

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte

Enerģētikas institūts

Ļubova PETRIČENKO

Enerģētikas un elektrotehnikas doktora programmas studente

**PILSĒTAS TĪKLU PARAMETRU IZVĒLES TEHNISKI
EKONOMISKAIS PAMATOJUMS TIRGUS CENU APSTĀKĻOS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji

Dr. sc. ing., asoc. profesore

S. GUSEVA

Dr. habil. sc. ing., profesors

A. SAUHATS

Rīga 2014

Petričenko Ļ. Pilsētas tīklu parametru izvēles tehniski ekonomiskais pamatojums tirgus cenu apstākļos. Promocijas darba kopsavilkums – R.: RTU, 2014.– 42 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Promocijas padomes P-05 (Enerģētika) 2014. gada 13. novembra lēmumu Nr. 16/14



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

Šis darbs izstrādāts ar Valsts pētījumu atbalstu programmās "Energoefektīvi un oglekļa mazietilpīgi risinājumi drošai, ilgtspējīgai un klimata mainību mazinošai energoapgādei (LATENERGI)" atbalstu

Šis darbs izstrādāts ar atbalstu projektā Nr. 2 "Energosistēmas attīstības plānošanas un enerģijas ražošanas, tirgošanas un sadales optimizācija"

ISBN 978-9934-10-629-3

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2014. gada 27. novembrī Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 306. auditorijā, plkst. 16.00.

OFICIĀLIE OPONENTI

Profesore, *Dr. sc. ing.* **Inga Zicmane**
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr. sc. ing. **Aleksandrs Gavrilovs**,
AS „Sadales tīkls”, elektroinženieris

Dr. sc. ing. **Roberts Neimanis**,
Application Specialist, Megger Sweden AB, Stokholma, Zviedrija

APSTIPRINĀJUMS

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

Ļubova Petričenko (Paraksts)

Datums

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā, darbs satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, kā arī literatūras sarakstu. Darba kopējais apjoms ir 178 datorsalikuma lappuses (tajā skaitā pielikumi, kas sastāv no 47 lappusēm). Darbā iekļautas 16 tabulas un 78 attēli. Literatūras sarakstā iekļauti 118 izmantotās literatūras avoti.

SATURS

DARBA VISPĀRĒJAIS RAKSTUROJUMS	6
Darba aktualitāte	6
Darba mērķis un uzdevumi	7
Promocijas darba zinātniskā novitāte	7
Izmantotās metodes un rīki	7
Promocijas darba praktiskā nozīme	8
Autora personiskais ieguldījums veiktajos pētījumos	8
Pētījumu rezultātu aprobācija	8
Promocijas darba forma, struktūra un saturs	10
1. LATVIJAS UN RĪGAS PILSĒTAS ELEKTROAPGĀDES SISTĒMAS RAKSTUROJUMS	11
1.1. Latvijas energosistēmas raksturojums	11
1.2. Rīgas elektroapgādes sistēmas (REAS) raksturojums	12
1.3. Rīgas elektroapgādes sistēmas attīstības perspektīvas	12
1.4. Pilsētu elektroapgādes uzdevuma nostādne un matemātiskais formulējums	13
1.4.1. Prasības elektroapgādei	13
1.4.2. Optimizācijas uzdevuma nostādne, dekompozīcija un shēma	14
2. LIELPILSĒTU UN TO RAJONU SLODZES UN ENERĢIJAS CENU APRĒĶINU UN PROGNOZĒŠANAS METODES	14
2.1. Pilsētu un to rajonu slodzes noteikšanas metodes	15
2.1.1. Dažāda sprieguma pakāpju summārās elektriskās slodzes noteikšana	15
2.1.2. Precizētā slodzes blīvuma metode	17
2.2. Slodzes un enerģijas cenu prognozēšanas metodes	18
2.2.1. Slodzes prognozēšanas piemērs, izmantojot scenāriju metodi	18
2.2.2. Slodzes prognozēšanas piemērs, izmantojot neironu tīklus	19
2.2.3. Elektroenerģijas cenu prognozēšanas piemērs, izmantojot neironu tīklus	19
3. SLODZES BLĪVUMA ANALĪZE RĪGAS PILSĒTAS TERITORIJĀ	20
3.1. Apakšstaciju slodzes blīvumu veidošanās teorētiskais pamatojums	20
3.2. Apakšstaciju apkopes zonu un slodzes blīvuma korekcija	21
3.3. Pilsētas rajonu (mikrorajonu) slodzes blīvumu kartogrammu veidošana	24
3.3.1. Imantas mikrorajona slodzes blīvumu kartogrammas veidošana	24
3.3.2. Apakšstacijas „Zunda” baroto mikrorajonu slodzes blīvuma kartogrammas veidošana	25
4. ELEKTRISKO LĪNIJU OPTIMĀLO ŠĶĒRSGRIEZUMU IZVĒLES METODES TIRGUS EKONOMIKAS APSTĀKĻOS	27
4.1. Ekonomiskā strāvas blīvuma un ekonomisko intervālu metožu apskats	28
4.2. Ekonomisko intervālu metodes modifikācija	29
4.2.1. Ekonomisko intervālu metodes modifikācija gaisvadu līnijām un nomogrammu konstruēšana šķērsriezumu racionālai izvēlei	29
4.2.2. Ekonomisko intervālu metodes modifikācija kabeļu līnijām un nomogrammu konstruēšana šķērsriezumu racionālai izvēlei	32
4.3. Ekonomisko intervālu metodes realizācija MATLAB vidē	33

5. STOHAŠTISKĀ PIEEJA AUGSTSPRIEGUMA LĪNIJU PARAMETRU IZVĒLEI	34
5.1. Stohastiskās pieejas matemātiskais formulējums	34
5.2. Piedāvātās pieejas būtība un realizācijas algoritms	35
5.3. Stohastiskās pieejas izmantošanas piemērs augstsprieguma līnijas šķērsgriezuma izvēlei.....	36
5.3.1. 110 kV GL šķērsgriezuma izvēles piemērs	37
5.3.2. 330 kV GL šķērsgriezuma izvēles piemērs	38
KOPĒJIE SECINĀJUMI.....	39
BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS	40

Darba vispārējais raksturojums

Darba aktualitāte

Lielpilsētu elektroapgādes sistēmas ir valsts vai tās reģiona energosistēmas sastāvdaļa. Lielpilsētu elektroapgādes sistēmu (LEAS) radīšanu, to struktūru un parametru optimizācijas analīzes nepieciešamību nosaka pilsētu skaita, to teritoriju, iedzīvotāju dažādās valstīs, elektroenerģijas patērētāju sastāva un uzstādītās jaudas intensīvā dinamika, turpinoties sadzīves elektrificēšanai, apkalpošanas sfēras uzlabošanai un iedzīvotāju dzīvības procesu norises nodrošināšanai.

Pilsētu elektrisko tīklu specifiku raksturo daudzveidīgs patērētāju sastāvs: dzīvojamās mājas, rūpniecības, komunālie un sadzīves uzņēmumi, elektrificēts pilsētas un maģistrālais transports un citi. Patērētāju grupas būtiski atšķiras pēc patērētāju jaudas, darba režīmiem, prasībām pret elektroenerģijas kvalitāti un elektroapgādes nepārtrauktību. Apakšstaciju izvietojumā un elektropārvades līniju izbūvē jāievēro arhitektūras, pilsēt būvniecības, ekoloģiskie ierobežojumi un iedibinājušās pilsētplānošanas tradīcijas. Pilsētu elektroapgādes sistēmu projektēšanas uzdevuma izpildē apgrūtināta lielie normatīvo aktu apjomi vai sākuma informācijas trūkums. Energoapgādes sistēmai jānodrošina vairākas savstarpēji pretrunīgas prasības: ekonomiskums, drošums, ekspluatācijas elektrodrošība, nepieciešamā elektroenerģijas kvalitāte [1–3].

Veidojot un attīstot elektriskos tīklus, jāievēro pakāpeniskās attīstības iespējas gan pēc apakšstaciju transformatoru jaudām un elektropārvades līniju caurlaides spējas, gan pēc barojošo tīklu spriegumiem. Minētie faktori nosaka elektrotīklu pastāvīgu attīstību laikā un telpā, kā arī lielpilsētu elektroapgādes sistēmu elektrisko slodžu pieaugumu.

Jaunu elektrotīklu radīšana, kā arī esošo paplašināšana vai rekonstrukcija prasa ievērojamus materiālos, naudas un darba resursus. Tie ir nepieciešami elektrotehniskā aprīkojuma, būvdarbu, montāžas un ierīkošanas, kā arī citu darbu izpildei. Jāņem vērā, ka līdzekļi celtniecībai un enerģijas objektu rekonstrukcijai nenodrošina ekonomisku peļņu līdz to ekspluatācijas brīdim. Tādēļ jāveic tehniski ekonomiskie novērtējuma aprēķini, nosakot līdzekļu savstarpējo samēru jaunu energoobjektu celtniecībai un esošo rekonstrukcijai.

Sarežģītas dinamiskas LEAS optimālā attīstība prasa dziļu zinātnisku pētījumu veikšanu, izmantojot sistēmanalīzes metodes, ņemot vērā aprīkojuma raksturlielumu izmaiņu dinamiku un patērētāju slodžu pieaugumu visai pilsētas elektroapgādes sistēmai. Optimālās attīstības un pilsētu tīklu racionālās izbūves uzdevumu atrisinājuma sarežģītība izskaidrojama ar to, ka tie tiek veikti nepilnīgas un nenoteiktas informācijas apstākļos par atsevišķu objektu ekspluatācijas sākšanas termiņiem, neesot ticamiem datiem par nākamo patērētāju slodzēm un izstrādātai detalizētai apbūvei atsevišķos pilsētas rajonos [4–6].

Šajos apstākļos optimālās LEAS attīstības kompleksveida uzdevuma atrisinājums kā globālai sistēmai izrādās grūti realizējams. Lēmuma meklējumos kompleksveida uzdevums sadalās vairākos lokālos optimizācijas uzdevumos, ievērojot prasības, kuras rodas no globālās un citu ārēju sistēmu puses lokālai sistēmai. Pie šāda nosacījuma atsevišķas apakšsistēmas optimālais plāns ar zināmu relatīvo kļūdu ietilpst kā sastāvdaļa globālās sistēmas optimālajā attīstības plānā.

Šo uzdevumu atrisināšanai veltīts ļoti daudz darbu un izstrādāti daudzi rīki. Ievērojamu ieguldījumu šajā virzienā devuši gan ārvalstu, gan Latvijas zinātnieki: Z. Krišāns, A. Vanags, A. Sauhats, E. Vanzovičs, K. Lariņš, R. Zebergs, S. Guseva, I. Oļeiņikova, V. Bloka, V. Kozlovs, V. Ideļčiks, J. Koņuhova, I. Tuļčins, J. Astahovs, V. Veņikovs, P. Grudinskis, J. Priklonskis, G. Pospelovs, E. Zujevs, D. Faibisovičs, V. Neimane un citi. Enerģētikas problēmu sarežģītība un tehnisko resursu ierobežotība, iespējams, bija par iemeslu tam, ka vairums no 20. gadsimtā veiktajiem zinātniskajiem darbiem aprobežojas ar stipri vienkāršotām optimizācijas uzdevumu nostādņēm. Kā arī ir novecojuši metodiskie

norādījumi, tehniskie normatīvi un tradicionālās risināšanas metodes. Rezultātā ir nepieciešamas izmaiņas un verifikācijas tradicionālo un eksistējošo pieeju piemērotībai.

Šis promocijas darbs veltīts lielpilsētu elektroapgādes sistēmu racionālas izveidošanas atsevišķu uzdevumu risinājumam Rīgas pilsētas (Latvijas galvaspilsētas) piemērā. Uzrādītā un tehniski un ekonomiski pamatotā parametru izvēle ir svarīgs posms pilsētu elektrisko tīklu racionālā projektēšanā. Šis jautājums ir aktuāls enerģētikas nozarē jebkurā attīstības procesa posmā. Iegūtos atrisinājumus var izmantot Rīgas, Latvijas un ārvalstu lielpilsētu elektroapgādes sistēmās optimālās attīstības stratēģijas izstrādei.

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

Darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir izstrādāt sadales tīklu racionālas veidošanas metodiku, kas bāzējas uz vispārējiem pārvades tīklu modelēšanas un formēšanas principiem un kritērijiem; piedāvāt pilsētas tīkla optimālo parametru izvēles tehniski ekonomisko pamatojumu nepilnīgas un nenoteiktas informācijas apstākļos. Lai sasniegtu izvirzīto mērķi, darbā atrisināti šādi uzdevumi:

1. Elektroapgādes sistēmas tīklu elementu slodzes noteikšanas un prognozēšanas determinētās un stohastiskās metožu analīze.
2. Elektroenerģijas cenu prognozēšanas analīze.
3. Vidsprieguma transformatoru apakšstacijas perspektīvās slodzes noteikšana un koriģēšana uz pilsētas rajonu slodzes blīvuma bāzes.
4. Pilsētas rajonu slodzes blīvuma izpēte, to kartogrammu izstrāde un rajonu orientējošo slodzes blīvumu datu apkopošana.
5. Elektrisko tīklu šķērsriezuma izvēles metodikas radīšana tirgus cenu apstākļos.
6. Stohastiskās pieejas augstsprieguma līnijas parametru izvēlei analīze un programmatūras izstrādāšana.

Promocijas darba zinātniskā novitāte

1. Izstrādāta pilsētas sadales tīklu racionālas veidošanas metodika, kas bāzējas uz vispārējiem pārvades tīklu modelēšanas un formēšanas principiem un kritērijiem.
2. Realizēta elektroenerģijas cenu prognozēšana, izmantojot neironu tīklu metodi.
3. Modificēta ekonomisko intervālu metode 33-0,4 kV nominālā sprieguma kabeļu un gaisvadu līniju optimālā šķērsriezuma izvēlei tirgus ekonomikas apstākļos.
4. Realizēta stohastiskā pieeja pilsētas tīklu parametru izvēlei ar Monte-Karlo metodi, ievērojot reālās elektroenerģijas cenas, slodžu un ārējās temperatūras svārstības.
5. Piedāvāta metode dažādu Rīgas pilsētas rajonu slodžu blīvuma un apakšstaciju apkopes zonu plānveidīgai korekcijai dažādās sprieguma pakāpēs.
6. Izstrādāta programmatūra, kas nodrošina sadales tīklu projektēšanas procesa pilnveidošanu.

Izmantotās metodes un rīki

1. Pētījuma objektu ģeometriskā un matemātiskā modelēšana.
2. Tradicionālās un modernas slodzes un enerģijas cenu prognozēšanas metodes.
3. Nelineārās un Monte-Karlo optimizācijas metodes attīstības uzdevumu risināšanai.
4. Ekonomisko intervālu metode optimālā šķērsriezuma izvēlei.
5. Grafiskās programmas ArcGIS, AutoCAD.

6. Microsoft Office Excel programnodrošinājums, sistēma Mathcad, interaktīvā vide MATLAB inženierproblēmu risināšanai, intensīvai skaitļošanai, rezultātu vizualizēšanai un analīzei.

Promocijas darba praktiskā nozīme

Darbā piedāvātās metodikas un algoritmus var izmantot:

- teorētiskos un zinātniskos pētījumos, kas saistīti ar pilsētas elektroapgādes sistēmu racionālu izbūvi un parametru optimizāciju;
- enerģētikas uzņēmumos, organizācijās, firmās, kuras nodarbojas ar pilsētas elektroapgādes shēmu attīstības un projektēšanas jautājumiem;
- jaunu 20-10/0,4 kV transformatoru apakšstaciju un 0,4 kV tīklu projektēšanai, izmantojot galvenās konstatētās likumsakarības.

Darba rezultāti izmantoti:

- Universālās nomogrammas izmantotas mācību procesā inženieru un maģistru sagatavošanai Enerģētikas nozarē.
- Līgumā (RTU ar Latvenergo, parakstīts 2013. g., plānots pabeigt 2015. g.) par izpēti "AS „Latvenergo” elektrostaciju režīmu plānošanas programmatūras izstrāde”.
- Programmas "Modernu metožu un tehnoloģiju izpēte un izstrāde enerģētikā: videi draudzīgiem atjaunojamās enerģijas veidiem, enerģijas piegādes drošībai un enerģijas efektīvai izmantošanai" valsts pētījumu programmas Projekta Nr. 7 "Klimata izmaiņu samazināšanas un atjaunojamo enerģijas resursu tehnoloģiju integrēšana Latvijas energosistēmā" Nr. 2011.10-4VPP.

Atsevišķi jautājumi izskatīti autores maģistra darbā, kuri pēc tam tika papildus iekļauti šādos projektos:

- līgumā ar AS „Latvenergo” Nr. L7310 (Nr. 010000/08-16) „Rīgas augstsprieguma tīkla shēma līdz 2020. gadam” (vadītājs – profesors J. Rozenkrons), 2008. gads (piedalīšanās atsevišķu jautājumu izstrādē);
- 23.04.2012. līgumā Nr. 5-21/-2012 ar Mārupes novada Domi „Jaunas 110 kV transformatoru apakšstacijas Mārupes novadā tehniski ekonomiskais pamatojums” (vadītājs – profesors J. Rozenkrons), 2012. gads (piedalīšanās atsevišķu jautājumu izstrādē).

Autora personiskais ieguldījums veiktajos pētījumos

Aizstāvamo pamattēžu fundamentu veido idejas, kuras radītas ciešā sadarbībā ar asociēto profesori Svetlanu Gusevu un profesoru Antanu Sauhatu. Aizstāvamo promocijas darbu var uzskatīt par profesoru ilggadējās darbības turpinājumu.

Elektrisko tīklu pilsētas slodžu elementu noteikšana, izmantojot vienoto modelēšanas principu, veikta kopā ar Dr.sc.ing. Natalju Skobeļevu.

Ideju pārbaude, pilsētas elektroapgādes sistēmas tehniski ekonomiskie modeļi, nepieciešamā programmatūra, skaitliskie eksperimenti un to analīze, rekomendācijas efektīvai pielietošanai pieder personiski promocijas darba autorei.

Pētījumu rezultātu aprobācija

Pētījumu rezultāti apspriesti 7 starptautiskās konferencēs:

1. 51. RTU Starptautiskā ikgadējā zinātniskā konference 2010. "Load determination and selection of transformer substations' optimal power for tasks of urban networks' development", Enerģētikas un Elektrotehnikas fakultāte, Rīga, Kronvalda bulvāris 1, 2010. gada 14. oktobrī.

2. The 6th International Conference on Electrical and Control Technologies. "An integrated approach to the formation of service areas for urban substations of different voltage", Kauņa, Lietuva, 2011. gada 5.–6. maijā.
3. The tenth IASTED European Conference "Power and Energy Systems". "Urban power supply system's development in conditions of uncertain information", Krēta, Grieķija, 2011. gada 22.–24. jūnijā.
4. The 52nd International Scientific Conference of Riga Technical University on Power and Electrical Engineering, "The choice of optimum cross section for overhead line by economic intervals method", 2011. gada 14.–15. oktobrī.
5. The 7th International Conference on Electrical and Control Technologies (ECT 2012), "Economic Intervals' Method for Choice of Line Cross-Section and Its Realization in Matlab Software", Kauņa, Lietuva, 2012. gada 3.–4. maijā.
6. The 11th International Conference on "Energy-Ecology-Economy 2012", "Approach of Optimum Cross-Section Choice for Cable Lines in Market Prices Conditions", High Tatras – Tatranske Matliare, Slovākija, 2012. gada 15.–17. maijā.
7. The 55th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, "Probabilistic method for selection of power line wire type and cross-section", "Load Density Formation in Largest Cities", Riga, Latvia, 2014. gada 14. oktobris.

