un ikdienas nobraukums katrai grupai ir ļoti atšķirīgs. Rīgā saskaņā ar 2008.–2015. gada datiem

tika atklāts, ka ikdienas nobraukums privātpersonām nepārsniedz 24,9 km, savukārt juridiskajām personām – 71,2 km [37], [38].

3. grupa. EV un PHEV tirgus pieejamības analīze. Lai aprēķinātu elektrotransportlīdzekļa vidējo enerģijas patēriņu, tika izmantoti tehniskie un praktiskie dati, kas iegūti no šādiem populāriem modeļiem Latvijā: *FIAT Fiorino Elettrico*, *Volkswagen e-up*, *Nissan e-NV200 Electric Van*. Lielākā daļa elektrisko automobiļu (BEV) 100 kilometros patērē 17 kWh, un hibrīdo elektromobiļu (PHEV) – 29 kilometri patērē 7 kWh. No iegūtajiem datiem var secināt, ka nobraukums, ko uzrādījis ražotājs pilnībā uzlādētam EV, var būt zemāks, nekā sākotnēji noteikts. Izmaiņas nobraukumā var būt sezonālas (jo sezonāli mainās arī ceļa kvalitāte), iekšdedzes dzinēja darbības dēļ, akumulatoru var ietekmēt zema temperatūra, kā arī gaisa kondicioniera darbība, citu ierīču uzlāde automobilī (papildu elektrotransportlīdzekļu sistēma), un, protams, individuālais braukšanas stils. Rezultātā nobraukums var samazināties par 30 %. Ņemot vērā iepriekš minēto, aprēķini liecina, ka, lai nobrauktu attālumu 100 km, BEV patērē vidēji 24 kWh ziemā, 17 kWh vasarā un 21 kWh pavasarī un rudenī.

B. Elektriskā automobiļa akumulatora uzlādēšana

4.1. tabulā sniegti dati par uzlādes laiku EVCS (elektrotransportlīdzekļu uzlādes stacijas) no EV veidotāju datubāzes [39].

4.1. tabula

Uzlādes laiks elektrotransportlīdzekļu uzlādes stacijās

Charge levels	StEVCS, 1,5 kVA AC – 120V, 15 A	AcEVCS, 6,6 kVA AC – 240 V, 30 A	RapEVCS, 20–120 kVA DC – 400–600 V, up to 300 A
Driving range per hour charge	8 km	36 km	110 km, 270 km
BMW i3 (22 kWh)	15 h	4 h	To 80 %: 24 kW in 30 min
Nissan Leaf (32 kWh)	16 h	5 h	To 80 %: 50 kW in 20 min
Chevy Bolt (60 kWh)	40 h	10 h	To 80 %: 50 kW in 60 min
Tesla S 85 (90 kWh)	60 h	15 h	To 80 %: 120 kW in 40 min

Galvenie raksturlielumi, kas ietekmē akumulatora baterijas uzlādi, ir uzlādes laiks, jauda un uzlādes stacijās izvēlētais režīms [40]. Tādēļ bateriju uzlādes process tiek izpildīts atbilstoši uzlādes stacijas izvēlētam režīmam, akumulatora bateriju sākuma stāvoklim ($SOC_{initial}$) un faktiskajam akumulatoru baterijas stāvoklim (SOC_{actual}) procesa beigās. Uzlādes stacijas savienošana ar elektrisko transportlīdzekli noteikta ar ISO 15118 standartu, kas paredz elektroenerģijas pārvadīšanu no uzlādes stacijas uz visu modeļu elektromobiļiem [41]. Šo procesu var aprakstīt ar 4.3. vienādojumu, saskaņā ar kuru akumulators uzlādējas līdz vajadzīgam uzlādes stāvoklim (SOC).

$$SOC_{\text{actual}} = SOC_{\text{initial}} + SOC(t), \quad (4.3.)$$

kur $SOC(t)$ ir akumulatora uzlādes laiks minūtēs vai stundās.

Akumulatoru bateriju apskats, ko veikusi Kalifornijas Vides aizsardzības aģentūra, parāda, ka automobiļu vidējais nobraukums 2016. gada beigās palielinājies par 45 %, salīdzinot ar 2010. gadu, bet 2025. gadā paredzamas vēl lielākas izmaiņas [42].

Stāvvietu analīze rajona infrastruktūrā ir balstīta uz ievaddatiem un izskatās šādi:

Pirmkārt, stāvvietas atrašanās vietu un ilgumu var novērtēt saskaņā ar informāciju par iekšdedzes dzinēja (ICE) transportlīdzekļu īpašnieku uzvedību.

Vieglā pasažieru automašīna dienas laikā tiek izmantota tikai nedaudz. Pārējā laikā tā tiek novietota netālu no daudzdzīvokļu ēkas, biroju ēkas un īpašas autostāvvietas vai citā ērtā vietā. Autostāvvietas novērojumu veica promocijas darba autore, un tas tika izmantots, lai novērtētu automašīnu īpašnieku uzvedību.

Otrkārt, vidējais automobiļu dienas nobraukums valstī tiek aprēķināts saskaņā ar vidējo gada nobraukumu. Tādējādi diapazons ir no 24,9 km līdz 200 km dienā.

Treškārt, saskaņā ar patēriņu kWh / 100 km transportlīdzekļus var papildus iedalīt trīs grupās (mazs, vidējs, liels). Katrai grupai ir svarīgi šādi dati: maksimālā uzlāde un maksimālais uzlādes laiks no tukša akumulatora līdz pilnam. Laika stundu skaits, kas nepieciešams, lai uzlādētu akumulatoru, izmantojot lēno uzlādi ($StEVCS$), svārstās no sešām līdz 12 stundām, lai uzlādētu ar ātro uzlādi ($AcEVCS$) – no vienas līdz 4,5 stundām, bet super ātrā uzlādē ($RapEVCS$) nepieciešamas 30 līdz 55 minūtes.

Uzlādējamo elektomobiļu skaits diennaktī tiek aprēķināts ar 4.4. vienādojumu.

$$N_{\Sigma EV}^t = \frac{S_{add_i}^t}{S_{EV_i}^t}, \quad (4.4.)$$

kur $S_{add_i}^t$ papildu slodze i laika periodā,

$$S_{EV_i}^t = \sqrt{P_{EV_i}^2 + Q_{EV_i}^2} - \text{slodze, kas atspoguļo lādēšanu par vienu EV laikposmā.}$$

Aprēķinos tika pieņemts $Q_{EV} = 0$.

Ja tiek izpildīts nosacījums $N_{EV_i}^t > 0$, tad notiek pāreja uz nākamo posmu. Pretējā gadījumā algoritms atgriežas infrastruktūras punktā un nonāk pieprasījumā (grupu ievades dati), kur ir nepieciešams aprēķināt jaunu uzlādes stacijas slodzi.

Visbeidzot, iespējamās objekta papildu slodzes analīzes rezultāti, lādēšanas stacijas ierobežojumu režīms un laiks ($S_{EVCS_i}^t$, kur $t = 1-10$ h un $i = 0-43$ kVA) un autostāvvietas modelis teritorijas infrastruktūrā parāda stāvvietu pieejamības modeli, kas ļauj pieņemt iespējamu uzlādes staciju plānošanu. Šo procesu veic, izmantojot *Excel* funkciju *IF* funkciju.

Nākamais etaps ir definēt lādēšanas režīmu un lādēšanas staciju skaitu saskaņā ar ierobežojumiem.

Zemāk ir parādīti uzlādes staciju ierobežojumi atbilstoši to tehniskiem raksturlielumiem un paskaidrots, kā tie darbojas.

- *I ierobežojums: $t > 1$ ir laika intervāls, stunda un $i \leq 43$ uzlādes stacijas slodze, kVA. Ja kritērijs tiek izpildīts, tad super ātrās un ātrās uzlādes stacijas var izmantot. Ja nē, tad 2. kritērija izpilde.*
- *II ierobežojums: $1 \leq t \leq 4,5$ ir laika intervāls, stunda un $7 < i \leq 22$ uzlādes stacijas slodze, kVA. Ja tiek kritērijs izpildīts, tad ātrās un lēnās uzlādes var izmantot. Ja nē, tad 3. kritērija izpilde.*
- *III ierobežojums: $2 < t \leq 10$ ir laika intervāls, stunda un $3 \leq i \leq 7$ uzlādes stacijas slodze, kVA. Ja kritērijs tiek izpildīts, tad lēnās uzlādes stacijas var izmantot. Ja nē, tad jāatkārto analīze par uzlādes staciju un elektrisko transportlīdzekļu skaitu un izvietojumu.*

Šo aprēķinu veic arī, izmantojot IF funkciju, kas nosaka, kuri ierobežojumi kopumā tiek veikti un kuri no ierobežojumiem netiek veikti. Ja tiek veikti ierobežojumi, algoritms nosaka publisko uzlādes punktu skaitu. Pretējā gadījumā algoritms atgriežas stāvvietu modeļa analīzē apgabala infrastruktūrā. Lai novērtētu elektrotransportlīdzekļu uzlādes stacijas kopējo skaitu, tika apsvērti trīs EVCS režīmi (vienlaikus tiek uzlādētas trīs automašīnas). Tas nozīmē, ka $StEVCS (9,7\%) + AcEVCS (30,6\%) + RapEVCS (59,7\%) = 100\% EVCS$ (sk. 4.1. tab.).

Izmantojot šos kritērijos, var aprēķināt uzlādes staciju skaitu no 4.5. vienādojuma.

$$N_{EVCS} = \frac{9,7\%S_{add}(t)}{7} + \frac{30,6\%S_{add}(t)}{22} + \frac{59,7\%S_{add}(t)}{43} = N_{EVCS_{St}} + N_{EVCS_{Ac}} + N_{EVCS_{Rap}}, \quad (4.5.)$$

kur $N_{EVCS_{St}}$ – lēnās uzlādes staciju skaits;
 $N_{EVCS_{Ac}}$ – ātrās uzlādes staciju skaits;
 $N_{EVCS_{Rap}}$ – super ātrās uzlādes staciju skaits.

