

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte

Enerģētikas institūts

**Nauris JANKOVSKIS**

Doktora studiju programmas “Enerģētika un elektrotehnika (virziens – Enerģētika)”  
doktorants

**VEDO TEHNOLOĢIJU IZMANTOŠANAS  
PAŅĒMIENI LATVIJAS SADALES TĪKLOS**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs  
profesors *Dr. habil. sc. ing.*

**A. S. SAUHATS**

Zinātniskā konsultante  
docente *Dr. sc. ing.*

**S. BERJOZKINA**

**RTU Izdevniecība**

**Rīga 2016**

Jankovskis N. Viedo tehnoloģiju izmantošanas  
paņēmieni Latvijas sadales tīklos.

Promocijas darba kopsavilkums – R.:

RTU Izdevniecība, 2016. – 31 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Promocijas padomes

P-05 (Enerģētika) 2016. gada 10. oktobra lēmumu

Nr. 31/16 .

Darbs izstrādāts ar valsts pētījumu programmas “Energoefektīvi un oglekļa  
mazietilpīgi risinājumi drošai, ilgtspējīgai un klimata mainību mazinošai  
energoapgādei (LATENERGI)” un starptautiskā projekta “*Arrowhead*” atbalstu.

ISBN 978-9934-10-871-6

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2016. gada 24. novembrī Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 306. auditorijā.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

Asoc. profesore *Dr. sc. ing.* Anna Mutule,  
Rīgas Tehniskā universitāte

AS «Sadales tīkls» Attīstības departamenta vecākais inženieris *Dr. sc. ing.*  
Aleksandrs Gavrilovs

Asoc. profesors *Dr. sc. ing.* Audrius Senulis,  
Klaipēdas Universitāte, Lietuva

**APSTIPRINĀJUMS**

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

Nauris Jankovskis .....(Paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, sešas nodaļas, slēdzieni vai secinājumi, literatūras saraksts, 76 zīmējumi un ilustrācijas, kopā 165 lappuses. Literatūras sarakstā ir 110 nosaukumi.

# Saturs

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. IEVADS .....                                                                                 | 6  |
| 1.1. Tēmas aktualitāte .....                                                                    | 6  |
| 1.2. Darba mērķis un atrisinātie uzdevumi .....                                                 | 7  |
| 1.3. Pētījuma metodes un līdzekļi .....                                                         | 7  |
| 1.4. Darba zinātniskā novitāte .....                                                            | 7  |
| 1.5. Promocijas darba praktiskā realizācija .....                                               | 8  |
| 1.6. Autora personiskais ieguldījums veiktajos pētījumos .....                                  | 8  |
| 1.7. Promocijas darba aprobācija .....                                                          | 8  |
| 1.8. Publikācijas .....                                                                         | 9  |
| 1.9. Promocijas darba apjoms .....                                                              | 10 |
| 2. LATVIJAS LAUKU SADALES TĪKLU GATAVĪBA VIEDĀM TEHNOLOĢIJĀM..                                  | 10 |
| 3. ENERGOSISTĒMU PLĀNOŠANAS METOŽU TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS..                                    | 11 |
| 3.1. Deterministiskā pieeja tīkla elementu racionālai izvēlei .....                             | 12 |
| 3.2. Stohastiskā pieeja tīkla elementu racionālai izvēlei .....                                 | 13 |
| 3.3. Procesu bibliotēkas izveide .....                                                          | 14 |
| 3.3.1. Ievads .....                                                                             | 14 |
| 3.3.2. Datu vākšana un analīze .....                                                            | 15 |
| 3.3.3. Procesu bibliotēka .....                                                                 | 15 |
| 4. ELEKTROLĪNIJU PARAMETRU OPTIMIZĀCIJA PROJEKTĒŠANAS STADIJĀ...                                | 15 |
| 4.1. Projekts «Zunda» un «Alūksne» .....                                                        | 15 |
| 4.1.1. Ievads .....                                                                             | 15 |
| 4.1.2. Metožu lietošanas rezultāti un analīze .....                                             | 16 |
| 5. VIENKĀRŠOTĀS SHĒMAS 110 kV APAKŠSTACIJAS AR VIENU<br>TRANSFORMATORU IZBŪVES PAMATOJUMS ..... | 18 |
| 5.1. Ievads .....                                                                               | 18 |
| 5.2. Problēmas būtība un alternatīvie risinājumi .....                                          | 19 |
| 5.3. Vienkāršotās apakšstacijas pieslēguma realizācija .....                                    | 20 |
| 5.4. Relejaizsardzības darbība un organizācija vienkāršotās apakšstacijas gadījumā .....        | 21 |
| 5.4.1. Nozarojuma transformatoru ietekme uz relejaizsardzību un automātiku .....                | 21 |
| 5.4.2. Relejaizsardzības organizācija .....                                                     | 23 |