Pētījumu rezultāti publicēti 16 starptautiskos izdevumos:

1. Svetlana Guseva, **Ļubova Kozireva**, Nataļja Skobeļeva. Lielu pilsētu slodzes noteikšana sākuminformācijas nenoteiktības apstākļos //Enerģētika un elektrotehnika, 4. sērija, 26. sējums, Rīga, RTU, Latvija, 2010, 27.–33. lpp. (*EBSCO, ProQuest, Versita, VINITI*, ISSN 1407-7345).
2. S.Guseva, O.Borsevskis, N.Skobeleva, **L.Kozireva**. Load Determination and Selection of Transformer Substations' Optimal Power for Tasks of Urban Networks' Development //Power and Electrical Engineering, Ser. 4., Vol. 27, RTU, Latvia, 2010, p. 31–36, (citēta: EBSCO, ISSN 1407-7345).
3. S.Guseva, O.Borsevskis, N.Skobeleva, **L.Petrichenko**. Perspective loads of transformer substations at development of urban power supply systems // Proceedings of the XV International Scientific Conference "Present-day problems of power engineering APE'11", Vol. III, June 8–10, Gdansk-Jurata, Poland, 2011, p. 51–59 (Journal "Acta Energetica" ISSN 2080-7570, 2012 | nr 2 | 71–82).
4. S.Guseva, O.Borsevskis, N.Skobeleva, **L.Petrichenko**. Urban Power supply system's development in conditions of uncertain information // Proceedings of the tenth IASTED European Conference "Power and Energy Systems", Crete, Greece, 2011, p. 27–31 (SCOPUS).
5. S.Guseva, **L.Petrichenko**. The choice of optimum cross section for overhead line by economic intervals method // Power and Electrical Engineering, Ser. 4, Vol. 29, Riga, RTU, Latvia, 2011, p. 37–42 (ISSN 1822-5934).
6. S. Guseva, **L.Petrichenko**. Approach of Optimum Cross-Section Choice for Cable Lines in Market Prices Conditions. Power Engineering 2012, High Tatras – Tatranske Matliare, 15–17 May, 2012, Slovakia, p. 87–88.
7. S.Guseva, **L.Petrichenko**. Economic Intervals' Method for Choice of Line Cross-Section and Its Realization in Matlab Software // Proceedings of the 7th International Conference on Electrical and Control Technologies, ECT-2012, 3–4 May, 2012, Kaunas, Lithuania, p. 221–226 (*indeksēts ISSN 1822-5934*).
8. N.Skobeleva, O.Borsevskis, S.Guseva, **L.Petrichenko**. An integrated approach to the formation of service areas for urban substations of different voltage. Journal of Energy

and Power Engineering (ISSN1934-8975), David Publishing Company, Inc. USA, Vol. 6, No. 8., August, 2012, p. 1358–1362 (Database of EBSCO, Massachusetts, USA; Database of Cambridge Science Abstracts (CSA), USA Ulrich's International Periodicals Directory, USA; Chinese Database of CEPS, American Federal Computer Library center (OCLC), USA; Summon Serials Solutions).

9. Guseva S., **Petrichenko L.** Choice of the optimum cross-sections for 20-110-330 kV overhead lines under market conditions // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, No. 6(1) (Vol. 49), Riga, Latvia, 2012, p. 13–22 (ISSN 0868-8257, SCOPUS).
10. Guseva S., **Petrichenko L.** The modified method of economic intervals for high-voltage overhead lines // Материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надёжность, безопасность», 3–7 декабря, 2012, Томск, Россия, с. 111–113.
11. S.Guseva, **L. Petrichenko**, N.Skobeleva. Load Density Distribution and Assessment for Urban Power Supply System // The 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drivers, 13–17 May 2013, Istanbul, Turkey (SCOPUS).
12. S.Guseva, **L.Petrichenko**. Choice of 0,4 kV Cable Cross-sections by Economic and Technical Criteria under Market Conditions // Power and Electrical Engineering, Vol. 31, Riga, Latvia, 2013, p. 38–42 (EBSCO, ISSN 1407-7345).
13. **L.Petrichenko**, A.Sauhats, S.Guseva, S.Berjozkina, V.Neimane. The stochastic approach for determination of transmission line wire cross section// The 2014 International Conference on Power Systems, Energy, Environment, Interlaken, Switzerland, February 22–24, 2014, (ISI (Thompson Reuters), ELSEVIER, SCOPUS, Zentralblatt MATH, British Library, EBSCO, SWETS, EMBASE, CAS-American Chemical Society, EI Compendex, Engineering Village, DoPP, GEOBASE, Biobase, TIB/UB-German National Library of Science and Technology, American Mathematical Society (ANS), Scholar Google (IEEE)).
14. **L.Petrichenko**, A.Sauhats, S.Guseva, S.Berjozkina, V.Neimane. The Stochastic Approach for Selecting Conductor of Power Line Based on the Monte Carlo method // EnergyCon 2014, Dubrovnik, Croatia, 13–16 May, 2014 (IEEE Xplore, ISBN 978-1-4798-2448-6).
15. **L.Petrichenko**, A.Sauhats, S.Berjozkina, V.Neimane. Probabilistic method for selection of power line wire type and cross-section // Proceedings of the Riga Technical University 55th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering, Riga, October 14–17, 2014, p.141–144 (SCOPUS).
16. **L.Petrichenko**, S.Guseva, N.Jankovskis. Load Density Formation in Largest Cities. // Proceedings of the Riga Technical University 55th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering, Riga, October 14–17, 2014, p.163–166 (SCOPUS).

Promocijas darba forma, struktūra un saturs

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 46 pielikumus, 78 zīmējumus un ilustrācijas, 16 tabulas, kopā 178 lappuses. Literatūras sarakstā norādīti 118 literatūras avoti.

Pirmā nodaļa veltīta Rīgas pilsētas elektroapgādes sistēmas 330, 110, 20-10 un 0,4 kV tīklu stāvokļa raksturojumam, tehniskajiem datiem un to attīstības perspektīvām. Aprakstīta pilsētu elektroapgādes uzdevuma nostādne un matemātiskais formulējums.

Otrajā nodaļā apkopota informācija par lielpilsētu un to rajonu slodzes aprēķināšanas metodēm. Veikta Latvijas un Rīgas pilsētas slodzes prognozēšana līdz 2030. gadam pēc

dažādiem scenārijiem. Detalizēti izanalizēta un pilsētas slodzes un elektroenerģijas cenu prognozēšanai izmantota neironu tīklu metode.

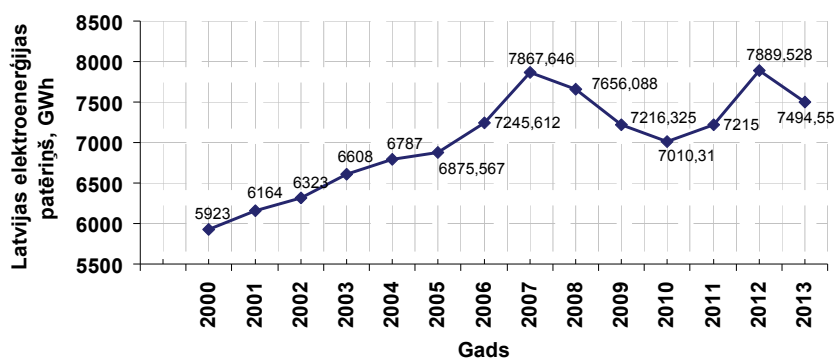
Trešajā nodaļā izstrādāta precizētā metode vairāku sprieguma pakāpju transformatoru apakšstaciju perspektīvo slodžu noteikšanai uz slodzes blīvumu bāzes Rīgas pilsētas teritorijā. Izstrādātas pilsētas rajonu (mikrorajonu) slodzes blīvumu kartogrammas. Darba realizēšanai tiek izmantotas programmas ArcGIS, EXCEL un AutoCAD.

Ceturtajā nodaļā piedāvāta modificētā ekonomisko intervālu metode optimālā šķērsriezuma izvēlei tirgus ekonomikas apstākļos. Tiek izveidots grafiskais lietotāja interfeiss MATLAB programmēšanas vidē, kas palīdz aprēķināt gan 0,4-10-20-110-330 kV gaisvadu līnijas, gan 0,4-10-20-110-330 kV kabeļu līnijas optimālo šķērsriezumu. **Piektajā nodaļā** piedāvāta un realizēta stohastiskā pieeja augstsprieguma parametru izvēlei. Kā piemērs parādīta 110 kV un 330 kV gaisvadu līniju racionāla izvēle uz stohastiskās pieejas un Monte-Karlo metodes bāzes.

1. LATVIJAS UN RĪGAS PILSĒTAS ELEKTROAPGĀDES SISTĒMAS RAKSTUROJUMS

1.1. Latvijas energosistēmas raksturojums

Latvijas energosistēmas elektrotīkli nodrošina elektroapgādi visā valsts teritorijā. Elektroenerģijas patēriņš Latvijā periodā no 2000. gada līdz 2013. gadam parādīts 1.1. attēlā [7, 8].



1.1. att. Latvijas energosistēmas patēriņš 2000.–2013. g.

Atbilstoši sadales sistēmas operatora apkopotajiem datiem, kopējais galalietotāju elektroenerģijas patēriņš Latvijā 2012. gadā bija 7 859 GWh (ar elektroenerģijas zudumiem), kas ir par 8,2 % vairāk nekā 2011. gadā (7 215 GWh). Šis ir pieaugums kopš Latvijas valsts neatkarības atgūšanas. Līdz šim lielākais patēriņa pieaugums bija 2007. gadā, kad patēriņš pieauga par 7,9 % [9].

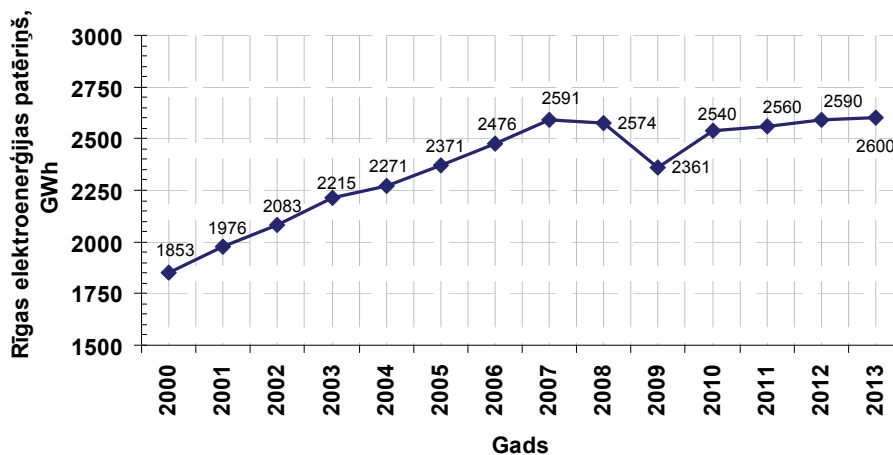
Elektroenerģijas pārvadi un sadali Latvijas teritorijā nodrošina 330-110-20-10(6)-0,4 kV elektrotīkli. 2013. gada beigās Latvijā kopējais 110-330 kV elektropārvades līniju garums bija 5275 km (pa ķēdi), no tā 76 % jeb 4009 km veidoja 110 kV līnijas un 24 % jeb 1266 km bija 330 kV līnijas. Kopējais vidsprieguma un zemsprieguma elektrolīniju garums 2013. gada beigās sasniedza 94 705 km [8].

Pārvades tīkla darbības nodrošināšanai izmanto piecpadsmit 330 kV apakšstacijas ar kopējo autotransformatoru jaudu 3575 MVA un simt divdesmit divas 110 kV apakšstacijas ar kopējo transformatoru uzstādīto jaudu 4968 MVA.

Sadales tīkla transformatoru apakšstaciju skaits ir 29 275, savukārt transformatoru apakšstaciju skaits ir 26 391, un to kopējā uzstādītā jauda ir 5 809 MVA.

1.2. Rīgas elektroapgādes sistēmas (REAS) raksturojums

Latvijas galvaspilsētas patēriņš veido ap 30 % no energosistēmas summārās jaudas. Rīgas pilsētas elektroenerģijas patēriņš periodā no 2000. līdz 2013. gadam ir parādīts 1.2. attēlā [10].



1.2. att. Rīgas elektroenerģijas patēriņš 2000.–2013. g. [10].

2013. gada beigās Rīgas kopējais 110-330 kV elektropārvades līniju garums bija 320 km (pa ķēdi), no tā 78 % jeb 250 km veidoja 110 kV līnijas un 22 % jeb 70 km bija 330 kV līnijas. Kopējais videsprieguma līniju garums sasniedza 2300 km (99,4 % no tām kabeļu līnijas) un zemsprieguma elektrolīniju garums – 2600 km (90,7 % no tām kabeļu līnijas) [11].

Rīgas pilsētas patērētāji elektroenerģiju pamatā saņem no energosistēmas 330-110 kV elektrotīkliem, no trijām Rīgā izvietotajām 330/110 kV transformatoru apakšstacijām (Imanta, Rīgas TEC-1, Bišuciems) un divdesmit astoņām 110 kV apakšstacijām.

Pēc AS Latvenergo 2013. gada datiem Rīgas pilsētas kopējais 6-20/0,4 kV transformatoru apakšstaciju skaits ir 2 130 un to kopējā jauda ir 1300 MVA. 10 kV sadales punktu skaits ir 78.

1.3. Rīgas elektroapgādes sistēmas attīstības perspektīvas

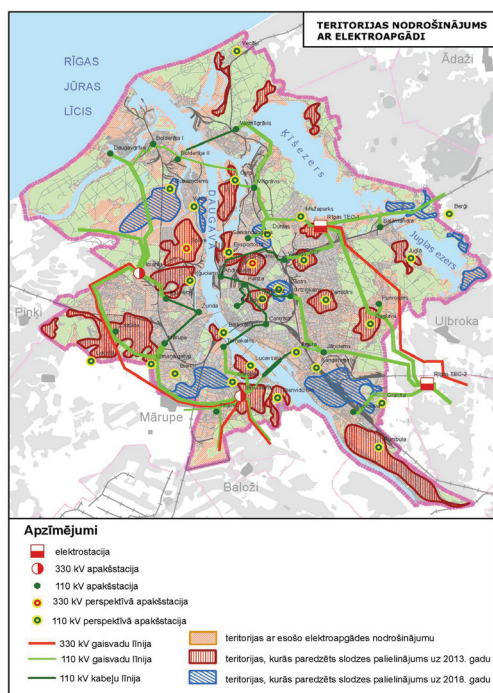
Rīgas pilsētas nepārtrauktais slodžu pieaugums attīstības vēsturiskajā griezumā liek pārdomāt pilsētas elektrotīkla atbilstību esošajam slodzes pieprasījumam, kā arī par gatavību perspektīvās slodzes nodrošināšanai [10]. Saskaņā ar Rīgas attīstības plānu 2006.–2018. gadam ir paredzētas jaunas teritorijas elektroapgādes nodrošinājumam [11]. 1.3.a attēlā sniegta Rīgas pilsētas perspektīvās elektroapgādes karte [12].

Pilsētas elektroapgādes tālākai attīstībai AS „Latvenergo” Ekspertu padomes 15.01.2010. sēdē tika pieņemta „Rīgas augstsprieguma tīkla shēma līdz 2020. gadam” (sk. 1.3.b att.). Shēmas izstrāde un pieņemšana ir ļoti svarīgs etaps pilsētas elektroapgādes mērķtiecīgā attīstībā.

Viens no šī shēmas mērķiem ir jaunu slodzes centru, jaunu 110 kV apakšstaciju un to iespējamā izvietojuma noteikšana, pamatojoties uz Rīgas Domes izstrādāto pilsētas attīstības plānu 2006.–2018. gadam, Rīgas ilgtermiņa attīstības stratēģiju līdz 2025. gadam un ņemot vērā plānoto pilsētas teritorijas apbūves raksturu [11].

Shēma paredz vairāk nekā divdesmit jaunu 110 kV apakšstaciju celtniecību. Šajā attīstības plānā sakarā ar ekonomiskās krīzes sekām var būt izmaiņas. Jaunu apakšstaciju ekspluatācijas uzsākšanas termiņi atvirzās, mainās apakšstaciju ekspluatācijas uzsākšanas

secība, dažu apakšstaciju izbūve nebūs aktuāla līdz perspektīvā plāna beigām. Plāna realizācija tiks turpināta turpmāk un tīkla attīstības koncepcija tiks saglabāta.



a)



b.)

1.3. att. a) Rīgas pilsētas perspektīvās elektroapgādes karte.

b) Rīgas augstsprieguma tīkla shēma līdz 2020. gadam (apspriešanai AS „Latvenergo” Ekspertu padomē)

Tāpēc pilsētas elektroapgādes attīstības shēma ir jāuztver kā perspektīva, kura laika gaitā, iegūstot papildus informāciju, jāprecizē.

1.4. Pilsētu elektroapgādes uzdevuma nostādne un matemātiskais formulējums

1.4.1. Prasības elektroapgādei

Projektējot pilsētu elektroapgādi, ir jāņem vērā starptautiski atzītas prasības, kuras ir formulētas enerģētikai kopumā [13]. Jānodrošina:

- ekonomiski efektīva,
- droša,
- videi draudzīga,
- ilgtspējīga energoapgāde.

Šī pēc būtības saprotamā problēma ir saistīta ar dažu ārkārtīgi sarežģītu uzdevumu atrisināšanas nepieciešamību:

1. Nepieciešams veikt enerģijas pieprasījuma un tās cenu prognozi daudziem gadiem uz priekšu.
2. No ārkārtīgi liela daudzuma iespējamo elektriskā tīkla konfigurāciju (shēmu) jāizvēlas optimālā.
3. Jāizvēlas liela daudzuma iekārtu parametri (transformatoru jaudas, līnijas vadu šķērsgriezumi, apakšstaciju izvietojums utt.).
4. Jāņem vērā pilsētu attīstības process. Elektroapgādes sistēmai jāpielāgojas laikā mainīgām pilsētas prasībām.

5. Jāparedz konkurentu un, iespējams, partneru energoapgādes biznesa parādīšanās iespējas (izklaidēti energoavoti, atjaunojamie energoresursi).

Nepieciešams atzīmēt, ka pilsētu energoapgādes plānošanas problēmas nosacījumi pēdējos gados, pārejot pie tirgus mehānismu izmantošanas, ir strauji mainījušies. Izmaiņas pirmām kārtām rada lielas enerģijas cenu svārstības. Rodas jautājums par ilgu laiku attīstīto pilsētas elektroapgādes metodiku izmantošanas iespējām. Jo visas „klasiskās” metodikas ir balstītas uz vidējām un laikā nemainīgām cenām.

Iepriekš nosauktās prasības un uzdevumi, pārejot pie problēmas matemātiskā formulējuma, rada nepieciešamību formulēt uzdevumus daudzkritēriālā, nelineārā, stohastiskā, dinamiskā formā [14].