4.5. vienādojums ļauj noteikt kopējo staciju skaitu, kas diferencētas pēc režīmiem. Tomēr galvenais kritērijs, izvēloties un lemjot par lādēšanas staciju skaitu, ir iespējamā papildu slodze. Saimnieciskās lietderības kontekstā, veicot publiskās maksas iekasēšanas stacijas, tiek ņemta vērā darbība 24 stundas diennaktī un diferencēti elektroenerģijas tarifi. Elektroenerģijas tarifus juridiskām personām diferencē ar trīs laika zonas tarifiem [43]. Parasti visi trīs EVCS režīmi var tikt piemēroti stāvvietu modelim rajona infrastruktūrā. Tādēļ, lai noteiktu staciju specifiskās atrašanās vietas, šajā posmā ir nepieciešams optimizācijas process, kas tiek atrisināts ar *simplex* metodi programmā *Excel Solver* [44], [45].

C. Uzlādes infrastruktūras izvietojuma optimizācija un ekoloģiski un ekonomiskie aspekti.

Uzlādes infrastruktūras atrašanās vietas optimizācija tiek veikta, pamatojoties uz iepriekš iegūtajiem datiem. Turklāt ir arī ekoloģiskie un ekonomiskie aspekti, kā arī tiek apsvērta iespēja izmantot *Grid-to-Vehicle (V2G) / Vehicle-to-Grid (G2V)* tehnoloģiju.

Uzlādes staciju izvietojums, pamatojoties uz simplex algoritmu

Simplex algoritms – lineārais matemātiskais modelis, kas ļauj atrast optimālo vai labāko rezultātu. Uzlādes staciju izvietojumu problēmai ir šāds formulējums: zināmas autostāvvietu atrašanās vietas ($C_1, C_2, \dots, C_n$) un iespējamās papildu ievietošanas vietas ($c_1, c_2, \dots, c_n$), kā arī norādīti trīs uzlādes staciju režīmi (B_1, B_2, B_3) un papildu slodze stundā *EVCS* (b_1, b_2, b_3). *EVCS* vienības slodze ir 7 kVA, 22 kVA, 43 kVA. Tiek pieņemts, ka lādēšanas stacijas ir atvērtas 24 stundas diennaktī. Lineāro vienādojumu matemātiskais formulējums abiem mērķiem un ierobežojumiem ir izteikts ar šādiem vienādojumiem:

Mērķi:

$$F(x) = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \rightarrow \max(\min).$$

Ar ierobežojumiem:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq c_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq c_2, \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq c_n, \\ x_j \geq 0; j = \overline{1, N}. \end{cases}$$

Turpmākās darbības notiek analīzes fāzē saskaņā ar 4.6. vienādojumu, kā arī notiek pāreja uz lēmuma pieņemšanas fāzi (2. posma dati). Tāpēc tiek aprēķināta kopējā uzlādes staciju noslodze vietējā sadales tīklā ($\sum_{i=1}^{i=n} S_{EVCS}i(t)$). Šī slodze nevar būt augstāka par papildu slodzi, kas aprēķināta pirmajā posmā, kas aprēķināta pirms tam.

$$\sum_{i=1}^{i=n} S_{EVCS} i(t) = S_{EVCS_{St}}(t)N_{EVCS_{St}} + S_{EVCS_{Ac}}(t)N_{EVCS_{Ac}} + S_{EVCS_{Rap}}(t)N_{EVCS_{Rap}}. \quad (4.6.)$$

Uzlādes staciju atrašanās vieta un skaits ir norādīts 4.2. tabulā.

4.2. tabula

Lādēšanas staciju atrašanās vietas un skaits

	Parking lot 1	Parking lot 2	...	Parking lot N	Total
<i>StEVCS</i>	x	x	x	x	x
<i>AcEVCS</i>	x	x	x	x	x
<i>RapEVCS</i>	x	x	x	x	x

Autotransporta radītā gaisa piesārņojuma un siltumnīcefekta gāzu emisiju analīze ar COPERT 5 programmu

Šī algoritma ekoloģiskais aspekts ir emisiju analīze pilsētās un laukos, izmantojot *COPERT 5* programmu, atspoguļojot kaitīgo emisiju izmaiņu dinamiku autotransporta struktūrā.

Lai analizētu iespējamās emisiju izmaiņas, izmantojot transportlīdzekļus ar iekšdedzes dzinējiem (*ICE*) un *BEV* tehnoloģijām, ir ierosināts šāds salīdzinājums: ja *ICE* tehnoloģiju

skaitis ir 100 % no kopējā pasažieru automobiļu un vieglo kravas automobiļu skaita un ja mašīnu skaits ar elektriskiem motoriem ir vairāk nekā 50 %, mazāk nekā no 10 % līdz 50 % no visiem automobiļiem rajonā atkarībā no diennakts nobraukuma fiziskām vai juridiskām personām.

COPERT 5 ir programmatūras rīks, ko izmanto, lai aprēķinātu piesārņojošo vielu emisijas atmosfērā un siltumnīcefekta gāzu emisiju no autotransporta [46]–[48]. Modeļa bāzes dati ir šādi: transportlīdzekļu skaits, automašīnu nobraukums, apkārtējās vides temperatūras svārstības mēnešu laikā un citi. Promocijas darba 4. nodaļā tiek aplūkota primārais un sekundārais energoresursu patēriņš, siltumnīcefekta gāzu emisija un elektroenerģijas patēriņa valstī līdz 2030. gadam liela apjoma autoceļu izmantošanas gadījumā.

Sadales tīkli un V2G/G2V tehnoloģijas

Galvenie V2G/G2V (elektroenerģija no automobiļa elektriskajā tīklā) tehnoloģiju ieviešanas faktori ir V2G/G2V parku pieaugums un viedo tīklu tehnoloģiju izmantošana komerciālo un sadzīves slodžu pārvaldīšanai. Ņemot vērā, ka tiek izmantots vidējais ikdienas transportlīdzekļa nobraukums, tiek aprēķināta uzkrātā jauda:

$$P_{V2G_{storage}} = P_{V2G} - P_{as} - P_{V2G} \frac{l}{100}, \quad (4.7.)$$

kur P_{V2G} – enerģijas patēriņš V2G, kWh / 100 km;

P_{as} – palīgdarbinieku pakalpojums (patēriņš dzesēšanai vai apkurei utt.); saskaņā ar dažādiem avotiem vidēji tas ir 15–30 % no maksimālās uzglabātās enerģijas;

l – vidējais diennakts nobraukums no ETL, km.

Viena V2G baterija neietekmē energoapgādes sistēmu. Tomēr, ja sistēmai tiek ieviesti simts automobiļu, tas var paaugstināt elektroenerģijas sadales efektivitāti.

Pieejamais S_{add} no V2G arī ietekmēs iespējamo papildu slodzi jauniem objektiem šajā rajonā.

Ekonomiskās peļņas analīze no ETL tehnoloģiju integrācijas

Šī algoritma ekonomiskais aspekts ir abu pušu – autovadītāja un lādēšanas staciju pakalpojumu sniedzēju/īpašnieku – mijiedarbība un pārvaldība. Vadītājam nepieciešama elektrība uzlādēta baterijā braukšanai, elastīgi elektroenerģijas tarifi dienas laikā un ērts pakalpojuma apmaksas veids. Pakalpojumu operators vēlas, lai dienas laikā maksimāli izmantotu uzlādes stacijas un gūtu saimnieciskus ieguvumus no šī uzņēmuma.

Tādējādi, saņemot optimālu infrastruktūras atrašanās vietu, uzlādes enerģijas patēriņš tiek aprēķināts un salīdzināts ar $S_{add}(t)$ ar 4.8. vienādojumu.

$$S_{add}(t) \geq \sum_{i=1}^{i=n} S_{EVCS} i(t). \quad (4.8.)$$

Ja tiek izpildīts 4.8. vienādojums, algoritms iet uz 3. posmu. Pretējā gadījumā algoritms atgriežas pirmajā posmā, infrastruktūras ievades datu punktā un nonāk pieprasījumā, kur ir nepieciešams aprēķināt jaudas uzlādes stacijas jaunu slodzi.

Optimāla modeļa uzlādes staciju izvietojuma rezultāts ir lēmuma pieņemšanas fāze ar izejas datiem (2. posma dati).

4.2.3. III posms. Transformatoru apakšstaciju verifikācija saskaņā ar avārijas pārslodzes un normālās darbības režīmu

Trešajā etapā tiek pārbaudītas transformatoru apakšstaciju tehniskie rādītāji atbilstoši elektrotehniskiem standartiem pie esošām un papildu slodzēm.

Lai novērtētu ieejas datus, tiek apvienota aprēķinu fāze un analīzes fāze. Objektu caurlaides spēja un pieļaujamā transformatoru slodze avārijas un normālā režīmā tiek izskatīti un analizēti saskaņā ar Elektrotīkla kodeksu un elektrotehniskajiem standartiem. Informācija tiek apkopotā 2.informācijas blokā (*Information data 2*), kas tiek izmantota kā tekošā testā, un ja nepieciešams atkārtotu pētījumu gaitā.

Avārijas pārslodzes režīmā tiek aprēķināts pēc 4.9. vienādojuma.

$$0,9 \sum_{i=1}^{i=n} S_i(t) + \sum_{i=1}^{i=n} S_{EVCS_i(t)} < 1,4. \quad (4.9.)$$

Normālā režīmā aprēķina pēc 4.10. vienādojuma.

$$0,5 < \sum_{i=1}^{i=n} S_i(t) + \sum_{i=1}^{i=n} S_{EVCS_i(t)} < 0,9. \quad (4.10.)$$

Pie noteikumu izpildes Ja noteikumi tiek izpildīti, notiek pāreja uz lēmumu pieņemšanas fāzi, bet pēc tam uz ceturto posmu.

4.2.4. IV posms. Algoritma validācija, nemot vērā uzlādes staciju konkrētās vietas

Datu ievaded fāze: ir dati no pirmā un trešā etapa informācijas blokiem. Ceturtajā etapā tiek pārbaudītas transformatoru apakšstacijas un energoapgādes objekti, lai garantētu, ka algoritma metodoloģija nodrošina teorētiski ticamu rezultātu.

Aprēķinu fāze un analīzes fāze ir apvienotas. Visu objektu kvalitatīvo un kvantitatīvo rādītāju aprēķinu datu validācija tiek veikta atbilstoši pirmajam etapam – aprēķinu fāze, lai pierādītu, ka visi izmantojamie dati algoritmā, tai skaitā – ieejas, ir ar apmierinošu precizitāti un nav pretrunā ar pētāmo sistēmu, bet parametru vērtības noteiktas precīzi un tiek izmantotas korekti [34] un [49]. Sadales tīkla objekti tiek modelēti ar *MATLAB (SimPowerSystems)*, kas ļauj novērtēt sadales tīklu parametrus (spriegumu, strāvu, aktīvo, reaktīvo un pilno jaudu) pie esošām un papildu slodzēm [50]. Daudzo datu dēļ visa informācija nonāk 3. informācijas blokā, pēc tam tā tiek izmantota analīzei. Galīgais lēmums tiek pieņemts lēmumu pieņemšanas fāzē.

