

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Natalja SKOBEĻEVA

**PILSĒTAS ELEKTROTĪKLA OPTIMĀLO
PARAMETRU IZVĒLE ATTĪSTĪBAS PROJEKTU
SĀKUMSTADIJĀS**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2012

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte

Enerģētikas institūts

Natalja SKOBEĻEVA

Doktora studiju programmas „Enerģētika” doktorante

**PILSĒTAS ELEKTROTĪKLA OPTIMĀLO
PARAMETRU IZVĒLE ATTĪSTĪBAS PROJEKTU
SĀKUMSTADIJĀS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
Dr. Sc. Ing., Asoc. prof.
S. Guseva

Rīga 2012

UDK 621.311.1(043.2)
Sk 522 p

Skobeļeva N. Pilsētas elektrotīkla optimālo parametru izvēle attīstības projektu sākumstadijās.
Promocijas darba kopsavilkums. -Rīga, 2012.- 46 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Enerģētikas institūta 2011. gada .22.decembra lēmumu, protokols Nr. 5



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

ISBN 978-9934-8302-0-4

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012.g. 6.jūnijā, plkst. 14.30,
Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, aktu zālē.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr. sc. ing. Edvīns Vanzovičs
Rīgas Tehniskā Universitāte

Profesors, Dr. sc. ing. Iraida Kolcunova
Tehniskā Universitāte Košice (Slovākija)

Asociētā profesore, Dr.sc.ing. Inga Zicmane
Rīgas Tehniskā Universitāte

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.

Natalja Skobeļeva(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu. Darba kopējais apjoms ir 154 lappuses. Darbā iekļauti 83 attēli, 37 tabulas. Literatūras sarakstā ir 82 nosaukumi.

Saturs

Promocijas darba aktualitāte.....	6
Darba mērķi un uzdevumi	7
Zinātniskā novitāte	7
Pētījumu un izstrādņu metodes un līdzekļi.....	8
Darba rezultātu praktiskais pielietojums	8
Promocijas darba aprobācija.....	9
Promocijas darba struktūra un organizācija.....	11
1. Lielpilsētu elektroapgādes shēmas izbūves principi	12
1.1. Rīgas pilsētas elektroapgādes sistēmas raksturojums	12
1.2. „Ideālā” elektroapgādes shēma.....	14
1.3. Ārzemju lielpilsētu elektroapgādes sistēmu analīze	15
2. Lielpilsētu slodzes prognozēšana un noteikšana sākuminformācijas nenoteiktības apstākļos	16
3. Pilsētu transformatoru apakšstaciju apkalpes zonas un darbības rādiusi	21
3.1. Transformatoru apakšstaciju apkalpes zonas modelēšana	21
3.2. Transformatoru apakšstaciju apkalpes zonu izmaiņas tīkla ekspluatācijas laikā un attīstības procesā	25
3.3. Slodzes blīvumu sakarības hierarhijas pakāpēs	26
4. 110/10-20 kv transformatoru apakšstaciju perspektīvās slodzes noteikšana un sadalījums pilsētas teritorijā	27
4.1. 110/10-20 kV TA slodzes noteikšana perspektīvai līdz 2020. gadam.....	27
4.2. Esošo 110/10-20 kV TA slodzes koriģēšana 2010. gada stāvoklim.....	34
4.3. Slodzes blīvuma koriģēšana Rīgas pilsētas rajonos un mikrorajonos	36
5. 110 kV apakšstaciju transformatoru optimālo jaudu noteikšana un Rīgas pilsētas perspektīvās shēmas līdz 2020. gadam izstrāde	38
5.1. 110 kV apakšstaciju transformatoru optimālo jaudu noteikšana	38
5.2. Rīgas pilsētas 110 kV tīkla perspektīvas shēmas izstrāde un novērtējums	40
5.3. 110 kV tīkla veidošanas metodikas galvenie posmi	43
Kopējie secinājumi	44
Bibliogrāfiskais saraksts	44

PROMOCIJAS DARBA AKTUALITĀTE

Lielpilsētu elektriskie tīkli ir valsts energosistēmas vai reģiona elektroapgādes sistēmas sastāvdaļa un kopā ar energosistēmu atrodas nepārtrauktas attīstības stāvoklī. Reālas sistēmas elementi sastāda vienotu veselumu, tāpēc, lai uzbūvētu racionālu sistēmu, jāatrod tādas attiecības starp atsevišķām sistēmas daļām, kas nodrošinātu summāro tehniski ekonomisko rādītāju lielāko iespējamo izdevīgumu. Liela loma elektrotīkla loģiskā, racionālā un konsekventā izveidē pieder elektrotīkla shēmas koncepcijas un attīstības pamatprincipu izstrādei.

XXI gadsimta sākumā Latvijā un tās lielākajās pilsētās tika novērots elektriskās slodzes un elektroenerģijas patēriņa būtisks pieaugums dzīvojamajos un administratīvajos pilsētu rajonos un dažās rūpniecības zonās, pateicoties progresējošajai tehnoloģijai komunālajā sadzīves un rūpniecības un ražošanas sfērā, kā arī arvien pieaugošajam iedzīvotāju labklājības līmenim. Pieaugot pieprasītajam elektroenerģijas daudzumam, mainās arī slodžu blīvums dažādos pilsētas rajonos atsevišķu dzīvojamo māju, tirdzniecības, kultūras, biznesa, administratīvo un citu objektu vai jauno mikrorajonu celtniecības dēļ. Tas rada nepieciešamību veikt izmaiņas tīklā: būvēt jaunas līnijas un transformatoru apakšstacijas (TA), veikt esošo līniju un apakšstaciju rekonstrukciju. Mūsdienās jauno apakšstaciju izbūve un pieslēgšana tīklam ir sarežģīts process, jo pilsētā jau ir izveidots elektroapgādes tīkls, kuru vēlams pēc iespējas saglabāt. Situāciju pasliktina arī pilsētas centrālo rajonu blīvā apbūve, kā arī inženierkomunikāciju daudzums, kas apgrūtina jaunu apakšstaciju atrašanās vietas izvēli un kabeļu trašu izbūvi.

Lai izveidotu drošāku un ekonomiskāku elektroapgādes sistēmu, jānosaka tādi vispārējie tīklu veidošanas un uzbūves principi, kas ļautu nākotnē paplašināt tīklu bez kardinālām izmaiņām. Pilsētas elektroapgādes sistēmas attīstībai ir jābūt kompleksai, saskaņojot atbilstoši savā starpā 330-110 kV un 20-10-0,4 kV tīklus. Elektroapgādes tīkla attīstību nepieciešams veikt pakāpeniski, tehniski un ekonomiski pamatoti. Svarīgi objektīvi novērtēt perspektīvās slodzes, izvēlēties jau agrīnās stadijās tīklu elementu optimālos vai racionālos parametrus, paredzēt jaunu jaudu ieviešanu pēc vajadzības un nepieciešamu rezervi jauniem pieslēgumiem, izstrādāt principu perspektīvo apakšstaciju izvietojumam un jaunu sistēmas elementu izbūves secībai.

Attīstības objektiem jārisina vidēja termiņa un ilgtermiņa projektēšanas uzdevumi. Šādai perspektīvai trūkst precīzas sākotnējās informācijas un objektu detalizētas izstrādes. Summāro pilsētas un tās rajonu slodzi ļoti ietekmē patērētāju kopējā pieprasītā slodze, kurai ir nedrošs raksturs, kā arī dati par lielumiem un pieslēgšanas termiņiem ir nenoteikti. Tas nozīmē, ka attīstības uzdevumu risinājums un lēmumu pieņemšana par attīstības virzienu un optimālo parametru izvēli notiek nepilnīgas un nenoteiktas informācijas

apstākļos. Attīstības prognozes un pieņemtie attīstības varianti prasa periodisku korigēšanu, saņemot precizējošu informāciju.

Lēmumu pieņemšanu par attīstības virzienu apgrūtina ekonomiskā situācija valstī. Dažus gadus atpakaļ Rīgas pilsētā izveidojās situācija, kuru var raksturot kā kritisku. Rīgā radās ap 300 MVA pieprasītu perspektīvo slodžu, ko esošajam elektrotīklam nebija iespējams pieslēgt. Situācija mainījās sākot no 2007. gada ekonomiskās krīzes dēļ. Samazinājās slodzes un patēriņš energosistēmā un pilsētā, tika pārtraukta daudzu projektu un celtniecības objektu realizācija. Lai gan pašlaik ir novērojama Rīgas pilsētas slodzes pieauguma apstāšanās, tīklam jābūt gatavam tālākam slodzes palielinājumam un jaunu patērētāju pieslēgumam.

Ņemot vērā iepriekšminēto, tika izvēlēts promocijas darba pētījumu virziens, izstrādājot racionālās un drošas lielpilsētu elektroapgādes sistēmas attīstības koncepciju.

DARBA MĒRĶI UN UZDEVUMI

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt vienotus principus lielpilsētu elektroapgādes sistēmas veidošanai, kā arī metodiku optimālo parametru izvēlei un pilsētas tīkla shēmas konstruēšanai attīstības projektu sākumstadijās nepilnīgas un nenoteiktas informācijas apstākļos.

Mērķa sasniegšanai tika izvirzīti risinājumam šādi galvenie uzdevumi:

- veikt Eiropas pilsētu elektroapgādes shēmu analīzi, lai izvēlētos Rīgas pilsētas shēmas principus;
- izdarīt Rīgas pilsētas slodžu prognozes un novērtēt 110 kV esošo un perspektīvo apakšstaciju slodzes uz 2020. gadu;
- izstrādāt metodiku racionālai attīstības shēmas veidošanai: novērtēt perspektīvo apakšstaciju uzstādīto transformatoru jaudu, apkalpes zonas un rādījumus, radīt principus jaunu TA izvietojumam pilsētas teritorijā;
- izstrādāt Rīgas pilsētas perspektīvās elektroapgādes shēmas variantus 2020. gadam un izpildīt to tehniski ekonomisko novērtējumu.

ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Zinātnisko novitāti raksturo šādi aspekti:

- Realizēta sistēmpieeja Rīgas pilsētas elektroapgādes sistēmas veidošanai, kas balstās uz sistēmas nedalāmības, vienotības un attīstības principiem.
- Izpildīta Rīgas pilsētas slodzes prognozes līdz 2020. gadam korekcija un noteiktas perspektīvās slodzes 110 kV pilsētas transformatoru apakšstacijām nestabilas ekonomikas apstākļos valstī un enerģētikas nozarē.
- Veikta pilsētas elektrisko tīklu matemātiskā un ģeometriskā modelēšana vienotos principos, kas nodrošina vienādu pieeju tīklu veidošanai dažādās sistēmas hierarhijas pakāpēs.

- Noteiktas 110/10 kV perspektīvo transformatoru apakšstaciju optimālās jaudas pēc summāro kapitālieguldījumu 110-10 kV tīklu uzbūvei minimuma kritērija un izejot no tās vērtības - optimālās transformatoru apakšstaciju apkalpes zonas un rādiusi.
- Konstruēti transformatoru apakšstaciju apkalpes zonu ģeometriskie šabloni un ar to palīdzību realizēts sadalījums Rīgas pilsētas attīstības ģenerālplāna teritorijās, pie tam sadalījuma automatizācija veikta ar aprēķinu programmu „TASAD” Microsoft Excel vidē un grafisko programmu AutoCAD.
- Izstrādāti Rīgas perspektīvās 110 kV elektroapgādes shēmas līdz 2020. gadam varianti un viens no autores piedāvātajiem shēmas variantiem pieņemts par shēmas pamatu AS Latvenergo Ekspertu padomes 02.02.2009. sēdē, vēlāk pēc apspriešanas ar AS "Augstsprieguma tīkls "un AS "Sadales tīkls" speciālistiem precizētais un koriģētais variants pieņemts kā "Rīgas augstsprieguma tīkla shēma līdz 2020. gadam".
- Lielpilsētu attīstības problēmas risinājumu izstrāde un lēmumu pieņemšana tika īstenota nepilnīgas un nenoteiktas informācijas apstākļos 10-15 gadu perspektīvā.

PĒTĪJUMU UN IZSTRĀDŅU METODES UN LĪDZEKĻI

Darba rezultāti iegūti, lietojot šādas pētījumu un izstrādņu metodes:

- pētījuma objekta matemātiskā un ģeometriskā modelēšana;
- mērķa funkcijas optimizācija elektrisko tīklu parametru izvēlei attīstības projektu agrīnās stadijās, veicot tīklu izbūves variantu salīdzinājumu un funkcijas minimuma noteikšanu;
- darba uzdevumu risinājumam izmantotas aprēķinu programmas Microsoft Office Excel vidē, Mathcad, grafiskās programmas AutoCAD, CorelDraw Graphics Suite, Photoshop.

DARBA REZULTĀTU PRAKTISKAIS PIELIETOJUMS

Izstrādātā metodika ļauj izmantot elektrotīkla attīstības koncepciju un pamatprincipus lielu pilsētu elektroapgādes sistēmas racionālai veidošanai, bet pamatā var tikt lietota nelielu pilsētu analogisko attīstības jautājumu risinājumam.

Metodikas praktiskā realizācija īstenota, izstrādājot Rīgas perspektīvo elektroapgādes shēmu līdz 2020. gadam ar līdzdalību divos RTU un AS „Latvenergo” līgumdarbos Nr. L7280 (Nr.010000/07-200 no 16.05.2007.) un Nr. L7310 (Nr.010000/09-16 no15.01.2008.).

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

Darba rezultāti tika ziņoti un apspriesti 10 starptautiskajās konferencēs:

1. The tenth IASTED European Conference “Power and Energy Systems”, 22-24 June , 2011, Crete, Greece.
2. 6-th International Conference on Electrical and Control Technologies, ECT-2011, 5-6 May, 2011, Kaunas, Lithuania.
3. The 51st International Scientific Conference „Power and Electrical Engineering”, section „Power Engineering”, 14-16 October, 2010, RTU, Riga, Latvia.
4. The International Energy Forum 2010, 23-26 June, 2010, Varna, Bulgaria.
5. XI International Scientific Conference „Problems of Present-day Electrotechnics, PPE-2010”, 1– 3 June, 2010, Kyiv, Ukraine.
6. 5-th International Conference on Electrical and Control Technologies, ECT-2010, 6-7 May, 2010, Kaunas, Lithuania.
7. 50-th International Scientific Conference „Power and Electrical Engineering”, section „Power Engineering”, 14-16 October, 2009, RTU, Riga, Latvia.
8. 49-th International Scientific Conference „Power and Electrical Engineering”, section „Power Engineering”, 13-15 October, 2008, RTU, Riga, Latvia.
9. VI Международный Форум „Электротехника-2008”, Петербургский энергетический институт повышения квалификации „ПЭИПК”, 15-19 сентября, 2008, Санкт-Петербург, Россия.
10. XI International Scientific Conference „Problems of Present-day Electrotechnics, PPE-2008”, 5-9 June, 2008, Kyiv, Ukraine.