Norādītās formas uzdevumi tiek atrisināti, pieņemot virkni vienkāršošanu un daudzos gadījumos izmantojot projektētāju pieredzi un zināšanas [13–16]. Šis darbs arī nav izņēmums. Tiek izmantoti šādi galvenie pieņēmumi:

1. Par galveno prasību pieņemta ekonomiskā efektivitāte. Tiek uzskatīts, ka pārējās prasības tiek ņemtas vērā, izpildot atbilstošus noteikumus un standartus, kas reglamentē drošuma, vides un ilgtspējas prasības.
2. Optimizācijas uzdevums tiek risināts statistiskā nostādņē.
3. Konkurentu ietekme nav ņemta vērā (netiek pielietoti spēļu teorijas paņēmieni [13]).

1.4.2. Optimizācijas uzdevuma nostādne, dekompozīcija un shēma

Mūsdienu lielpilsētu summārā patērējamā elektriskā jauda var sasniegt desmitu gigavatu lielumu. Lai nodrošinātu tādu jaudu ir nepieciešamas vairākas jaudīgas elektrostacijas un supraaugstsprieguma tīkls.

Vairākums pilsētas patērētāju pieprasa elektroenerģiju caur zemsprieguma tīklu. Lai nodrošinātu divu minēto spriegumu savienojumu, parasti tiek izmantotas vēl divas sprieguma pakāpes (110 kV un 6-10(20) kV).

Rezultātā var apgalvot, ka lielpilsētas elektriskais tīkls satur simtus tūkstošu elementu, kas rada nepieciešamību meklēt vienkāršojumus optimizācijas uzdevuma nostādņē.

Visplašāk pielietojama un attīstīta ir metode, kas balstās uz ģeometriskās modelēšanas principa izmantošanu [16–19].

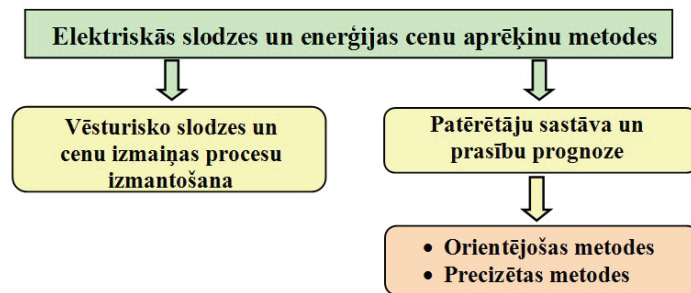
Saskaņā ar šīs metodes paņēmieniem pilsēta tiek nosepta ar transformatoru apkalpes sešstūra veida zonām [16, 18], kuru rādiuss ir atkarīgs no slodzes blīvuma un transformatora apakšstacijas nominālās jaudas.

Ģeometriskās modelēšanas rezultātā pilsēta tiek sadalīta sešstūros, kas optimizācijas uzdevuma jēdzienos dod iespēju to sadalīt (veikt dekompozīciju) vairākās, krietni vienkāršākās daļās. Sadalījums ir stipri atkarīgs no slodzes blīvuma (jauda uz kvadrātkilometru). Tieši slodzes blīvuma noteikšanai un koriģēšanai ir veltītas sekojošās divas promocijas darba nodaļas.

2. LIELPILSĒTU UN TO RAJONU SLODZES UN ENERĢIJAS CENU APRĒĶINĀŠANAS UN PROGNOZĒŠANAS METODES

Otrajā nodaļā apkopota informācija par lielpilsētu un to rajonu slodzes aprēķināšanas metodēm. Aplēses slodzes analīzei un apkupošanai izmantoti ārvalstu un Latvijas literatūras avoti un instruktīvie materiāli [20–22]. Liela uzmanība pievērsta slodzes un enerģijas cenu prognozēšanai. Šim nolūkam izmantotas neironu tīklu un scenāriju metodes [23].

Slodžu un cenu aprēķināšanas un prognozēšanas metožu klasifikācija dota 2.1. attēlā.



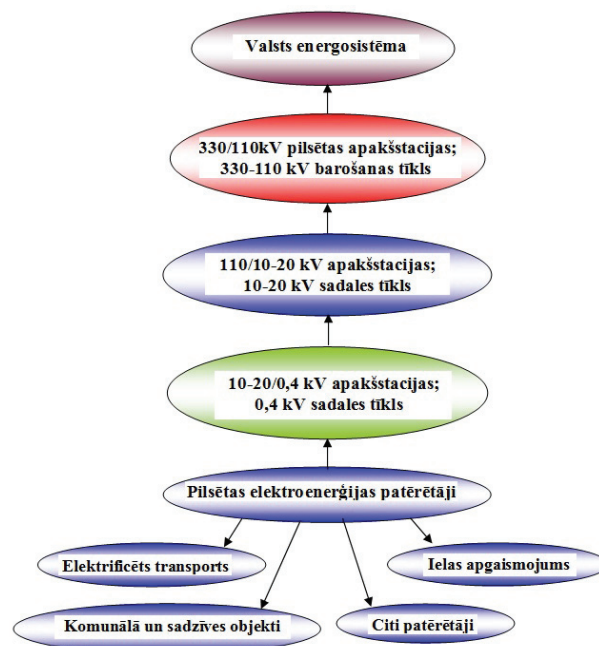
2.1. att. Elektriskās slodzes un enerģijas cenu aprēķināšanas metodes

2.1. Pilsētu un to rajonu slodzes noteikšanas metodes

Nepilnīgas informācijas apstākļos lielo pilsētu jauno mikrorajonu slodzes noteikšanai var izmantot tikai orientējošas metodes. [16, 20–22] ir apkopota informācija par šādām metodēm un veikti praktiskie aprēķini slodžu noteikšanai.

Veikta precizēto metožu darba projektos analīze no literatūras avotiem un to koriģēšana Latvijas apstākļiem [4, 16, 20].

Vispilnīgākais aplēses slodzes aprēķins tiek veikts, secīgi apkopojot elektroapgādes sistēmas elementu elektriskās slodzes (2.2.att.).



2.2. att. Pilsētas slodzes noteikšanas algoritms pēc tīklu elementu slodžu secīgas apkopošanas

2.1.1. Dažāda sprieguma pakāpju summārās elektriskās slodzes noteikšana

Darbā īsumā tiek apskatīti aplēses slodzes aprēķina varianti [20–22].

0,4 kV sadales tīkla slodze

1.variants

Vispārīgā gadījumā dzīvojamās mājas aplēses aktīvo slodzi $P_{dz.m}$ aprēķina pēc izteiksmes (2.1) [21, 22]:

$$P_{apl.dz.m} = P_{piepr.dz.} \cdot n_{dz.} \cdot k_{piepr.} \quad (2.1)$$

kur $P_{piepr.dz.}$ – pieprasītā jauda uz vienu dzīvokli, kW/dz; n_{dz} – dzīvokļu skaits; $k_{piepr.}$ – pieprasījuma koeficients atkarībā no dzīvokļu pieprasītās jaudas.

2. variants

Aplēses slodze atkarīga no īpatnējās dzīvokļa slodzes un tiek aprēķināta pēc izteiksmes [20–22]:

$$P_{apl.dz.m} = P_{īpatn.dz.} \cdot n_{dz.} \quad (2.2)$$

kur $P_{īpatn.dz.}$ – aplēses īpatnējā slodze uz vienu dzīvokli, kW/dz.

3. variants

Mikrorajona (kvartāla) dzīvojamo māju aplēses elektriskā slodze pie 0,4 kV TP kopnēm orientējoši tiek aprēķināta šādi [22]:

$$P_{apl.dz.m} = P_{īpatn.dz.m} \cdot S_{mikr.} \cdot 10^{-3}, \quad (2.3)$$

kur $P_{īpatn.dz.m}$ – dzīvojamo māju īpatnējā aplēses slodze, W/m²; $S_{mikr.}$ – mikrorajona (kvartāla) dzīvojamo māju kopējā platība, m².

4. variants

Aplēses slodze atkarīga no uzstādītās dzīvojamās mājas slodzes, ievērojot slodžu maksimumu vienlaicīguma koeficientu:

$$P_{apl.dz.m} = P_{uzst.dz.m} \cdot k_{Vm.dz.} \quad (2.4)$$

kur $P_{uzst.dz.m}$ – dzīvojamās mājas uzstādītā slodze, kW; $k_{Vm.dz.}$ – slodžu maksimumu vienlaicīguma koeficients atkarībā no dzīvokļu skaita šajā dzīvojamajā mājā.

Sabiedrisko ēku aplēses elektriskās slodzes jāpieņem pēc šo ēku elektroiekārtu projektiem; rūpniecisko ēku – pēc uzņēmumu elektroapgādes projektiem vai pēc atbilstošiem analogiem.

Sabiedriskās ēkas aplēses slodzi var noteikt atbilstoši [20–22]:

$$P_{sab} = k_{V,sab} \cdot \sum P_{uzst,sab} \quad (2.5)$$

kur $k_{V,sab}$ – slodžu maksimumu vienlaicīguma koeficients; $P_{uzst,sab}$ – viena veida sabiedriskās ēkās uzstādītā jauda, kW (tiek noteikta pēc projekta noteikumiem).

Vienlaicīguma koeficients ir ļoti svarīgs koeficients precizētiem aprēķiniem, kas ievēro varbūtību ierīču vienlaicīgai pieslēgšanai tīklam un samazina māju un tīklu summāro slodzi.

Saskaņā ar augstākminēto mikrorajona sabiedrisko ēku un dzīvojamo māju (ar jauktiem patērētājiem) aplēses elektrisko slodzi līdz 1 kV var aprēķināta pēc izteiksmes [20]:

1. variants

$$P_{0.4kV,L} = P_{obj.maks} + \sum_1^n k_{Vm,i} \cdot P_{par.obj.i} \quad (2.6)$$

kur $P_{obj.maks}$ – maksimālā ēkas slodze no visām ēkām, kas tiek barotas no līnijas, kW; $P_{par.obj.i}$ – citu ēku aplēses slodzes, kas tiek barotas no līnijas, kW; $k_{Vm,i}$ – sabiedrisko ēku vai dzīvojamo māju slodžu maksimumu vienlaicīguma koeficients.

2. variants

Mikrorajona (kvartāla) kopējā aplēses elektriskā slodze pie 0,4 kV TP kopnēm tiek aprēķināta pēc formulas [20]:

$$P_{0,4kV, TP} = (P_{ipatn.dz.m} + P_{ipatn.sab.}) \cdot S_{mikr.} \cdot 10^{-3}, \quad (2.7)$$

kur $P_{ipatn.sab.}$ – mikrorajona sabiedrisko ēku īpatnējā slodze, kas tiek pieņemta mājām ar elektriskām plītīm – 2,6 W/m², mājām ar plītīm ar cieto vai gāzveida kurināmo – 2,3 W/m².

10-20 kV sadales tīkla slodze

10-20 kV pilsētas tīklu aplēses elektriskās slodzes tiek noteiktas, reizinot atsevišķu transformatoru TP aplēses slodžu summu ar koeficientu, kas ievēro to slodžu maksimumu vienlaicīgumu:

$$P_{10-20kV, TP} = k_{Vm,10-20} \cdot \sum_i^{n_{TP,10-20}} P_{TP,i} \quad (2.8)$$

kur $P_{TP,i}$ – 10-20/0,4 kV apakšstaciju summārā aplēses aktīvā slodze, kas pieslēgta attiecīgajam tīkla elementam, kW; $k_{Vm,10-20}$ – 10-20/0,4 kV transformatoru, kas pieslēgti konkrētajam tīkla elementam, slodžu maksimumu vienlaicīguma koeficients atkarībā no TP skaita.

2.1.2. Precizētā slodzes blīvuma metode

Pilsētas pilno summāro slodzi var noteikt šādi:

$$S_{pils} = \sigma_{vid} \cdot \Pi_{pils} = \sigma_{vid} \cdot \sum_{i=1}^n \Pi_{TA,i}, \quad (2.9)$$

kur σ_{vid} – vidējais slodzes blīvums pilsētā, MVA/km²; Π_{pils} – pilsētas apbūves platības un cita ar to cieši saistītā pieguļošā teritorija, km²; $\Pi_{TA,i}$ – i -tās apakšstacijas apkalpes zona, km²; n_{TA} – transformatoru apakšstaciju skaits.

No vienādības nosacījuma izriet:

$$\sigma_{vid} = \frac{k_{V,TA} \sum_{i=1}^{n_{TA}} S_{TA,i}}{\sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i}} = \frac{k_{V,TA} \sum_{i=1}^{n_{TA}} n_i \beta_i S_{nom,i}}{\sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i}}, \quad (2.10)$$

kur β_i – i -tās apakšstacijas transformatora noslodzes koeficients; $S_{nom,i}$ – i -tās apakšstacijas TA uzstādītā nominālā jauda, MVA.

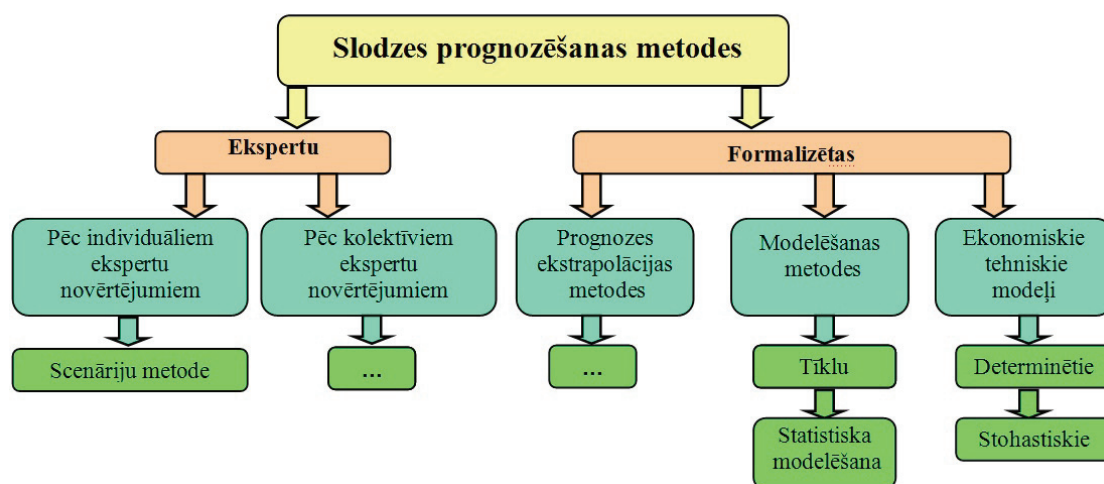
Faktiskie slodzes blīvumi atsevišķos pilsētas rajonos, mikrorajonos vai apakšstaciju apkalpes zonās ievērojami atšķiras no pilsētas vidējā lieluma atkarībā no apbūves veida, apbūves stāvu skaita, sadzīves elektrifikācijas līmeņa. Šajā gadījumā vidējo slodzes blīvumu pilsētas apbūves teritorijā var noteikt šādi:

$$\sigma_{vid.pils} = \frac{k_{V,TA} \cdot (S_{TA1} + S_{TA2} + \dots + S_{TA,i})}{\Pi_{TA1} + \Pi_{TA2} + \dots + \Pi_{TA,i}} = \frac{k_{V,TA} \sum_{i=1}^{n_{TA}} S_{TA,i}}{\sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i}} = \frac{k_{V,TA} \sum_{i=1}^{n_{TA}} n_i \beta_i S_{nom,i}}{\sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i}}. \quad (2.11)$$

Slodzes blīvums ir svarīgākais rādītājs šajā metodē, kā arī elektrisko tīklu slodžu noteikšanā vispār, taču trūkst datu par slodzes blīvumiem atsevišķos Rīgas pilsētas rajonos un TA apkalpes zonās. Slodzes blīvums ir laikā mainīgs lielums, kas mainās, palielinoties vai samazinoties TA slodzēm. Tādēļ darbā veikts slodzes blīvuma precizējums Rīgas pilsētas atsevišķos rajonos un mikrorajonos, jo transformatoru apakšstaciju slodzes noteikšanas metode pēc vidējā slodzes blīvuma un apbūves teritorijas platības tiks plaši izmantota turpmāk [4, 16–18].

2.2. Slodzes un enerģijas cenu prognozēšanas metodes

Katram attīstības objektam ir nepieciešams risināt ilgtermiņa vai vidēja termiņa projektēšanas uzdevumus. Šādai perspektīvai uzdevumu risinājumam trūkst precīzas sākuma informācijas un objektu detalizētas izstrādes. Pilsētas vai tās rajonu aplēses slodžu attīstības uzdevumos var izmantot tikai slodzes prognozēšanas metodes vai aprēķinu metodes pēc orientējošiem, vispārīgākiem rādītājiem. Visplašāk izmantojamās prognozēšanas metodes ilustrētas 2.3. attēlā.



2.3. att. Pilsētu elektriskās slodzes prognozēšanas metodes

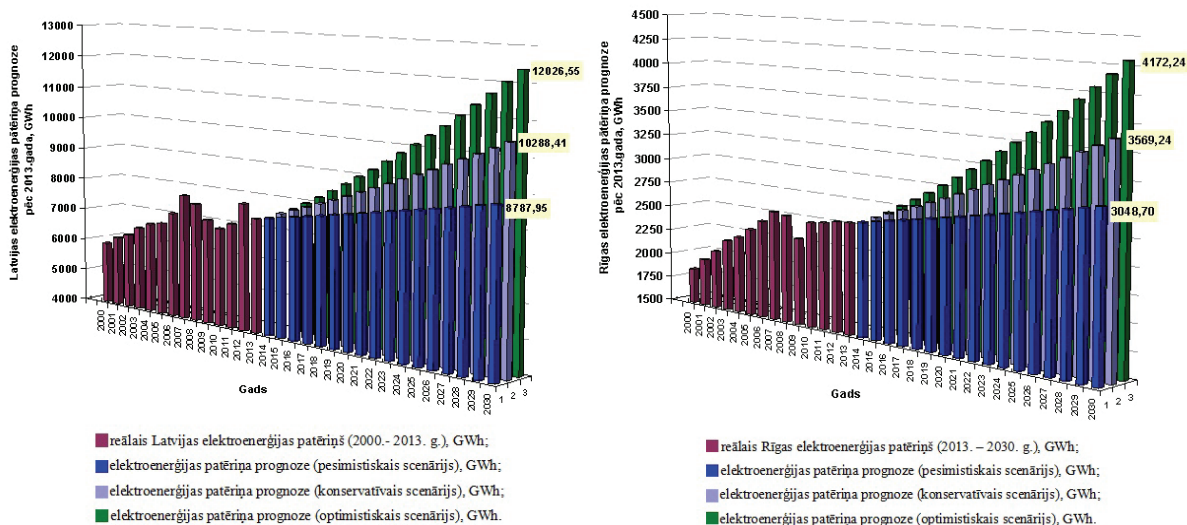
Zemāk tiek apskatītas jaunas, izstrādātas pēdējos gados metodes [24, 25] un piedāvāti aprēķinu piemēri.

2.2.1. Slodzes prognozēšanas piemērs, izmantojot scenāriju metodi

Darbā slodzes prognozēšanai tiek izmantota scenāriju metode. Jāatzīmē arī, ka prognozēšana jāveic informācijas nenoteiktības apstākļos, iegūtajiem rezultātiem ir orientējošs un rekomendējošs raksturs.

Darbā tiek piedāvāti trīs attīstības scenāriji Latvijas un Rīgas elektroenerģijas patēriņa prognozes periodā no 2014. gada līdz 2030. gadam: pesimistiskais (gada slodzes pieaugums 1%), konservatīvais (gada slodzes pieaugums 2%) un optimistiskais (gada slodzes pieaugums 3%). Šīs prognozes parādītas 2.4. attēlā.