4.3. Algoritma pārbaude. Efektīva pilsētvides elektrotīkla infrastruktūra ar publisko lādēšanas stacijas attīstību

4.3.1. I posms. Risinājums tīkla arhitektūras izvēle

Lai pārbaudītu algoritmu, tika izvēlēts dzīvojamais mikrorajons Rīgā, kurā ir 25 transformatoru apakšstacijas (TS). Mūsu gadījumā esam ieinteresēti noteiktā teritorijā izvietot TS-1 (TR 2×1250/10/0,4 kV), kas nodrošina elektroenerģiju 1656 individuāliem klientiem. TS-1 (TR 2×1250/10/0,4 kV) patērētāji ir: divas biroju ēkas, četri pārtikas preču veikali, 12 dzīvojamo māju (trīsstāvu ēkas ar 12 patērētājiem katrā), 24 dzīvojamās mājas (piecu stāvu ēkas ar 60 patērētājiem katrā), liela autostāvvietā (500 automašīnām), divas ēdināšanas pakalpojumu sniedzēju iestādes, veselības centrs, policijas pārvalde, pasta nodaļa un bērnudārzs. Ielu kopgarums ir 3,1 km.

Ierosinātās metodikas kontekstā objektu un transformatoru apakšstacijas kvantitatīvie rādītāji un ikdienas slodzes diagrammas ir noteiktas visu sezonu darba dienās. Lai veiktu slodzes līkņu simulāciju 24 stundu laikā, no bibliotēkas moduļa ir ņemti elektroenerģijas patērētāju vidējie ikdienas slodzes grafiki, kas sniedz informāciju par trīs fāžu 10/0,4 kV transformatoru tehniskajiem parametriem un objektu slodzes diagrammām no AS *Latvenergo* [51].

Elektroenerģijas patēriņa novērtējums tiek veikts divos soļos.

1. solis: tiek noteikts maksimālais, minimālais un vidējais ikdienas elektroenerģijas patēriņš katrai patērētāju grupai, kā arī slodzes koeficienta un slodzes līknes pārkāpuma koeficients. Sakarā ar to, ka patērētājiem ir ļoti līdzīgs dienas slodzes līknes profils un tiem ir vienādi enerģijas patēriņa tarifu plāni, tika nolemts, ka pētījumus var veikt, izmantojot minēto objektu vispārējos vidējos dienas datus.

Tādējādi tiek veikts pētījums par ziemas sezonas vidējiem dienas datiem. Kvantitatīvi tiek aprēķināta maksimālā (pīķa), vidējā un minimālā pieprasījuma periodu slodze un tās ikdienas lietošanas laiks. Visi faktori, kas raksturo elektroenerģijas slodzi katram patērētājam, kas iegūti aprēķināšanas procesā, parādīti 4.3. tabulā.

Turklāt, pamatojoties uz objektu patēriņu, ir aprēķināta mājāsaimniecību sektora un terciāro sektoru slodze. Informācija ļauj novērtēt lielāko un mazāko slodzi laika intervālos. Saskaņā ar ziemas grafiku dienas grafika periodi ir šādi: mājāsaimniecību nozarei raksturīgs maksimālais patēriņš no plkst. 7.00 līdz 9.21.00 un no plkst. 17.00 līdz 23.00, minimālais patēriņš no plkst. 00.00 līdz plkst. 6.00. Slodzes koeficients ir 0,62. Kravas līknes nepareizības koeficients ir 0,35; komerciālās nozarei maksimālais patēriņš ir no plkst. 8.00 līdz 20.00, minimālais patēriņš – no plkst. 21.00 līdz 8.00. Slodzes koeficients ir 0,75. Kravas līknes neatbilstības koeficients ir 0,49. Visi patēriņa maksimumi notiek no plkst. 8.00 līdz 9.00 un no pulksten 17.00 līdz 20.00, bet minimālais patēriņš notiek no plkst. 00.00 līdz plkst. 7.00. Tad visi kvantitatīvie un kvalitatīvie rādītāji tiek ģenerēti 1. datu blokā.

4.3. tabula

Faktori, kas raksturo elektrisko slodzi patērētājiem

	Household sector			Tertiary sector					
	Dw. house (3-st)	Dw. house (5-st)	Park. lot (for 500 veh.)	Office-indust.	Groc. store	Post office/ police depart.	Cater. service	Kinder garten	Health centre
$S_{\max}, \text{MVA}$	5,37	16,21	3,24	164,57	83,25	7,39	9,24	7,38	13,61
$S_{\min}, \text{MVA}$	8,70	26,27	4,78	221,97	114,69	9,97	12,20	12,25	18,35
$S_{\text{average}}, \text{MVA}$	3,04	9,18	1,83	111,38	40,76	5,00	4,13	4,00	9,21
f_{load}	0,62	0,62	0,68	0,74	0,73	0,74	0,76	0,60	0,74
$f_{\text{irreg.}}$	0,35	0,35	0,38	0,50	0,36	0,50	0,34	0,33	0,50

2. solis: pamatojoties uz saņemtajiem datiem, tiek aprēķināta kopējā objektu slodze un iespējamā papildu slodze. Kopējo objektu slodzi stundā var aprēķināt šādi:

$$\sum_{i=1}^{i=n_c} S_i(t) = n_1 S_1 + n_2 S_2 + n_c S_k, \quad (4.11.)$$

kur n_c – objektu skaits;

S_k – objekta slodze stundā, kVA.

Kopējās objektu slodzes aprēķināšanas rezultāti stundā rāda, ka maksimālais pieprasījums ir no plkst. 17.00 līdz plkst. 21.00. Slodzes koeficients (f_{load}) ir 0,81. Pārkapuma koeficients ($f_{\text{irreg.}}$) ir 0,51.

Kopumā var secināt, ka lielākā slodze pilsētas rajonā novērota no plkst. 7.00 līdz plkst. 23.00, bet minimālā slodze tiek novērota no plkst. 23.00 līdz 7.00.

Tiek lēsts, ka iespējama papildu slodze deviņiem objektiem, lai īstenotu 2. posmu. Šie deviņi objekti tiek izvēlēti, lai vienkāršotu optimizāciju un samazinātu pieprasījuma datu uzlādes un datu apstrādes laiku. Ņemot vērā kopējo objektu slodzi pilsētas teritorijā un transformatoru nominālo jaudu, iespējamo papildu slodzi aprēķina pagaidu ikdienas intervāliem ar 4.1. vienādojumu.

$$S_{\text{add}(t=\text{no } 23.00 \text{ līdz } 07.00)} = 1,4 \cdot 1250 - 1017,23 \cdot 0,9 = 834,49 \text{ kVA};$$

$$S_{\text{add}(t=\text{no } 23.00 \text{ līdz } 07.00)} = 1,4 \cdot 1250 - 1459,99 \cdot 0,9 = 436,00 \text{ kVA}.$$

4.4. tabulā sniegti dati par iespējamo papildu slodzi stundā, t. i., katru stundu var izmantot papildu slodzi.

4.4. tabula

Papildu slodze stundā (ziemā)

	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Sadd, kVA	937.24	957.17	1021	1064.7	1085	1079.7	940.44	748.43	614.03	545.73	514.95	523.38	547.75	547.37	538.12	525.01	507.9	510.44	518.34	481.77	436.01	450.7	645.91	834.49

Tiek izpildīts nosacījums $S_{\text{add}}(t) > 0$, tāpēc pāreja uz 2. posmu tiek veikta lēmuma pieņemšanas fāzē.

4.3.2. II posms. Optimālā modeļa realizācija uzlādes staciju novietojumam

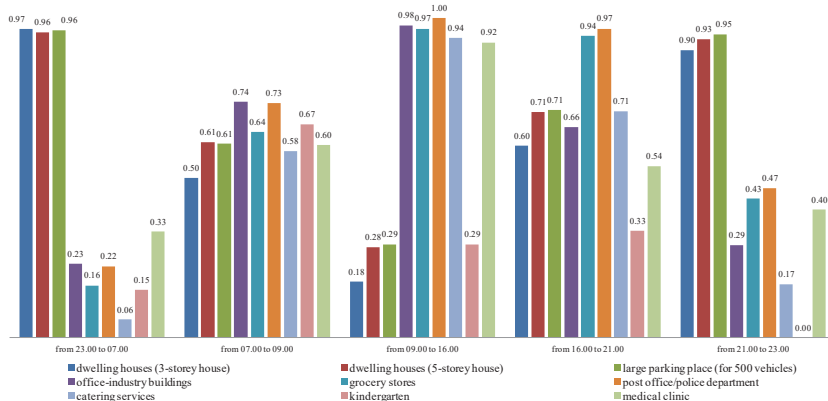
Grupu ievades dati ir šādi:

- Pirmā posma dati. Iespējamā papildu slodze uz TS-1: $S_{add}(t = \text{no } 00.00 \text{ līdz } 23.00) = 436,01 \text{ kVA}$; $S_{add}(t = \text{no } 23.00 \text{ līdz } 07.00) = 834,49 \text{ kVA}$ un $S_{add}(t = \text{no } 07.00 \text{ līdz } 23.00) = 436 \text{ kVA}$; objektu iespējamā papildu slodze;
- autotransporta parks un transportlīdzekļu īpašnieku uzvedība pilsētas rajonā.

Fosilā kurināmā transportlīdzekļu īpašnieki šajā pilsētas rajonā ir: 638 – privātpersonas (transportlīdzekļi, kas pieder privātpersonām – minētā mikrorajona rezidenti) un 71 – juridiskas personas (transportlīdzekļi, kas pieder juridiskām personām – minētā mikrorajona dienesta ēkas). Transportlīdzekļu publisko autostāvvietu atrašanās vietā ir: divas biroju ēkas, četri pārtikas veikali, 12 dzīvojamo māju (trīsstāvu ēkas), 24 dzīvojamās mājas (piecstāvu ēkas), liela autostāvvietā (500 automašīnām), divas ēdināšanas pakalpojumu sniedzēju iestādes, veselības centrs, policijas pārvalde, pasta nodaļa un bērnudārzs.