|        |                                                            |    |
|--------|------------------------------------------------------------|----|
| 5.5.   | Piedāvātās variantu salīdzinājuma metodes koncepcija ..... | 23 |
| 5.6.   | Piemēri, iegūtie rezultāti un to analīze .....             | 24 |
| 5.6.1. | Aprēķinu izejdati .....                                    | 24 |
| 5.6.2. | Piemērs .....                                              | 25 |
| 6.     | SECINĀJUMI.....                                            | 27 |
|        | LITERATŪRA.....                                            | 29 |

# 1. IEVADS

## 1.1. Tēmas aktualitāte

Augstas enerģijas cenas, ietekme uz vidi un klimatu, energoapgādes pārtraukumi un ar to saistītie ekonomiskie un sociālie zaudējumi, kā arī apzinātā kurināmā krājumu ierobežotība dabā kļuva par pamatu sasprindzinātai sabiedrības uzmanībai energoapgādes procesam [1–3]. Tiek piedāvātas un ieviestas praksē jaunas vai modernizētas tehnoloģijas (atjaunojamie energoresursi, izkliedētā ģenerācija, koģenerācija, enerģijas akumulācija u. c. [4–6]). Pēdējos gados par vienu no visplašāk pētītajiem energoapgādes attīstības virzieniem kļuvusi *viedo tehnoloģiju izmantošana elektrotīklos* [7–9]. Notiek pasaules mēroga konferences, pētījumiem tiek iedalītas nozīmīgas investīcijas. Tajā pašā laikā pagaidām ir salīdzinoši maz darbu, kas skaitliski parāda reālos vai potenciālos ieguvumus. Atzīmēts, ka jauno tehnoloģiju efektivitāte ir ievērojami atkarīga no konkrētiem apstākļiem un atšķiras pat vienas valsts robežās. Tādā veidā uzdevums nav definēts un risināts arī Latvijas apstākļiem.

Apkopojot daudzos darbos doto [10] un atzīmējot, ka vienotas apstiprinātas *viedo tīklu* definīcijas nav, pieņemsim šādu definīciju: *Energosistēmas tīkls, kas apgādā ar enerģiju lielu daudzumu klientu un ir aprīkots ar inteligentu komunikāciju infrastruktūru stabilai, drošai un efektīvai enerģijas piegādei.* Par atslēgas vārdiem šajā definīcijā var uzskatīt izceltos.

No viedajām tehnoloģijām gaidāma šādu galveno uzdevumu atrisināšana:

1. enerģijas zudumu samazināšana, kas savukārt pazeminās izmešu daudzumu un enerģijas cenas;
2. enerģijas patēriņa grafika izlīdzināšana; samazināsies izmaksas, kas nepieciešamas rezerves uzturēšanai un attiecīgi arī enerģijas cenas;
3. atjaunojamo enerģijas resursu īpatsvara palielināšana, attiecīgi izmešu daudzuma un, iespējams, cenu samazināšana;
4. drošuma līmeņa paaugstināšana un attiecīgi energoapgādes pārtraukumu ilguma samazināšana, veidojot «salas režīmus», atkarības no augstsprieguma tīkliem samazināšana.

Lai sasniegtu nosauktos mērķus, tiek analizētas un piedāvātas tehnoloģijas, kas izmantojamas ar komunikācijas tīklu palīdzību, ieskaitot internetu.