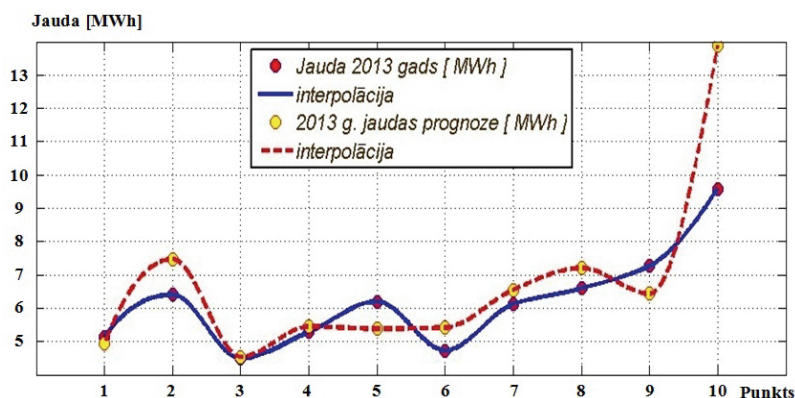
Pēc ekonomiskās situācijas stabilizēšanās var precizēt rādītāju izmaiņu līknes un pieauguma tendences.



2.4. att. Latvijas un Rīgas elektroenerģijas patēriņa prognoze 2013.–2030. g.

2.2.2. Slodzes prognozēšanas piemērs, izmantojot neironu tīklus

Pēdējos gadu desmitos līdz ar mākslīgā intelekta attīstību piedāvāts risināt slodzes prognozēšanas uzdevumus, izmantojot modeļus, kuru pamatā ir mākslīgie neironu tīkli. Promocijas darba apakšnodaļā īsumā tiek aprakstīts neirona tīkla modelis, kas ir izstrādāts ar MATLAB® programmatūras palīdzību [23, 26]. Rezultāts parādīts 2.5. attēlā.

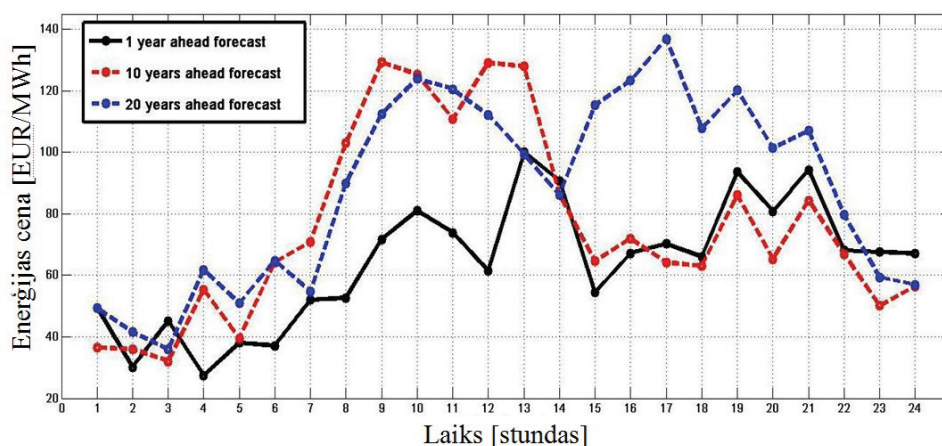


2.5. att. 2013. gada jauda un tās prognozēšana ar neironu tīklu metodi

2.2.3. Elektroenerģijas cenu prognozēšanas piemērs, izmantojot neironu tīklus

Dotajā nodaļā veikta ilglaicīga enerģijas cenu prognozēšana, izmantojot neironu tīklu (NT) metodi. Prognozes precizitāte nozīmīgi ir atkarīga no neironu tīkla struktūras (no neironu tīkla veida un neironu daudzuma). Darbā izdarīta dziļa NT struktūru analīze.

Tīkla apmācībai izmantoti 2014. gada dati. Enerģijas cenu gada prognoze veikta uz 16.maiju (diena tiek paņemta nejauši). Rezultāts parādīts 2.6. attēlā.



2. 6. att. Enerģijas cenu prognoze atkarībā no dienas laika

Nepieciešams atzīmēt, ka NT izmantošana enerģijas cenu prognozēšanai bāzējās uz iepriekšējiem statistikas datiem. Bez tam apmācītajam NT ir atmiņa. Izmantojot šo metodi, var precīzi prognozēt gan pilsētas elektrisko slodzi, gan enerģijas cenu.

Par prognozēšanas priekšrocību, izmantojot apmācītu neironu tīklu, var minēt salīdzinoši vieglo apmācību un tās turpmāko izmantošanu.

3. SLODZES BLĪVUMA ANALĪZE RĪGAS PILSĒTAS TERITORIJĀ

3.1. Apakšstaciju slodzes blīvumu veidošanās teorētiskais pamatojums

Trešajā nodaļā tiek apskatīts jautājums par vairāku sprieguma pakāpju transformatoru apakšstaciju perspektīvo slodžu noteikšanu uz slodzes blīvumu bāzes. Slodzes blīvums ir svarīgs rādītājs Rīgas pilsētas mikrorajonu un pilsētu slodzes noteikšanai, kā arī elementu parametru izvēlei. Ziņas par Rīgas pilsētas slodzes blīvuma vērtībām nav sistematizētas un nav pietiekamas pilsētas attīstības uzdevumu risināšanai. Tādēļ darbā veikta šo rādītāju no teikšana un precizēšana.

Nosakot slodzes blīvuma hierarhiju saskaņā ar spriegumu hierarhiju, faktiskie slodzes blīvumi katrai sprieguma pakāpei ir dažādi. To var redzēt pēc 3.1. tabulas izteiksmēm.

Šajā promocijas darba nodaļā īpaša uzmanība tiek pievērsta atsevišķām elektroapgādes sistēmām – 0,4 kV un 10-20 kV.

Eksistē patērētāju sadalījums starp apakšstacijām, kas nosaka apakšstaciju esošās apkalpes zonas. Grūti izanalizēt slodzes blīvuma izmaiņas, mainoties transformatora apakšstacijas (TA) apkalpes zonai. Līdz ar to vienotai pieejai transformatoru sadalījumam pilsētas teritorijā ir izmantota apakšstaciju apkalpes zonu modelēšanas unificētā metodika [16, 18, 19].

Slodzes blīvuma vērtība katrā sprieguma pakāpē

	0,4 kV	10-20 kV	110 kV	330 kV
0,4 kV	$\sigma_{0,4} = \frac{S_{\Sigma 0,4}}{\Sigma \Pi_{0,4}}$	$\sigma_{10-20} = k_{v,10-20} \cdot \sigma_{0,4}$	$\sigma_{110} = k_{v,10-20} \cdot k_{v,110} \cdot \sigma_{0,4}$	$\sigma_{330} = k_{v,10-20} \cdot k_{v,110} \cdot k_{v,330} \cdot \sigma_{0,4}$
10-20 kV		$\sigma_{10-20} = \frac{S_{\Sigma 10-20}}{\Sigma \Pi_{10-20}}$	$\sigma_{110} = k_{v,110} \cdot \sigma_{10-20}$	$\sigma_{330} = k_{v,10-20} \cdot k_{v,110} \cdot \sigma_{10-20}$
110 kV			$\sigma_{110} = \frac{S_{\Sigma 110}}{\Sigma \Pi_{110}}$	$\sigma_{330} = k_{v,330} \cdot \sigma_{110}$
330 kV				$\sigma_{330} = \frac{S_{\Sigma 330}}{\Sigma \Pi_{330}}$

kur $S_{\Sigma 0,4}$ – patērētāju summārā slodze 0,4 kV pakāpē, MVA; $S_{\Sigma 10-20}$ – patērētāju summārā slodze 10-20 kV pakāpē, MVA; $S_{\Sigma 110}$ – patērētāju summārā slodze 110 kV pakāpē, MVA; $S_{\Sigma 330}$ – patērētāju summārā slodze 330 kV pakāpē, MVA; $\Sigma \Pi_{0,4}$ – patērētāju summārā apkalpes zona 0,4 kV pakāpē, km²; $\Sigma \Pi_{10-20}$ – patērētāju summārā apkalpes zona 10-20 kV pakāpē, km²; $\Sigma \Pi_{110}$ – patērētāju summārā apkalpes zona 110 kV pakāpē, km²; $\Sigma \Pi_{330}$ – patērētāju summārā apkalpes zona 330 kV pakāpē, km²; $k_{v,10-20}$ – 10-20/0,4 kV transformatoru slodžu maksimumu vienlaicīguma koeficients atkarībā no 10-20 kV TA skaita; $k_{v,110}$ – 110/10-20 kV transformatoru slodžu maksimumu vienlaicīguma koeficients atkarībā no 110 kV TA skaita; $k_{v,330}$ – 330/110 kV transformatoru slodžu maksimumu vienlaicīguma koeficients atkarībā no 330 kV TA skaita.

3.2. Apakšstaciju apkalpes zonu un slodzes blīvuma korekcija

Šajā apakšnodaļā koriģēts, aprēķināts un izanalizēts Rīgas pilsētas 110 kV apakšstaciju apkalpes zonu sadalījums, pamatojoties uz „Latvenergo” datiem un TA reālo apkalpes zonu sadalījuma karti [16, 17], kā arī, ievērojot transformatoru apakšstaciju nelietderīgās apkalpes zonas (upes, ezeri, meži, kanāli utt.). „Dabas elementus” nevar ņemt vērā aprēķinos, jo tas var novest pie nepareiziem lēmumiem, definējot rajona slodzes blīvumu.

Ņemot vērā iegūtus lietderīgo slodzes blīvumu aprēķinus, tiek izdarīts 110 kV TA slodzes blīvuma sadalījums. Šie aprēķini ir veikti 2010. gadam, tāpēc, ka nav pieejama citu gadu datu informācija.

Zinot lietderīgās apkalpes zonas un jaudas vērtības, katrai apakšstacijai ir iespējams aprēķināt lietderīgo slodzes blīvumu:

$$\sigma_{lietd,i,t} = \frac{S_{pilna,i,t} - \Pi_{nelietd,i,t}}{\Pi_{pilna,i,t}} = \frac{S_{pilna,i,t}}{\Pi_{lietd,i,t}}, \quad (3.1)$$

kur $S_{pilna,i,t}$ – i -tās apakšstacijas transformatora pilnā jauda, MVA; $\Pi_{lietd,i,t}$ – i -tās apakšstacijas lietderīgā apkalpes zona t -tajā gadā, km²; $\Pi_{pilna,i,t}$ – i -tās apakšstacijas pilnā

apkalpes zona t -tajā gadā, km^2 ; $\Pi_{nelietd,i,t}$ – i -tās apakšstacijas nelietderīgā apkalpes zona t -tajā gadā, km^2 ; t – aprēķinu periods, gads.

Pie dažādiem slodzes blīvumiem TA apkalpes zonās vidējais slodzes blīvums pilsētas robežās tiek definēts šādi:

$$\sigma_{vid} = \frac{\sigma_1 \cdot \Pi_1 + \sigma_2 \cdot \Pi_2 + \dots + \sigma_i \cdot \Pi_i}{\Pi_{lietd,i,t}}, \quad (3.2)$$

kur Π_1, \dots, Π_i – i -tā pilsētas rajona apkalpes zona, km^2 .

Izteiksme (3.2) ļauj veikt korekciju pilsētas vai pilsētas rajona slodzes blīvumā, TA slodzē vai apbūves teritorijā notiekot izmaiņām jebkurā hierarhijas līmenī. Ja pilsētas apbūves teritorija un cita cieši ar to saistīta un pieguļoša teritorija papildinās ar jaunām, agrāk apbūvei neizmantotām teritorijām, tad mainās pilsētas apbūves teritorijas robežas un slodzes blīvumu var aprēķināt šādi:

$$\sigma'_{lietd} = \frac{\sigma_1 \cdot (\Pi_1 + \Delta\Pi_1) + \sigma_2 \cdot (\Pi_2 + \Delta\Pi_2) + \dots + \sigma_i \cdot (\Pi_i + \Delta\Pi_i)}{\Pi_{lietd,i,t}}, \quad (3.3)$$

kur $\Delta\Pi_1, \dots, \Delta\Pi_i$ – i -tā pilsētas rajona apkalpes zonas izmaiņa, km^2 .

Ja pilsētas rajona vai mikrorajona summārā slodze palielinās, tad slodzes blīvumu var attēlot šādi:

$$\sigma''_{lietd} = \frac{k_V \cdot ((S_{TA,1} + \Delta S_{TA,1}) + (S_{TA,2} + \Delta S_{TA,2}) + (S_{TA,i} + \Delta S_{TA,i}))}{\Pi_{lietd}}, \quad (3.3)$$

kur $\Delta S_{TS1}, \dots, \Delta S_{TS,i}$ – i -tā pilsētas rajona summārās slodzes izmaiņas, MVA.

Augstākminētie parametri ļauj noteikt sešstūra modeļa maksimālā šablona parametrus pie atbilstoša pieļaujamā slodzes koeficienta:

$$\Pi_{piel,i,t} = \frac{n_{T,i} \cdot \beta_{piel,i} \cdot S_{nom,i}}{\sigma_{lietd,i,t}}, \quad (3.4)$$

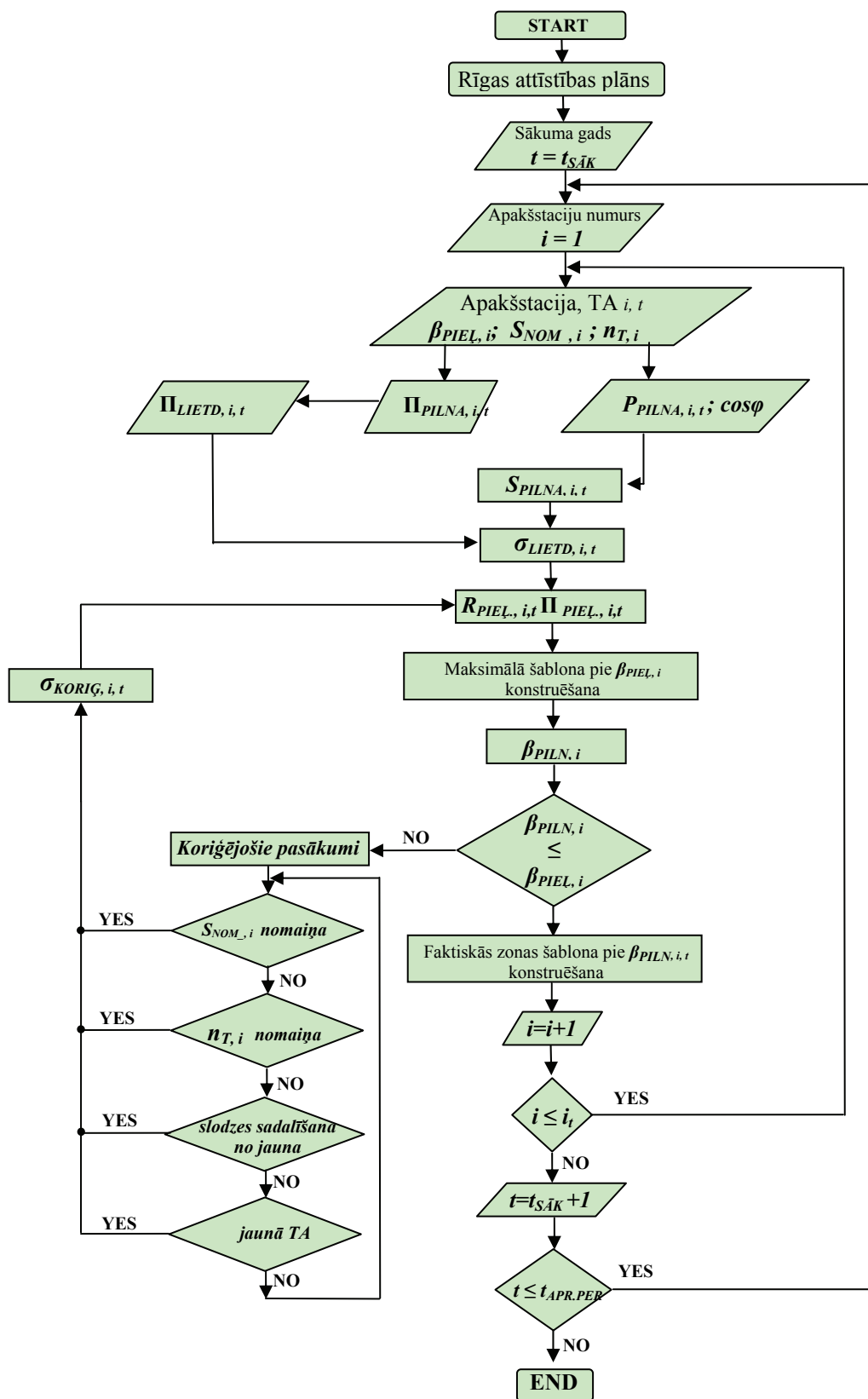
$$R_{piel,i,t} = 0.62 \cdot \sqrt{\frac{n_{T,i} \cdot \beta_{piel,i} \cdot S_{nom,i}}{\sigma_{lietd,i,t}}}$$

kur $\Pi_{piel,i,t}$ – i -tās transformatoru apakšstacijas apkalpes zona; $R_{piel,i,t}$ – i -tās apakšstacijas pieļaujamais apkalpes zonas rādiuss, km^2 ; $\beta_{piel,i}$ – i -tās apakšstacijas pieļaujamais slodzes koeficients; $n_{T,i}$ – i -tās apakšstacijas transformatoru skaits.

Veikts pilnā slodzes koeficienta aprēķins un tā salīdzinājums ar pieļaujamo vērtību:

$$\beta_{pilna,i} = \frac{S_{pilna,i,t}}{n_{T,i} \cdot S_{nom,i}}, \quad (3.5)$$

Ievērojot augstāk izklāstīto, tiek izstrādāts slodzes blīvuma korekcijas algoritms Rīgas pilsētas tīklā, kas atspoguļots 3.1. attēlā.



3.1. att. Slodzes blīvuma korekcijas algoritms attīstības projektos

3.3. Pilsētas rajonu (mikrorajonu) slodzes blīvumu kartogrammu veidošana

Slodzes blīvumu perspektīvos pilsētas rajonos vai mikrorajonos var aprēķināt, zinot rajonu (mikrorajonu) summārās slodzes un to platību, vai pieņemot pēc analogijas slodzes blīvumu raksturīgos rajonos ar attiecīgo stāvu apbūvi. Orientējošo summāro slodžu noteikšanai jaunos rajonos (mikrorajonos) projektēšanas sākumstadijās var izmantot aptuvenu metodi, kas bāzējas uz vidējiem slodzes blīvumiem [25].

Ziņas par Rīgas pilsētas slodzes blīvuma vērtībām nav sistematizētas un nav pietiekamas pilsētas attīstības uzdevumu risināšanai. Tādēļ darbā tiek veikta šo rādītāju noteikšana, precizēšana un datu sistematizācija. Šāda informācija ir nepieciešama jaunu mikrorajonu slodzes noteikšanai projektēšanas agrajās stadijās, kad nav detalizētas izstrādāšanas, orientējošai perspektīvo TA jaudas izvēlei, dažu pilsētas attīstības projektu risinājumam.

Aprēķinātas vairāku Rīgas pilsētas rajonu atsevišķo apakšrajonu (kvartālu) slodzes un to blīvums, ievērojot vienlaicīguma koeficientus un sprieguma hierarhiju. Izveidota arī šo apakšrajonu slodzes blīvuma kartogramma.

Veiktās analīzes rezultātā piedāvāta vienota orientējošā aplēses slodžu blīvuma pēc stāvu apbūves platībām klasifikācija.