Autostāvvietā pie policijas departamenta, pasta nodaļas, bērnudārza un pārtikas veikaliem un ēdināšanas pakalpojumiem ir ar ierobežojumu uz noteiktu laiku (bezmaksas autostāvvietā uz vienu stundu), ņemot vērā ierobežoto platību ēku tuvumā (stāvvietu skaits svārstās no 5 līdz 10). Tādēļ publisko uzlādes punktu izvietošana šajā autostāvvietā netiek uzskatīta par nepieciešamu. Pārtikas veikali, ēdināšanas pakalpojumu iestādes būtu ekonomiski ieinteresētas EVCSs novietojumā. Autostāvvietu pieprasījums atbilstoši laika intervāliem ir parādīts 4.4. attēlā.

Autostāvvietu pie dzīvojamām mājām (trīsstāvu ēkas), pasta nodaļām, policijas departamentiem, ēdināšanas pakalpojumu sniedzēju iestādēm un bērnudārziem nevar rekomendēt kā vietas publiskām EVCS, jo tām ir mazāk par 10 stāvvietām. Privātpersonai piederošo ETL dienu nobraukums ir 24,9 km dienā, juridiskai personai – 71,2 km dienā. Tādējādi privātpersonām ir jāizmanto elektrotransportlīdzekļis vienu reizi divās dienās. Nav informācijas par nerezidējošu personu automašīnām (klientu viesiem, kuri dzīvo un strādā citā apgabalā un transportlīdzekļus izmanto pēc nepieciešamības), tāpēc turpmākie aprēķini tiks veikti ar noteikumu, ka maksa par ELT tiks iekasēta katru dienu, lai segtu nobraukuma attālumu – 100 km. Lai iegūtu rezultātus, ir jānosaka to transportlīdzekļu skaits, kas katru dienu varētu tikt integrēti minētā mikrorajona enerģijas sadales tīklā atkarībā no iespējamās papildu slodzes.



4.4. att. Autostāvvietas pieprasījums atbilstoši laika intervāliem.

Lai sasniegtu iepriekšminēto mērķi, tiek pieņemts, ka katrai automašīnai ir identiska akumulatora jauda, $P_{EV_i}^t = 24 \text{ kWh}$ or $S_{EV_i}^t = \sqrt{24^2 + 0^2}$, lai iegūtu rezultātus līdzīgās vienībās.

Elektrotransportlīdzekļu skaits (N_{EV}) tiek aprēķināts pēc 4.4. vienādojuma. Piemēram, minimālā papildu slodze notiek plkst. 20.00; attiecīgi, $N_{EV}^{20.00} = \frac{436,01}{24} = 18$. Tādējādi 432 ETL var tikt integrēti dienā vai 60,9 % no automašīnu parka šajā pilsētas teritorijā.

Iegūtie autostāvvietas pieprasījuma rezultāti ilustrē, ka nosacījums $N_{EV_i}^t > 0$ tiek veikts un ETL integrācija vienā pilsētas rajonā ir šāda:

- no plkst. 7.00 līdz 9.00 minimālais ETL skaits ir 23;
- no plkst. 9.00 līdz 16.00 minimālais ETL skaits ir 21;
- no plkst. 16.00 līdz 21.00 minimālais ETL skaits ir 18;
- no plkst. 21.00 līdz 23.00 minimālais ETL skaits ir 19;
- no plkst. 23.00 līdz 7.00 minimālais ETL skaits ir 35.

Ir svarīgi arī novērtēt objekta papildu slodzi, uzlādēšanas stacijas ierobežojumu režīmu un laiku ($S_{EVCS_i}^t$, kur $t = 0-10 \text{ h}$ un $i = 0-43 \text{ kVA}$). Šo procesu veic, izmantojot *Excel* funkciju *IF*, un tam ir divi salīdzinājuma rezultāti: arguments vērtība_ja_true (*TRUE*), vai arguments vērtība_ja_false (*FALSE*). Iespējamā uzlādes stacijas plānošanas shēma ir paredzēta tikai biroja ēkai, pārtikas preču veikalam, dzīvojamai mājai (piecstāvu ēka), lielai autostāvvietai (500 automašīnām) un veselības centram.

Rezultāti liecina, ka visiem objektiem tiek izpildīti ierobežojumi $10 \geq t > 0$ un $43 \geq S_i \geq 3$, izņēmums – no plkst. 21.00 līdz plkst. 2.00 (*FALSE*) ir tikai lielai autostāvvietai.

Šie priekšmeti prasa detalizētu iztirzājumu, tāpēc nākamais posms ir noteikt uzlādes režīmu un lādēšanas staciju skaitu saskaņā ar ierobežojumiem attiecībā uz publisko elektrotransportlīdzekļu uzlādes stacijām.

Ierobežojumi ir šādi:

I ierobežojums: $t > 1$ (h) un $i \geq 43$ (kVA);

II ierobežojums: $1 \leq t \leq 4,5$ (h) un $7 < i \leq 22$ (kVA);

III ierobežojums: $2 < t \leq 10$ (h) un $3 \leq i \leq 7$ (kVA).

Kontroles rezultātu salīdzinājums ir parādījis, ka lādēšanas process tiks veikts 24 stundās diennaktī, ja EVCS tiks novietotas autostāvvietās šādi:

- dzīvojamā māja (piecstāvu): standarta uzlāde;
- liela autostāvvietā: standarta uzlāde var tikt izmantota tikai 18 stundas diennaktī, bet 24 stundu laikā tā nav pieejama;
- biroju ēka: standarta uzlāde, ātrā uzlāde un super ātrā uzlāde;
- pārtikas veikals: standarta uzlāde, ātrā uzlāde un super ātrā uzlāde;
- veselības centrs: standarta uzlāde un ātrā uzlāde.

Tādējādi ierobežojumi tiek veikti tikai četriem objektiem (lielā autostāvvietā no turpmākajiem aprēķiniem tiek izslēgta), un tagad algoritms nosaka publisko uzlādes staciju skaitu. Lai novērtētu elektrotransportlīdzekļu uzlādes stacijas kopējo skaitu, tiek izmantots 4.5. vienādojums:

$$N_{EVCS} = \frac{9,7 \% \cdot 436,01}{7} + \frac{30,6 \% \cdot 436,01}{22} + \frac{59,7 \% \cdot 436,01}{43} = 18.$$

Tādējādi publisko uzlādes punktu skaits ir 18 (seši katrā režīmā). Turpmākās testēšanas pamatā būs analīze par stāvvietu infrastruktūrā, izmantojot *Excel Solver simplex* metodi. Turpmāk minētie pieņēmumi ir pamatojuši minētās metodes ieviešanu: funkcijas ir lineāras pēc būtības, parametri ir noteikti, un negatīvās vērtības ir nepieņemamas.

Uzlādes infrastruktūras optimālā atrašanās vieta

Uzlādes staciju izvietojuma problēma ir šāda: autostāvvietu objektu atrašanās vieta (C_1 ir dzīvojamā māja (piecstāvu ēka), C_2 ir biroja ēka, C_3 ir pārtikas veikals un C_4 ir veselības centrs), un ir zināmas iespējamās objektu papildu slodzes ($c_1 = 13,13$ kVA, $c_2 = 110,98$ kVA, $c_3 = 57,35$, $c_4 = 9,18$ kVA). Norādīti trīs uzlādes staciju režīmi ($B_1 - StEVCS$, $B_2 - AcEVCS$, $B_3 - RapEVCS$) un papildu slodze EVCS stundā ($b_1 = 18,53$ kVA, $b_2 = 58,25$ kVA, $b_3 = 113,85$ kVA). EVCS vienības slodze ir 7 kVA, 22 kVA, 43 kVA. Tiek pieņemts, ka uzlādes process tiek apskatīts maksimālā pieprasījuma laikā.

Lineārajam problēmai ir formulējums gan mērķim, gan ierobežojumiem.

Optimizācijas problēmai mērķa funkcija ir šāda:

$$F(x) = 18,53x_1 + 58,25x_2 + 113,85x_n \rightarrow \max.$$

$$\begin{aligned}
\text{Ar ierobežojumiem: } & 7x_1 + 22x_2 + 43x_3 \leq 13,13, \\
& 7x_1 + 22x_2 + 43x_3 \leq 110,98, \\
& 7x_1 + 22x_2 + 43x_3 \leq 57,35, \\
& 7x_1 + 22x_2 + 43x_3 \leq 9,18, \\
& x_j \geq 0; j = \overline{1,4}.
\end{aligned}$$

Tagad ir iespējams atrast optimālo risinājumu, izmantojot vienkāršo LP risināšanas metodi.

Pirmais risinājums parādīja, ka tikai stāvvietā dzīvojamo māju rajonā atbilst *Solver* veiktajam optimālām testam. Tāpēc tika veikts otrais tests. Tas parādīja, ka kritēriji ir izpildīti attiecībā uz citiem objektiem, kas tika pētīti.

Lai pareizi izpildītu optimālo risinājumu, ir nepieciešams trešais risinājums, lai apmierinātu visus ierobežojumus. Tika izmantoti pirmā un otrā risinājuma dati. Tādējādi ierobežojumi tika apmierināti, un tika atrasts optimālais risinājums. Citu iespēju nav.

Publisko lādēšanas staciju atrašanās vieta un skaits ir iegūts saskaņā ar transportlīdzekļu novietošanas prasībām un pieļaujamo papildu slodzi uz transformatoru apakšstaciju (sk. 4.5. tab.).

4.5. tabula

Publisko lādēšanas staciju atrašanās vietas un skaits

	Autostāvvietas pie dzīvojamās mājas	Autostāvvietas pie biroju ēkas	Autostāvvietas pie pārtikas veikaliem	Autostāvvietas pie veselības centra	Kopā
<i>StEVCS</i>	7	–	–	1	8
<i>AcEVCS</i>	–	4	–	–	4
<i>RapEVCS</i>	–	2	4	–	6
					18

Pēc optimālās infrastruktūras vietas atrašanās uzlādes slodze (mērķa funkciju vērtība) tiek aprēķināta pēc 4.6. vienādojuma.

$$\sum_{i=1}^{i=n} S_{EVCS}(20.00) = 7 \cdot 8 + 22 \cdot 4 + 43 \cdot 6 = 402 \text{ kVA}.$$

Turpmākās darbības tiek veiktas analīzes posmā. Uzlādes enerģijas patēriņš (S_{EVCS}) ir aprēķināts un salīdzināts ar $S_{add}(t)$ pēc 4.8. vienādojuma.

$$436,01(S_{add}) \geq 402,0 \sum_{i=1}^{i=n} S_{EVCS}.$$

Tādējādi tika konstatēts, ka tiek izpildīts 4.8. vienādojums, kopējā uzlādēšanas staciju slodze ir mazāka nekā papildu slodze, un tests iet uz nākamo posmu.