Viedie tīkli izmanto inovatīvas tehnoloģijas:

1. modernas uzskaites infrastruktūra;
2. izkliedētas ģenerācijas tehnoloģijas, kas ļauj integrēt sadales elektrotīklā (ST) daudz izkliedēto generatoru;
3. elektrisko transportlīdzekļu uzlādes infrastruktūra, kas veicina elektromobiļu plašāku izplatību;
4. tīklu automatizācijas iekārtas.

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. Tādēļ jāveic tehniski ekonomiskie novērtējuma aprēķini, nosakot līdzekļu savstarpējo samēru jaunu energoobjektu celtniecībai un esošo rekonstrukcijai.

Tīklu optimāla attīstība prasa dziļu zinātnisku pētījumu veikšanu, izmantojot sistēmanalīzes metodes, ņemot vērā aprīkojuma raksturlielumu izmaiņu dinamiku un patērētāju slodžu pieaugumu visai elektroapgādes sistēmai [11–13].

Promocijas darbs veltīts elektroapgādes sistēmu racionālas izveidošanas atsevišķu uzdevumu risinājumam, balstoties uz Latvijas piemēru. Visi minētie aspekti un to aplūkošanas aktualitāte noteikuši šā promocijas darba tēmas, mērķu un satura izvēli.

## 1.2. Darba mērķis un atrisinātie uzdevumi

**Darba mērķis** ir, izmantojot viedo tīklu iespējas, veicināt energosistēmas ekonomiski efektīvu darbību un attīstību. Darbs ir paredzēts, lai atvieglotu ST projektēšanas, izbūves un ekspluatācijas risinājumus.

Izvirzītā mērķa sasniegšanai promocijas darbā tika risināti **šādi pamatuzdevumi**:

1. veikt viedo tīklu un Latvijas sadales tīklu stāvokli un tehnoloģiju analīzi;
2. izpētīt pamatotu stohastiskās pieejas izmantošanas nepieciešamību sadales tīklu attīstības plānošanas uzdevumos;
3. izveidot elektroenerģijas lietotāju (EL) slodžu procesu bibliotēku;
4. sintezēt sadales tīklu optimizācijas modeļus.

## 1.3. Pētījuma metodes un līdzekļi

1. Teorētiskajās nodaļās izmantotas matemātiskās statistikas metodes [14–15] un Montekarlo metode (MKM) [16–17].
2. Promocijas darba uzdevumu risināšanai tika izmantota energosistēmu procesu modelēšanas programmatūra ETAP [18] UN MATLAB [19] programmēšanas vide.
3. Pētījumiem tika izveidota specializēta ST modelēšanas programmatūra elektrolīniju parametru izvēlei, kas risināja šādus uzdevumus:
  - 3.1. izstrādātais algoritms ņem vērā enerģijas cenas, vides temperatūras un noslodžu stohastisko raksturu;
  - 3.2. piedāvātais algoritms ļauj atrast minimālās ikgadējās ekspluatācijas un būvniecības izmaksas, kā arī palīdz izvēlēties optimālo vada šķērsriezumu;
  - 3.3. ar programmas palīdzību var ātri mainīt mainīgos parametrus un pārreķināt atbilstoši uzdotajiem datiem.
4. Procesu bibliotēka ievietota valsts nozīmes pētījumu centra datubāzē.
5. Elektrolīniju parametru aprēķiniem izmantots specializētais programmatūras komplekss: *PLS-CADD* [20], kas ļāva izpētīt un izvēlēties elektrolīniju projekta variantus ar viszemākām izmaksām, ievērojot pastāvošos tehniskus ierobežojumus.

## 1.4. Darba zinātniskā novitāte

1. Apkopoti Latvijas energosistēmas ST ekspluatācijas rādītāju dati.
2. Izstrādāta jauna pieeja lauku tīklu projektēšanai.
3. Pamatota izkļiedēto generatoru izmantošanas iespēja sprieguma regulēšanas nolūkos.
4. Piedāvāta un pamatota vienkāršoto apakšstaciju (VAS) ar ātrdarbīgiem sakaru kanāliem izmantošanas racionalitāte lauku reģionos.
5. Pamatota relejaizsardzību (RA) un sakaru kanālu automātikas iekārta (saņemts patents).
6. Izveidota sadales tīklu ietekmējošo procesu bibliotēka (datubāze), ko var izmantot daudzu zinātnisko un projektēšanas uzdevumu atrisināšanā.