Darba veikšanai tiek izmantotas programmas ArcGIS, Excel un AutoCAD.

3.3.1. Imantas mikrorajona slodzes blīvumu kartogrammas veidošana

Apakšnodaļā tiek izanalizēts Imantas mikrorajons, tā apbūves teritorija, esošo ēku stāvu skaits, katras mājas elektriskā uzstādītā slodze (AS „Latvenergo” dati) un slodzes blīvumi. Tiek piedāvāta Imantas stāvu skaita plāna korekcija, kas ievērojami maina priekšstatu par slodzes blīvumu vērtībām.

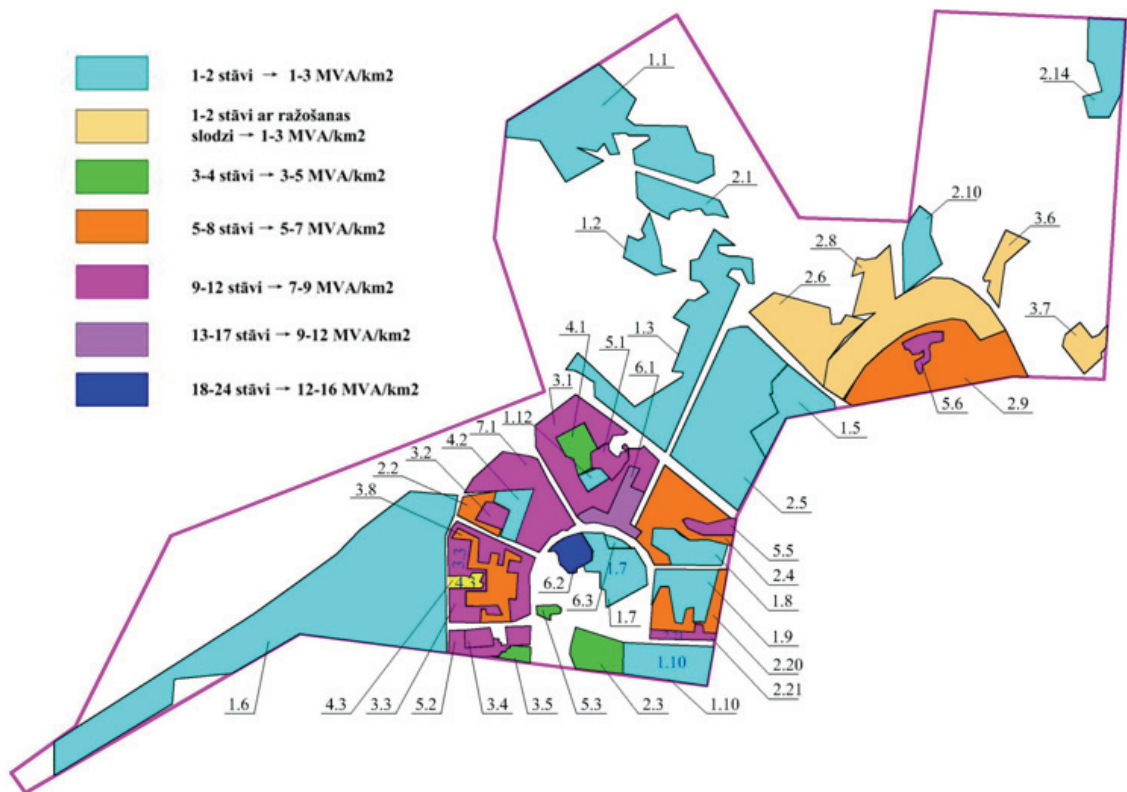
Pētījumā izskatīts vairāk nekā 400 objektu. Pēc Imantas rajona detalizētiem pētījumiem un, izmantojot ArcGIS programmu, tiek secināts, ka apbūves stāvu skaita plāns pēc attīstības plāna ir novecojis un tam ir nepieciešama koriģēšana sakarā ar neeksistējošo dzīvojamo apbūves teritoriju un stāvu skaita neatbilstību. Līdz ar to tiek piedāvāta apakšstacijas „Imanta” reālās zonas sadalījuma mikrorajonos pēc stāvu skaita korekcija. Imantas mikrorajons tiek sadalīts 40 zonās (apakšrajonos). Ievērojot slodzes datus, lietderīgo apkalpes zonu vērtības, kā arī vienlaicīguma koeficientu vērtību slodžu summēšanai, tiek aprēķināts katras zonas slodzes blīvums. Rezultāti ilustrēti 3.2. attēlā.

Pēc iegūtajiem rezultātiem tiek noteikts Imantas rajona vidējais slodzes blīvums: $\sigma_{vid.raj,0,4} = 4,6$ (MVA/km²). Tiek veikti Imantas rajona orientējošās aplēses slodzes blīvumu aprēķini pēc stāvu apbūves platībām (3.2. tab.).

3.2. tabula

Imantas rajona orientējošās aplēses slodzes blīvumi pēc stāvu apbūves platībām

Apbūves veids, st. sk.	Π, km ²	Rajonu slodzes blīvums σ , MVA/km ²		
1–2	5,52	1,0	–	3,0
3–4	0,227	3,0	–	6,5
5–8	1,746	6,5	–	8,0
9–12	1,35	8,0	–	9,0
13–17	0,09	9,0	–	12,0
18–24	0,065	12,0	–	16,0



3.2. att. Apakšstacijas „Imanta” reālās zonas sadalījuma zonās korekcija pēc stāvu skaita

Zinot slodzes blīvumu zēmam sprieguma līmenim un, izmantojot 3.1. tabulas izteiksmes, tiek aprēķināti slodzes blīvumi visām sprieguma pakāpēm. Vienlaicīguma koeficientu vērtības tiek ņemtas no [16].

$$\sigma_{10-20} = k_{v,10-20} \cdot \sigma_{0,4} = 0,85 \cdot 4,6 = 3,91 \text{ (MVA/km}^2\text{)},$$

$$\sigma_{110} = k_{v,110} \cdot \sigma_{10-20} = k_{v,10-20} \cdot k_{v,110} \cdot \sigma_{0,4} = 0,85 \cdot 0,90 \cdot 4,6 = 0,76 \cdot 4,6 = 3,52 \text{ (MVA/km}^2\text{)},$$

$$\sigma_{330} = k_{v,330} \cdot \sigma_{110} = k_{v,10-20} \cdot k_{v,110} \cdot k_{v,330} \cdot \sigma_{0,4} = 0,85 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot 4,6 = 3,30 \text{ (MVA/km}^2\text{)}.$$

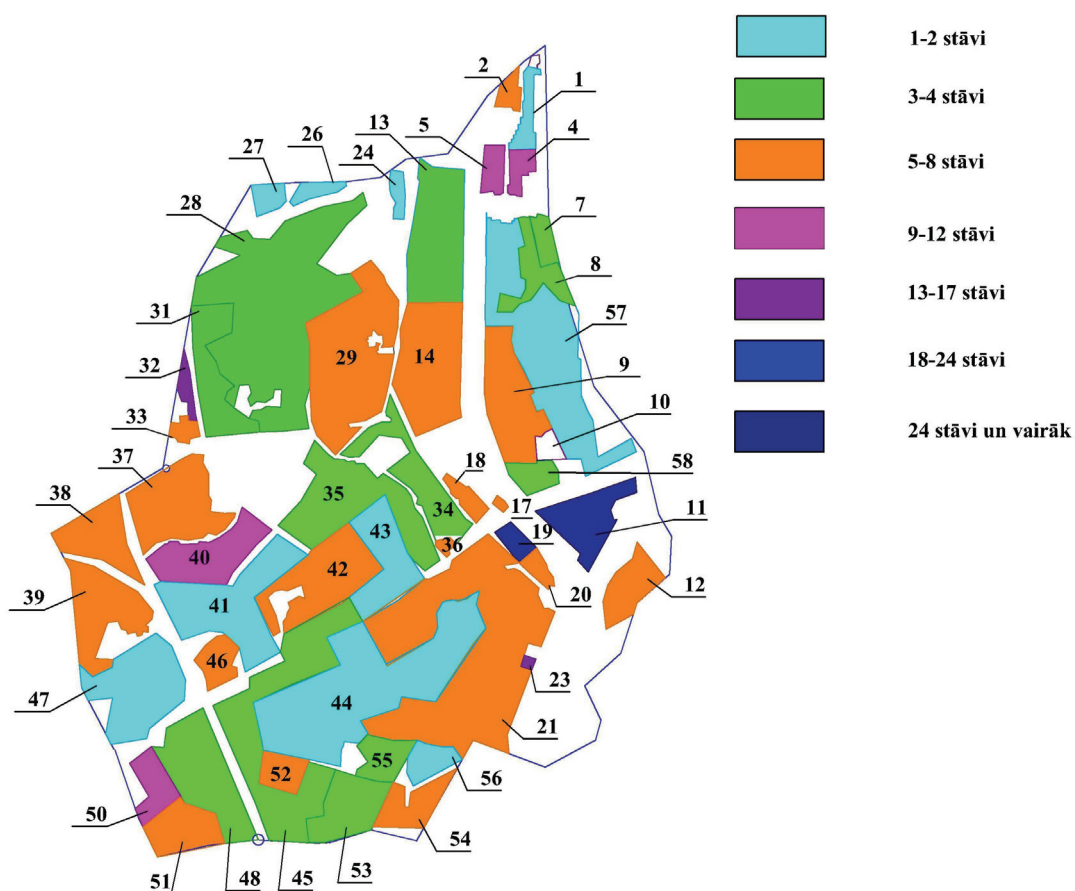
Imantas rajona 110 kV sprieguma pakāpes slodzes blīvums ir aprēķināts un attēlots 3.2. tabulā, tas ir vienāds ar 1,62 MVA/km². Salīdzinot ar mūsu iegūto rezultātu (3,91 MVA/km²), dati atšķiras. To var paskaidrot, vispirms, ar to, ka aprēķini tika veikti dažādiem gadiem. Otrkārt lietderīgās apkopes zonas atšķiras. Pēc detalizētas apbūves teritorijas analīzes secināts, ka attīstības plāna karte ir novecojusi un tā jāpildveido.

3.3.2. Apakšstacijas „Zunda” baroto mikrorajonu slodzes blīvuma kartogrammas veidošana

Saskaņā ar Rīgas pilsētas attīstības plānu [11], tuvākajos gados plānots uzbūvēt vairākas lielas un nozīmīgas celtnes TA „Zunda” izvietojuma rajonā. Ņemot vērā straujo šīs Rīgas daļas attīstību, apakšstacijas slodze sasniegs transformatoru uzstādīto jaudu – 2 × 25 (MVA).

Ievērojot attīstības plāna karti [11, 16] un nelietderīgo zonu pastāvēšanu, tiek izstrādāta modificēta karte ar 50 sadalītām teritorijām, kas dod skaidru priekšstatu par katras zonas stāvu skaitu (3.3. att.).

Balstoties uz 2. nodaļas teorētisko pamatojumu, tiek aprēķinātas aplēses slodzes katrai zonai.



3.3. att. Apakšstacijas „Zunda” apkalpes zonas karte ar 50 kvartāliem pēc stāvu skaita

Ievērojot iegūtos rezultātus, tiek piedāvāti Zundas mikrorajona orientējošās aplēses slodzes blīvumu aprēķini pēc stāvu apbūves platībām (3.3. tab.).

3.3. tabula

Zundas rajona orientējošie aplēses slodzes blīvumi pēc stāvu apbūves platībām

Apbūves veids, st. sk.	П, km ²	Rajonu slodzes blīvums σ, MVA/km ²
1–2	1,034	1,0 – 2,0
3–4	1,633	2,0 – 6,0
5–8	1,8884	6,0 – 9,0
9–12	0,168	9,0 – 12,0
13–17	0,0202	12,0 – 17,0
18–21	0,052	17,0 – 20,0
21–26	0,050	20,0 – 25,0

Zinot vidējo slodzes blīvuma vērtību zemsprieguma līmenī ($\sigma = 5,38 \text{ MVA/km}^2$) un, izmantojot 3.1. tabulas izteiksmes, tiek aprēķināti slodzes blīvumi visās sprieguma pakāpēs:

$$\sigma_{10-20} = 4,57 \text{ (MVA/km}^2\text{)}, \quad \sigma_{110} = 4,10 \text{ (MVA/km}^2\text{)}, \quad \sigma_{330} = 3,87 \text{ (MVA/km}^2\text{)}.$$

Zundas 110 kV sprieguma pakāpes slodzes blīvums ir aprēķināts un attēlots 3.3. tabulā, tā vērtība ir $5,23 \text{ MVA/km}^2$. Salīdzinot ar mūsu iegūto rezultātu ($4,57 \text{ MVA/km}^2$), var secināt, kā dati atšķiras (12 %). To var izskaidrot ar Zundas apkalpes zonu palielināšanos slodzes pieauguma dēļ.

Pētījumu rezultātā, orientējošie slodzes blīvumi tiek noteikti pilsētas atsevišķiem iecirkņiem un apkopoti 3.4. tabulā [8, 16, 27, 28].

3.4.tabula

Dažādu Rīgas pilsētas rajonu orientējošais slodzes blīvums

Rajons	Stāvu skaits	Slodzes blīvums (uz 10,5 kV kopnēm), MVA/km ²
Vecrīga	3–6	36,8
Pļavnieki	9	8,4
Mežciems	9	7,4
Ziepiņkalns	9–12	7
Zaķusala	2; 3; 5; 7–9; 18–24; 25	5,2–5,7
Lucavsala	7–9; 18–24	10,82–14,11
Rumbala	3, 7–9; 18–24	5,6–6,8
Imanta	1; 2; 5; 9–12; 16; 26	3,91
Zunda (Ķīpsala, Klīversala, Pārdaugavas daļa)	5; 6; 9–12	4,57

4. ELEKTRISKO LĪNIJU OPTIMĀLO ŠĶĒRSGRIEZUMU IZVĒLES METODES TIRGUS EKONOMIKAS APSTĀKĻOS

Būves ekonomiskā efektivitāte un elektroenerģētikas sistēmas ekspluatācija ir ievērojamā mērā atkarīga no elektrisko tīklu racionālas uzbūves. Elektrisko tīklu elementos tiek zaudēts līdz 15 % elektroenerģijas, turklāt šo zudumu pamatdaļa ir gaisvadu līniju vadu, kabeļu un transformatoru tinumu silšanas zudumi, kas ir saistīti ar līniju un transformatoru aktīvo pretestību esamību.

Šīs kopējo zudumu daļas samazināšanas īpašs, radikāls veids varētu būt vada un kabeļa dzīslu aktīvo pretestību samazināšana. Aktīvās pretestības pazemināšanas iespēja ir saistīta tikai ar vada un kabeļa dzīslu šķērsriezuma palielināšanu. No otras puses, šķērsriezuma palielināšana ir saistīta ar elektropārvades līniju sadārdzināšanos un ikgadējo izmaksu palielināšanos.

No šejienes izriet, ka viens no galvenajiem nosacījumiem, kas lielā mērā noteic tīkla uzbūves tālākās izmaksas, ir vadu un kabeļu optimāla šķērsriezuma izvēle projektēšanas stadijā vai tīklu rekonstrukcijas gadījumā.

4.1. Ekonomiskā strāvas blīvuma un ekonomisko intervālu metožu apskats

Izvēle pēc ekonomiskiem apsvērumiem var tikt izdarīta pēc ekonomiskā strāvas blīvuma metodes vai pēc ekonomisko intervālu metodes. Abas metodes balstītas uz ikgadējo izmaksu minimuma kritēriju, tomēr tās atšķiras ar aprēķinu precizitāti [29–32].

Ikgadējās izmaksas atkarībā no strāvas līnijai ar dažādiem šķērsgriezumiem var noteikt šādi:

$$C_i = (i + p_\Sigma) \cdot (a + b \cdot F) \cdot l + 3 \cdot I_{maks}^2 \cdot (\tau \cdot \beta' + \beta'') \cdot \frac{l}{\gamma \cdot F} \cdot 10^{-3} \quad (4.1)$$

jeb

$$C_i = (i + p_\Sigma) \cdot K_l + 3 \cdot I_{maks}^2 \cdot R \cdot (\tau \cdot \beta' + \beta'') \cdot 10^{-3} \quad , \quad (4.2)$$

kur p_Σ – summārie amortizācijas, uzturēšanas un apkalpošanas atskaitījumi, r.v.; i – procentu likme jeb banku aizdevumu procenti, kas izteikti relatīvajās vienībās; I_{maks} – maksimālā līnijas slodzes strāva visā aplēses periodā, A; R – līnijas aktīvā pretestība, Ω ; $\tau = f(T_{maks})$ – maksimālo zudumu laiks, h; β' – īpatnējā elektroenerģijas zudumu vērtība, €/kWh; β'' – jaudas cena sistēmas slodzes maksimuma laikā, €/kW; γ – īpatnējā vadītspēja, m/ $\Omega \cdot \text{mm}^2$; a – līnijas nemainīgo izmaksu komponente, kas nav atkarīga no šķērsgriezuma, €/km, (piem., trases sagatavošanas darbu izmaksas, pievadceļu ierīkošanas izmaksas u.c.); b – koeficients, kas proporcionāls vadu šķērsgriezuma laukumam, jeb sadārdzinājuma koeficients, kas rāda līnijas izmaksu izmaiņu, šķērsgriezumam mainoties par 1 mm^2 , €/km $\cdot\text{mm}^2$; l – līnijas garums, km;

Pēc detalizētas analīzes tiek secināts, ka vadu un kabeļu izvēle pēc ekonomiskā strāvas blīvuma metodes neļauj iegūt ikgadējo izmaksu minimumu, tā kā metodei ir pieļāvumi un neprecizitātes. Līdz ar to tika izpētīta ekonomisko intervālu metode [29, 30]. Par metodes bāzi tiek pieņemts ikgadējo summāro izmaksu vienlīdzības nosacījums blakus esošu vadu standarta šķērsgriezumiem:

$$C_i = C_{i+1} \quad (4.3)$$

Ievērojot nosacījumu (4.3) un izteiksmi (4.2), tiek noteikta robežas strāva, pie kuras ir ekonomiski lietderīga pāreja no mazāka šķērsgriezuma uz lielāku [30]:

$$I_{ek} = \sqrt{\frac{(i + p_\Sigma)}{\tau \cdot \beta' + \beta''}} \cdot \sqrt{\frac{(K_{L(i+1)} - K_{Li}) \cdot 10^3}{3 \cdot (R_i - R_{i+1})}} = \sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{(K_{L(i+1)} - K_{Li}) \cdot 10^3}{3(R_i - R_{i+1})}} \quad , \quad (4.4)$$

kur $\sigma = \frac{(i + p_\Sigma)}{\tau \cdot \beta' + \beta''}$ – faktors, kas atkarīgs no elektriskā tīkla tehniskajiem un tehniski ekonomiskajiem parametriem.

Pēc dotās metodikas var konstruēt universālas ekonomiskās nomogrammas, kas dod ekonomiskā šķērsgriezuma precīzāko un ērtu izvēli dažādiem spriegumiem un tīklu izpildījumiem, salīdzinot ar ekonomiskā strāvas blīvuma metodi [29, 30].

Ekonomisko intervālu metode tika teorētiski padziļināta un attīstīta darbos [1, 29, 31, 33–35].

Balstoties uz metodiku, jaudas intervālu ideja radusi attēlojumu dažādos publicētos darbos [30, 34].