Siltumnīcas efektu izraisošo gāzu emisiju analīze, pamatojoties uz COPERT 5

Lai analizētu siltumnīcefekta gāzu emisijas izmaiņas šajā pilsētu teritorijā (pasažieru automobiļi un vieglie kravas automobiļi ar iekšdedzes dzinējiem un elektriskām tehnoloģijām), tika piedāvāti šādi trīs scenāriji:

- 1. scenārijs – fosilā kurināmā transportlīdzekļu (FV) tehnoloģiju skaits ir 709 (100 %); transportlīdzekļi ar benzīna dzinēju – 400; transportlīdzekļi ar dīzeļdzinēju – 309;
- 2. scenārijs – FV tehnoloģiju skaits ir 277 (39 %), ETL skaits – 432 (61 %); elektrisko tīklu skaits iepriekš tika noteikts tēzēs; transportlīdzekļi ar benzīna dzinēju – 156, transportlīdzekļi ar dīzeļdzinēju – 121, ETL – 432;
- 3. scenārijs – FV tehnoloģiju skaits ir 509 (71,8 %), ETL skaits – 200 (28,2 %); tālāk tekstā tiks parādīts ETL daudzumu aprēķins; transportlīdzekļi ar benzīna dzinēju – 287, transportlīdzekļi ar dīzeļdzinēju – 222, ETL – 200.

Minimālais ETL skaits, ko var uzskaitīt stundā, kā arī EVCS skaits un režīmi ir noteikti iepriekš, tāpēc 3. scenārijam N_{EV} dienā tiek aprēķināti šādi: 24 (no $StEVCS$) + 32 (no $AcEVCS$) + 144 (no $RapEVCS$) = 200 elektrotransportlīdzekļu. ETL ikdienas nobraukums privātpersonai ir $24,9$ km dienā vai $9088,5$ km gadā, juridiskai personai – $71,2$ km dienā vai 25988 km gadā. Salīdzinot modelēto scenāriju rezultātus un datus par degvielas patēriņu, redzams, ka 1. scenārijs ir visnelabvēlīgākais attiecībā uz transportlīdzekļu degvielas patēriņu un siltumnīcefekta gāzu kontroli. 2. un 3. scenārija analīze ļauj secināt, ka, neraugoties uz līdzīgu transportlīdzekļu skaitu, ir iespējams samazināt degvielas patēriņu un attiecīgo emisiju apjomu, izmantojot elektrotransportlīdzekļus.

Pieejams S_{add} no V2G tehnoloģijas

Pieņemot, ka V2G tehnoloģijas automašīnas tiks izmantotas 2. un 3. scenārijos 10 % apjomā no kopējā EV, V2G/G2V tehnoloģija ir novērtēta kā tāda, kas var palielināt papildu slodzi elektriskā tīklā. Tādā veidā vidējais diennakts transportlīdzekļa nobraukums (privātpersonas un juridiskās personas) ir $29,53$ km dienā, P_{as} ir 30 % un akumulatora jauda (24 kWh) ir izmantota, lai aprēķinātu pieejamo S_{add} no V2G pēc 4.7. vienādojuma.

$$P_{V2G_{storage}} = 24 - 3,6 - 24 \cdot \frac{29,53}{100} = 9,7 \text{ kWh.}$$

Kā gaidīts, 2. scenārijā rezerves enerģija, kas pieejama S_{add} no V2G ir $209,8$ kVA un $97,1$ kVA 3. scenārijā (S_{add} jauniem objektiem, *STAGE 1 DATI*). Jāatzīmē, ka aprēķinā nav iekļauti visi iespējamie nosacījumi elektroenerģijas padošanai atpakaļ uz tīklu. Turklāt V2G tehnoloģijas automašīnas īpašnieks var izmantot rezervēto enerģiju mājāsaimniecības vajadzībām.

Ekonomiskās peļņas analīze no elektrotransportlīdzekļu integrācijas

Ar elektroenerģijas tarifu sistēmas palīdzību, kas diferencēta pa dienas laikiem, ir iespējams stimulēt privātos un juridiskos patērētājus piedalīties elektroenerģijas tirgū. Šobrīd

Latvijas mājāsaimniecībām un citiem lietotājiem ir iespēja izmantot divu un trīs tarifu sistēmu, kas ietver tarifu izmantošanu atbilstoši dienas laikam. Balstoties uz patērētāju reakciju uz ikdienas cenu noteikšanu, patērētājus var klasificēt kā elektrotransportlīdzekļu patērētājus un EVCS patērētājus. Diferencētie tarifi uz elektroenerģijas sadali (bez PVN) tika izmantoti aprēķinos [52].

Pieņemot, ka šīs likmes izmantos elektrotransportlīdzekļu patērētāji, BEV un V2G tehnoloģiju īpašnieki, vienas uzlādes maksas uz 100 km būs šādas:

Uzlādes gadījumā divu tarifu sistēmā:

- nakts zona un brīvdienās (no plkst. 23.00 līdz 7.00) – 0,90 EUR;
- dienas zona (no plkst. 7.00 līdz 23.00) – 1,34 EUR.

Uzlādes gadījumā triju tarifu sistēmā:

- maksimālā stundu zona (no plkst. 8.00 līdz 10.00 un no plkst. 17.00 līdz 20.00) – 3,10 EUR;
- dienas zona (no plkst. 7.00 līdz 8.00, no plkst. 10.00 līdz 17.00, no plkst. 20.00 līdz 23.00) – 2,75 EUR;
- nakts zona un brīvdienās (no plkst. 23.00 līdz 7.00) – 2,57 EUR.

Dienas laikā, ņemot vērā automašīnas vidējo nobraukumu, V2G tehnoloģijas īpašnieks iegulda tīklā 9,7 kWh, vienlaikus saņemot ienākumus 0,39 EUR (kur 1 kWh = 0,04 EUR/kWh). Ja EVCS patērētājus izmanto šīs likmes, piemēram, publiskās ātras uzlādes stacijas stāvlaukumos pie biroju ēkām, būs grūti novērtēt ieņēmumus no viena ETL, jo tas attiecas uz ekonomikas un uzņēmējdarbības pētījumiem. Tādējādi 2. posma rezultāti ir izejas dati par lādēšanas staciju slodzi, to atrašanās vietu, to tipiem un daudzumiem pilsētas zonā (sk. 4.6. tab.), un turpmākā pārbaude pāriet uz 3. posmu.

4.6. tabula

2. posma iegūtie dati

	<i>Number of EVCSs</i>	<i>SEVCS, kVA*</i>
<i>StEVCS</i>	8	56
<i>AcEVCS</i>	4	88
<i>RapEVCS</i>	6	258
<i>Total</i>	18	402

* Minimālā papildu slodze notiek plkst. 20.00.

4.3.3. III posms. TS-1 pārbaude avārijas pārslodzes un normālā darba režīmos

Trešajā posmā salīdzina objektu kopējo slodzi ar pieļaujamo transformatoru slodzi pēc bojājuma un normālā režīmos.

Avārijas pārslodzes: $0,9 \leq 1,34 < 1,4$

Normālā darba režīms: $0,5 < 0,67 < 0,9$

Nosacījumi ir izpildīti, tāpēc pārejām uz 4. posmu.

4.3.4. IV posms. Algoritma apstiprināšana, ņemot vērā elektrisko transportlīdzekļu lādēšanas iekārtu īpašo atrašanās vietu

Ceturtais posms transformatoru apakšstacijas kvantitatīvie un kvalitatīvie rādītāji tiek pārbaudīti atbilstoši diviem nosacījumiem. 1. un 2. datu bloki tiek izmantoti kā ievades dati.

Lai izpildītu pirmo nosacījumu, tiek izmantots šī algoritma 1. posma aprēķina process (tiek aprēķināti vietējā sadales tīkla parametri un koeficienti). Lēmuma pieņemšanas etapā par izejas datiem (2. posma dati) tika noteikta publisko uzlādes staciju atrašanās vieta un tika atklāts, ka publiskās uzlādes stacijas var būt novietotas autostāvvietās pie dzīvojamām mājām, biroju ēkām, pārtikas veikaliem. Tika aprēķināti parametri un koeficienti šiem objektiem, kā arī transformatoru apakšstacijai.

Turklāt visi kvantitatīvie un kvalitatīvie rādītāji tiek ģenerēti 3. datu blokā.

Tādējādi, izmantojot tikai EVCS uzlādēšanas slodzi, parametri un koeficienti ir uzlabojušies:

f_{load} :

- dzīvojamām mājām (piecstāvu ēkas) – no 0,620 līdz 0,621;
- biroju ēkām – no 0,74 līdz 0,78;
- pārtikas preču veikaliem – no 0,73 līdz 0,75;
- veselības centram – no 0,74 līdz 0,81;
- TS-1 – no 0,81 līdz 0,85;

f_{irreg} :

- dzīvojamām mājām (piecstāvu ēkas) – no 0,35 līdz 0,36;
- biroju ēkām – no 0,50 līdz 0,58;
- pārtikas preču veikaliem – no 0,36 līdz 0,41;
- veselības centram – no 0,50 līdz 0,64;
- TS-1 – no 0,51 līdz 0,61.