Darba materiāli publicēti 18 starptautiskajos izdevumos:

1. **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, David Publishing Company, Inc. USA, 2011 (atrodas salikšanā USA).
2. Svetlana Guseva, **Nataly Skobeleva**, Oleg Borscevskis, Lubov Petrichenko. Urban Power supply system’s development in conditions of certain information //Proceeding of the Tenth IASTED European Conference “Power and Energy Systems”, Crete, Greece, 2011, CD, p. 27-31.
3. S.Guseva, O.Borscevskis, **N.Skobeleva**, L.Petrichenko. Perspective loads of transformer substations at development of urban power supply systems //Proceeding of the XV International Scientific Conference “Present-day problems of power engineering APE’11”, 8-10 June, 2011, Jurata, Poland, p. 51-59.
4. Nikolajs Breners, Svetlana Guseva, **Nataly Skobeleva**, Oleg.Borscevskis. Directions to increase reliability of maintained transformer equipment’s functioning // Proceeding of the 6th International Conference on Electrical and Control Technologies ECT 2011, May 5-6, 2011, Kaunas, Lithuania, p. 175-178.
5. **Nataly Skobeleva**, Oleg Borscevskis, Svetlana Guseva, Lubov Petrichenko. An integrated approach to the formation of service areas for urban substations of

- different voltage // The 6th International Conference on Electrical and Control Technologies ECT-2011, 5-6 May, 2011, Kaunas, Lithuania, p. 202-205.
6. 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, 4. sērija, 27. sējums., Rīga, RTU, Latvija, 2010, 31-36 lpp.
 7. S.Guseva, **N.Skobeleva**, O.Borscevskis, N.Breners. Rational approach to the formation of urban power supply system in solving of development problems //Proceedings of the International Energy Forum 2010, 23-26 June, 2010, Varna, Bulgaria, p. 280-289.
 8. Svetlana Guseva, Olegs Borscevskis, **Nataly Skobeleva**, Nikolays Breners. The system approach to placement of transformer substations in the power supply system of the city //Proceedings of the 5-th International Conference on Electrical and Control Technologies, ECT-2010, 6-7 May, 2010, Kaunas, Lithuania, p. 211-214.
 9. Svetlana Guseva, Lubov Kozireva, **Nataly Skobeleva**. Lielu pilsētu slodzes noteikšana sākuminformācijas nenoteiktības apstākļos //Energētika un elektrotehnika, 4. sērija, 26. sējums. – Rīga, RTU, Latvija, 2010, 27-33 lpp.
 10. S.Guseva, **N.Skobeleva**, O.Borscevskis, N.Breners. Geometrical modeling of service areas and distribution of urban transformer substations in the city territory //Proceedings of the XI International Scientific Conference „Problems of Present-day Electrotechnics, PPE-2010”, 1-3 June, 2010, Kyiv, Ukraine, CD, 4 p.
 11. S.Guseva, **N.Skobeleva**, N. Breners, O.Borscevskis. Determination of service areas of urban transformer substations and distribution using geometrical templates // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, № 6 (Vol. 47), Riga, Latvia, 2009, p. 16-26.
 12. S.Guseva, N.Breners, **N.Skobeleva**, H.Vindbergs. Economic criteria in competitions for deliveries of power transformers // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, № 5 (Vol. 46), Riga, Latvia, 2009, p.35-42.
 13. Хелмут Виндберг, Светлана Гусева, **Наталья Скобелева**. Экономические критерии принятия решений в конкурсах на поставку силовых трансформаторов //Elektroenergetika Journal, Technical University of Košice, Vol. 2, No. 3, 2009, Slovak Republic, 4 p.
 14. S.Guseva, O.Borscevskis, **N.Skobeleva**, N. Breners. Load forecasting till 2020 of existing and perspective transformer substations in Riga //Energētika un elektrotehnika, 4. sērija, 25. sējums. – Rīga, RTU, Latvija, 2009, 77-80 lpp.
 15. S.Guseva, **N.Skobeleva**, N.Breners, O.Borščevskis. Pilsētu transformatoru apakšstaciju apkopes zonu modelēšana //Energētika un elektrotehnika, 4. sērija, 24. sējums. – Rīga, RTU, Latvija, 2009, 24-31 lpp.
 16. Breners N., Guseva S., **Skobeleva N.** The analysis of measures on modernization of the transformer equipment //Energētika un elektrotehnika, 4. sērija, 23. sējums. – Rīga, RTU, Latvija, 2008, 74-81 lpp.
 17. Гусева С.А., Бренерс Н.З., **Скобелева Н.Н.** Техничко-экономическое моделирование оценки мероприятия по замене силовых высоковольтных трансформаторов // Сборник научных статей по материалам 4-й Международной научно-практической конференции СтГАУ

- „Информационные системы, технологии и модели управления производством”, 13-14 марта, 2008, Ставрополь, Россия, с.74-79.
18. С.А. Гусева, А.Е. Махнитко, Н.З. Бренер, **Н.Н. Скобелева**. Экономический анализ технических мероприятий по повышению надежности функционирования трансформаторного оборудования //Актуальные проблемы электроэнергетики. Труды Нижегородского государственного технического университета. Том 66, -Н. Новгород: НГТУ, Россия, 2007, с. 88-92.

PROMOCIJAS DARBA STRUKTŪRA UN ORGANIZĀCIJA

Promocijas darbs satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus un literatūras sarakstu ar atsaucēm uz 82 literatūras avotiem. Darbā iekļautas 37 tabulas un 83 attēli. Promocijas darba kopējais apjoms ir 154 lappuses.

Pirmajā nodaļā analizēta Rīgas elektriskās slodzes dinamika, dots Rīgas pilsētas elektroapgādes sistēmas 330 un 110 kV tīklu stāvokļa raksturojums, aprakstīti „ideālās” lielpilsētas elektroapgādes shēmas principi un apskatīta „ideālās” shēmas realizācija Rīgas pilsētas elektroapgādes sistēmā un dažās ārvalstu pilsētās.

Otrajā nodaļā ir apkopota informācija par elektroenerģijas patēriņa un slodzes prognozēšanas metodēm, par slodzes noteikšanas metodēm pēc vispārīnātiem rādītājiem un izpildīta Rīgas pilsētas slodzes prognozēšana līdz 2020. gadam pēc dažādiem scenārijiem.

Trešajā nodaļā veikta transformatoru apkalpes zonu un to rādiusu matemātiskā un ģeometriskā modelēšana, iegūtas to grafiskās atkarības no slodzes blīvuma. Tur pat ir analizētas transformatoru apkalpes zonu izmaiņas tīkla ekspluatācijas laikā un attīstības procesā. Teorētiski pamatota slodzes blīvuma hierarhija atbilstoši sprieguma hierarhijai.

Ceturtajā nodaļā veikta 110/10-20 kV transformatoru perspektīvās slodzes noteikšana un grafiskais sadalījums pilsētas teritorijā (Rīgas pilsētas ģenerālpplānā) līdz 2020. gadam, veicot aprēķinus ar programmu „TASAD” Excel vidē un izmantojot grafisko programmu AutoCAD.

Piektajā nodaļā izstrādāts matemātiskais modelis 110/10 kV transformatoru optimālo uzstādīto jaudu novērtējumam pilsētas rajonos, analizēti Rīgas perspektīvās elektroapgādes shēmas līdz 2020.gadam varianti, veikts variantu tehniski ekonomiskais novērtējums.

1. LIELPILSĒTU ELEKTROAPGĀDES SHĒMAS IZBŪVES PRINCIPI

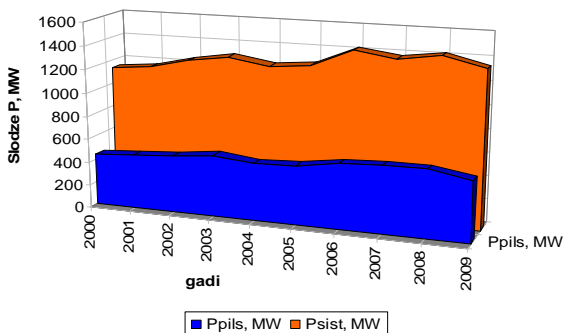
1.1. Rīgas pilsētas elektroapgādes sistēmas raksturojums

Lielāko pilsētu elektroenerģijas patēriņš Latvijā sastāda divas trešdaļas no gada patēriņa valstī. Lielpilsētas ir svarīgi elektroenerģijas patērētāji, jo tajās ne tikai dzīvo lielākā daļa valsts iedzīvotāju, bet arī ir izvietoti daudzi rūpniecības uzņēmumi. Sistemātiski pieaug elektroenerģijas patēriņš pilsētas iedzīvotāju sadzīves vajadzībām aizvien pieaugošā sadzīves elektroiekārtu piesātinājuma dēļ. Pilsētās ir sabiedriski komunālā rakstura objekti, kuru elektriskā slodze un elektroenerģijas patēriņš ir salīdzināms ar lielu rūpniecības uzņēmumu analogiskiem rādītājiem. Latvijas enerģosistēmas vislielākais patērētājs ir galvaspilsēta – Rīga.

Drošākas un ekonomiskākas lielpilsētas elektroapgādes sistēmas izveidošanai jānosaka vispārējie tīkla uzbūves principi, kas ļautu racionāli veidot elektroapgādes sistēmu, nākotnē paplašināt tīklu bez kardinālām izmaiņām, izvēlēties perspektīvo apakšstaciju un barošanas avotu racionālu izvietojumu, kā arī noteikt sistēmas jaunu elementu izbūves secību. Lai nodrošinātu patērētāju nepārtrauktu elektroapgādi ir nepieciešama elastīga, droša un ekonomiski pamatota elektriskā shēma. Dažu uzdevumu risinājums izpildīts, kā piemēru lietojot Rīgas pilsētas elektroapgādes sistēmu, analizējot Rīgas elektriskās slodzes dinamiku pēdējos gados un apskatot tās shēmas attīstību 2020. gada perspektīvā.

Labvēlīgā ekonomikas attīstības periodā 2000.-2007. gadā notika stabils ikgadējs pilsētas slodzes pieaugums atbilstoši 1.1. attēlā parādītajai dinamikai. Pasaules finanšu un ekonomikas krīzes dēļ slodzes pieaugums apstājās, un no 2008. gada pilsētas slodze sāka samazināties.

t. gadi	Psist, MW	Ppils, MW
2000	1137	442,2
2001	1165	468,8
2002	1248	490,5
2003	1297	529,6
2004	1240,3	492,8
2005	1270,8	507,6
2006	1420,6	561,3
2007	1373	578,4
2008	1419	580,8
2009	1340	522,1
2010	1342	485



1.1. att. Rīgas pilsētas maksimālās slodzes dinamika

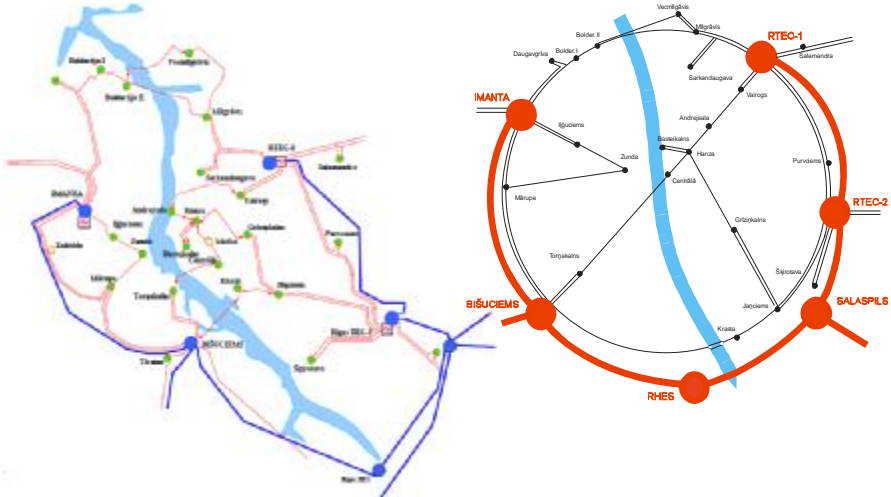
Situācija ar pilsētas slodzi tuvākajos gados un perspektīvā ir grūti prognozējama, bet attīstības procesam jāturpinās, un, lai gan pašlaik ir novērojama Rīgas pilsētas slodzes pieauguma apstāšanās, tīklam jābūt gatavam tālākam slodzes palielinājumam un jaunu patērētāju pieslēgumam.

Pašlaik Rīgas pilsēta elektroenerģiju pamatā saņem no vienotās Latvijas enerģosistēmas 330/110 kV elektrotīkliem, kas aptver pilsētu abos Daugavas krastos un savstarpēji savieno elektroenerģijas ražotnes centrus un transformatoru apakšstacijas [26-28]. Galvenie enerģijas piegādātāji Rīgai ir Rīgas HES ar jaudu 402 MW un Rīgas TEC-2 ar jaudu 662 MW, kas atrodas ārpus Rīgas pilsētas teritorijas. Pilsētas robežās patērētāju elektroapgādi nodrošina Rīgas TEC-1 (ar jaudu 144 MW) un nelielas jaudas (48 MW) koģenerācijas bloks Imantā. Pilsētas robežās ir 3 apakšstacijas no 15 Latvijā izvietotajām 330 kV apakšstacijām. Visi barošanas avoti saistīti ar 330 kV līnijām un veido Rīgas elektroapgādes 330 kV pusloku (1.2. att.). Rīgas pilsētas elektroapgādes nodrošinājums ir atkarīgs no 330 kV tīkla. Rīgas elektroapgādes drošuma paaugstināšanai ir nepieciešams izveidot 330 kV loku Rīgas teritorijā, jo esošajam pilsētas 330 kV tīklam pastāv radiālā shēma. Lēmums par 330 kV kabeļu līnijas izbūvi starp apakšstacijām Imanta – RTEC-1 ir pieņemts projekta „Kurzemes loks” ietvaros. Savienojot šīs apakšstacijas, pilnībā noslēgsies Rīgas 330 kV loks. Rezultātā arī tiks mazāk noslogots 110 kV tīkls un samazināsies elektroenerģijas pārvades zudumi, palielināsies pilsētas elektroapgādes drošums.

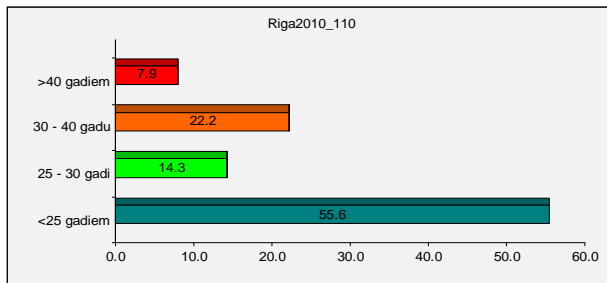
110 kV pilsētas pārvades tīkls ir izveidots pēc loka shēmas. Loka shēmu baro 330/110 kV bāzes apakšstacijas Bišuciems, Imanta, Rīgas TEC-1 un ārpus pilsētas izvietotā apakšstacija Rīgas TEC-2. 330/110 kV bāzes apakšstacijām ir saites ar pilsētas robežās izvietotajām 110 kV transformatoru apakšstacijām (TA). 27 apakšstacijas ar 110 kV augstāko spriegumu no visām 119 Latvijas apakšstacijām atrodas Rīgā. 110 kV tīklam ir lielais loks, kas aptver pilsētas apbūves rajonus, un mazi loki, kuri nodrošina 110 kV apakšstaciju divpusīgo vai daudzpusīgo barošanu lielā loka iekšpusē. Esošais 110 kV tīkls pastāvīgi strādā slēgtā tīkla režīmā.

Eksistē viena diametrālā saite, kura saista bāzes apakšstacijas Bišuciems un RTEC-1. Apakšstacijām Hanza un Jāņciems ir saites caur trīsstaru diagonālajiem savienojumiem ar bāzes apakšstacijām Bišuciems, RTEC-2 un RTEC-1.

Apakšstaciju transformatoru un autotransformatoru vecums ir ļoti dažāds. 110 kV transformatoru analīze pēc vecuma dota 1.3. attēlā. No diagrammas ir redzams, ka 55% transformatoru kalpošanas laiks nepārsniedz 25-30 gadu, un šis stāvoklis ir apmierinošs. Pēdējos gados Rīgas loka apakšstaciju iekārtu sāka mērķtiecīgi atjaunot un modernizēt [11,13,15,19-23].