4.2. Ekonomisko intervālu metodes modifikācija

Pāreja uz tirgus attiecībām ekonomikā prasīja lēmumu pieņemšanas metodoloģijas pārskatīšanu investīciju politikas sfērā visās nozarēs, tai skaitā elektroenerģētikā. Tā noveda pie nozīmīgām izmaiņām gaisvadu un kabeļu līniju ekonomiskās būvniecības projektu pamatojumā. Galvenokārt šīs izmaiņas ir saistītas ar grūtībām informācijas savākšanā par elektropārvades gaisvadu un kabeļu līnijas kilometra izbūves vērtību, par aprīkojumu un būvmontāžas darbu izmaksām.

Tirgus ekonomikas apstākļos investīcijas energoobjektu būvniecībā nosaka energouzņēmumu pašu kapitāls, investoru intereses un finansiālās iespējas. Daudzās valstīs minētā pāreja noveda arī pie līnijas vērtības vienotu apkopojošo rādītāju neesamības. Tas sarežģī variantu novērtēšanas procesu, tā kā tas notiek sākuma informācijas nenoteiktības apstākļos.

Minēto izmaiņu rezultātā noskaidrojas, ka kapitālieguldījumu vērtību nosaka elektrotehnisko materiālu un būvmontāžas darbu tirgus. Līdz ar to līdzekļu deficīta apstākļos enerģētikas sfērā projektiem jābūt tehniski un ekonomiski pamatotiem un efektīviem.

Neskatoties uz ekonomisko intervālu metodes priekšrocībām, tā tomēr pilnībā nedarbojas tirgus ekonomikas apstākļos. Līdz ar to mūsdienu ekonomiskajos apstākļos tradicionālajām līniju šķērsriezumu izvēles metodēm nepieciešama kritiska analīze un noteiktas korekcijas.

Sakarā ar to darbā tiek piedāvāta pārveidota ekonomisko intervālu metodes realizācijas pieeja. Šis pārveidojums ļauj izvēlēties ekonomiski pamatotu, racionālu līnijas šķērsriezumu un nodrošināt minimālas summārās izmaksas gan elektrisko tīklu būvniecībai, gan to ekspluatācijai. Šī metodes modifikācija tiek balstīta uz līnijas izbūves summāro izmaksu minimuma meklēšanu. Pamatoto matemātisko pārveidojumu ceļā izdodas izslēgt no izmaksu funkcijas dažas sastāvdaļas (būvniecības un montāžas darbu izmaksas blakus šķērsriezumiem, kuras tirgus ekonomikas apstākļos nav viennozīmīgi noteiktas. Rezultātā tiek veikti ekonomisko intervālu aprēķini pēc strāvas un jaudas un tiek konstruētas to nomogrammas.

4.2.1. Ekonomisko intervālu metodes modifikācija gaisvadu līnijām un nomogrammu konstruēšana šķērsriezumu racionālai izvēlei

Ievērojot metodes modifikāciju tirgus apstākļiem, ekonomiski lietderīgās strāvas tiek aprēķinātas šādi:

$$I_{ek,GL} = \sqrt{\frac{i + p_{\Sigma}}{\tau \cdot \beta' + \beta''}} \cdot \sqrt{\frac{n_f \cdot (K_{met,(i+1)} - K_{met,i})}{3 \cdot (R_i - R_{i+1}) \cdot 10^{-3}}}, \quad (4.5)$$

kur $K_{met,i}$, $K_{met,(i+1)}$ – līnijas vada metāla izmaksas blakus šķērsriezumiem, €; n_f – fāžu skaits līnijā.

Pēc dažādām matemātiskām transformācijām tiek iegūtas ekonomiski lietderīgās strāvas un jaudas vērtības, pie kurām pāreja no mazākā šķērsriezuma uz lielāko ir ekonomiski izdevīga:

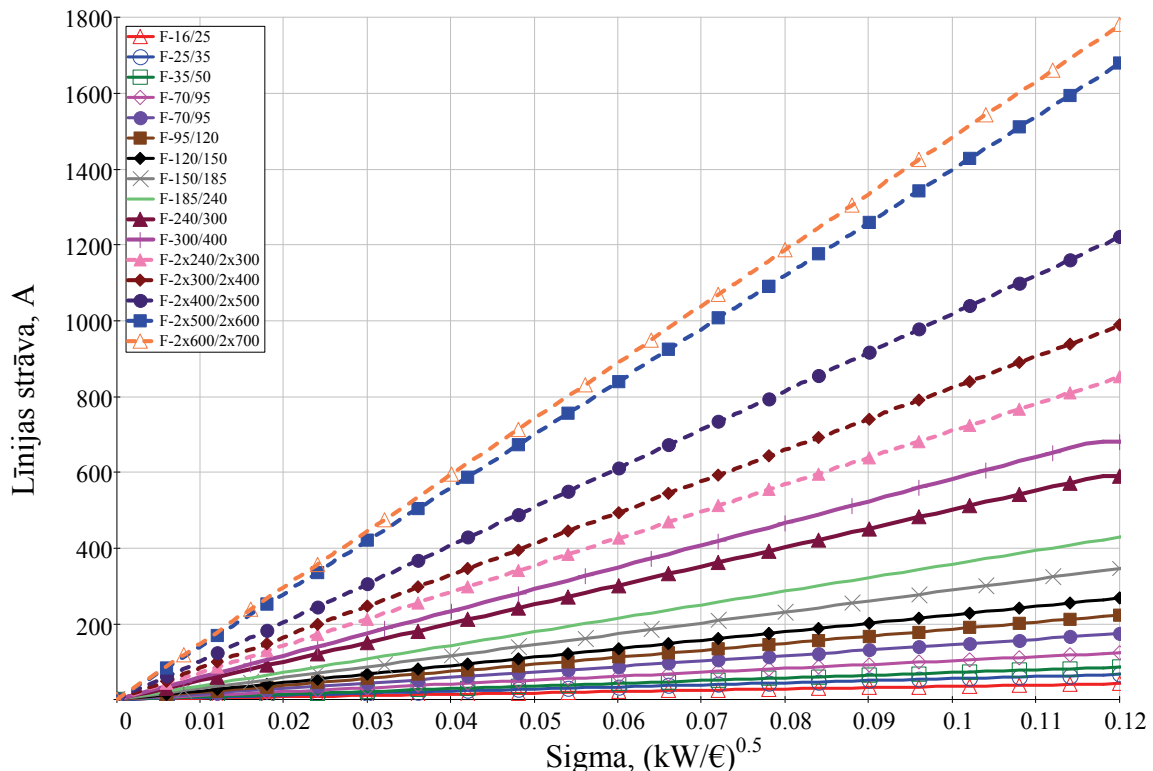
$$I_{ek,GL} = \sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{n_f \cdot K_{0,met,GL} \cdot D_{met,GL} \cdot (F_{i+1} - F_i)}{3 \cdot (R_{0i} - R_{0,(i+1)})}}, \quad (4.6)$$

$$P_{ek,GL} = U \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{n_f \cdot K_{0,met,GL} \cdot D_{met,GL} \cdot (F_{i+1} - F_i)}{(R_{0i} - R_{0,(i+1)})}}, \quad (4.7)$$

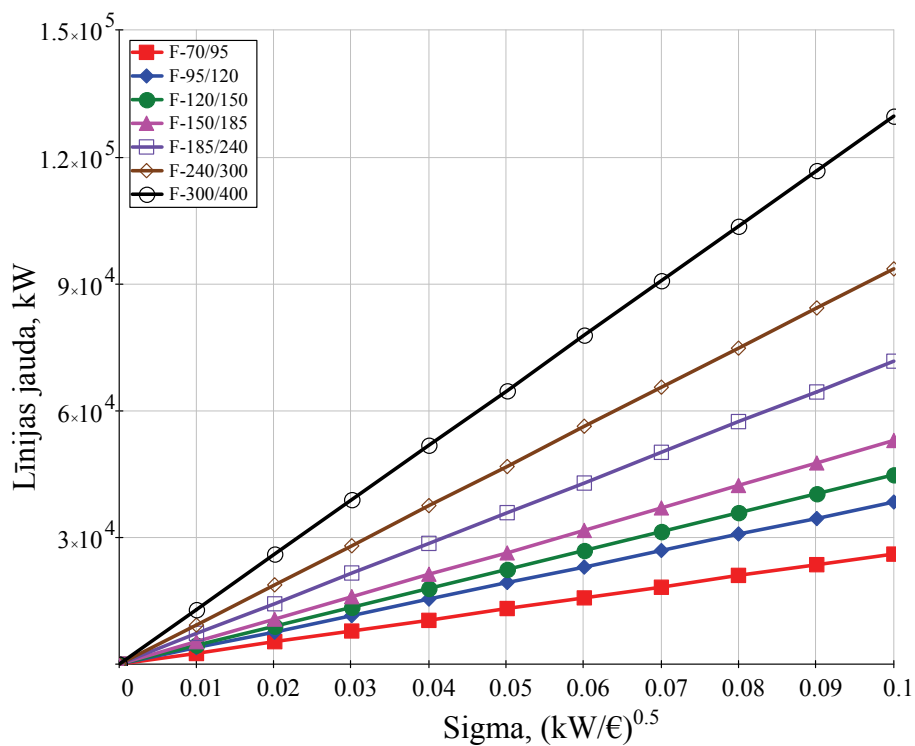
kur $K_{0,met}$ – 1 kg vada līnijas metāla vērtība, €/kg; $D_{met,GL}$ – vada metāla blīvums, kg/m³; F_{i+1}, F_i – vada blakus šķērsgriezumi, mm²; $R_{0i}, R_{0,(i+1)}$ – blakus vadu aktīvā pretestība, Ω/km, U – līnijas nominālais spriegums, kV; $\cos \varphi$ – jaudas koeficients.

Tiek aprēķinātas un konstruētas ekonomisko intervālu strāvas $I_{ek,GL}=f(\sqrt{\sigma})$ un jaudas $P_{ek,GL}=f(\sqrt{\sigma})$ nomogrammas 0,4-10-20-110 kV trīsfāžu gaisvadu līnijām ar alumīnija, vara un tēraudalumīnija vadiem ar standarta šķērsgriezumiem: 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 240, 300 mm², kā arī 330 kV gaisvadu līniju strāvas nomogrammas ar alumīnija, vara un tēraudalumīnija vadiem ar šķeltiem šķērsgriezumiem: 2 × 240, 2 × 300, 2 × 400, 2 × 500, 2 × 600 mm² (4.1., 4.2. att.).

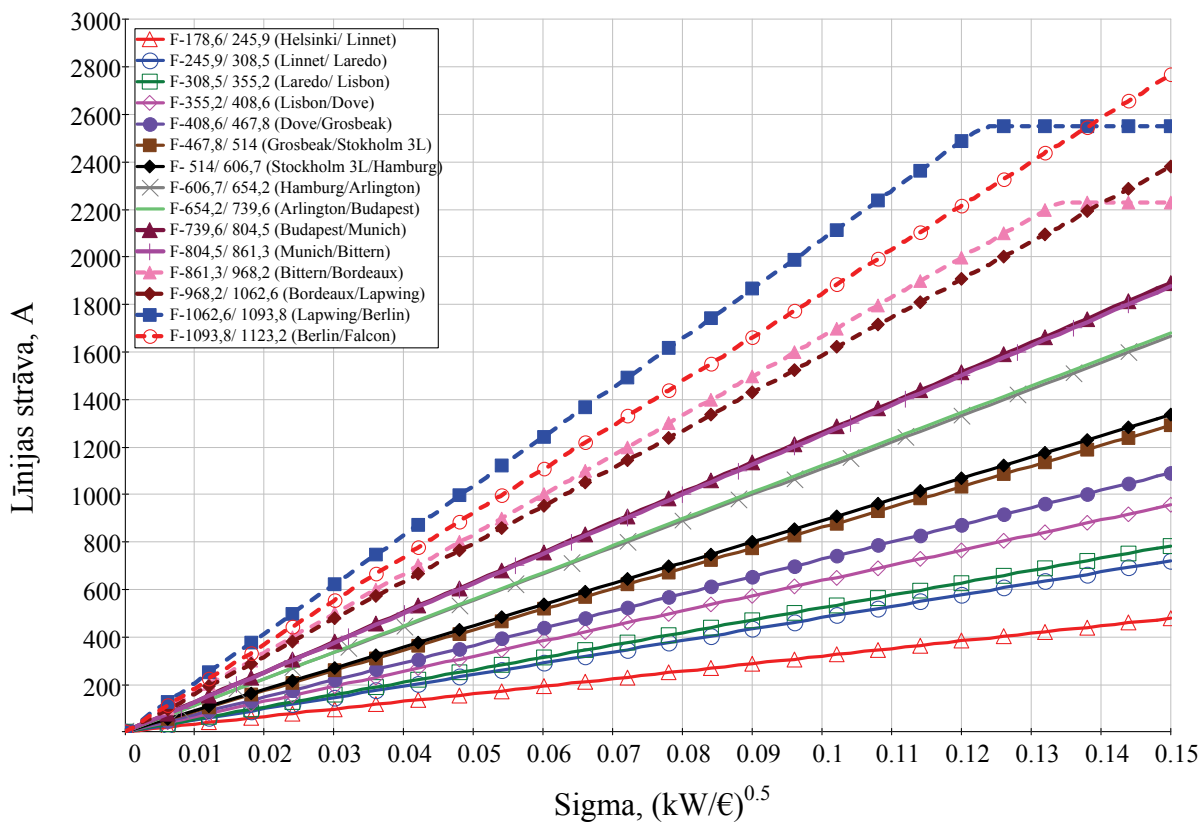
Tiek arī konstruētas HTLS (*High Temperature Low Sag Conductor*) gaisvadu līnijas strāvas nomogrammas (4.3. att.). HTLS vadu tipi ir efektīvi, jo tie, pirmkārt, spēj ilgstoši darboties augstās temperatūrās virs 100 °C, nezaudējot vada stiepes stiprību, tādējādi palielinot gaisvadu līnijas caurlaides spēju; otrkārt, šiem vadiem pastāv mazākas nokares augstās temperatūrās, kas ļauj, nepaaugstinot un nepārbūvējot balsta konstrukciju, ievērot visus nepieciešamos normatīvos gabarītus līdz zemei un šķērsojamiem objektiem [36].



4.1. att. Universālās strāvas nomogrammas 0,4-10-20-110-330 kV gaisvadu līnijām ar alumīnija vadiem



4.2. att. Jaudas nomogrammas 110 kV gaisvadu līnijām ar tēraudaalumīnija vadiem



4.3. att. 110 kV ACCC (*Aluminium Conductor Composite Core*) vada strāvas nomogrammas

4.2.2. Ekonomisko intervālu metodes modifikācija kabeļu līnijām un nomogrammu konstruēšana šķērsriezumu racionālai izvēlei

Darbā tiek piedāvāta ekonomisko intervālu metodes korekcija kabeļu līnijām ar šūtā polietilēna izolāciju (XLPE). Tiek iegūtas strāvas un jaudas ekonomiski lietderīgās vērtības izteiksmes [37–39]:

$$I_{ek,KL} = \sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot (F_{i+1} - F_i) + B \cdot (d_{dz,(i+1)} - d_{dz,i})}{3 \cdot (R_{0,i} - R_{0,(i+1)})}}, \quad (4.8)$$

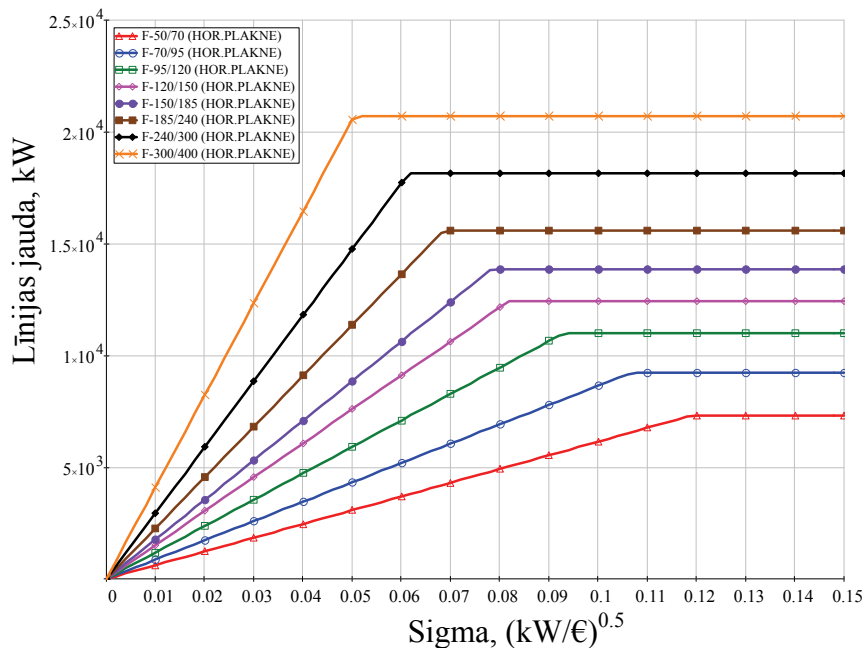
$$P_{ek,KL} = U \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot (F_{i+1} - F_i) + B \cdot (d_{dz,(i+1)} - d_{dz,i})}{3 \cdot (R_{0,i} - R_{0,(i+1)})}}, \quad (4.9)$$

kur $A = n_{dz} \cdot K_{0,met,KL} \cdot D_{met,KL} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_{rez}$

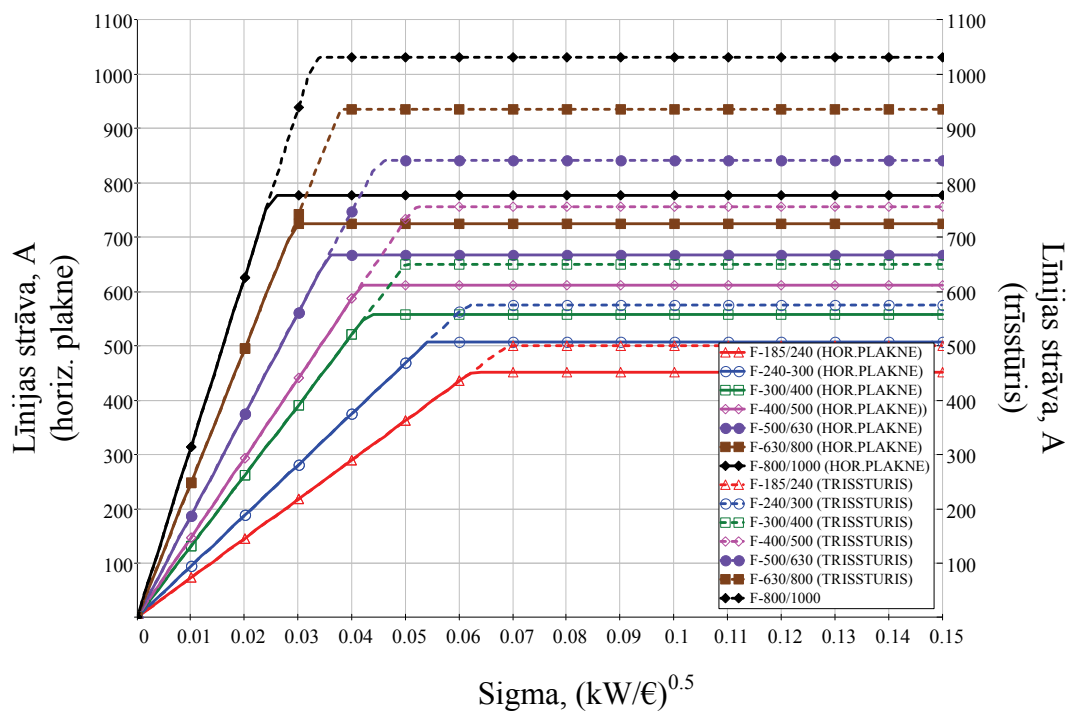
$$B = \pi \cdot D_{izol,KL} \cdot K_5 \cdot K_{0,izol,KL} \cdot S_{izol,KL}$$

kur n_{dz} – dzīslu skaits; $K_{0,met,KL}$ – 1 kg kabeļa metāla vērtība, €/kg; $D_{met,KL}$ – dzīslas metāla īpatnējais svars, kg/m³; K_1 – dzīslas stiepļu nosiešanas koeficients; K_2 – kabeļu, vada, trošu dzīslu nosiešanas koeficients; K_{rez} – rezerves koeficients pēc minimālās masas, kuru nosaka tehniskās vai tehnoloģiskās dokumentācijas izstrādātājs, ievērojot izstrādājumu un to izgatavošanas tehnoloģijas īpatnības; $D_{izol,KL}$ – izolācijas īpatnējais svars, kg/m³; K_5 – koeficients, kas ievēro tehnoloģiskus faktoros (uzlikšanas nevienmērība, tukšumu aizpilde starp vadiem); $K_{0,izol,KL}$ – 1 kg kabeļa izolācijas vērtība, €/kg; $S_{izol,KL}$ – kabeļa izolācijas biezums, mm.