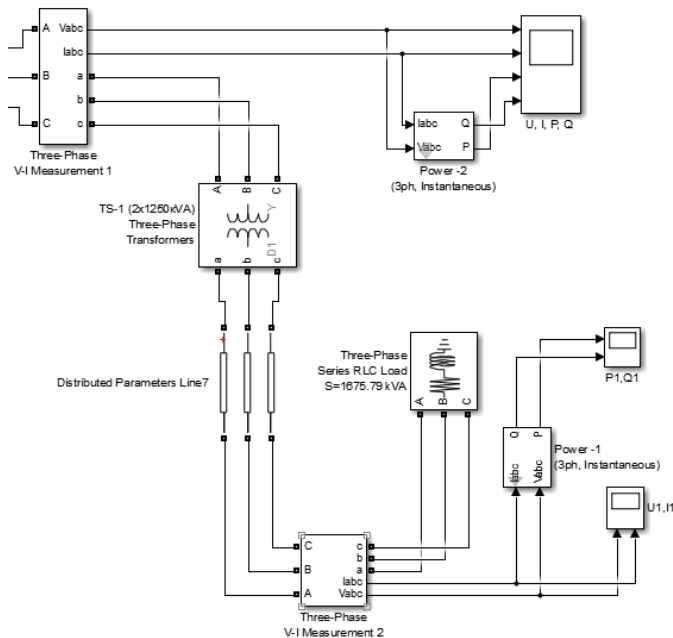
Rezultāti liecina, ka transformatoru apakšstacijas jaudas izmantošanas apjoms un faktori, kas raksturo slodzes objektus, palielinās, un tas nozīmē, ka paaugstinās tīkla drošums un efektivitāte.

Pirms otrā noteikuma izpildes tiek modelēts pilsētas sadales tīkls, izmantojot *Simulink Simscape Power Systems (SimPowerSystems)*. Tādējādi algoritma pārbaudei tika modelēti divi darba režīmi:

- darba režīms A ir esošā pilsētu lokālā tīkla modelis;
- darba režīms B ir tā paša tīkla modelis, kam pievienotas uzpildes stacijas stāvvietās.

4.5. attēlā parādīta 10/0,4 kV apakšstaciju pārbaudes sistēma, kur lokālā tīkla modelī ir iekļauta vietējā tarifikācijas infrastruktūra. Testa rezultātu salīdzinājums bez un ar lādēšanas stacijām parādīja, ka, veidojot uzlādes infrastruktūru pilsētu rajonā, kopējā TS-1 slodze pieaug par 14,8 %, kas nepārsniedz TR 2×1250/10/0,4 kV transformatora apakšstacijas maksimālās pieļaujamās vērtības. Autobusiem apakšstaciju pārmaiņu process visās trīs fāzēs

šobrīd notiek 11,59–13,34 % robežās (pieaugums), spriegums mainās robežās 0,04–0,16 % (ir samazinājums).



4.5. att. Tīkla modeļa daļa (apakšstacija 10/0,4 kV, darba režīms B).

Divu darba režīmu analīzes rezultātiem ir šādas īpašības:

- kvantitatīvie un kvalitatīvie faktori, kas raksturo sadales tīkla slodzi, palielinās, tādējādi palielinot tīkla drošumu un efektivitāti;
- iespējamā papildu slodze pārsniedz lādēšanas staciju kopējo pieprasījumu šajā rajonā; līdz ar to šī slodze nerada tīkla pārslodzes, neietekmē barošanas jaudas kvalitāti un neprasa nomainīt transformatoru apakšstaciju TS-1;
- iegūtie testa rezultāti ilustrē, ka standarta uzlādes stacijas veido 44,5 % no kopējā uzlādēšanas staciju skaita, paātrinātās uzlādes stacijas veido 22,2 % un ātras uzlādes stacijas – 33,3 %. Pie augstas EV izplatības, kad visas EVCS darbojas 24 stundas diennaktī, vidējais diennakts elektroenerģijas patēriņš tiek palielināts par 14,8 %.

Šī algoritma ceturtais posms apstiprina lokālā sadales tīkla energoapgādes drošuma un atbilst Latvijas un Eiropas kvalitātes standartiem. Pārbaude ļauj secināt, ka algoritma metodoloģija iegūst teorētiski derīgus rezultātus.

5. ENERĢIJAS PATĒRIŅA ILGTERMIŅA PROGNOZES ANALĪZE UN ATTĪSTĪBA LATVIJĀ LĪDZ 2030. GADAM

5.1. Modelēšanas sistēma un scenāriji

Prognozes modelēšanā kā atskaites punkti ir šādi galvenie rādītāji: Latvijas esošā un nākotnes enerģētikas sistēma (t. sk. enerģētikas un vides politika); enerģijas patēriņa un energoresursu struktūra nacionālās ekonomikas sektoros, tautsaimniecības energoapgādes sektorā (t. sk. primāro un sekundāro energoresursu daudzums un izmaksas, energoresursu samazināšanas tehnoloģijas, izmešu samazināšana) enerģijas patēriņu un energoresursu struktūra; makroekonomiskie rādītāji pagājušajam posmam no 1990. līdz 2016. gadam un valsts paredzētie dati par ekonomikas attīstību līdz 2030. gadam (iekšzemes kopprodukts (IKP), tautsaimniecības attīstība (pārpalikuma vērtība), dzīves līmenis (mājsaimniecību patēriņš vai izdevumi, t. sk. personisko izdevumu prognozes), iedzīvotāju demogrāfiskā attīstība utt.

Svarīgi atzīmēt, ka faktiskais Latvijas emisiju un autotransporta attīstības dinamikas aprēķins *MARKAL-LV* modelī tiek veikts, izmantojot *COPERT 5* modeli. *COPERT 5* modelī simulē degvielas patēriņu, vidējo nobraukumu un emisiju simulāciju visiem dzinēju veidiem, ņemot vērā stingrākus emisijas standartus Eiropas Savienībā un emisijas degradāciju katalizatora nodiluma dēļ, kā arī karstās, aukstās palaišanas un iztvaikošanas emisijas efektus.

Galvenie rādītāji: pasažieru kilometri gadā; viena automobiļa vidējais nobraukums gadā; transportlīdzekļu kopējais nobraukums gadā, transportlīdzekļu kravas tonn-kilometri/gads. Elektriskie motocikli un mopēdi modeļos nav iekļauti, jo trūkst tehnisko un ekonomisko datu. *BEV* un *PHEV* degvielas patēriņa aprēķinam ir izmantota informācija, kas iesniegta atskaitēs un pētījumos [53]–[56]. Vēsturiskās un prognozētās tendences no 2015. līdz 2030. gadam *BEV* un *PHEV* tehnoloģijām, kas izmantotas pētījumā, ir parādītas 5.1. tabulā.

5.1. tabula

Vēsturiskās un plānotās tendences autotransporta sektorā

Year		Small passenger cars	Medium passenger cars	Large passenger cars	LDV/HDV/ Buses
	Electrical energy stored in batteries	9–12 kWh	12–18 kWh	18–34 kWh	24–180 kWh
2015–2030	BEV Electricity, %	100	100	100	100
	PHEV				
2015	Electricity/Petrol or Diesel, %*	25/75	35/65	45/55	35/65
2020	Electricity/Petrol or Diesel, %*	30/70	40/60	50/50	40/60
2025	Electricity/Petrol or Diesel, %*	35/65	45/55	55/45	45/55
2030	Electricity/Petrol or Diesel, %*	40/60	50/50	60/40	50/50

*Elektroenerģijas un fosilā kurināmā patēriņš procentos.

Tādējādi abu scenāriju atskaites punkts ir atkarīgs no esošajām Latvijas nacionālajām politikām, kā arī no enerģijas un klimata mērķiem 2020. un 2030. gadam. Abos scenārijos ir pierādīts:

- 1. scenārijs. Bāzes scenārijā (*BASE*) tiek pieņemti mērķi, kas koncentrējas uz pašreizējo situāciju ekonomikas nozarēs un to attīstības tendencēm. Transportlīdzekļu parks pēc 2020. gada sāk pāriet uz hibrīda elektriskiem transportlīdzekļiem (benzīns un dīzeļdegviela) un akumulatoru elektriskiem transportlīdzekļiem, kuriem nav īpašas atbalsta politikas. *BEVs* un *PHEVs* attiecība ir šāda: 2020. gadā tas būs 0,07 %, 2020. gadā – 0,4 % un 2030. gadā – 2,15 % no kopējā autotransporta parka. Tādējādi, salīdzinot ar 2015. gadu, kopējais *BEV* un *PHEV* tehnoloģiju skaits 2020. gadā palielināsies 2,4 reizes, 2025. gadā – 13,5 reizes un 2030. gadā – 75,1 reizi.
- 2. scenārijs. *EV_Strategy* scenārijā tiek paredzēts, ka turpmākā autotransporta veidošanās ir balstīta uz elektriskajiem transportlīdzekļiem, kuru īpatsvars ir vismaz 160 000 (20 %) līdz 2030. gadam.
- Plānots pārmaiņu temps strauji pieaugums no 2025. gada līdz 2030. gadam, sasniedzot 15,5 % *EV* un 0,045 % *PHEV* līdz 2030. gadam no kopējā autotransporta parka. Tomēr elektroenerģijas kopējā daļa 2020. gadā būs 0,27 %, 2025. gadā – 2,85 % un 20 % – 2030. gadā no kopējā autoparka.

5.2. Rezultātu analīze un salīdzinājums

Elektromobiļu parka un infrastruktūras izstrādāšana to uzlādei – tas ir risinājums par siltumnīcefekta gāzu izmešu samazināšanu valstī, kas tika apskatīts divos scenārijos.

Bāzes scenārijs ir balstīts uz Latvijas enerģētikas sistēmas faktisko situāciju un elektroautomobiļu parka attīstības tendencēm 2030. gadā. Tādēļ tas tiek uzskatīts par salīdzināšanas sākumpunktu.

Stratēģiskais scenārijs balstās uz to pašu Latvijas enerģētikas sistēmas attīstību, taču pieņemot, ka 20 % autoparka būs elektromobiļi. To var panākt kopējo pasākumu rezultātā, piemēram, motivācijā pirkt elektromobiļus un izveidot pieejamu infrastruktūru un uzlādes tīklus.