1.2.att. Rīgas pilsētas esošais elektroapgādes tīkls un idealizētā shēma uz 2008. gadu



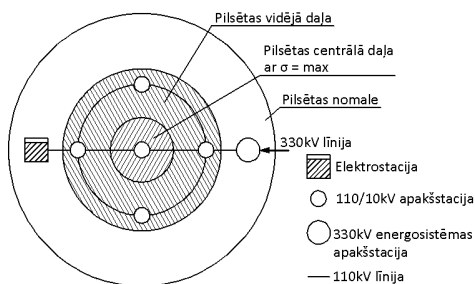
1.3. att. 110 kV transformatoru sadalījums pēc vecuma uz 2010. gadu, %

No 110 kV Rīgas pilsētas elektroapgādes shēmas izbūves analīzes izriet, ka shēmas pamatprincipi ir līdzīgi „ideālās” shēmas izpildījuma principiem [26,27].

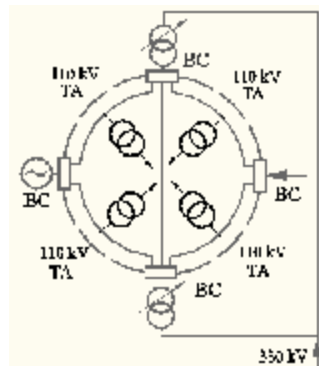
1.2. „Ideālā” elektroapgādes shēma

Klasiskā pilsētas elektroapgādes „ideālā” shēma, kas tika piedāvāta pagājušā gadsimta 50. gados Vācijā, balstās uz 110/10 kV sprieguma sistēmu. 110 kV tīkls izpildīts loka veidā, kas aptver pilsētu un izpilda kopņu sistēmas funkcijas, pieņemot enerģiju no barošanas centriem – vietējām elektrostacijām un/vai 220-330 kV (vai augstāk) apakšstacijām (1.4.att.). Pateicoties lokam notiek barošanas avotu paralēls darbs. Pilsētas centrālās daļas elektroapgādei ir paredzēta pietiekami liela 110/10 kV apakšstacija. Tās barošana notiek no

diametrālās 110 kV saites caur pilsētu. 110/10 kV apakšstacijas, kas atrodas gar loku, atsevišķu pilsētas rajonu slodžu centros, izpilda enerģijas pievades lomu 10 kV sadales tīkliem. Izdevīgākam jaudas sadalījumam tīklā un tā darba režīmu nodrošināšanai jāmaina barošanas centrs (BC) un 110 kV apakšstaciju pieslēgums 110 kV tīkla lokam. „Ideālās” shēmas 110 kV tīkla caurlaides spēja var tikt palielināta gan ar loka „sagriešanu” un pieslēgšanu jauniem BC, gan arī ar 110 kV līniju skaitu palielināšanu (1.5. att.), t.i., loka atkārtošānu, izbūvējot jaunas līnijas un pievienojot tām jaunas apakšstacijas slodzes centros. Jauno BC pieslēgšana 110 kV loka tīklam ļauj palielināt tā caurlaides spēju bez tīkla kardinālas rekonstrukcijas. Pilsētas elektroapgādes „ideālā” shēma apmierina racionālās shēmas pamatprasības [26,27].



1.4.att. Pilsētas elektroapgādes ideālais modelis



1.5. att. Barošanas centru un 110/10 kV apakšstaciju pieslēgšana 110 kV lokam

Esošajai Rīgas pilsētas shēmai, salīdzinot ar „ideālo” shēmu, ir īpatnības realizācijā, kuras ir saistītas ar pilsētas ģeogrāfisko izvietojumu (liela upe, kas sadala pilsētu divās daļās), vēsturisko pilsētas attīstību un elektroapgādes shēmas attīstības vienotās koncepcijas trūkumu ilgstošā periodā.

1.3. Ārzemju lielpilsētu elektroapgādes sistēmu analīze

„Ideālās” shēmas principi ir realizēti dažādās ārvalstu lielpilsētās, ievērojot pilsētu ģeogrāfisko izvietojumu, izbūves principus, tīklu izpildījumu un citas īpatnības. Sīkāk apskatīta shēmas realizācija Rietumu Berlīnē, Stokholmā, Helsinkos, Tallinā, Viļņā, Maskavā, Sanktpēterburgā [26,27]. Pilsētas centrālajā daļā parasti ir vislielākais slodzes blīvums, jo tur atrodas valsts iestādes, bankas, centrālie biroji un ofisi, kultūras un sabiedriskās iestādes un citas ēkas ar lielu energopatēriņu. Bez tam centrālajā daļā grūti atrast vietu jaunām apakšstacijām un elektriskiem izvadiem no tām. Turklāt,

pilsētu ielas ir pārblīvētas ar daudzām inženierkomunikācijām, ar to arī sarežģītās jauno kabeļu līniju celtniecība. Bieži vien nav iespējams nodrošināt lielu koncentrētu slodžu elektroapgādi. Lai paaugstinātu esošo apakšstaciju darba drošumu, ir vēlams nodrošināt daudzpusīgo barošanu, taču šajā gadījumā rodas mezglu savienojumi un diagonāļu stari, kuri sarežģīt elektrisko shēmu.

Veicot vairāku Eiropas pilsētu elektroapgādes shēmu apskatu, var secināt, ka pārsvarā lielpilsētu 110 kV augstsprieguma elektroapgādes tīkls ir izveidots kā loks ar diagonālēm starp apakšstacijām, kas ir „ideālās” pilsētas elektroapgādes shēmas pamatelementi. 110 kV apakšstaciju savienojums savā starpā ar divām līnijām (divķēžu loks) dažās pilsētās (Helsinkos, Tallinā un Viļņā) saistīts ar elektroapgādes drošuma līmeņa paaugstināšanas nepieciešamību, jo apkārt pilsētai nav izveidots loks ar augstāku par 110 kV spriegumu. Elektroapgādes tīkli pilsētās ir izpildīti gan ar gaisvadu, gan ar kabeļu līnijām, tomēr veicot elektrotīkla rekonstrukciju, gaisvadu līnijas pilsētas centrā cenšas aizstāt ar kabeļu līnijām.

„Ideālās” shēmas praktiskā realizācija lielās pilsētās nav tik viegla, un, atkarībā no vietējiem apstākļiem, katrai pilsētas elektroapgādes sistēmai piemīt savas īpatnības, pat ja shēma ir līdzīga „ideālajai” shēmai.

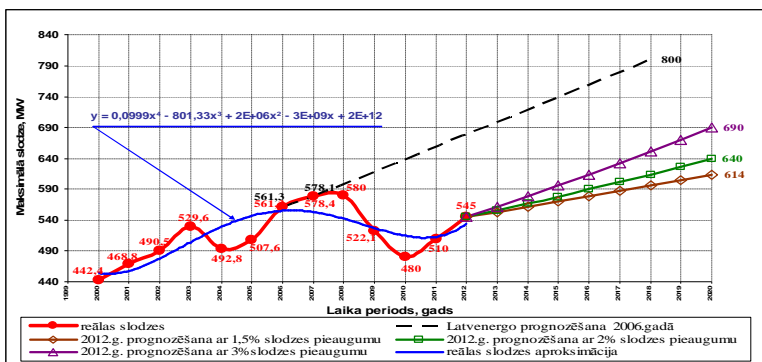
2. LIELPILSĒTU SLODZES PROGNOZĒŠANA UN NOTEIKŠANA SĀKUMINFORMĀCIJAS NENOTEIKTĪBAS APSTAKĻOS

Promocijas darba izstrādes periodam no 2007. līdz 2011. gadam ir raksturīgas ātras izmaiņas ekonomiskajā un finanšu nozarē valsts un pasaules mērogā. Iekšzemes kopprodukta (IKP) stabils palielinājums valstī, elektroenerģijas pieprasījuma pieaugums Latvijas enerģosistēmā un Rīgas pilsētā, kas bija novērojams pēc 2000.gada, apstājās 2007. gadā un vēlāk samazinājās sakarā ar ekonomisko krīzi. Nestabilas ekonomikas apstākļos grūti prognozēt elektroenerģijas pieprasījuma un tīklu elementu slodzes perspektīvā, jo agrāk izstrādātās prognozes neatbilst realitātei, sakarības un rādītāju izmaiņu tendences laikā ir pārtrauktas. Lai to pierādītu, ir apskatītas un salīdzinātas vairākas elektroenerģijas un jaudas prognozes vadošos dokumentos un AS „Latvenergo” [10,27]. Analizējot šīs prognozes, izdarīts secinājumu, ka nestabilas ekonomikas periodā nav racionāli izmantot sarežģītas un precīzas prognozēšanas metodes, jo rādītāju izmaiņu raksturs nav stabils un grūti paredzams. Ņemot vērā prognozēšanu ietekmējošus nenoteiktības aspektus, elektroenerģijas patēriņa un slodzes prognozes pareizāk uzskatīt nevis kā determinētu lielumu, bet gan kā „koridoru”, kurā, iespējams, atradīsies sagaidāmais rādītājs. Šajā periodā būtu vēlams regulāri koriģēt prognozes un

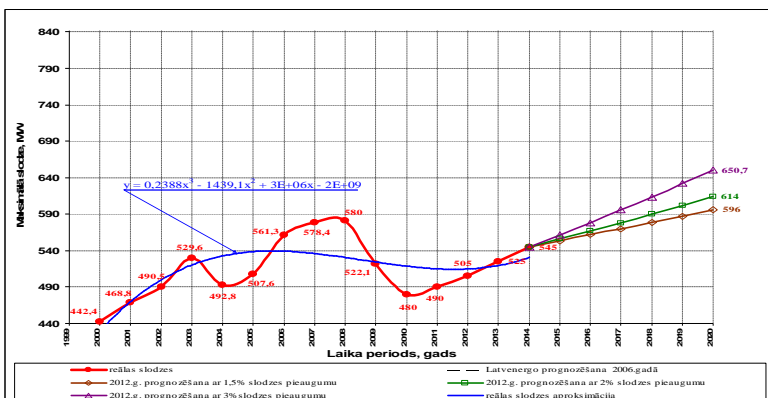
palielināt informācijas apjomu. Pēc ekonomiskās situācijas stabilizācijas var precizēt rādītāju izmaiņu līknes un pieauguma tendences.

Promocijas darba gaitā tika izpildīta korekcija AS „Latvenergo” 2006. gada prognozei labvēlīgiem attīstības apstākļiem, pēc tam, saņemot papildu informāciju, korekcijas veiktas 2007., 2009. un 2010. gadā [2,3,10].

Prognozes koriģēšanai izmantota AS "Latvenergo" Iz AD datu statistika par Rīgas pilsētas esošo apakšstaciju summāro maksimālo slodzi 2000.-2007. gadā un papildu informācija no 2008.-2009. gada. Tika izmantota cieša saite, kas eksistējusi starp enerģosistēmas un Rīgas pilsētas slodzi 2000.-2009.gadā (korelācijas koeficients: $R_{X,Y} = 0,9634$). Apkopotās koriģētās prognozes dažādiem attīstības scenārijiem dotas 2.1. un 2.2. attēlā.



2.1.att. Rīgas pilsētas slodzes prognoze 2010.-2020. gadam ar recesiju 2009.-2012. gadā (korekcija 2009. gadā)



2.2.att. Rīgas pilsētas slodzes prognoze 2010.-2020. gadam ar recesiju 2009.-2014. gadā (korekcija 2009. gadā)

Pilsētas summārās slodzes noteikšanai tika ieviests 110 kV TA slodzes maksimumu vienlaicīguma koeficients. Pilsētas pilno summāro slodzi jebkuram gadam var aprēķināt šādi [14]:

$$S_{pils} = k_{o,TA} \cdot \sum_{i=1}^{n_{TA}} S_{TA,i} = k_{o,TA} \cdot \sum_{i=1}^{n_{TA}} P_{TA,i} / \cos \varphi \quad , \quad (2.1)$$

kur S_{pils} - pilsētas summārā elektriskā slodze noteiktā gadā, MVA; $S_{TA,i}$ - i -tās 110 kV apakšstacijas pilnā slodze noteiktā gadā, MVA; $P_{TA,i}$ - i -tās 110 kV apakšstacijas aktīvā slodze noteiktā gadā, MW; $k_{o,TA}$ - transformatoru apakšstaciju slodžu maksimuma vienlaicīguma koeficients, atkarībā no 110 kV TA skaita, pieņemts 0,9; n_{TA} - 110 kV transformatoru apakšstaciju skaits pilsētas teritorijā; $\cos \varphi$ - tīkla jaudas koeficients, pieņemts 0,9.
Ievērojot dažādas prognozes, Rīgas pilsētas perspektīvā elektriskā slodze 2020. gadā var tikt novērtēta vērtībās, kas ir dotas 2.1. tabulā.

2.1.tabula

Rīgas pilsētas elektriskā perspektīvā slodze 2020. gadā atbilstoši dažādiem variantiem:

A. Stabīlas ekonomikas apstākļos (saskaņā ar 2006. gada prognozi)

Slodzes pieaugums, %	$\sum P_{TA,i}$, MW	S_{pils} , MVA
3%	848	848
1,9%	738	738

B. Ekonomikas attīstības nelabvēlīgos apstākļos (2008. gada prognoze, ja recesija ilgst līdz 2012. gadam / 2010. gada prognoze, ja recesija ilgst līdz 2014. gadam)

Slodzes pieaugums, %	$\sum P_{TA,i}$, MW	S_{pils} , MVA
3%	690 / 650	690 / 650
1,9%	634 / 610	634 / 610
1,3%	604 / 589	604 / 589

Bez prognozēšanas metodēm, veikta metožu pēc vispārīnātiem rādītājiem analīze no literatūras avotiem un to koriģēšana Latvijas apstākļiem [10].

1. Slodzes noteikšanas metode pēc īpatnējās aplēses slodzes komunālajā un sadzīves sektorā un iedzīvotāju skaita

Pilsētas vai tās rajona orientējošo aplēses slodzi pilsētā vai tās rajonā var aprēķināt pēc izteiksmes:

$$P_{apl} = k_{psl} \cdot P_{sl} \cdot N_{iedz} \quad , \quad (2.2)$$

kur p_{sl} - īpatnējā aplēses slodze (uz vienu cilvēku) komunālajā un sadzīves sektorā, kW/cilv; $N_{iedz.}$ - iedzīvotāju skaits pilsētā, tās rajonā, dzīvojamajā mikrorajonā, cilv; k_{psl} - slodzes palielinājuma koeficients, kas ievēro dažādu nelielu rūpniecisko un citu patērētāju slodzes, kuras barojas no pilsētas sadales tīkliem.

2. Slodzes noteikšanas metode pēc īpatnējā elektroenerģijas patēriņa komunālajā un sadzīves sektorā un iedzīvotāju skaita

Pilsētas vai tās rajona orientējošo aplēses slodzi var aprēķināt pēc formulas:

$$P_{apl} = k_{ppat} \frac{P_{pat} \cdot N_{iedz.}}{T_{maks}}, \quad (2.3)$$

kur P_{pat} - īpatnējs elektroenerģijas patēriņš (uz vienu cilvēku) komunālajā un sadzīves sektorā, kWh/cilv; k_{ppat} - elektroenerģijas patēriņa palielinājuma koeficients, kas ievēro dažādu nelielu rūpniecisko un citu patērētāju slodzes, kuras barojas no pilsētas sadales tīkliem; T_{maks} - slodzes maksimuma izmantošanas laiks gadā, h; $N_{iedz.}$ - iedzīvotāju skaits pilsētā, tās rajonā, dzīvojamajā mikrorajonā, cilv.