Tiek aprēķinātas un konstruētas viendzīslas 0,4 kV, 10 kV, 20 kV, 110 kV un 330 kV XLPE kabeļu līnijas strāvas un jaudas nomogrammas ar alumīnija un vara vadiem (4.4., 4.5. att). Konstruējot nomogrammas, uzmanība tika pievērsta arī kabeļu likšanas veidiem.



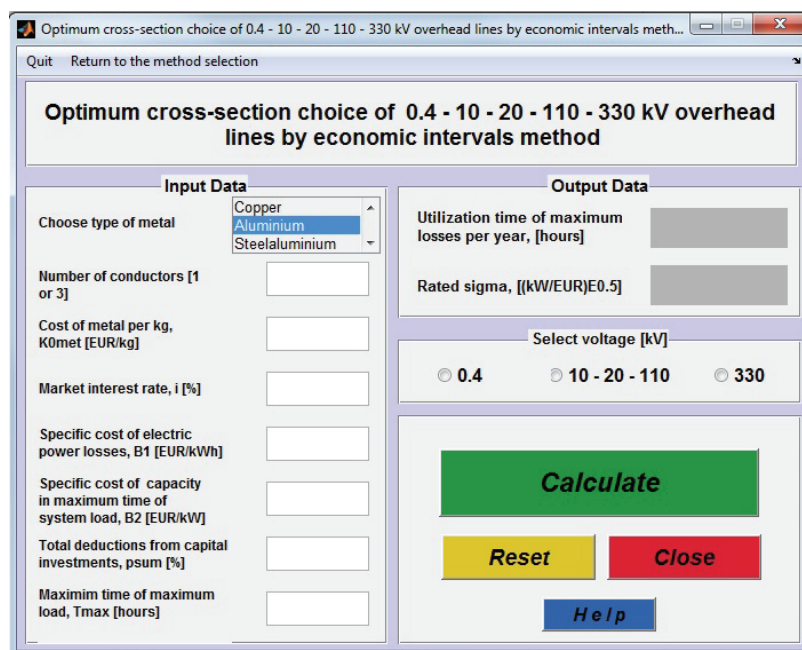
4.4. att. Jaudas nomogrammas viendzīslas 20 kV kabeļu līnijām ar vara dzīslām



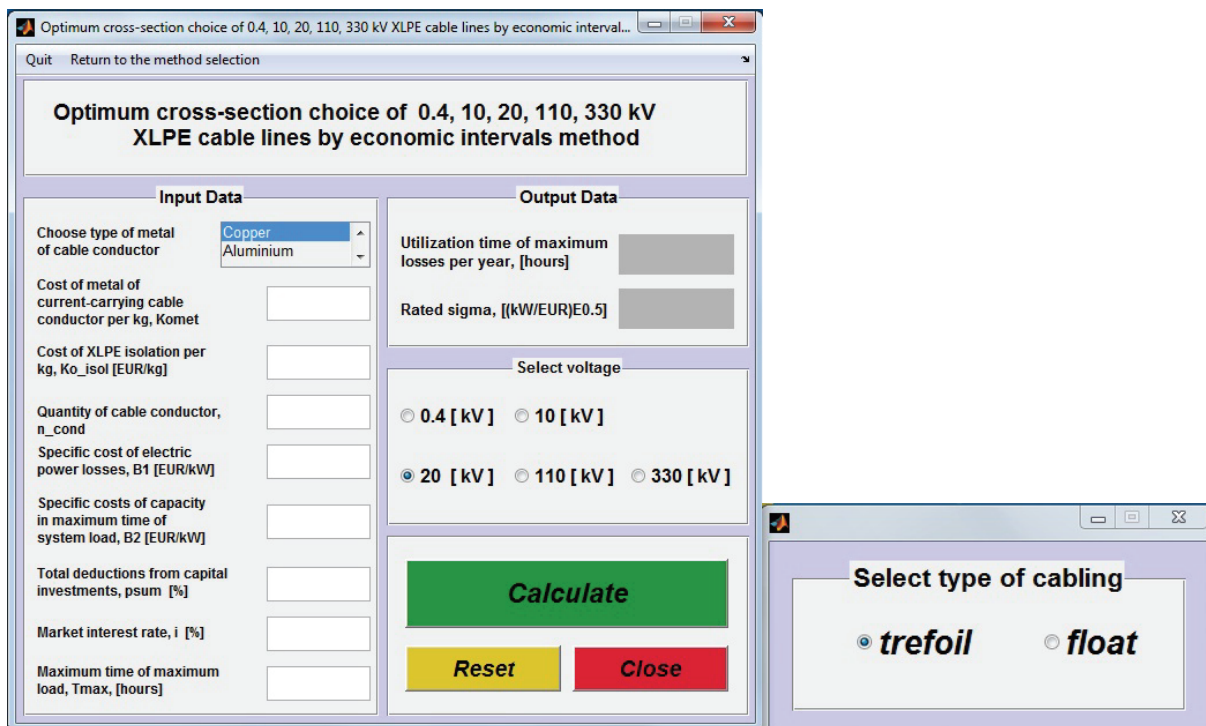
4.5. att. Strāvas nomogrammas viendzīslas 110 kV kabeļu līnijām ar vara dzīslām atkarībā no kabeļa likšanas veida

4.3. Ekonomisko intervālu metodes realizācija MATLAB vidē

Šajā promocijas darba daļā uz modificētās ekonomisko intervālu metodes bāzes tiek piedāvāta tās realizācija praktiskiem aprēķiniem. Tiek izveidots grafiskais lietotāja interfeiss MATLAB programmēšanas vidē (4.6., 4.7. att.). Ar šīs programmas palīdzību var aprēķināt gan 0,4-10-20-110-330 kV gaisvadu līnijas, gan 0,4-10-20-110-330 kV kabeļu līnijas optimālo šķērsgriezumu [37, 38].



4.6. att. Lietotāju grafiskais interfeiss gaisvadu līnijām



4.7. att. Lietotāju grafiskais interfeiss kabeļu līnijām

5. STOHAISTISKĀ PIEEJA AUGSTSPRIEGUMA LĪNIJU PARAMETRU IZVĒLEI

Pēdējos gados pasaulē vērojams jaudīgs izmaiņu vilnis elektroenerģijas nozarē, tostarp sadales tīkla ekspluatēšanā. Ierobežojumu atcelšana, brīvais tirgus, alternatīvie un vietējie enerģijas avoti, jaunas enerģijas saglabāšanas un komunikācijas tehnoloģijas ir galvenie faktori, kuri, no vienas puses, nodrošina alternatīvos risinājumus plānošanas problēmu atrisināšanai un, no otras puses, paaugstina nenoteiktības līmeni. Jaunie apstākļi piespiež meklēt piemērotas energosistēmu plānošanas metodes.

Nepieciešama tradicionālo determinēto pieeju piemērotības verifikācija. Lai pārbaudītu determinētās pieejas derīgumu stohastiskajā vidē, tiek piedāvāta tālāk izklāstītā stohastiskā plānošanas metode. Ņemot vērā tās izmantošanas ērtumu un drošas informācijas iegūšanas vienkāršumu, šo metodi var attīstīt tālāk un izmantot kā galveno līdzekli, izvēloties energosistēmas parametrus [40, 41].

5.1. Stohastiskās pieejas matemātiskais formulējums

Formulējot apskatāmo optimizācijas uzdevumu, arī tālāk saglabāsim mērķa funkcijas būtību – centīsimies minimizēt gada izdevumus. Pie tam apgalvosim, ka izdevumus c jebkurā laika intervālā iespējams aprakstīt ar funkciju φ šādā veidā:

$$c = \varphi(p_{sl}, \beta, t_{vid}, \Pi) \quad , \quad (5.1)$$

kur p_{sl}, β, t_{vid} – attiecīgi līnijas slodze, enerģijas cena un vides temperatūra; Π – citi parametri, kuri ietekmē gada izdevumus C (ekspluatācijas cena, kredīta apjoms un likme).

Analizējot (5.1), varam apgalvot, ka slodze, cena un temperatūra ir gadījuma laika funkcijas. Šīs funkcijas nav stacionāras [42]. Starp tām ir korelācijas saiknes. Rezultātā tiek

secināts, ka arī c ir gadījuma funkcija laikā, jo tiek noteikta ar atbilstošām gadījuma funkcijām.

Lai aprakstītu multidimensiālo gadījuma procesu $p_{sl}(t)$, $\beta(t)$, $t_{vid}(t)$, var veikt šī procesa diskretizāciju laikā, uzdodot laika momentus. Katram laika momentam jāuzdod parametru p_{sl}, β, t_{vid} varbūtības sadalījuma funkcijas. Šīs sadalījuma funkcijas var aprakstīt ar pirmā, otrā, ... kārtu sadalījuma funkcijām atbilstoši [42]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_1(P_{sl}^1, \beta^1, T_{vid}^1, t_1) \equiv P\{p_{sl}(t_1) < P_{sl}^1; \beta(t_1) < \beta^1; t_{vid}(t_1) < T_{vid}^1\}, \\ \Phi_{(2)}(P_{sl}^1, \beta^1, T_{vid}^1, t_1; P_{sl}^2, \beta^2, T_{vid}^2, t_2) \equiv \\ \equiv P\{(p_{sl}(t_1) < P_{sl}^1; \beta(t_1) < \beta^1; t_{vid}(t_1) < T_{vid}^1); (p_{sl}(t_2) < P_{sl}^2; \beta(t_2) < \beta^2; t_{vid}(t_2) < T_{vid}^2)\}, \\ \dots \end{array} \right\}, \quad (5.2)$$

kur P_{sl}, β, T_{vid} – gadījuma lielumu p_{sl}, β, t_{vid} sadalījuma funkciju argumenti; augšējie indeksi atbilst diskretizācijas laika momenta numuram; P – varbūtība.

Zinot funkciju (5.1) un varbūtību sadalījuma funkcijas (5.2), var aprēķināt gadījuma procesa novērošanas kopas vidējo vērtību (GPVV) [42]:

$$\begin{aligned} M[C_G] &\equiv M[\varphi(p_{sl}, \beta, t_{vid}, \Pi)] = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(P_{sl}^1, \beta^1, T_{vid}^1; P_{sl}^2, \beta^2, T_{vid}^2; \dots) \cdot d\Phi_n(P_{sl}^1, \beta^1, T_{vid}^1; \dots; P_{sl}^n, \beta^n, T_{vid}^n) \end{aligned} \quad (5.3)$$

Analizējot izteiksmi (5.4), viegli secināt, ka atrisināšanas algoritms un nepieciešamie aprēķini daudzkārt sarežģīsies. Nepieciešami plaši statistikas dati un darbietilpīgu aprēķinu veikšana. Tieši šis fenomens (kā var pieļaut) ir bijis par galveno bremzi varbūtiskās pieejas izmantošanā. Sakarā ar viedo tīklu tehnoloģiju realizāciju pirmā no atzīmētajām problēmām ir viegli atrisināma, un tā ļauj veikt parametru daudzdimensiju reģistrēšanu (jaudu, ārējo temperatūru, cenas u.c.) un izveidot elektronisko datubāzi (bibliotēku) [43]. Līdz ar to atzīmētais varbūtiskās pieejas trūkums kļūst pārvarams.

5.2. Piedāvātās pieejas būtība un realizācijas algoritms

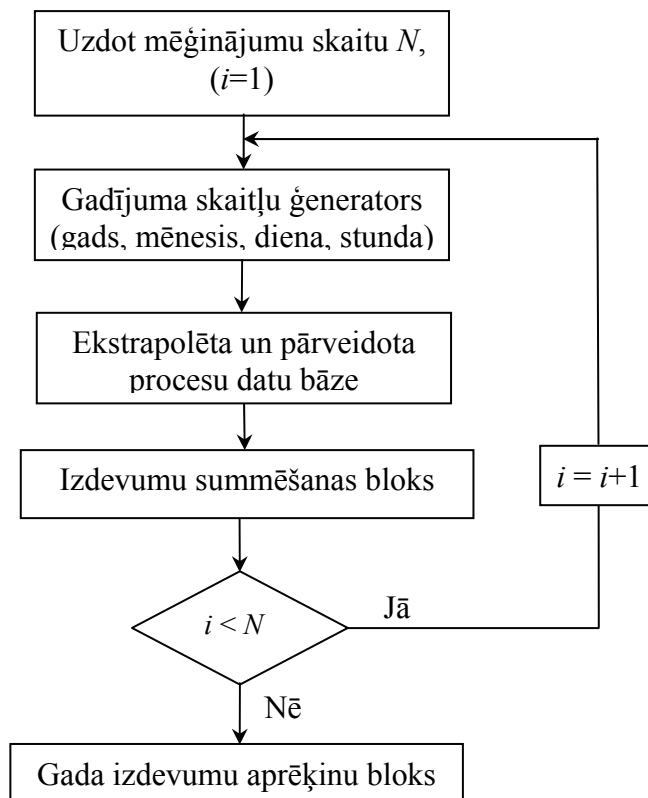
Brīvā tirgus apstākļos enerģijas cenu svārstības notiek ik stundu. Tas nozīmē, ka diskrētā laika momentu daudzums un līdz ar to integrālis var sasniegt lielumu, kurš novērtējams ar skaitli desmitu tūkstošu apmērā. Šajos apstākļos var apgalvot, ka aprēķinu algoritmam jāizmanto Monte-Karlo metode [44].

Jaunās pieejas būtību var izteikt šādi: gadījuma procesu ģenerēšana jāveic, aizvietojot ietekmējošos gadījuma procesus ar citiem, pēc būtības tuviem procesiem.

5.1. attēlā tiek piedāvāts algoritms, kas tiek bāzēts uz stohastisko pieeju un Monte-Karlo metodi (SPMK).

Šajā promocijas darba daļā izmantoti šādi divi algoritmi:

- izmantojot lineāros algebriskos vienādojumus, kuri raksturo izmaiņu īpašības nejaušu procesu laikā (piemēram, vidējo vērtību un līnijas jaudu standarta novirzes izmaiņa nākotnē);
- summējot datus par iepriekšējiem procesiem ar paredzamajām izmaiņām. Tādā gadījumā pēdējo pagājušo gadu slodzi var pārveidot par plānoto nākotnes jauno enerģētikas objektu slodzi.



5.1. att. Gada izdevumu aprēķina (SPMK) algoritms

Jaudas zudumu izmaksu svārstību gadījuma process ir ergodisks (termins tiek izmantots, lai aprakstītu dinamisku sistēmu, kurā realizāciju kopas vidējās vērtības sakrīt ar laika vidējām vērtībām) [42]. Šajā gadījumā:

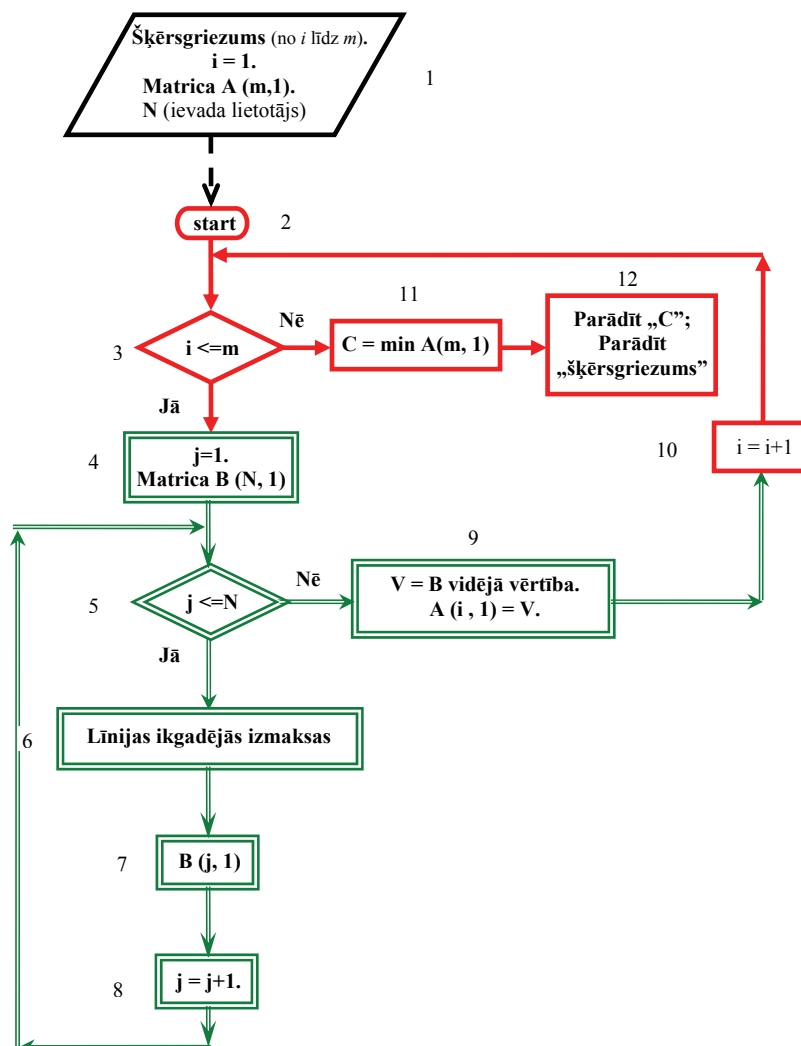
$$M\{C(t)\} \approx \int_{T_i}^{T_i+8760} \varphi(P_{sl}(t), \beta(t), T_{vid}(t), \Pi) dt \quad (5.4)$$

SPMK metode ir ļoti ērta un piemērota vidējo izmaksu aprēķināšanai. Jauno pieeju var realizēt ar programmatūru, un tā ļauj ātri un viegli atrisināt noteikto uzdevumu. Mūsu gadījumā tiek izmantota MATLAB vide.