Salīdzinot datus, kas doti scenārijos, par elektrotransportlīdzekļu skaitu, promocijas darba autore ieguvusi šādus rezultātus:

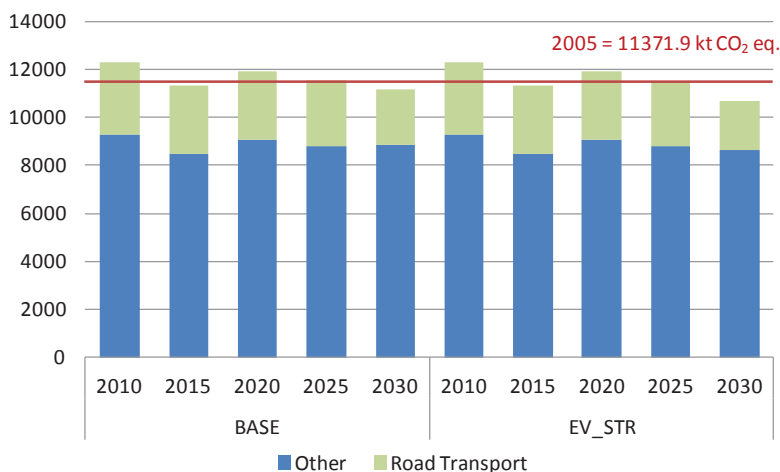
- **2020. gads:** scenārijā *EV_STR BEV* skaits ir četras reizes lielāks, savukārt *PHEV* skaits ir 2,2 reizes lielāks nekā *BASE* scenārijā;
- **2025. gads:** scenārijā *EV_STR BEV* skaits ir 7,9 reizes lielāks, savukārt *PHEV* skaits ir 4,5 reizes lielāks nekā *BASE* scenārijā;
- **2030. gads:** scenārijā *EV_STR BEV* skaits ir 8,9 reizes lielāks, savukārt *PHEV* skaits ir 10,6 reizes lielāks nekā *BASE* scenārijā.

EV_STR scenārijā transportlīdzekļu struktūru raksturo ne tikai lielāka *BEV* un *PHEV* daļa, bet arī atšķirība *PHEV* tehnoloģiju izmantošanā, salīdzinot ar *BASE* scenāriju. *BASE* scenārijā dominē *PHEV*, kas izmanto benzīnu – 19 % *PHEV* (benzīns) un 1 % *PHEV* (dīzeļdegviela),

savukārt *EV_STR* scenārijā dominē *PHEV*, kas izmanto dīzeļdegvielu – 9 % *PHEV* (benzīns) un 13 % *PHEV* (dīzeļdegviela).

Salīdzinot autotransporta elektroenerģijas patēriņa rezultātus 15 gadu laikā, scenārijā *EV_STR* patēriņš pieaug vairāk nekā 12 reizi, salīdzinot ar *BASE* scenāriju. Šī atšķirība ir saistīta ar autopārvadājumu parku struktūru; scenārijos galvenokārt tiek izmantota ETL daļa. Kopējais elektroenerģijas patēriņš scenārijā *EV_STR* ir lielāks par 0,00058 % (0,013 PJ) 2020. gadā nekā *BASE* scenārijā un 2030. gadā – par 5,3 % (1,4 PJ).

Modelēšanas rezultāti liecina, ka kopējais siltumnīcefekta gāzu emisijas no autotransporta abos scenārijos 2030. gadā samazināsies, salīdzinot ar 2005. gadu (5.1. attēls). Tomēr, salīdzinot *EV_STR* scenāriju ar *BASE* scenāriju, tika konstatēts, ka siltumnīcefekta gāzu kopējās emisijas samazinās par 0,7 %, bet autotransporta nozarē – par 0,27 % 2020. gadā un par 0,42 % un 1,86 % – 2025. gadā un 4,59 % un 13,65 % attiecīgi 2030. gadā.



5.1. att. SEG emisiju salīdzinājums divos scenārijos, 2010.–2020. g., kt CO₂ ekv.

Abu scenāriju salīdzinājums attiecībā uz 2005. gadu ļauj secināt:

- **2020. gadā** – bāzes scenārijs ietver fosilā kurināmā patēriņa pieaugumu par 3,30 % un siltumnīcefekta gāzu emisiju pieaugumu par 5,02 %;
- **2030. gadā** – bāzes scenārijā fosilā kurināmā patēriņš samazināsies par 23,49 %, SEG emisijas samazināsies par 1,80 %;
- **2020. gadā** – *EV_STR* scenārijs ietver fosilā kurināmā patēriņa pieaugumu par 3,26 % un siltumnīcefekta gāzu emisiju palielinājumu par 4,18 %;
- **2030. gadā** – *EV_STR* fosilā kurināmā patēriņš samazināsies par 27,19 %, SEG emisijas samazināsies par 9,69 %.

Salīdzinot modelēto scenāriju rezultātus, var novērot, ka *EV_STR* scenārijs ir vispiemērotākais, lai izpildītu valsts mērķus 2020. un 2030. gadam, jo tas līdz 2030. gadam ļauj sasniegt līdz 9,69 % mazāk nekā 2005. gadā, bet *BASE* scenārijs – tikai 1,8 %.

SECINĀJUMI

Pētījumi parādīja, ka, īstenojot Latvijas nacionālos attīstības plānus, īpaša uzmanība jāpievērš autotransporta apakšnozarei, kur daudzu gadu laikā ir novērots ikgadējā enerģijas patēriņa un siltumnīcefekta gāzu pieaugums. Promocijas darbs ir veltīts jautājumam, kā attīstīties transportlīdzekļu parki ar dzinējiem, kas strādās ar alternatīvām degvielām (automobiļi ar hibrīdveida dzinējiem, tīrajiem elektrodzinējiem utt.). Svarīgi samazināt fosilā kurināmā izmantošanu un kaitīgo izmešu gāzu daudzumu.

Autotransporta parka analīze liecina, ka pieaugošo pieprasījumu pēc elektromobiļiem Latvijā un pasaulē šobrīd stimulē valdības ar subsīdijām, atbrīvojot tās no nodevām un maksas par stāvvietām.

Turklāt, neskatoties uz pieaugošo uzmanību lādēšanas staciju infrastruktūras attīstībai, Latvijā joprojām nav atrisināti vairāki teorētiski un praktiski jautājumi, kas izskaidrojams ar reālu praktisku datu trūkumu par automobiļu elektroenerģijas patēriņu un nobraukumu katrā uzlādē. Tas saistīts arī ar zema sprieguma sadales tīklu izpēti kontekstā ar to mijiedarbību ar elektrības uzlādes stacijām (kā jauniem elektroenerģijas patērētājiem).

Vairāku sadzīves un pakalpojumu sektora objektu sezonālā un ikdienas enerģijas patēriņa analīze ar uzstādītajām lādēšanas stacijām, kā arī tarifu iespējamo diferencēšana diennaktī, parādīja, ka ar elektroenerģijas tarifu sistēmas palīdzību ir iespējams stimulēt privātos un juridiskos patērētājus piedalīties enerģijas tirgū. Ēku (objektu) īpašnieki, kas piedāvās uzlādes stacijas pakalpojumus no saviem sadales tīkliem, varētu gūt ekonomisku ieguvumu.

Šajā nolūkā jāņem vērā vairāki faktori: lādēšanas staciju aprīkojuma izmaksu novērtēšana, tās pareiza uzstādīšana lokālajā tīklā un precīzs pētījums par iespējamo ekonomisko peļņu no šāda ieguldījuma enerģijas tirdzniecības uzņēmumā.

Šajā pētījumā tika izskatīta un pārbaudīta lokālā sadales tīkla algoritma struktūra atbilstoši elektromobiļu uzlādes stacijām. Visos četros posmos konkrētie uzdevumi ir atrisināti un īstenoti. Lai pilnīgi un precīzi parādītu pētījuma algoritmu, tas tiek parādīts kopā ar testa.

Testēšanas rezultāti ļauj secināt, ka algoritma metodoloģija iegūst teorētiski pamatotus rezultātus.

Piedāvātais algoritms ļauj izpētīt dzīvojamo rajonu vietējo sadales tīklu un iegūt optimālu risinājumu infrastruktūras izveidošanai tā rajona teritorijā saskaņā ar iedzīvotāju (elektromobiļu īpašnieku) prasībām, vienlaikus nodrošinot energoapgādes tīkla drošumu pilsētu vai lauku teritorijā.

Latvijas ilgtermiņa enerģijas patēriņa (līdz 2030. gadam) prognozes analīze liecina, ka pašreizējā valsts attīstības tendence liecina par labu sniegumu, lai sasniegtu savus valsts nacionālos mērķus enerģētikas sektorā. Stratēģiskajā scenārijā ir apskatīti priekšnoteikumi, kas varētu paātrināt elektromobiļu lietošanu, kas ir pozitīva ietekme nākotnē. Scenārija rezultāti ļauj secināt, ka ir iespējams samazināt fosilā kurināmā patēriņu un siltumnīcefekta gāzu emisijas, pateicoties efektīvai elektromobiļu izmantošanai. Ja tiks īstenots stratēģiskais scenārijs, valsts klimata un enerģētikas saistības tiks sasniegtas līdz 2030. gadam.

TURPMĀKIE PĒTĪJUMI

Šis pētījums atklāja vairākas iespējas tālākiem pētījumiem.

Pirmkārt, pētījumā aprakstītais jaunais algoritms jāadaptē esošajam sadales tīklam un plānošanas instrumentiem to piemērošanai nākotnē.

Otrkārt, ir nepieciešams izveidot blokus, kuros viedais tarifu plāns 24 stundu laikā regulē elektromobiļa uzlādi. Tas ļaus teorētiski novērtēt uzlādi jebkurā laikā un piedāvāt uzlādi tajā laikā, kad patērētāju pieprasījums pēc elektroenerģijas tīklā ir mazs. Viedais tarifu plāns samazinās izmaksas elektrotransportlīdzekļu īpašnieku maksājumam, tiks kontrolēti citi uzņēmumi citos šajā rajonā izvietotajos parkos un samazinās elektroenerģijas pieprasījumu maksimuma laikos, tādējādi nodrošinot sadales tīkla darbības elastību, stabilitāti un drošumu.

Treškārt, turpmākajos pētījumos ir plānots izveidot jaunu bloku, kurā, aprēķinot papildu jaudu šajā teritorijā, tiks aprēķināta un ņemta vērā atjaunojamās enerģijas avotu (piemēram, saules, vēja enerģijas un citu) ražošana, nosakot papildu jaudas šajā rajonā.

Ceturtkārt, algoritms ņem vērā trīs pamatkritērijus, piemēram, transportlīdzekļu īpašnieku uzvedību, pilsētu infrastruktūru un energoapgādes sistēmu. Turpmākajā pētījumā šo algoritmu var paplašināt ar vairākiem papildu faktoriem un kritērijiem, lai uzlabotu situācijas piemērošanu reālā laikā.