3. Slodzes noteikšanas metode pēc īpatnējās aplēses slodzes komunālajā un sadzīves sektorā un apbūves teritorijas dzīvojamajās platībās

Pilsētas vai tās rajona orientējošo aplēses slodzi var aprēķināt pēc formulas:

$$P_{apl} = k_{psl} \cdot k_{papg} \cdot (p_{dz} + p_{sab}) \cdot F_{pl}, \quad (2.4)$$

kur p_{dz} - māju dzīvokļu īpatnējā aplēses aktīvā slodze, kW/m²; p_{sab} - rajona (mikrorajona) sabiedrisko ēku īpatnējā aktīvā slodze, kW/m²; F_{pl} - pilsētas vai tās rajona dzīvojamais fonds, m²; k_{papg} - koeficients, kas ievēro pilsētas apgaismojuma slodzi.

4. Slodzes noteikšanas metode pēc vidējā slodzes blīvuma un apbūves teritorijas platības

Šī metode balstās uz vidējiem slodzes blīvumiem pilsētas esošajos vai perspektīvajos rajonos ar dažādu stāvu apbūvi un apbūves teritoriju platībām. Metodei ir priekšrocības, jo lielāko daļu nepieciešamās informācijas iespējams iegūt no energouzņēmumiem.

Pilsētas pilno summāro slodzi var noteikt šādi:

$$S_{pils} = S_{vid} \cdot \Pi_{pils} = S_{vid} \cdot \sum_{i=1}^n \Pi_{TA,i}, \quad (2.5)$$

kur σ_{vid} - vidējais slodzes blīvums pilsētā, MVA/km²; Π_{pils} - pilsētas apbūves platības un cita cieši ar to saistītā pieguļošā teritorija, km²; $\Pi_{TA, i}$ - i - tās apakšstacijas apkalpes zona, km²; n_{TA} - transformatoru apakšstaciju skaits. No (2.1) un (2.5) vienādības nosacījuma izriet:

$$S_{vid} = \frac{k_{o,TA} \sum_{i=1}^{n_{TA}} S_{TA,i}}{\sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i}} = \frac{k_{o,TA} \sum_{i=1}^{n_{TA}} n_i b_i S_{nom,i}}{\sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i}} \quad (2.6)$$

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

Transformatoru apakšstaciju (TA) jaudām jānosedz pilsētas patērētāju slodze. Lai nodrošinātu elektroapgādi, visiem elektroenerģijas patērētājiem jābūt sadalītiem starp apakšstacijām, izveidojot attiecīgas apkalpes zonas. Ievērojot, ka dažas TA apkalpes zonas pārklājas, jākontrolē nosacījuma izpilde:

$$\Pi_{pils} \leq \sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i} \cdot k_{pkr} \quad (2.7)$$

kur k_{pkr} - TA apkalpes zonas pārklāšanās koeficients.

Katras atsevišķas apakšstacijas apkalpes zona ir atkarīga no slodzes blīvuma šajā zonā un apakšstacijas slodzes, kura savukārt ir atkarīga no transformatora nominālās jaudas, transformatoru skaita apakšstacijā un transformatora noslodzes koeficienta:

$$\Pi_{TA,i} = \frac{S_{TA,i}}{s_i} = \frac{n_i b_i S_{nom,i}}{s_i} \quad (2.8)$$

kur s_i - slodzes blīvums i -tās apakšstacijas apkalpes zonā.

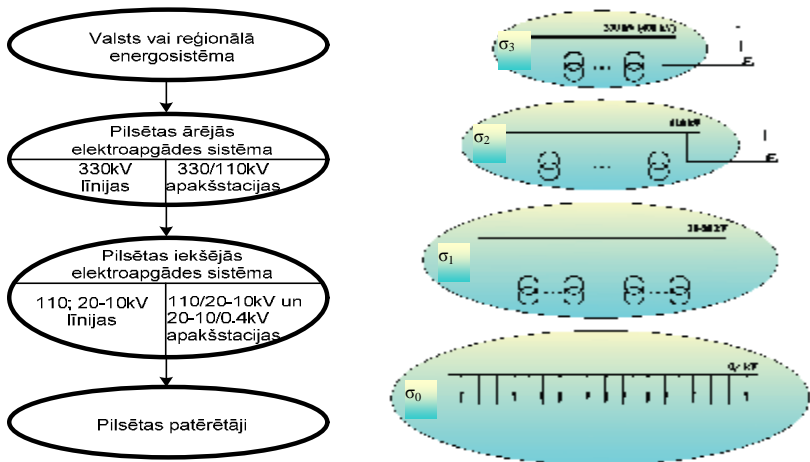
Ja ir zināms vai pieņemts slodzes blīvums pilsētā vai atsevišķās TA apkalpes zonās, var noteikt summāro slodzi pēc (2.5) vai (2.8).

Pēdējā metode atzīta par visērtāko, un slodzes blīvums pieņemts par pamatrādītāju tālākai analīzei. Vidējais slodzes blīvums pilsētā un apakšstaciju apkalpes zonās atšķiras atkarībā no apbūves veida, taču trūkst datu par slodzes blīvumiem atsevišķos Rīgas pilsētas rajonos un TA apkalpes zonās. Bez tam slodzes blīvums ir laikā mainīgs lielums, kas mainās, palielinoties vai samazinoties TA slodzēm, tādēļ slodzes blīvums jānosaka vai jākorrigē laikā gaitā. Slodzes blīvuma noteikšana un precizēšana veikta līgumdarba izpildes laikā dažos pilsētas rajonos un turpināta promocijas darba izstrādes gaitā, veltījot šim tematam darba 4. nodaļu [3,6,10, 12,27].

3. PILSĒTU TRANSFORMATORU APAKŠSTACIJU APKALPES ZONAS UN DARBĪBAS RĀDIUSI

3.1. Transformatoru apakšstaciju apkalpes zonas modeļošana

Pilsētas elektroapgādes sistēmai (PEAS) pastāv hierarhiska struktūra. PEAS hierarhiskās struktūras pakāpes veido apakšsistēmas: ārējās elektroapgādes sistēma ar spriegumu 330 kV (vai augstāk), iekšējās elektroapgādes sistēma ar spriegumiem 110-20-10/0,4 kV un pilsētas patērētāju kopums. Vēsturiski veidojas arī noteikta sprieguma hierarhija un tai atbilst slodzes blīvuma hierarhija [5,9,10]. Hierarhiskās struktūras parādītas 3.1. attēlā.



3.1. att. Rīgas pilsētas elektroapgādes sistēmas hierarhiskās struktūras

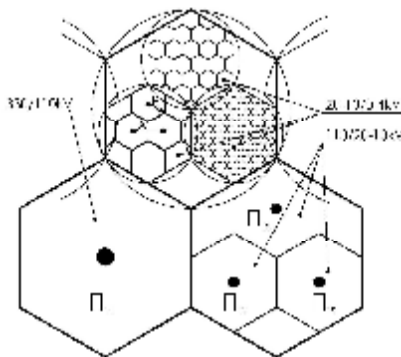
Lai nodrošinātu katras apakšsistēmas un visas PEAS racionālu attīstību, jālieto sistēmpieejas principi. Tas nozīmē, ka apakšsistēmas jāuztver kā vienu veselu objektu, kas jāveido pēc vienotiem principiem, nodrošinot nepārtrauktu attīstību. Sistēmpieejas princips realizēts dažāda sprieguma tīklu vienotajā izveidē, lietojot līdzīgu modelēšanas pieeju visām PEAS apakšsistēmām.

Apakšstaciju apkalpes zonas izvēlētajam modelim jābūt derīgam un ērtam jebkura sprieguma TA un jebkuras apbūves teritorijas formas attēlojumam. Pilsētas teritorija jānosedz ar transformatoru apakšstaciju apkalpes zonām tā, lai izdevīgāk sadalītu visus elektroenerģijas patērētājus starp attiecīgām apakšstacijām.

Apkalpes zonas modelim var lietot dažādas ģeometriskās figūras: apli, kvadrātu, pareizu sešstūri. Par pamatu ir pieņemts apkalpes zonas ģeometriskais

modelis sešstūra veidā kā visērtākais modelis, ar kuru var aizpildīt praktiski jebkuras formas apbūves rajona laukumu [2,9,10,12,14,18,24,25].

3.2. attēlā shematiski ir parādīts 330/110 kV, 110/20-10 kV un 20-10/0,4 kV apakšstaciju zonu kopums pilsētas elektroapgādes sistēmai. Nosacīti pieņemts, ka apakšstacija atrodas sešstūra centrā, bet reālos apstākļos tā nedrīkst iziet ārpus laukuma, kas ierobežots ar sešstūri. Katrai noteiktā sprieguma apakšstacijai ir sava apkalpes zona ar attiecīgu slodzes blīvumu tajā. Tādēļ, piemēram, 20-10/0,4 kV TA skaits ir atšķirīgs vienādās 110/20-10 kV apakšstaciju apkalpes zonās.



3.2. att. 330/110 kV, 110/20-10 kV, 20-10/0,4 kV apakšstaciju apkalpes zonu idealizēts modelis

Saskaņā ar pieņemto ģeometrisko modeli sešstūra veidā iegūtas transformatoru apakšstaciju apkalpes zonas pamatizmēru matemātiskās sakarības un saistības starp pamatizmēriem un tīkla tehniskajiem parametriem dažāda sprieguma transformatoru apakšstacijām, ievērojot (2.8) izteiksmi:

$$\Pi_{TA,i} = 3 \sin\left(\frac{p}{3}\right) \cdot R_i^2 = 2.6 \cdot R_i^2 = 3.46 \cdot r_i^2 = \frac{n_i b_i S_{nom,i}}{s_i}; \quad (3.1)$$

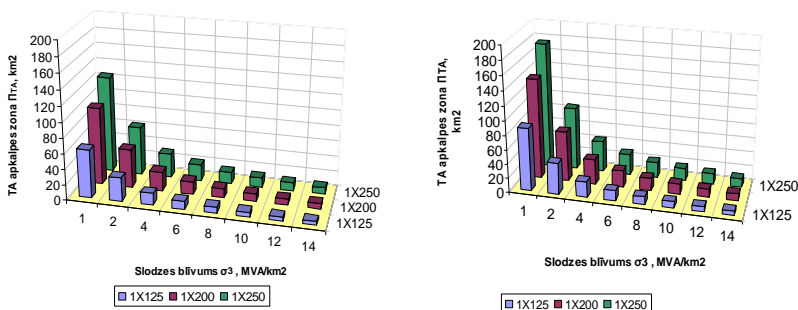
$$R_i = 0.62 \cdot \sqrt{\Pi_{TA,i}} = 0.62 \cdot \sqrt{\frac{n_i b_i S_{nom,i}}{s_i}};$$

$$r_i = 0.54 \cdot \sqrt{\Pi_{TA,i}} = 0.54 \cdot \sqrt{\frac{n_i b_i S_{nom,i}}{s_i}};$$

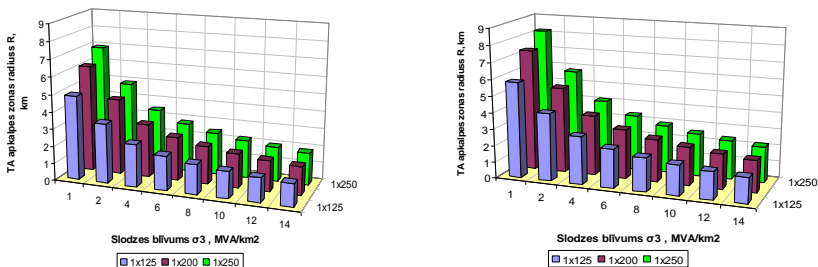
$$A_i = 2 r_i = 1.1 \cdot \sqrt{\Pi_{TA,i}} = 1.1 \cdot \sqrt{\frac{n_i b_i S_{nom,i}}{s_i}},$$

kur $\Pi_{TA,i}$ - transformatoru apakšstacijas apkalpes zona; R - rādiuss ārējai aplocei, kas ir apvilktā apkārt sešstūrim, vai apakšstacijas apkalpes zonas rādiuss (darbības rādiuss) un sešstūra mala; r - rādiuss iekšējai aplocei, kas ir ievilkta sešstūrī; A – teorētiski minimālais attālums starp blakus esošajām TA. Izvēlētais apkalpes zonas modelis nosaka augstsprieguma līniju teorētiski minimālo garumu apakšstaciju savienojumam un pieslēgšanai esošajiem tīkliem. Jo augstāks TA spriegums un lielāka transformatoru uzstādītā jauda, jo lielākai jābūt apakšstacijas apkalpes zonai un jaunu TA savienojuma līniju garumam.

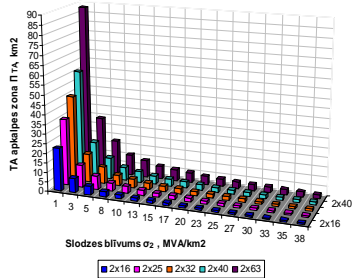
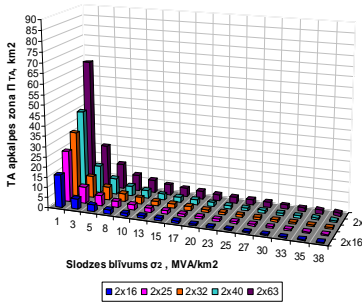
Pēc iegūtajām matemātiskajām izteiksmēm konstruētās 330/110 kV, 110/20-10 kV un 10-20/0,4 kV transformatoru apakšstaciju pieļaujamās apkalpes zonu un to rādīus atkarības no slodzes blīvuma ir atspoguļotas 3.3.-3.8. attēlos histogrammu veidā pie transformatoru pieļaujamā noslodzes koeficienta pie $\beta_{piel}= 0,5$ un $\beta_{piel}= 0,7$.



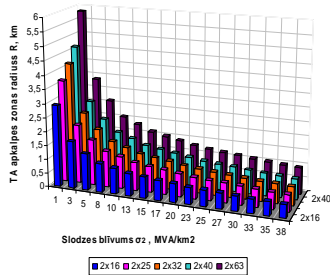
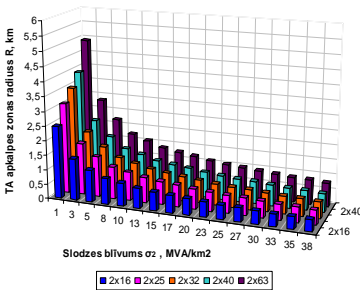
3.3. att. 330/110 kV vientransformatoru apakšstaciju pieļaujamās apkalpes zonas atkarība no slodzes blīvuma histogrammas veidā pie $\beta_{piel}= 0,5$ un $\beta_{piel}= 0,7$



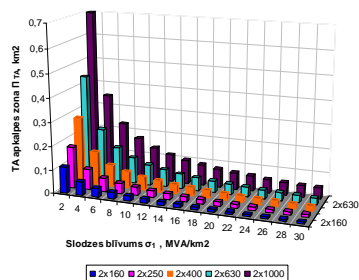
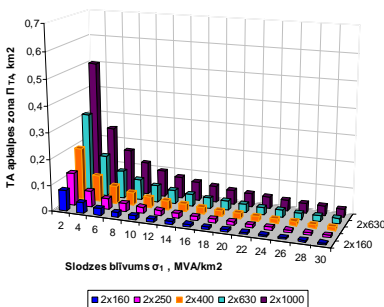
3.4. att. 330/110 kV vientransformatoru apakšstaciju pieļaujamā rādīusa atkarība no slodzes blīvuma histogrammas veidā pie $\beta_{piel}= 0,5$ un $\beta_{piel}= 0,7$



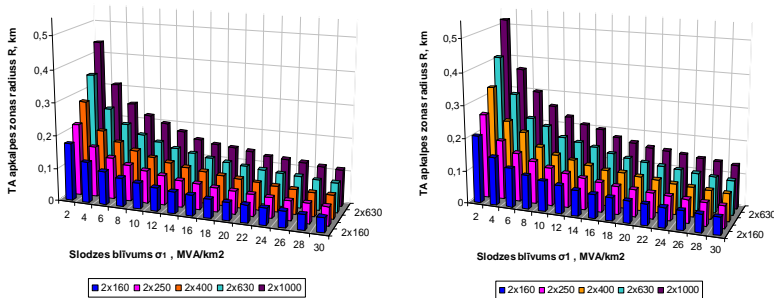
3.5. att. 110/20-10 kV divtransformatoru TA pieļaujamās apkalpes zonas atkarība no slodzes blīvuma histogrammas veidā pie $\beta_{pieļ} = 0,5$ un $\beta_{pieļ} = 0,7$



3.6. att. 110/20-10 kV divtransformatoru TA pieļaujamā darbības rādiusa atkarība no slodzes blīvuma histogrammas veidā pie $\beta_{pieļ} = 0,5$ un $\beta_{pieļ} = 0,7$



3.7. att. 10-20/0,4 kV divtransformatoru TA pieļaujamās apkalpes zonas atkarība no slodzes blīvuma histogrammas veidā pie $\beta_{pieļ} = 0,5$ un $\beta_{pieļ} = 0,7$



3.8. att. 10-20/0,4 kV divtransformatoru TA pieļaujamā darbības rādiusa atkarība no slodzes blīvuma histogrammas veidā pie $\beta_{pie}=0,5$ un $\beta_{pie}=0,7$

No (3.1) izteiksmes un attēliem var secināt, ka apakšstacijas apkalpes zona mainās tieši proporcionāli transformatora nominālajai jaudai pie pastāvīgiem slodzes blīvuma un noslodzes koeficienta lielumiem, t.i., palielinās ar katru nominālās jaudas skalas soli. Apakšstacijas darbības rādiusa kvadrātiskais lielums mainās proporcionāli transformatora nominālajai jaudai pie pastāvīgiem slodzes blīvuma un noslodzes koeficienta lielumiem, t.i., rādiusam šī atkarība vājāka, nekā apkalpes zonai. Savukārt apakšstacijas darbības rādiusa kvadrātiskais lielums mainās apgriezti proporcionāli slodzes blīvumam pie pastāvīgiem transformatora nominālās jaudas un noslodzes koeficienta lielumiem.