## 1.5. Promocijas darba praktiskā realizācija

Promocijas darba praktiskā nozīme izpaužas šādi:

1. piedāvāto jauno ST projektēšanas metodiku un izstrādāto programmatūru var izmantot daudzi Latvijas un Baltijas valstu projektēšanas uzņēmumi;
2. VAS ekonomiskais novērtējums dod iespēju daudzos gadījumos izvēlēties piedāvāto variantu un ietaupīt simtiem tūkstošu eiro vienā objektā.

Darbā piedāvāto algoritmu un metodikas praktiskā nozīme:

- teorētiskos un zinātniskos pētījumos, kas saistīti ar elektroapgādes sistēmu racionālu izbūvi un tehnisko parametru optimizāciju;
  - enerģētikas uzņēmumos, kas nodarbojas ar elektroapgādes shēmu attīstību un projektēšanu;
  - sadales tīkla operatora (SSO) attīstības un ekspluatācijas departamenta/funkciju darbinieki, ņemot vērā piedāvātos variantus VAS pieslēgšanas realizācijai;
3. jaunu 330–110/20 kV VAS projektēšana, izmantojot tehniski ekonomiskus aspektus.

## 1.6. Autora personiskais ieguldījums veiktajos pētījumos

Aizstāvamo pamattēžu fundamentu veido idejas, kas radītas ciešā sadarbībā ar zinātnisko vadītāju profesoru Antanu Sauļus Sauhatu, kā arī ar *Dr. sc. ing.* S. Berjozkinu un *Dr. sc. ing.* Ļ. Petričenko. Promocijas darbu daļēji var uzskatīt par profesora ilggadējas darbības turpinājumu. Ideju pārbaude, modeļi, sintezētā programmatūra, skaitliskie eksperimenti un to analīze, rekomendācijas efektīvai lietošanai pieder personiski promocijas darba autoram.

## 1.7. Promocijas darba aprobācija

1. Līdzdalība projektu izstrādē.
  - 1.1. Iegūtie rezultāti atspoguļoti valsts pētījumu programmas projektā «Inovatīvas enerģijas resursu ieguves un izmantošanas tehnoloģijas un zema oglekļa emisiju nodrošināšana ar atjaunojamiem energoresursiem, atbalsta pasākumi vides un klimata degradācijas ierobežošanai – LATENERGI».
  - 1.2. Iegūtie rezultāti tiks atspoguļoti starptautiskā programmas projektā «*Arrowhead*».
2. Līdzdalība patenta izstrādē.

Līdzdalība izgudrojumā «Elektriskā tīkla relejaizsardzības iekārta un paņēmieni» un piešķirts numurs P-16-52 no 29.06.2016. A. Sauhats, D. Antonovs, M. Kuņickis, N. Jankovskis..
3. Promocijas darba rezultāti ziņoti un pozitīvi novērtēti sešās starptautiskās konferencēs.
  - 3.1. 16<sup>th</sup> IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, Itālija, Florence, 7.–10. jūnijā, 2016.
  - 3.2. 13<sup>th</sup> International Conference on the European Energy Market EEM16, Portugāle, Porto, 6.–9. jūnijā, 2016.
  - 3.3. 12<sup>th</sup> International Conference on the European Energy Market EEM15, Portugāle, Lisabona, 19.–22. maijā, 2015.
  - 3.4. 5<sup>th</sup> International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical drives POWERENG 2015, Latvija, Rīga, 11.–13. maijā, 2015.



3.5. 55<sup>th</sup> International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University RTU CON 2014, Latvija, Rīga, 14. oktobris, 2014.

3.6. 4<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Biotechnology and Engineering, Meksika, Mehiko, 9.–12. septembrī, 2014.

## 1.8. Publikācijas

Promocijas darba rezultāti atspoguļoti starptautiski referējamos zinātnisko rakstu krājumos.