Autore labprāt atbalstītu vai piedalītos tālākos pētījumos ar ieinteresētajām pusēm.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] BP Statistical Review of World Energy June 2017. 52 p. Web site: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>.
- [2] Latvia's National Inventory Report. Submission under UNFCCC and the Kyoto Protocol. Common Reporting Formats (CRF). 1990 – 2016. 2018. 492 p.
- [3] Eiropas Komisijas paziņojums Eiropas Parlamentam, padomei un Eiropas ekonomikas un sociālo lietu komitejai. Eiropas tīru un energoefektīvu transportlīdzekļu stratēģija. Briselē, 28.4.2010 15. p.
- [4] BP Statistical Review of World Energy – underpinning data 1965-2016. Web site: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- [5] Centrālā statistikas pārvalde. (Central Statistical Bureau). Statistikas datubāze. Energobilace. Web site: <http://www.csb.gov.lv/en>.
- [6] 2020 climate & energy package. Web site: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en.
- [7] 2030 climate & energy framework. Web site: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en#tab-0-0.
- [8] Latvijas Nacionālajā attīstības plānā 2014.-2020.gadam. Rīgā 2012.gada 20.decembrī. Latvijas Vēstnesis, 6 (4812), 09.01.2013. OP numurs: 2013/6.11. 45. lpp.
- [9] Eiropas Komisijas 03.03.2010. paziņojuma “Eiropa 2020” Stratēģija gudrai, ilgtspējīgai un integrējošai izaugsmei” COM(2010) 2020 galīgā redakcija. 35. lpp.
- [10] EnergyPlan. Global and International Energy System Tools. www.energyplan.eu/othertools/global
- [11] Klavs G., Kudrenickis I., Reķis J. Development of Latvia Greenhouse Gas Reduction Policy: Modelling and Analysis. 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, resort Albena, Bulgaria. Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-38-4/ ISSN 1314-2704; Book 4, 2015, 921–932. pp.
- [12] Global EV outlook 2017. Two million and counting. © OECD/IEA 2017.
- [13] Statista. The Statistics Portal. Web site: <http://www.statista.com/statistics/270603/worldwide-number-of-hybrid-and-electric-vehicles-since-2009/>.
- [14] Chargemap. Statistics about charge points. Web site: <https://chargemap.com/stats>.
- [15] International Organization for Standardization (ISO). Road vehicles – Vehicle to grid communication interface -- Part 1: General information and use-case definition. ISO 15118-1:2013. Technical Committee: ISO/TC 22/SC 31, ICS: 43.120: Geneva, Switzerland, 2013. 65. p. <https://www.iso.org/standard/55365.html> (2013).
- [16] International Organization for Standardization (ISO). Road Vehicles—Vehicle-to-Grid Communication Interface—Part 2: Network and Application Protocol Requirements; ISO 15118-2:2014; Technical Committee: ISO/TC 22/SC 31, ICS: 43.120 Electric road vehicles: Geneva, Switzerland, 342. p. <https://www.iso.org/standard/55366.html> (2014).
- [17] The International Electrotechnical Commission (IEC). Electric Vehicle Conductive Charging System. Part 1: General Requirement; IEC 61851-1:2010; ISBN 978-2-88912-222-6, 99. p. (2010).
- [18] 18 Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia. Open tender of Climate Change Financial Instrument. Web site: http://www.varam.gov.lv/lat/darbibas_veidi/KPFI/projekti/?doc=17817.
- [19] Latvenego.Uzlādes punktu karte. Web site: https://www.latvenego.lv/lat/iepirkumi_konkursi_piedavajumi/e_transporta_uzlades_punktu_karte.
- [20] Road Traffic Safety Directorate of the Republic of Latvia (CSDD). Web site: <http://www.e-transporta.org/index.php/tutorials-menu-48>.
- [21] Rubenis A., Berjoza D., Grīslis A., Francis I. Latvijas nacionālā elektrotransportlīdzekļu uzlādes tīkla izveidošanas analīze. Rīga, 2016. 70 lpp. Web site: <http://www.tf.llu.lv/getfile.php?id=5315>.

- [22] Grackova L., Oleinikova I., Klavs G. Modelling the location of charging infrastructure for electric vehicles in urban areas. The 17th International Multi-Conference. Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'17). Transport and Telecommunication Institute. 18–21 October, Riga, Latvia, 2017.
- [23] Grackova L., Zhiravetska A., Oleinikova I., Klavs G. Aspects of effective urban electrical network infrastructure development for the introduction of electric vehicles charging stations. 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) Riga & Mežotne, Latvia, October 12–13, 2017.
- [24] Grackova L., Oleinikova I., Klavs G.. Algorithm-based analysis for the charging stations impact evaluation on the low-voltage distribution networks. Proceedings of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2015 September 12–14, 2017, Stara Lesna, Slovak Republic. pp. 580–584.
- [25] V. Kholyanov, O.Kholyanova. The power supply of non-industrial objects: Study guide. Vladivostok. 2007. p. 121.
- [26] A.Vanags. Electrical networks and systems. Part I. Riga. Petergailis, 1995. p. 438.
- [27] Watkins, G. P. (1915). “A Third Factor in the Variation of Productivity: The Load Factor”. American Economic Review (American Economic Association) 5 (4): 753–786. Retrieved December 5, 2012.
- [28] A. A. Fedorov. Basics of power supply of industrial enterprises. M.: Energia, 1972. p.416.
- [29] The load consumption database. Web site: www.latvenergo.lv/portal/page/portal/Latvian/Sad_tikls/Tipveida+grafiki_jauns.htm.
- [30] H.Markiewicz, A. Klajn. Power Quality Application Guide. Voltage Disturbances Standard EN 50160. Copper Development Association. United Kingdom. 2004. p.16. <http://www.cdtechnics.be/542-standard-en-50160-voltage-characteristics-in.pdf>
- [31] Latvijas energostandarts LEK-139 “Prasības 1 kV elektrotīkla projektēšanai un būvniecībai”. Latvijas Elektrotehniskā komisija (LEK). 2.izdevums, Reģistrācijas nr. 183. Datums: 22.04.2013. Rīga. 37. lpp.
- [32] Latvenergo AS. Existing and possible Latvian Electrotechnical Commission's energy standards. web site: http://www.latvenergo.lv/lat/par_mums/normativie_dokumenti/lek_energostandarti/.
- [33] Centrālā statistikas pārvalde (CSP). Datubāze. Transports un tūrisms. Web site: <http://www.csb.gov.lv/dati/statistikas-datubazes-28270.html>.
- [34] Bill Brown, P. E., Square D Engineering Services. Section 3: Load Planning. Web site: http://static.schneider-electric.us/assets/consultingengineer/appguidedocs/section3_0307.pdf.
- [35] Rigas satiksme. www.rigassatiksme.lv/en/services/parking-services/parking-services/.
- [36] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Road transport. 30.09.2016. 153. p. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016> (2016).
- [37] “Tiešo un netiešo SEG emisiju aprēķinu veikšana transporta sektorā par 2016. gadu un pārrēķinu sagatavošana par 1990.–2015. gadu un SEG prognožu sagatavošana enerģētikas, transporta, rūpniecisko procesus sektoros”. VARAM (2017).
- [38] Riga Smart City sustainable Energy Action Plan for 2014-2020. Decision 1358. 131 p. Web site: http://www.rea.riga.lv/files/RIGA_SMART_CITY_SEAP_2014-2020_EN.pdf (2014).
- [39] International Organization for Standardization (ISO). Road vehicles – Vehicle to grid communication interface - Part 1: General information and use-case definition. ISO 15118-1:2013. Technical Committee: ISO/TC 22/SC 31, ICS: 43.120 : Geneva, Switzerland, 2013. 65. p. Web site: <https://www.iso.org/standard/55365.html> (2013).
- [40] International Organization for Standardization (ISO). Road Vehicles—Vehicle-to-Grid Communication Interface—Part 2: Network and Application Protocol Requirements; ISO 15118-2:2014; Technical Committee: ISO/TC 22/SC 31, ICS: 43.120 Electric road vehicles; Geneva, Switzerland, 342. p. Web site: <https://www.iso.org/standard/55366.html> (2014).
- [41] The International Electrotechnical Commission (IEC). Electric Vehicle Conductive Charging System. Part 1: General Requirement; IEC 61851-1:2010; ISBN 978-2-88912-222-6, 99. p. (2010).

- [42] California's Advanced Clean Cars Midterm. Review Appendix C: Zero Emission Vehicle and Plug-in Hybrid Electric Vehicle Technology Assessment. California Environmental Protection Agency. Air Resources Board. January 18, 94. p. (2017).
- [43] AS Sadales tīkls. Rates. Web site: www.sadalestikls.lv.
- [44] Innokenti V. Semoushin. Linear Programming: Computer Interactive Course. Shake Verlag, 2002. – 125 p.
- [45] Акулич, И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах /И. Л. Акулич. – М. : Высшая школа, 1986. – 317 с.
- [46] EMISIA SA.COPERT 5. Web site: <http://emisia.com/products/copert/copert-5>.
- [47] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Web site: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- [48] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016. 30 Sep 2016. Web site: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>.
- [49] Lucas, F. Bonavitaola, E. Kotsakis, G. Fulli. Grid harmonic impact of multiple electric vehicle fast charging. Electric Power Systems Research. Volume 127, October 2015, 13–21. p. p. Web site: http://ac.els-cdn.com/S0378779615001534/1-s2.0-S0378779615001534-main.pdf?_tid=330fb8e4-1c3a-11e6-8013-00000aacb361&acdnat=1463494877_254e955275b0e8ee5ab80c51c0182ff6a.
- [50] MathWorks. Simulink Simscape Power Systems (SimPowerSystems). Web site: <https://uk.mathworks.com/products/simpower.html>.
- [51] Available Latvian Transmission System Operator web site: http://www.ast.lv/eng/power_system/current_situation_in_power_system/planned_and_actual_demand__net_exchange_and_production/.
- [52] Sadales tiklis AS. Electricity traders for legal entities. Web site: <https://www.sadalestikls.lv/tarifi/speka-esosie-tarifi/>.
- [53] Simoes S., Nijs W., Ruiz P., Sgobbi A., Radu D., Bolat P, Thiel C., Peteves S. The JRC-EU-TIMES model – Assessing the long-term role of the SET Plan energy technologies. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2013. 376 pp.
- [54] Clean Technica. Web site: <https://cleantechnica.com/>.
- [55] Plugin Cars. Web site: <http://www.plugincars.com/>.
- [56] 2017 Government GHG conversion factors for company reporting. Methodology Paper for Emission Factors Final Report. August 2017. 138 p. Web site: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/650244/2017_methodology_paper_FINAL_MASTER.pdf.