Pieņemtais transformatoru apakšstaciju apkalpes zonas modelis un iegūtās matemātiskās sakarības starp modeļa pamatzmēriem dod iespēju veidot apakšstaciju apkalpes zonas ģeometriskos šablonus sešstūra veidā. Šablonus izdevīgi un ērti izmantot pilsētas apbūves teritorijas racionālam sadalījumam pilsētas plānā, lai koriģētu esošo apakšstaciju apkalpes zonas un atrastu vietas jaunu apakšstaciju izvietojumam.

3.2. Transformatoru apakšstaciju apkalpes zonu izmaiņas tīkla ekspluatācijas laikā un attīstības procesā

Esošo patērētāju slodzes pieaugums, jauno patērētāju parādīšanās vienā vai vairāku eksistējošo transformatoru apakšstaciju apkalpes zonas iekšienē izraisa transformatoru slodzes un slodzes blīvuma palielināšanos šajās apkalpes zonās. Ir vēlams, lai transformatoru apakšstacija strādātu pieļaujamā apkalpes zonā, kamēr tas ir iespējams. Ja transformatoram ir jaudas rezerve, ar slodzes pieaugumu automātiski notiek piespiedu transformatora noslodzes koeficienta palielināšanās. Ja trūkst jaudas rezerves, tad rodas nepieciešamība kompensēt slodzes palielināšanos ar papildu transformatoru jaudu. Ir iespējamas dažādas pieejas papildu elektriskās slodzes nosešanai:

- transformatoru nomaiņa ar lielāku nominālo jaudu vienā vai vairākās transformatoru apakšstacijās;
- transformatoru skaita palielināšana;
- jaunu apakšstaciju izbūve.

Promocijas darba 3. nodaļā veikta apkalpes zonas izmaiņu ar slodzes blīvuma palielināšanos matemātiskā analīze un dotas rekomendācijas apkalpes zonas saglabāšanai pieļaujamajās robežās.

3.3. Slodzes blīvumu sakarības hierarhijas pakāpēs

Slodzes blīvumi atsevišķos pilsētas rajonos, mikrorajonos vai apakšstaciju apkalpes zonās mēdz diezgan ievērojami atšķirties no vidējā slodzes blīvuma pilsētā pēc (2.6.) atkarībā no apbūves veida, apbūves stāvu skaita, sadzīves elektrificēšanas līmeņa, patērētāju pieslēgšanas vietas (sprieguma pakāpes) elektroapgādes sistēmā. Ja slodzes blīvumi TA apkalpes zonās ievērojami atšķiras, vidējo slodzes blīvumu pilsētas apbūves teritorijā var precizēt, kā:

$$s_{vid} = \frac{k_{o,j} \sum_{i=1}^{n_{TA}} S_{TA,i}}{\sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i}} = \frac{k_{o,j} \sum_{i=1}^{n_{TA}} n_i b_i S_{nom,i}}{\sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i}} \quad , \quad (3.2)$$

$$= \frac{k_{o,j} \cdot (S_{TA1} + S_{TA2} + \dots + S_{TA,i})}{\Pi_{TA1} + \Pi_{TA2} + \dots + \Pi_{TA,i}}$$

kur $S_{TA,1}, \dots, S_{TA,i}$ - i -tās apakšstacijas pilnā slodze noteiktā gadā;

$\Pi_{TA,1}, \dots, \Pi_{TA,i}$ - i -tās apakšstacijas apkalpes zona, km².

Faktiskie slodzes blīvumi katrai sprieguma pakāpei ir dažādi, veidojot slodzes blīvuma hierarhiju saskaņā ar spriegumu hierarhiju [10,14].

Slodzes blīvums katrai sprieguma pakāpei ir atkarīgs no summārās patērētāju slodzes šajā pakāpē, t.i.,

$$s_o = s_{0,4} = \frac{S_{\Sigma 0,4}}{\Pi_{pils}} \quad ; \quad (3.3)$$

$$s_i = s_{20-10} = \frac{S_{\Sigma 20-10}}{\Pi_{pils}} = k_{o,i} \cdot s_o \quad ; \quad (3.4)$$

$$s_2 = s_{110} = \frac{S_{\Sigma 110}}{\Pi_{pils}} = k_{o,2} \cdot s_1 ; \quad (3.5)$$

$$s_3 = s_{330} = \frac{S_{\Sigma 330}}{\Pi_{pils}} = k_{o,3} \cdot s_2 , \quad (3.6)$$

kur $S_{\Sigma 0,4}$, σ_o - patērētāju slodze un slodzes blīvums 0,4 kV pakāpē; $S_{\Sigma 20-10}$, σ_1 - patērētāju slodze un slodzes blīvums 20-10 kV pakāpē; $S_{\Sigma 110}$, σ_2 - patērētāju slodze un slodzes blīvums 110 kV pakāpē; $S_{\Sigma 330}$, σ_3 - patērētāju slodze un slodzes blīvums 330 kV pakāpē; $k_{o,1}$ - 20-10/0,4 kV transformatoru slodžu maksimuma vienlaicīguma koeficients, atkarībā no TA skaita attiecīga sprieguma tīklā, pieņemts 0,85; $k_{o,2}$ - 110/20-10 kV transformatoru slodžu maksimuma vienlaicīguma koeficients, atkarībā no TA skaita attiecīga sprieguma tīklā, pieņemts 0,9; $k_{o,3}$ - 330/110kV transformatoru slodžu maksimuma vienlaicīguma koeficients, atkarībā no TA skaita attiecīga sprieguma tīklā, pieņemts 0,95.

Pamatojoties uz (3.3-3.6), faktiskie slodzes blīvumi transformatoru apakšstaciju apkopes zonās ir dažādi katrai sprieguma pakāpei un atšķiras no vidējā slodzes blīvuma pilsētā. Sakarā ar to ievērojami atšķiras faktiskās apkopes zonas pilsētas teritorijā.

4. 110/10-20 KV TRANSFORMATORU APAKŠSTACIJU PERSPEKTĪVĀS SLODZES NOTEIKŠANA UN SADALĪJUMS PILSĒTAS TERITORIJĀ

4.1. 110/10-20 kV TA slodzes noteikšana perspektīvai līdz 2020. gadam

Pirms ekonomiskās krīzes sākuma 2005.-2006. gadā Rīgas pilsētā izveidojās situācija, kuru var raksturot kā kritisku. Šajā periodā strauji palielinājās jaunu pieslēgumu skaits. Rīgā bija radušās ap 300 MVA pieprasītu perspektīvo slodžu, ko esošajam elektrotīklam nav iespējams pieslēgt.

Sākot izstrādāt promocijas darbu 2007. gadā, attīstības prognozes un risinājumi tika veikti labvēlīgiem ekonomikas un enerģētikas attīstības apstākļiem. Promocijas darba autore ir aktīvi piedalījies 2007.-2008. gadā Rīgas 110 kV augstsprieguma tīkla shēmas līdz 2020.gadam izstrādē līgumu ar AS "Latvenergo" ietvaros [26,27]. Darbs ar pilsētas elektroapgādes perspektīvās shēmas izvēli tika uzsākts 2007. gadā pēc AS "Latvenergo" pasūtījuma. Viens no uzdevumiem bija perspektīvo slodžu centru un jaunu 110 kV apakšstaciju 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 [29].

Situācija pilsētā mainījās sākot no 2007. gada sakarā ar ekonomisko krīzi. Samazinājās slodzes un patēriņš energosistēmā un pilsētā, tika pārtraukti daudzi projekti un iesaldēti celtniecības objekti. Bet pētījumi tika turpināti 2008. gadā līguma ietvaros [27] un patstāvīgi 2009.-2011. gadā promocijas darbā [1-12].

Ievērojot ekonomiskās situācijas izmaiņas, izpildīta 2007.-2008. gada iegūto rezultātu kritiskā analīze, perspektīvo slodžu korekcija (darba 2. nodaļā) un sakarā ar to veikti papildu pārbaudes aprēķini (darba 4. un 5. nodaļā).

Lai gan pašlaik ir redzama Rīgas pilsētas slodzes pieauguma apstāšanās, tīklam jābūt gatavam tālākam slodzes palielinājumam. Analīzes gaitā tika apstiprināts, ka izstrādātā metodika ir lielā mērā derīga lielpilsētu elektroapgādes sistēmas dažādu attīstības uzdevumu risinājumam, precizējot sākotnējus datus.

Dažu attīstības uzdevumu nostādījums ir risinājums ir apskatīts zemāk.

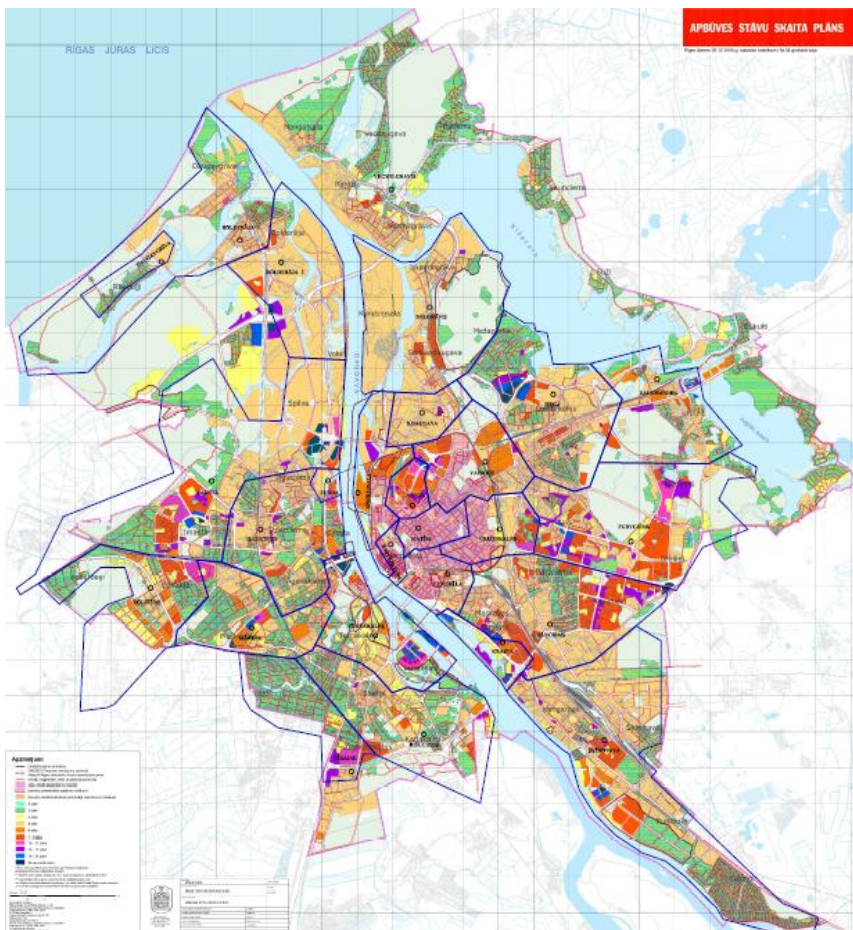
Pašlaik Rīgas pilsētas tīkls ir izveidots un tam ir noteikta konfigurācija, vēsturiski, teritoriāli un tehniski noteikts TA izvietojums. Eksistē patērētāju sadalījums starp apakšstacijām, kas nosaka apakšstaciju esošās apkalpes zonas. Faktiskais TA apkalpes zonas sadalījums 2008.-2010. gadā, izmantojot AS "Latvenergo" energouzņēmuma „Augstsprieguma tīkls” datus, ir parādīts 4.1. attēlā Rīgas pilsētas kartē (no Rīgas Domes Attīstības plāna 2006.- 2018. gadam). Šādam sadalījumam dažreiz nav precīza tehniskā un ekonomiskā pamatojuma. Esošajām apkalpes zonām ir sarežģītas ģeometriskās formas, turklāt katrai apakšstacijai tā ir citādāka. Likumsakarīgas, vienotas un pamatotas pieejas trūkums apakšstaciju sadalījumam, vēsturiski izveidojušos esošo tīklu eksistence apgrūtina racionālu tīklu plānojumu un jaunu apakšstaciju izvietojuma izvēli. Slodzes nepārtrauktu izmaiņu dēļ periodiski jāanalizē apkalpes zonas atbilstība pieļaujamajām robežām.

Apkopojot un analizējot datus, veicot aprēķinu koriģēšanu, izstrādāta metodika racionālai pilsētas elektroapgādes sistēmas veidošanai dažādās hierarhijas pakāpēs [2,3,5,7]. Metodikas realizācija apskatīta, lielā mērā kā piemēru izmantojot 110 kV tīklu, bet ir derīga arī citiem sprieguma hierarhijas tīkliem. Ievērojot teorētisko prognozi Rīgas pilsētas summārajai slodzei (2.1, 2.2. attēls un 2.1.tabula), izpildīta perspektīvas slodzes noteikšana esošajām un jaunajām apakšstacijām līdz 2020. gadam dažādiem scenārijiem labvēlīgos (2007. gadā) un nelabvēlīgos ekonomikas attīstības apstākļos (2008.-2010.g.g.).