5.3. Stohastiskās pieejas izmantošanas piemērs augstsprieguma līnijas šķērsriezuma izvēlei

Tiek izpildīts augstsprieguma gaisvadu līnijas (GL) projektēšanas piemērs, pamatojoties uz kopējo gada ekspluatācijas izmaksu samazināšanu. Tiek veikti optimālā šķērsriezuma aprēķini diviem gadījumiem: 110 kV GL un 330 kV GL [45, 46]. Piemēros parādīta līniju ikgadējo izmaksu un šķērsriezuma aprēķina stohastiskā metode uz gadījuma parametru pamata: elektroenerģijas cena β , vides temperatūra T_{vid} un līnijas slodze P_{sl} .

Uz jaunās pieejas būtības (SPMK) pamata tiek izstrādāta programma elektrisko līniju vadu optimālā šķērsriezuma izvēlei, kura sastāv no diviem cikliem: iekšējā un ārējā (5.3. att.).



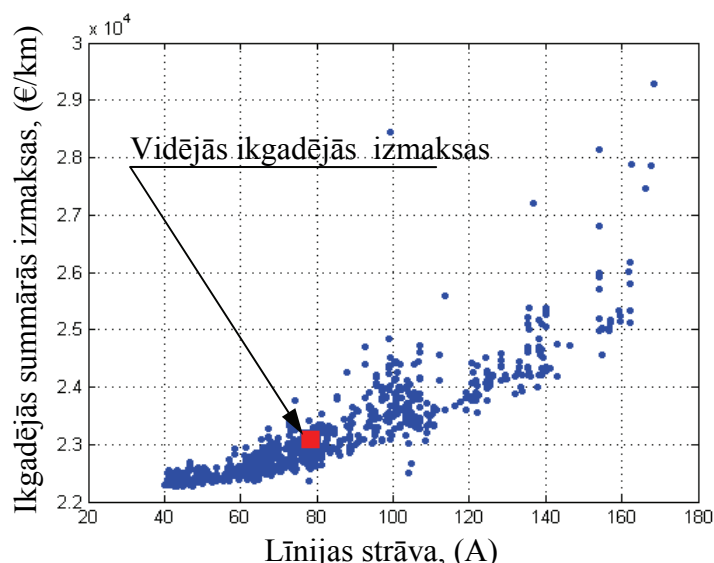
5.3. att. Optimālā šķērsgriezuma aprēķinu algoritma struktūra

Iekšējā cikla (4–9 bloki) būtība ir sekojoša: katram šķērsgriezumam tiek aprēķinātas ikgadējās vidējās izmaksas, izmantojot ierakstu datu bāzes, kas tiek ievietotas programmā automātiski, un mēģinājumu skaitu, kuru ievada lietotājs. Ārējā ciklā (10–12 bloki) tiek izvēlētas minimālās izmaksas no visām vidējām izmaksām, un līdz ar to atbilstoši minimālām izmaksām ir noteikts optimālais šķērsgriezums.

5.3.1. 110 kV GL šķērsgriezuma izvēles piemērs

Pirmajā gadījumā tiek izvēlēta 110 kV GL, kurai jānodrošina 160 A strāva.

Izmantojot programmatūru “SAPR LEP 2011” [47], kas ievērojami paātrina optimālo pārvades tīkla izvēles procesu un sniedz izdevīgāko risinājumu, tiek izvēlēti 4 tēraudalumīnija dzīslu šķērsgriezuma salīdzināšanas projektvarianti no minimizēšanas viedokļa (AS-120/19, AS-150/19, AS-185/29, AS-240/32). Katram salīdzināšanas projektvariantam tiek aprēķinātas ikgadējās ekspluatācijas un būvniecības izmaksas, ievērojot jaudas zudumu izmaksas. Pēc algoritma būtības tiek izvēlētas vidējās mazākās ikgadējās izmaksas ar atbilstošo šķērsgriezumu. Rezultāts tiek parādīts 5.4. attēlā un tiek salīdzināts ar ekonomisko intervālu metodes datiem (5.1. tab).



5.4. att. Aprēķinātās ikgadējās eksploataācijas un būvniecības izmaksas 1xAS-240 kabelim atkarībā no līnijas strāvas (SPMK metode, 110 kV)

5.1. tabula

Metožu rezultātu salīdzinājums (110 kV)

	SPMK metode	Ekonomisko intervālu metode
Maksimālā līnijas strāva, A	160	160
Ikgadējās eksploataācijas un būvniecības izmaksas, €/km	2.3082e+004	2.358+004
Attiecīgie šķērs griezumumi, mm ²	240	240

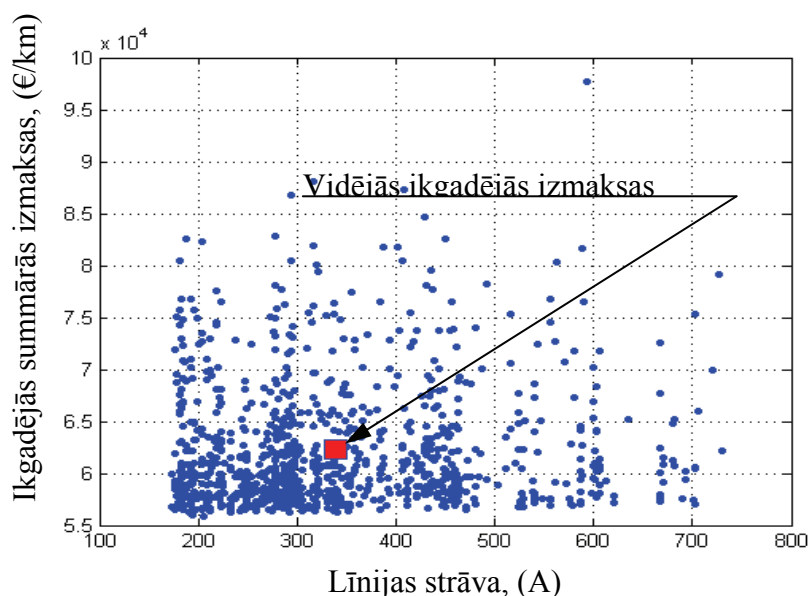
Pēc iegūtajiem datiem var secināt, ka pirmajā aprakstītajā gadījumā optimālais AS vada šķērs griezumums ir 1xAS-240/32. Vērojama neliela atšķirība eksploataācijas un būvniecības izmaksu vērtībās, SPMK metodei – 23082 €/km, ekonomisko intervālu metodei – 23580 €/km (2,11 %).

5.3.2. 330 kV GL šķērs griezumuma izvēles piemērs

Otrajā gadījumā tiek izvēlēta 330 kV GL, kurai jānodrošina 750 A strāva. Izmantojot minēto programmatūru “SAPR LEP 2011”, tiek izvēlēti 4 tēraudalumīnija dzīslu šķērs griezumuma salīdzināšanas projektvarianti no minimizēšanas viedokļa (2xAS-300/39, AS-400/22, AS-500/27, AS-600/72).

Pēc piedāvātās SPMK pieejas no visiem apskatītajiem projektvariantiem tiek izvēlētas vidējās mazākās ikgadējās izmaksas ar atbilstošu šķērs griezumumu. Rezultāts parādīts 5.5. attēlā un tiek salīdzināts ar ekonomisko intervālu metodes datiem (5.2. tab).

Pēc iegūtajiem datiem var secināt, ka otrajā aprakstītajā gadījumā optimālais AS vada šķērs griezumums, izmantojot SPMK metodi, ir 1xAS-600/72, bet, izmantojot ekonomisko intervālu metodi, ir divi iespējamie varianti: 1xAS-600/72 vai 2xAS-400/22. Nedaudz lielākas ir ikgadējo eksploataācijas un būvniecības izmaksu vērtību atšķirības. Pirmajā iespējamā variantā tās ir 8 %, bet otrajā – 11 %.



5.5. att. Aprēķinātās ikgadējās ekspluatācijas un būvniecības izmaksas 1xAS-600 kabelim atkarībā no līnijas strāvas (SPMK metode, 330 kV)

5.2. tabula

Metožu rezultātu salīdzinājums (330 kV)

	SPMK metode	Ekonomisko intervālu metode
Maksimālā līnijas strāva, A	750	750
Ikgadējās ekspluatācijas un būvniecības izmaksas, €/km	6.2323e+004	6.837+004/ 7.029e+004
Attiecīgie šķērsriezumi, mm ²	1xAS-600	1xAS-600/ 2xAS-400

Atzīmēsim, ka novērojama izmaksu atšķirība ~10 % apmērā absolūtos izmaksu skaitļos izpaužas simtos tūkstošos eiro, kas neapšaubāmi ir nozīmīgs skaitlis energosistēmām un tautsaimniecībai. Tādējādi piedāvāto verifikācijas metodi un algoritmu ir jāattīsta un pēc attiecīgas piemērotas projektētājiem, programmatūras izveides ir jāpielieto praksē.

Pēc visiem novērtējumiem var secināt, ka rezultāti, izvēloties optimālo šķērsriezumu ar divām metodēm, ir tuvu viens otram. Dotie aprēķini pierāda, ka divas apskatītas metodes ir derīgas optimāla šķērsriezuma noteikšanai, taču SPMK pieeja ir precīzāka, jo ievēro elektriskās līnijas parametru stohastisko dabu.

KOPĒJIE SECINĀJUMI

1. Latvijas un Baltijas valstu enerģētikā un lielpilsētu energoapgādē notiek būtiskas izmaiņas, kas prasa liela skaita kapitālietilpīgu projektu izstrādi un to ieviešanu praksē.
2. Energosistēmu restrukturizācija un tirgus mehānismu izmantošana būtiski maina energoobjektu projektu pamatojuma un optimizācijas uzdevuma nostādni, jo ir jāpieņem lēmumi lielu cenu svārstību apstākļos.
3. Lielpilsētu energoapgādes projektus pamatojošo lēmumu pieņemšanai nepieciešama slodzes un cenu izmaiņu laikā prognozēšana. Vidējo cenu un slodžu vērtību izmantošanas iespējas jaunos (tirgus) apstākļos kļūst apšaubāmas.

4. Agrāk izstrādātās tradicionālās attīstības optimizācijas uzdevuma risināšanas metodes ir novecojušas. Nepieciešamas izmaiņas un verifikācijas tradicionālo un eksistējošo pieeju piemērotībai un jaunu atbilstošu metožu meklējumi.
5. Energoapgādes optimizācijas uzdevuma atrisināšanai nepieciešami vienkāršojumi un specifiski paņēmieni. Tostarp lielu vienkāršojuma efektu dod pilsētas elektroapgādes apgabalu ģeometriskā modelēšana.
6. Slodzes blīvuma noteikšana un pilsētu kartogrammu sastādīšana ir efektīvi paņēmieni uzdevuma atrisināšanas atvieglošanai.
7. Slodzes blīvuma datu uzkrāšana, sistematizācija un koriģēšana ļauj racionāli noteikt pilsētas vai rajonu perspektīvās slodzes, TA jaudu vai jaunas apakšstacijas izvietojumu un līdz ar to izvēlēties optimālo elektroapgādes trasi līdz patērētājiem.
8. Šķērsriezumu izvēle pēc ekonomiskajiem apsvērumiem ir ļoti aktuāls uzdevums mūsdienu tirgus ekonomikas apstākļos, kad ir nepieciešama pamatota un racionāla elektropārvades līniju uzbūve elektrisko tīklu perspektīvai attīstībai.
9. Izstrādātās strāvas un jaudas nomogrammas un izveidoto lietotāju grafisko interfeisu līnijas šķērsriezuma izvēlei var izmantot projektēšanas birojos.
10. Tiek veikta divu metožu (ekonomisko intervālu un SPMK) salīdzināšana, izvēloties optimālo šķērsriezumu. Aprēķini pierāda, ka divas apskatītās metodes ir derīgas, taču SPMK pieeja ir precīzāka, jo ievēro reālās elektroenerģijas cenas, slodzi un ārējās temperatūras stohastisko dabu.
11. Piedāvātā SPMK metode un algoritms ir jāattīsta un pēc attiecīgas projektētājiem piemērotas programmatūras izveides jāpielieto praksē.

BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS

1. Козлов В.А. Электроснабжение городов.– М.: Энергоатомиздат, 1988.– 253 с.
2. И.К. Тульчин. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий (1990). 228 стр.
3. Е.А.Конюхова. Электроснабжение объектов.– Москва: Издательство Мастерство, 2002.– 319 с.
4. Svetlana Guseva, Lubov Kozireva, Natalya Skobeleva. Lielu pilsētu slodzes noteikšana sākuminformācijas nenoteiktības apstākļos. //Scientific Journal of Riga Technical University; Power and Electrical Engineering; 2010. gads.
5. R. Millar, M. Hyvärinen, M. Lehtonen, P. Hämäläinen, “Urban distribution networks – some general planning observations”, 20th International Conference on Electricity Distribution, Session 5, Prague, The Czech Republic, 2009.
6. D. Guha, V. Jain, T. Connor, C. Böse, “Greenfield planning approach for the city of Mumbai leads to optimal future network development”, Proc. of the 18th International Conference on Electricity Distribution, Turin, 2005.
7. AS Latvenergo, „Nerevidētie saīsinātie konsolidētie finanšu pārskati”, 2013.
8. AST Pārvades sistēmas operatora ikgadējais novērtējuma ziņojums (2000–2013).
9. www.sus.lv
10. Latvenergo pārskats, „Elektroapgādes sistēmas modernizācija Rīgā”, 21.10.2013.
11. <http://www.rdpad.lv/> „Rīgas teritorijas plānojums 2006.– 2018. gadam”. Paskaidrojuma raksts.– Rīgas dome: 2005.– 97 lpp.
12. AS Latvenergo, “Ilgspējas un gada pārskats”, 2013.
13. Vempers G. Promocijas darbs. Energosistēmu attīstības projektu izvērtēšana brīvā tirgus ekonomikas apstākļos, RTU, 2012.
14. Gerhards J., Mahņitko A. Energosistēmu režīmu optimizācija.– Rīga: RTU, 2005.– 249 lpp.

15. Krišāns Z., Oļeiņikova I., Elektroenerģētisko uzņēmumu vadības pamati. Rīga; Rīgas Tehniskā Universitāte 2007;
16. Skobeļeva N. Promocijas darbs. Pilsētas elektrotīkla optimālo parametru izvēle attīstības projektu sākumstadijās, RTU, 2012.
17. S.Guseva, O.Borscevskis, N.Skobeleva, L.Petrichenko. Load determination and selection of transformer substations' optimal power for tasks of urban networks' development//Energētika un Elektrotehnika, sēr. 4., 27. sēj., 2010, 31.– 36. lpp.
18. N.Skobeleva, O.Borscevskis, S.Guseva, L.Petrichenko, “An integrated approach to the formation of service areas for urban substations of different voltage”, Journal of Energy and Power Engineering (ISSN1934-8975), David Publishing Company, Inc. USA, Vol. 6, No. 8, August 2012, pp. 1358–1362.
19. S.Guseva, O.Borscevskis, N.Skobeleva, L.Petrichenko, “Urban Power supply system's development in conditions of uncertain information”, Proc. of the Tenth IASTED European Conference “Power and Energy Systems”, Crete, Greece, 2011, pp. 27–31.
20. Справочник по проектированию электрических сетей. /Под ред. Д.Л.Файбисовича, издание 2-е,— Москва: Издательство НИЦ ЭНАС, 2006 г.— 102 с.
21. РМ-2696-01. Временная инструкция по расчету электрических нагрузок жилых зданий. Введена в действие с 31.07.2001.— Москва: МНИИТЭП.
22. РД 34.20.185-94. Нормативы для определения расчётных электрических нагрузок зданий (квартир), коттеджей, микрорайонов (кварталов) застройки и элементов городской распределительной сети. Введена в действие с 29.06.1999.— Москва: МНТОЭ.
23. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования: учеб. пособие для вузов. — Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2003.;
24. Бэнн Д.В., Фармер Е.Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки: Пер. с англ.— М.: Энергоатомиздат, 1987.— 200 с.
25. Шумилова Г.П., Готман Н.Э., Старцева Т.Б. Модели прогнозирования нагрузок на основе аппарата искусственных нейронных сетей // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 51. Сыктывкар: Изд-во Коми НИЦ УрО РАН, 2000.
26. <http://www.mathworks.se/help/econ/arima.forecast.html>
27. Kozireva Ļ. Maģistra darbs. Rīgas pilsētas elektroapgādes sistēmas attīstība, RTU, 2010.
28. S.Guseva, L. Petrichenko, N.Skobeleva. Load Density Distribution and Assessment for Urban Power Supply System // The 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drivers, 13–17 May 2013, Istanbul, Turkey
29. Блок В.М., Астахов Ю.Н., Лариньш К.В., Гусева С.А., Бейерс И.В. Метод выбора сечений кабелей по универсальным номограммам. Электричество, 1976, № 8, 24–27 стр
30. В.М.Блок. Электрические сети и системы. Москва «Высшая школа», 1986г.
31. В.А.Веников, Ю.Н.Астахов. Экономические интервалы при выборе оптимальных вариантов энергетических объектов и их применение при технико-экономических расчётах электропередач. Известия академии наук СССР, Энергетика и автоматика, 1962, №3.
32. A.Vanags, Z.Krišāns. Elektriskie tīkli un sistēmas, II daļa, 2005. g., RTU izdevniecība.
33. Г.Е.Поспелов, В.Т.Федин. Электрические системы и сети проектирования, 2-изд., испр., допол., Минск, «Высшая школа», 1988г.

34. Энергетические системы в примерах и иллюстрациях. Под редакцией В.А.Веников. Москва: Энергоатомиздат, 1983, 499 стр.
35. Г.Е.Поспелов, В.Ф.Свидерский. Экономические интервалы некоторых параметров электрической сети с учётом динамики роста нагрузки. *Электричество*, 1973. №.5, 12–16 стр
36. Berjozkina S., Sauhats A., Bargels V., Vanzovichs E. The Technical and Economic Efficiency of Using Conductors with Composite Core in the Transmission Grid// *Proceedings of the 9th International Conference on the European Energy Market EEM12.*– Florence, Italy: IEEE, 2012.– p. 7.
37. Guseva S., Petrichenko L. Choice of the optimum cross-sections for 20-110-330 kV overhead lines under market conditions // *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, No 6(1) (Vol. 49), Riga, Latvia, 2012, p.13–22.
38. S. Guseva, L.Petrichenko. Approach of Optimum Cross-Section Choice for Cable Lines in Market Prices Conditions. *Power Engineering 2012, High Tatras – Tatranske Matliare*, May 15–17, 2012, Slovakia, p. 87–88.
39. РД 16.405-87 «Расчет масс материалов кабельных изделий».
40. V. Neimane, On development planning of electricity distribution networks. Doctoral dissertation, Stocholm: 2001.
41. F. Kiessling, P. Nefzger, J.F. Nolasco, U. Kaintzyk, “Overhead Power Lines Planning, Design, Construction”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York: 2003, 759 p.
42. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Изд. 4, М., 1978, 832 стр.
43. <http://www.nordpoolspot.com/>
44. И.М.Соболь «Метод Монте-Карло», М., 1985
45. L.Petrichenko, A.Sauhats, S.Guseva, S.Berjozkina, V.Neimane. The stochastic approach for determination of transmission line wire cross section// *The 2014 International Conference on Power Systems, Energy, Environment, Interlaken*, Switzerland, February 22–24, 2014
46. S. Berjozkina, A. Sauhats, V. Bargels, E. Vanzovichs, “The Technical and Economic Efficiency of Using Conductors with Composite Core in the Transmission Grid”, in *Proc. of the 9th International Conference on the European Energy Market (EEM12)*, pp. 1–7.
47. The special program “SAPR LEP 2011” description. Modern design System. [Online]. Available: <http://www.bsapr.ru/prod/progs/element.php?ID=250> [krievu valodā].