TA perspektīvās maksimālās aktīvās slodzes noteiktas pēc formulas [2,3,7,16]:

$$P_{2020} = P_{2008} \cdot \left(1 + \frac{a}{100}\right)^{t_2 - t_1} + k_1 \cdot k_2 \cdot P_{piep}, \quad (4.1)$$

kur a – patērētāju slodzes pieaugums gadā; t_2 – aprēķinu perioda pēdējais gads ($t_2 = 2020$. gads vai cits); t_1 – slodzes pieauguma sākuma gads saskaņā ar

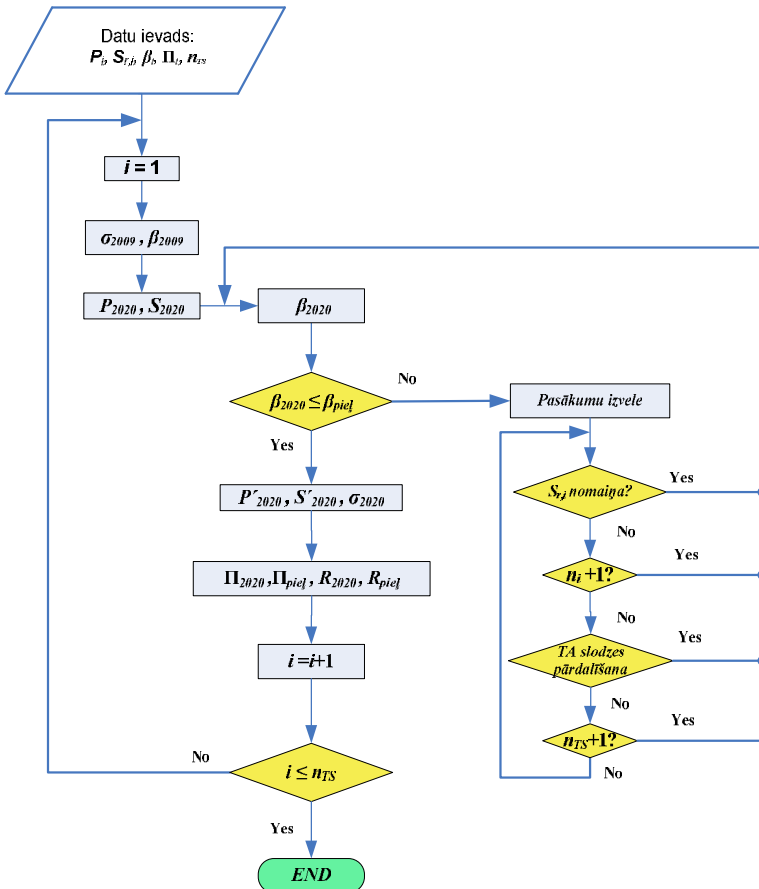


4.1. att. TA apkalpes zonas faktiskais sadalījums Rīgas pilsētas teritorijā 2010. gadā

pieņemto slodzes pieauguma scenāriju; P_{piep} - tīkla pieslēgumam pieprasītās jaudas lielums apskatītajā periodā pēc AS „Sadales tīkls” datiem; k_1 – patērētāju slodžu maksimuma vienlaicīguma koeficients, pieņemts 0,8; k_2 – korekcijas koeficients, kas saistīts ar pieprasītās jaudas lieluma un pieslēguma termiņa nenoteiktību, pieņemts 0,7.

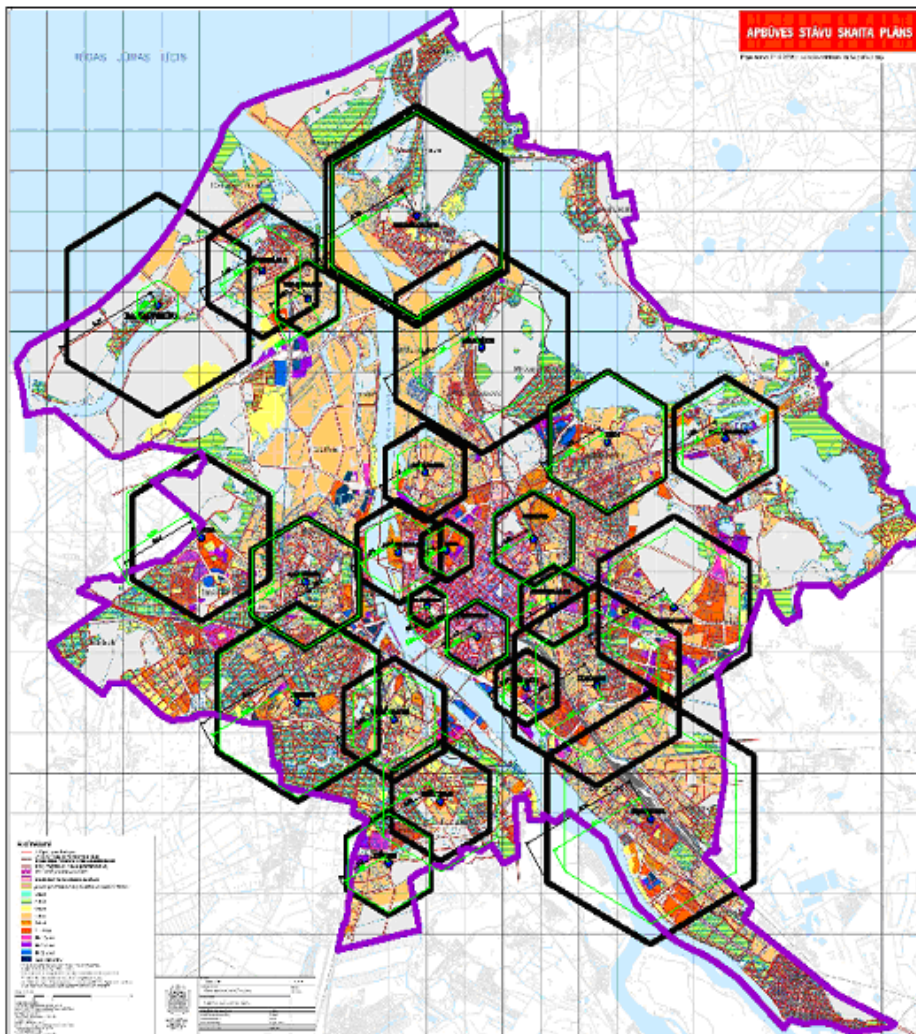
Metodikas ietvaros tiek piedāvāta esošo un perspektīvo apakšstaciju faktisko apkalpes zonu ģeometriskā modelēšana un aizvietošana ar vienādiem sešstūru laukumiem, lai būtu iespēja veikt situācijas analīzi un realizēt vienotu pieeju apkalpes zonu konstruēšanai.

Aprēķinu gaitā katrai TA var noteikt apkalpes zonu un transformatoru noslodzes koeficientu un pārbaudīt to atbilstībai pieļaujamajām vērtībām. Neatbilstība nosacījumam liecina par TA transformatoru pārslodzi. Šajā gadījumā ir jāparedz viens vai vairāki tehniskie pasākumi: samazināt TA slodzi, sadalot tās patērētājus starp blakus esošajām TA, vai palielināt apakšstacijas transformatoru uzstādīto jaudu, nomainot transformatoru pret citu ar lielāku nominālo jaudu, vai palielināt transformatoru skaitu apakšstacijā. Pēc slodzes pārrēķina atkal ir nepieciešams pārbaudīt atbilstību pieļaujamajām vērtībām. TA perspektīvās slodzes, apkalpes zonas un ģeometrisko šablonu parametru noteikšanai paredzēts algoritms 4.2. attēlā.



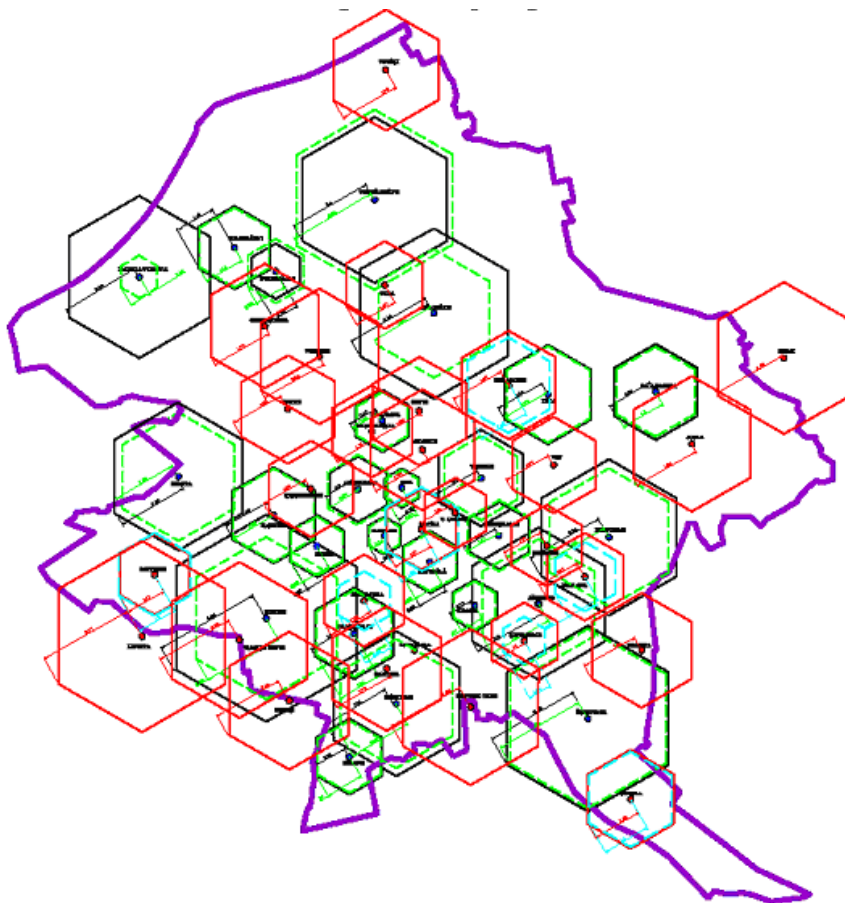
4.2. att. Transformatoru apakšstaciju perspektīvās slodzes aprēķina algoritms

Piedāvāta pieeja TA sadalījumam Rīgas pilsētas attīstības ģenerālplānā. Pieejas pamatā ir ģeometrisko šablonu izmantojums (4.3.- 4.5. attēlā).

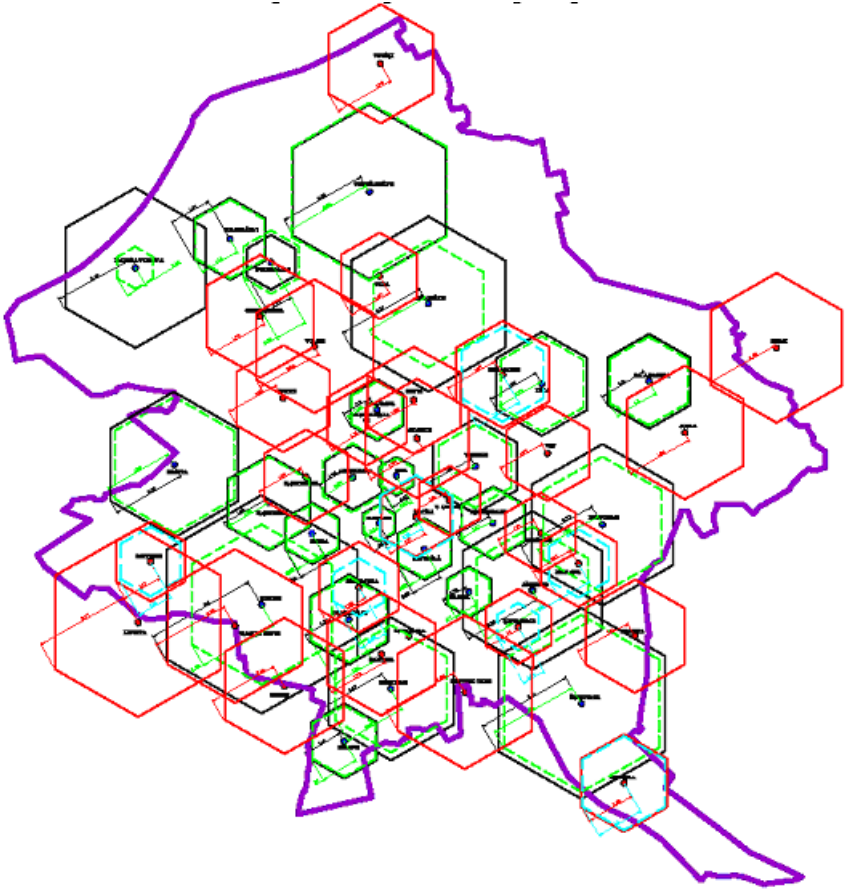


4.3. att. Rīgas pilsētas esošo apakšstaciju reālo un pieļaujamo apkalpes zonu sadalījums 2008. gadā

Aprēķinu procesa automatizācijai un apakšstaciju izvietojuma grafiskai realizācijai izmantota izstrādātā datorprogramma „TASAD” Microsoft Excel vidē (līguma ar AS "Latvenergo" ietvaros) un grafiskā programma AutoCAD. TA sadalījums pilsētas teritorijā dažādiem prognozes scenārijiem izpildīts Rīgas pilsētas kartē (no Rīgas Domes Attīstības plāna 2006.-2018. gadam) vai tikai pilsētas robežās [2,5,12,27]. Sadalījuma piemēri doti 4.3. attēlā ar pilsētas karti un 4.4. un 4.5. attēlā bez kartes, bet pilsētas robežās, kā arī pielikumā darbam.



4.4. Rīgas pilsētas esošo un perspektīvo apakšstaciju apkalpes zonu sadalījums uz 2020.g. ar 3% gada slodzes pieaugumu



4.5. Rīgas pilsētas esošo un perspektīvo apakšstaciju apkalpes zonu sadalījums uz 2020.gadu ar 1,5% gada slodzes pieaugumu

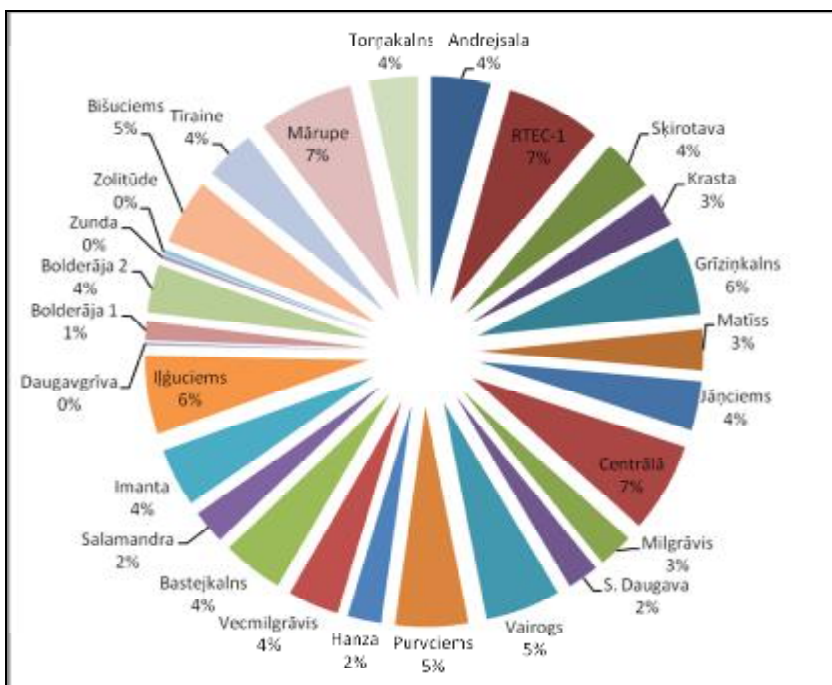
Attēlos ar melnu krāsu parādītas esošo TA pieļaujamās (pie β_{piel}) apkalpes zonas. Zaļie punktētie sešstūri atbilst esošo TA reālajām apkalpes zonām maksimālā gada slodzes režīmā. Ar sarkanu krāsu parādītas jaunas TA pieļaujamās (pie β_{piel}) apkalpes zonas.

No 4.3 attēla ir redzams, ka 2008. gada pilsēta parādās teritorijas, kas nepieder nevienai TA racionālai zonai. Tas ir vietas perspektīvo transformatoru izvietojumam vai esošo TA zonu palielinājumam pēc tehnisko pasākumu realizācijas. 4.4. un 4.5 attēlā ilustrēts TA sadalījums labvēlīgas attīstības scenārijiem pēc 25 jauno TA pieslēgšanas tīklam.

4.2. Esošo 110/10-20 kV TA slodzes koriģēšana 2010. gada stāvoklim

Balstoties uz iepriekšējās nodaļas datiem, summārās Rīgas pilsētas slodzes prognozes paredzēto pieaugumu, tiek novērtēta esošo TA transformatoru noslodze. Analīzei izmantoti AS „Latvenergo” Iz AD dati par Rīgas 110 kV TA noslodzi 2010. gadā 4.1. tabulā. 4.6. attēls parāda katras TA segto Rīgas maksimālās slodzes daļu 2010. gadā. Lielāko daļu no maksimālās slodzes sedz apakšstacijas Centrālā, Mārupe, RTEC-1, Ilģuciems, Grīziņkalns, Bišuciems, Vairogs, Purvciems. Jaunās apakšstacijas Zunda un Zolitūde 2010. gadā praktiski netika noslogotas.

Konkrēto transformatoru slodze aprēķināta, par pamatu ņemot 2.2. attēlā koriģēto Rīgas pilsētas summārās slodzes prognozi līdz 2025. gadam, jo pagaidām grūti paredzēt pieauguma tempus pēckrīzes periodā. Transformatoru slodze un noslodze esošajās apakšstacijās līdz 2025. gadam pie 3% slodzes pieauguma gadā aprēķināta un atspoguļota 4.7. un 4.8. attēlā.



4.6. att. Rīgas 2010. gada maksimālās slodzes sadalījums starp apakšstacijām

4.1. tabula

Rīgas pilsētas maksimālā slodze no 2007. gada līdz 2010. gadam

Nr.	Apakšstacijas nosaukums	2007.g P,MW	2008.g P,MW	2009.g P,MW	2010.g P,MW
1	Andrejsala	18,8	21,4	19,4	20,9
6	RTEC-1	29,6	30,2	29,2	33,57
18	Šķirotava	20,53	21,4	18,2	18,6
101	Krasta	15,23	15,6	13,3	12,52
105	Grīziņkalns	37,7	39,6	36,2	28,15
106	Matīss			0	14,55
110	Jāņciems	39,54	41,2	33,4	17,47
111	Centrālā	34,36	36,8	33,2	32,08
112	Milgrāvis	15,12	14,9	11,9	12,54
113	S. Daugava	16,42	13,2	12,1	11,12
114	Vairogs	38,57	38,1	30,8	26,37
115	Purvciems	25,17	25,5	25,3	25,57
116	Hanza	15,77	16,2	15,3	11,87
117	Vecmilgrāvis	19,74	20,2	19,3	18
119	Bastejkalns	31,22	30,8	25,6	21,65
123	Salamandra	14,91	12,4	11,2	11,96
130	Imanta	26,04	27,4	21,4	20,97
131	Iļģuciems	30,03	30,7	28,3	28,01
132	Daugavgrīva	0,65	0,3	1,4	0,89
133	Bolderāja 1	7,78	7,1	7,3	6,68
136	Bolderāja 2	18,58	18,5	19,4	17,06
137	Zunda	0,54	1	1,6	1,46
139	Zolitūde			9,2	1,7
140	Bišuciems	36,95	33,5	23	23,3
141	Tiraine	21,62	21,1	16,6	17,87
142	Mārupe	38,68	38,6	35,5	33,62
144	Tornākalns	19,11	19,3	18	17,18
	TA kopēja slodze	578,4	580,8	522,1	485,66
	Sistēmas slodze	1373	1419	1340	1336

Dažādu Rīgas pilsētas iecirkņu orientējošais slodzes blīvums

Rajons (barošana no apakšstacijas)	Stāvu skaits	Maksimālā slodzes strāva, I_{max}, A	Maksimālā slodze, MVA	Rajona platība, km²	Slodzes blīvums, MVA/km²
Vecrīga (Bastejkalns)	3-6	1700	30,9	0,84	36,8
Imanta (Imanta)	5-9-12-16	1300	23,6	5,5 (3,2)	4,29 (7,4)
Ļavnieki (Jāņciems)	9	414	7,5	0,9	8,4
Mežciems (Purvciems)	9	261	4,7	0,64	7,4
Ziepniekkalns (Bišuciems), 2 iecirkņi	9 -12	0,12 / 0,15	2,1; 2,7	0,3; 0,36	7 ; 7,4

Piezīmes:

1. Mazākais slodzes blīvums aprēķināts visam iecirknim, lielākais (iekavās) – tikai apbūves sektoram, atņemot no iecirkņa pilnās platības dārziņu un zaļo zonu.
2. Maksimālā strāvas slodze reģistrēta pēc mērījumiem uz 10,5 kV kopnēm.

Slodzes noteikšanas metode pēc vidēja slodzes blīvuma un apbūves teritorijas platības tika izmantota summārās slodzes noteikšanai un TA jaudas izvēlei jauniem perspektīvajiem rajoniem Rumbula, Zaķusala un Lucavsala [29].

Pamatojoties uz veiktajiem aprēķiniem un grafiskajiem attēlojumiem, 4. nodaļā var secināt:

1. Pilsētas tīklam attīstoties labvēlīgos ekonomikas apstākļos (pirms krīzes attīstība) ar 3% un pat 1,9% slodzes pieaugumu 2020. gada perspektīvā būtu pārslogotas lielākā daļa TA un pie slodzes deficīta būtu nepieciešams steidzīgi risināt jaunu TA izbūves un vecu TA rekonstrukcijas jautājumu.
2. 2008.-2010. gadā izpildītā TA slodzes aprēķina korekcija parāda, ka prognozes slodzes 2020. gadam acīmredzot netiks sasniegti (pilsētas slodze 2010.gadā pēc mērījumiem bija 485 MW prognozes 631 MW vietā), un veikto 2008. gada aprēķinu rezultāti ir sagaidāmi ne agrāk kā 2025.-2030. gadā.
3. Pēc TA perspektīvo slodžu analīzes izdarīts secinājums, ka līdz 2020.gadam ir iespējama nodošana ekspluatācijā jaunās 110 kV apakšstacijas: Ķengarags, Osta, Voleri, Mežaparks, Skanste, Bibliotēka, Deglava un Rumbula (ja tur būs uzcelts jauns mikrorajons).
4. Ir nepieciešama aprēķinu tālākā korigēšana saņemot jaunu informāciju.

5. 110 KV APAKŠSTACIJU TRANSFORMATORU OPTIMĀLO JAUDU NOTEIKŠANA UN RĪGAS PILSĒTAS PERSPEKTĪVĀS SHĒMAS LĪDZ 2020. GADAM IZSTRĀDE

5.1. 110 kV apakšstaciju transformatoru optimālo jaudu noteikšana

Lai racionāli konstruētu pilsētas elektroapgādes sistēmu, jāzina transformatoru uzstādītā jauda jau agrīnajās attīstības projektu stadijās. Izstrādājot pilsētas elektroapgādes shēmu 10-15 gadu perspektīvai, iespējams izmantot tikai direktīvos materiālus, nozares un tīklu vispārinātus rādītājus, energouzņēmumu un pilsētas attīstības plānus – tātad, transformatoru optimālā uzstādītā jauda jāizvēlas nepilnīgas un nenoteiktas informācijas apstākļos. Optimālo parametru noteikšanai grūti lietot matemātiskos modeļus ar ekstrēma meklēšanu, un visbiežāk izmanto variantu salīdzinājumu. Iegūtajiem rezultātiem ir orientējošais raksturs un tie jākorrigē, saņemot jaunu informāciju, un, īpaši, precizējot attīstības plānus.

Līguma ar AS "Latvenergo" ietvaros ar promocijas darba autores dalību tika izstrādāts matemātiskais modelis transformatoru optimālo uzstādīto jaudu novērtējumam pilsētā vai pilsētas rajonā. Par optimalitātes kritēriju tika izvēlēts variantu summāro kapitālieguldījumu minimums. Situācijā, kad apakšstaciju transformatoriem ir vienādas uzstādītās nominālās jaudas, var pieņemt vidējo slodzes blīvumu σ_{vid} apakšstaciju apkalpes zonās [41, 45, 46]. Šajā gadījumā izteiksmes (2.1) un (2.5) izskatās šādi:

$$S_{pils} = k_{0,2} \cdot n_{TA} \cdot S_{TA,i} \quad , \quad (5.1)$$

$$\text{un } S_{pils} = \sigma_{vid} \cdot \Pi_{pils} \quad . \quad (5.2)$$

No (5.1) un (5.2) vienlīdzīgiem lielumiem varam atrast:

$$\Pi_{pils} = \frac{S_{pils}}{\sigma_{vid}} = \frac{k_{0,2} \cdot n_{TA} \cdot S_{TA}}{\sigma_{vid}} = k_{0,2} \cdot n_{TA} \cdot \Pi_{TA} \quad .(5.3)$$

Tad transformatoru apakšstaciju skaitam pilsētas teritorijā un gadījumā, ja tajā uzstādīti vienādi transformatori, jābūt šādam:

$$n_{TA} = \frac{S_{pils}}{k_{0,2} \cdot S_{TA}} = \frac{S_{pils}}{k_{0,2} \cdot \sigma_{vid} \cdot \Pi_{TA}} = \frac{\Pi_{pils}}{k_{0,2} \cdot \Pi_{TA}} \quad (5.4)$$

Apkalpes zonas Π_{TA} tika aprēķinātas atkarībā no apakšstacijas transformatoru uzstādītajām jaudām, kas sniegtas darba 3. nodālā (3.3. tabula). Aprēķinos ir pieņemts transformatoru maksimāli pieļaujama noslodzes koeficients $\beta_{pief}=0.5$

normālā režīmā divtransformatoru apakšstacijām. Pie citiem noslodzes koeficientiem apkalpes zonas tiek aprēķinātas pēc formulām (3.1).

110/10 kV perspektīvo apakšstaciju optimālo jaudu novērtēšana pilsētā atkarībā no slodzes blīvuma ir veikta, pamatojoties uz attīstības variantu salīdzinājumu. Matemātiskajā modelī ir ņemta vērā savstarpējā sakarība starp 110 kV un 10 kV tīklu parametriem.

Summāro kapitālieguldījumu funkcija K_{Σ} dažādiem tīklu izbūves variantiem iekļauj sevī: kapitālieguldījumus 110/10 kV TA izbūvei, 110 kV kabeļu līniju izbūvei savienojot 110/10 kV TA, 10/0.4 kV transformatoru punktu (TP) izbūvei, 10 kV kabeļu līniju izbūvei savienojot 10/0.4 kV TP:

$$K_{\Sigma} = K_{S} (S_{TA}, S_{oj}) = K_{TAS} + K_{ALS} + K_{TPS} + K_{VLS}, \quad (5.5)$$

kur K_{TAS} - kapitālieguldījumi 110/10 kV transformatoru apakšstaciju izbūvei; K_{ALS} - kapitālieguldījumi 110 kV kabeļu līniju izbūvei savienojot TA; K_{TPS} - kapitālieguldījumi 10/0.4 kV TP izbūvei; K_{VLS} - kapitālieguldījumi 10 kV kabeļu līniju izbūvei savienojot TP10/0.4 kV.

Visas summāro kapitālieguldījumu funkcijas sastāvdaļas ir izteiktas atkarībā no mainīgā parametra S_{TA} pie uzdotiem slodzes blīvumiem TA apkalpes zonās. Promocijas darbā elektroapgādes sistēmas mērķa funkcija summāro kapitālieguldījumu pamatā ir koriģēta un precizēta [2, 6].

110/10 kV transformatoru apakšstacijas optimālās jaudas izvēles kritērijs ir elektroapgādes sistēmas summāro kapitālieguldījumu minimums salīdzinājuma variantiem. Nepilnīgas un nenoteiktas informācijas dēļ par objektu izbūves secību un termiņiem shēmas novērtēšanas aprēķinos nav izmantots NPV kritērijs, nav iekļautas uzturēšanas, amortizācijas un zudumu izmaksas. Pastāv iespēja, kā kādu apakšstaciju izbūve nebūs nepieciešama līdz 2020. gadam dažādu slodzes pieauguma tempu atsevišķos pilsētas rajonos dēļ.

Aprēķini veikti funkcijai (5.5), ievērojot katras sastāvdaļas atkarību no mainīgiem parametriem, un izmantojot izstrādāto [27] un promocijas darbā koriģēto aprēķinu programmu „TASAD” Microsoft Excel vidē.

No aprēķinu rezultātiem (5.1. attēls) seko, ka pilsētās ar teritoriju 148 km², ņemot vērā pilsētu slodzes blīvumu, ekonomiski izdevīgākās ir apakšstacijas ar šādu transformatoru jaudu: slodzes blīvumam $3 \leq \sigma \leq 5$, MVA/km², – apakšstacijas ar transformatoru jaudu 2x32 MVA, slodzes blīvumam $7 \leq \sigma \leq 9$, MVA/km², – 2x40 MVA apakšstacijas, slodzes blīvumam $11 \leq \sigma \leq 15$, MVA/km², – 2x63 MVA apakšstacijas.

Zinot transformatora apakšstacijas optimālo jaudu, pēc formulām (3.1) var noteikt attiecīgus optimālos tīklu parametrus: apkalpes zonu, darbības rādiusu, minimālo attālumu starp blakus esošajām apakšstacijām un konstruēt ģeometriskos šablonus apakšstaciju sadalījumam pilsētas ģenerālplānā.



5.1. att. Elektroapgādes sistēmas summārie kapitālieguldījumi atkarībā no apakšstacijas transformatoru S_{TA} jaudas $K_{\Sigma}=f(S_{TA})$ histogrammas veidā

5.2. Rīgas pilsētas 110 kV tīkla perspektīvas shēmas izstrāde un novērtējums

2008. gadā, turpinot pētījumus, kas attiecas uz Rīgas augstsprieguma tīkla shēmu, tika izstrādāti Rīgas pilsētas elektroapgādes shēmas 5 varianti ar promocijas darba autores tiešu dalību. AS "Latvenergo" Ekspertu padomes 2009. gada 2. februāra sēdē piedāvātie 5 varianti tika apspriesti ar AS „Augstsprieguma tīkls” un AS „Sadales tīkls” speciālistiem, un 1. variants tika pieņemts par pamatu Rīgas perspektīvas pārvades elektrotīkla shēmas līdz 2020.gadam izvēlei (5.2, 5.3. attēls). Izstrādājot 2009.gadā shēmu 2020.gada perspektīvai tika paredzēta iespējamība iekļaut 25 perspektīvās 110 kV apakšstacijas esošajā shēmā, ievērojot nevienmērīgu pilsētas rajonu attīstību un lielas slodzes parādīšanās nenoteiktību. Šādas attīstības shēmas izstrāde un pieņemšana ir ļoti svarīgs etaps pilsētas mērķtiecīgā attīstībā. Shēma nosaka pilsētas elektriskā tīkla attīstību, lai nodrošinātu pietiekošu modernai pilsētai elektroapgādes līmeni jau esošajiem patērētājiem, kā arī pievienojot jaunus [27,2,5,7].

2010. gadā 15. janvārī AS "Latvenergo" Ekspertu padomes sēdē tika pieņemta precizētā shēma, kas dota 5.4. attēlā, kā darbā analizēto perspektīvo shēmu 2. variants. Rīgas pilsētas elektroapgādes attīstībai ir paredzētas 23 jaunas 110 kV apakšstacijas un esošās vai jaunās 110 kV līnijas to pieslēgšanai tīklam.

15.01.2010. Ekspertu padomes sēdē tika atzīmēti arī neviennozīmīgi risinājumi, kas varētu būt sekojošās shēmas vietās 5.5. attēlā (nosacīti 3. variants):

- 110 kV apakšstacijas Spilve pieslēgums 330/110 kV apakšstacijai Imanta vai 110 kV līnijai Imanta – Daugavgrīva;

- Trešās 110 kV līnijas no apakšstacijas Centrālā celtniecība uz 110 kV apakšstaciju Krasts vai Zemitāni;
- 110 kV otrais pieslēgums apakšstacijai Rumbula var būt 110 kV apakšstacija RTEC-2 vai Salaspils.

Tādēļ tika apskatīts vēl viens papildu variants, ievērojot iespējamās izmaiņas galvenajā AS „Latvenergo” pieņemtajā shēmā.

Variantu novērtēšanas aprēķinos (5.1. tabula) pieņemti nosacījumi:

- 1) Kapitālieguldījumi 330 kV tīkla attīstībai ir vienādi visiem variantiem un nav ņemti vērā variantu salīdzinājumā.
- 2) 110 kV divtransformatoru apakšstacijas izbūves vidējā cena (2 transformatori, 2 līdzdas transformatoru pieslēgumiem, 2 līdzdas līniju pieslēgumiem) - 4,2 milj. latu (pēc AS "Latvenergo" Izpētes un attīstības departamenta rekomendācijām); pieņemtā 1 km kabeļlīnijas cena – 700 tūkstoši latu, vienas 110kV līdzdas cena tradicionālā izpildījumā – 400 tūkstoši latu, pēc jaunās tehnoloģijas – 800 tūkstoši latu (pēc AS "Latvenergo" IzAD rekomendācijām).
- 3) 5.1. tabulā ņemtas vērā cenas 110 kV līzdu izpildījumam pēc jaunās un tradicionālās (iekavās) tehnoloģijas.
- 4) Pārejai pāri upei pieņemti kapitālieguldījumi par 10% lielāki, nekā kabeļu līnijai tranšejās.



5.2. att. 110 kV tīkla perspektīvās shēmas
1. variants



5.3. att. 1. varianta 110 kV tīkla
idealizētā shēma



5.4. att. Rīgas perspektīvā elektroapgādes shēma līdz 2020. gadam (2. variants)



5.5. att. Rīgas perspektīvā elektroapgādes shēma līdz 2020. gadam (3. variants)

5.1. tabula

110 kV tīkla perspektīvo shēmu variantu novērtējums

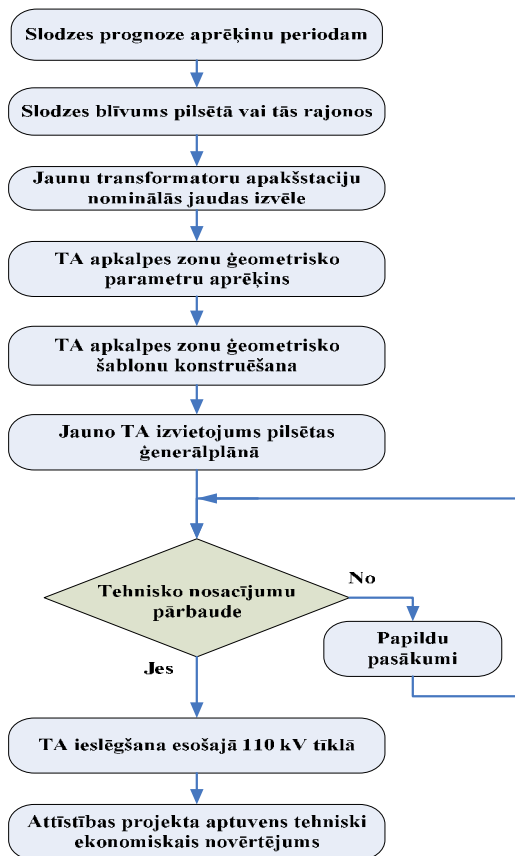
Rādītājs	1. variants	2. variants	3. variants
Kopējais 110 kV apakšstaciju skaits , gab.	28	23	23
Kapitālieguldījumi 110 kV apakšstaciju izbūvei, milj. Ls	117,6	96,6	96,6
Kopējais perspektīvo 110 kV kabelīniju garums , km	91,5	78,3	94,4
Pāreju skaits pāri upei	3	3	3
Kapitālieguldījumi 110 kV kabelīniju izbūvei, milj. Ls	64,3	55,27	61,15
Kopējais jauno līgzdu skaits	25	26	26
Kapitālieguldījumi līgzdām jaunās tehnoloģijas (pēc tradicionālā izpildījumā) , milj. Ls	20,0 (10,0)	20,8 (10,4)	20,8 (10,4)
Kopā, milj. Ls:	201,9 (191,9)	170,0 (162,3)	178,6 (168,1)

Aprēķina rezultāti parādīja, ka summārie kapitālieguldījumi, pieņemto perspektīvo shēmu izpildei pilnā apjomā 2. un 3. variantā ir mazāki, nekā sākotnējam 1. variantam atšķirīga TA skaita dēļ. Perspektīvās 2007.-2008. gadā TA Matīss un Zolitūde mainījušas statusu, kļūstot par eksistējošajām. Dažu TA

izbūves nepieciešamība pazuda slodzes samazināšanās dēļ. Jāatzīmē, ka TA izbūves cena pieņemta 2008. gada cenās - 4,2 miljoni latu, bet inflācijas dēļ cenas jau prasa korekciju.

5.3. 110 kV tīkla veidošanas metodikas galvenie posmi

Darba izpildes gaitā tika apskatīti un detalizēti aprakstīti 110 kV tīkla veidošanas galvenie posmi. Tie sastāda metodikas struktūru. Metodikas galvenie posmi atspoguļoti 5.6. attēlā. Sīkāk katra posma apraksts dots darba 2.-5. nodaļā.



5.6. att. 110 kV tīkla veidošanas galvenie posmi attīstības procesā

KOPĒJIE SECINĀJUMI

1. Sistēmpieeja pilsētas elektroapgādes sistēmas veidošanā balstās uz sistēmas nedalāmības, vienotības un attīstības principiem.
2. Izdarīta Rīgas pilsētas slodzes prognozes līdz 2020. gadam korekcija un veikts perspektīvo slodžu novērtējums 110 kV pilsētas transformatoru apakšstacijām nestabilas ekonomikas apstākļos valstī un enerģētikas nozarē.
3. Visām pilsētas elektroapgādes sistēmas hierarhijas pakāpēm izmantots modelēšanas princips lietojot ģeometriskos modeļus-šablonus sešstūra veidā un matemātiskās savstarpējās sakarības starp tīklu parametriem.
4. Noteikti vai precizēti slodzes blīvumi pilsētas rajonos un atkarībā no tiem iegūtas 110/10-20 kV TA optimālās jaudas, apkalpes zonas, rādiusi un citi parametri shēmas racionālai konstruēšanai.
5. Piedāvāta pieeja TA sadalījumam Rīgas pilsētas attīstības ģenerālpilnā uz ģeometrisko šablonu pamata. Aprēķinu procesa automatizācijai un apakšstaciju izvietojuma grafiskai realizācijai izstrādāta programma „TASAD” Microsoft Excel vidē un izmantota grafiskā AutoCAD programma.
6. Piedāvātā metodika aprobēta un realizēta, izstrādājot Rīgas perspektīvo pārvades elektrotīkla shēmu līdz 2020. gadam ar līdzdalību divos līgumdarbos ar AS "Latvenergo": Nr.L7280 (Nr.010000/07-200 no 16.05.2007.) un Nr.L7310 (Nr.010000/09-16 no15.01.2008.) Viens no autores piedāvātajiem shēmas variantiem tika pieņemts par shēmas pamatu AS "Latvenergo" Ekspertu padomes 02.02.2009. sēdē, un pēc apspriešanas ar AS "Augstsprieguma tīkls" un AS "Sadales tīkls" speciālistiem precizētais un koriģētais variants pieņemts kā "Rīgas augstsprieguma tīkla shēma līdz 2020. gadam" Ekspertu padomes 15.01.2010. sēdē.
7. Izstrādātā metodika ļauj noteikt un pieņemt elektroapgādes sistēmas racionālu variantu attīstības projektu sākumstadijās nepilnīgas un nenoteiktās informācijas apstākļos, kas nodrošina nevis haotisku, bet plānveida un mērķtiecīgu tīklu attīstību.

BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS

1. **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, David Publishing Company, Inc. USA, 2011 (atrodas salikšanā USA).
2. S.Guseva, O.Borscevskis, **N.Skobeleva**, L.Petrichenko. Urban Power supply system's development in conditions of certain information //The tenth IASTED European Conference "Power and Energy Systems", Crete, Greece, 2011, CD, p. 27-31.
3. S.Guseva, O.Borscevskis, **N.Skobeleva**, L.Petrichenko. Perspective loads of transformer substations at development of urban power supply systems //The XV

- International Scientific Conference “Present-day problems of power engineering APE’11”, 8-10 June, 2011, Jurata, Poland, p. 51-59.
4. Nikolajs Breners, Svetlana Guseva, **Nataly Skobeleva**, Oleg Borscevskis. Directions to increase reliability of maintained transformer equipment’s functioning. The 6th International Conference on Electrical and Control Technologies ECT 2011, Kaunas, Lithuania, p. 175-178.
 5. **Nataly Skobeleva**, Oleg Borscevskis, Svetlana Guseva, Lubov Petrichenko. An integrated approach to the formation of service areas for urban substations of different voltage //The 6th International Conference on Electrical and Control Technologies ECT-2011, Kaunas, Lithuania, p. 202-205.
 6. S.Guseva, O.Borscevskis, **N.Skobeleva**, L.Petrichenko. Load determination and selection of transformer substations’ optimal power for tasks of urban networks’ development //Enerģētika un Elektrotehnika, 4. sērija, 27. sējums., RTU, 2010, 31-36 lpp.
 7. S.Guseva, **N.Skobeleva**, O.Borscevskis, N.Breners. Rational approach to the formation of urban power supply system in solving of development problems // The International Energy Forum 2010, 23-26 June, 2010, Varna, Bulgaria, p. 280-289.
 8. N.Breners, S.Guseva, **N.Skobeleva**, O.Borscevskis. Choice and efficiency of measures for increase reliability functioning of power transformers // The International Energy Forum 2010, 23-26 June, 2010, Varna, Bulgaria, p. 269-279.
 9. Svetlana Guseva, Olegs Borscevskis, **Nataly Skobeleva**, Nikolajs Breners. The system approach to placement of transformer substations in the power supply system of the city // Proceedings of the 5-th International Conference on Electrical and Control Technologies, ECT-2010, 6-7 May, 2010, Kaunas, Lithuania, p. 211-214.
 10. Svetlana Guseva, Lubov Kozireva, **Nataly Skobeleva**. Lielu pilsētu slodzes noteikšana sākuminformācijas nenoteiktības apstākļos //Enerģētika un elektrotehnika, 4. sērija, 26. sējums. – Rīga, RTU, Latvija, 2010, 27-33 lpp.
 11. Н.З.Бренер., С.А.Гусева, **Н.Н.Скобелева**, О.И.Борщевский. Применение мониторинга силовых трансформаторов для повышения эффективности функционирования систем электроснабжения. //Proceedings of the XI International Scientific Conference „Problems of Present-day Electrotechnics, PPE-2010”, 1-3 June, 2010, Kyiv, Ukraine, CD, 6 p.
 12. S.A.Guseva, **N.N.Skobeleva**, O.I.Borscevskis, N. Z.Breners. Geometrical modeling of service areas and distribution of urban transformer substations in the city territory// XI International Scientific Conference „Problems of Present-day Electrotechnics, PPE-2010”, 1-3 June, 2010, Kyiv, Ukraine, CD, 4 p.
 13. S.Guseva, N.Breners, **N.Skobeleva**, H.Vindbergs. Economic criteria in competitions for deliveries of power transformers // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, № 5 (Vol. 46), Riga, Latvia, 2009, 35-42 lpp.
 14. S.Guseva, **N.Skobeleva**, N. Breners, O.Borscevskis. Determination of service areas of urban transformer substations and distribution using geometrical templates // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, № 6 (Vol. 47), Riga, Latvia, 2009, p. 16-26.
 15. Хелмут Виндберг, Светлана Гусева, **Наталья Скобелева**. Экономические критерии принятия решений в конкурсах на поставку силовых

- трансформаторов // Elektroenergetika Journal, Technical University of Košice, Vol. 2, No.3, 2009, Slovak Republic, 4 p.
16. S.Guseva, O.Borscevskis, **N.Skobeļeva**, N. Breners. Load forecasting till 2020 of existing and perspective transformer substations in Riga // Enerģētika un elektrotehnika, 4. sērija, 25. sējums. – Rīga, RTU, Latvija, 2009, 77-80 lpp..
 17. S.Guseva, N.Breners, **N.Skobeļeva**. Eļļas reģenerācijas mērķtiecība spēka transformatoru kalpošanas ilguma pagarinājumam // Enerģētika un elektrotehnika, 4. sērija, 24. sējums. – Rīga, RTU, Latvija, 2009, 32-39 lpp.
 18. S.Guseva, **N.Skobeļeva**, N.Breners, O.Borščevskis. Pilsētu transformatoru apakšstaciju apkopes zonu modelēšana // Enerģētika un elektrotehnika, 4. sērija, 24. sējums. – Rīga, RTU, Latvija, 2009, 24-31 lpp.
 19. Breners N., Guseva S., **Skobeļeva N.** The analysis of measures on modernization of the transformer equipment // Enerģētika un elektrotehnika, 4. sērija, 23. sējums. – Rīga, RTU, Latvija, 2008, 74-81 lpp.
 20. Гусева С.А. Бренерс Н.З., Махнитко А.Е., **Скобелева Н.Н.** Оценка мероприятий по модернизации устройств регулирования напряжения под нагрузкой //Материалы X Международной научной конференции “Проблемы современной электротехники-2008”, НАН Украины, Институт физико-технических проблем энергетики, Киев, Украина, 5-9 июня, 2008, с. 51-54.
 21. Гусева С.А., Бренерс Н.З., **Скобелева Н.Н.** Техничко-экономическое моделирование оценки мероприятия по замене силовых высоковольтных трансформаторов // Сборник научных статей по материалам 4-й Международной научно-практической конференции СтГАУ „Информационные системы, технологии и модели управления производством”, Ставрополь, Россия, 13-14 марта, 2008, с. 74-79.
 22. С.А. Гусева, А.Е. Махнитко, Н.З. Бренер, **Н.Н. Скобелева**. Экономический анализ технических мероприятий по повышению надежности функционирования трансформаторного оборудования //Актуальные проблемы электроэнергетики. Труды Нижегородского государственного технического университета. Том 66, -Н. Новгород: НГТУ, Россия, 2007, с. 88-92.
 23. Гусева С.А., Бренерс Н.З., **Скобелева Н.Н.** Техничко-экономическая модель оценки мероприятия по замене силовых высоковольтных трансформаторов //Сборник научных трудов конференции „Методы и технические средства повышения эффективности применения электроэнергии”. -Ставрополь: Агрус, Россия, 2007, с. 209-214.
 24. Z.Krišāns. Elektroenerģētisko uzņēmumu vadības pamati. –Rīga: RTU, 1997. -121 lpp.
 25. Z.Krišāns, I. Oļeņikova. Elektroenerģētisko uzņēmumu vadības pamati. -Rīga, RTU, 2007. -158 lpp.
 26. „Lielāko pilsētu 110 kV elektrotīkla shēmas attīstības pamatprincipi”. Līgums Nr. L7280 (Nr.010000/07-200) no16.05.2007. – Rīga: RTU, 2007. -125 lpp.
 27. „Rīgas augstsprieguma tīkla shēma līdz 2020. gadam”. Līgums Nr. L7310 no15.01.2008. – Rīga: RTU, 2008. -198 lpp.
 28. Internets. – <http://www.energo.lv>.
 29. Rīgas attīstības plāns 2006.-2018. gadam (RD,2005.g.).<http://www.rdpad.lv/rpap>.