1. Berjozina S., **Jankovskis N.**, Sauhats A. Cost-benefit analysis of simplified substations // Proceedings of the 16<sup>th</sup> IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, - Florence, Italy: IEEE, 2016. – 6. lpp. (tiks publicēts).
2. Petričenko Ļ., Sauhats A., Berjozina S., **Jankovskis N.** Stochastic Planning of Distribution Lines// Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on the European Energy Market (EEM 2016). - Porto, Portugāle: IEEE, 2016. – 5. lpp. (tiks publicēts).
3. Berjozina S., Petričenko Ļ., Sauhats A., **Jankovskis N.** Overhead Power Line Design in Market Conditions// Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG 2015). – Rīga, Latvija: IEEE, 2015. – 5. lpp.
4. Berjozina S., Petričenko Ļ., Sauhats A., **Jankovskis N.**, Neimane V. A Stochastic Approach to the Feasibility Study for Overhead Power Lines// Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on the European Energy Market (EEM 2015). - Lisabona, Portugāle: IEEE, 2015. – 5. lpp.
5. **Jankovskis N.**, Petričenko Ļ., Guseva S. Load Density Formation in Largest Cities// Electronic Proceedings of the 55<sup>th</sup> International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTU CON 2014). – Rīga, Latvija: RTU, 2014. – 163.–166. lpp.
6. Varfolomejeva R., Sauhats A., Petričenko R., Kucajevs J., **Jankovskis N.** Stochastic Approach to Economical Analysis of Biomass Power Plants// Abstract Book and Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Biotechnology and Engineering: Vol. 1. – Mehiko, Meksika: 4ISEBE, 2014. – 12. lpp.

## 1.9. Promocijas darba apjoms

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, sešas nodaļas, slēdzieni vai secinājumi, literatūras saraksts, 74 zīmējumi un ilustrācijas, kopā 165 lappuses. Literatūras sarakstā ir 110 nosaukumi.

## 2. LATVIJAS LAUKU SADALES TĪKLU GATAVĪBA VIEDĀM TEHNOLOĢIJĀM

Otrajā nodaļā tiek analizēta Latvijas lauku sadales tīklu gatavība viedām tehnoloģijām. Tiek aprakstīts sadales tīkla pašreizējais stāvoklis un attīstības perspektīvas, piedāvātas un ievestas praksē jaunas vai modernizētas tehnoloģijas (atjaunojamie energoresursi, izkliedēta ģenerācija, koģenerācija, enerģijas akumulācija u. c. [4–6]). Atzīmēts, ka jauno tehnoloģiju efektivitāte ir stipri atkarīga no konkrētiem apstākļiem un atšķiras pat vienas valsts robežās. Jauno tehnoloģiju efektivitātes novērtējuma uzdevums nav definēts un risināts, ņemot vērā Latvijas apstākļus.

Secināts, ka Baltijas valstu un Latvijas vidēja un zemsprieguma tīklu kopgarums mērāms simtos tūkstošu kilometros. Šajos tīklos ir novērojumi būtiskie enerģijas zudumi (5,9 % 2012. gadā), šie tīkli prasa nozīmīgus līdzekļus ekspluatācijai, remontiem un renovācijai [21].

Tiek veikta vidējā sprieguma elektrotīkla ilgtermiņa attīstības plānu izstrāde, atbilstoši tiem attiecīgā apdzīvotā vietā tiks atjaunots elektrotīkls vai uzlabots energoapgādes drošums.

Veikts viedo tehnoloģiju apskats, izvēlēta viedo tīklu definīcija, apskatītas gaidāmas priekšrocības un pieejamas tehnoloģijas.

Latvijā pēdējā laikā tiek novērota būtiska elektroenerģētikas inovācijas aktivitāšu politiskā stimulācija. No ES direktīvām tiek ņemti jaunu tehnoloģiju ieviešanas principi. Par pamatu tiek uzsvērti tādi ilgtermiņa stratēģiski mērķi:

- energoefektivitātes palielināšana;
- vides drošība
- resursu izmantošanas ilgtspējība.

Lai realizētu šos mērķus, ir nepieciešama netradicionālo un atjaunojamo enerģijas avotu energoefektivitātes pieauguma veicināšana. Runājot par tehnoloģisko uzlabojumu Latvijā, lai palielinātu drošumu un operatīvu darbību, tiek lietota sistēma centralizētā sistēma SCADA, kas var uzlabot dispečeru centru efektivitāti.

Latvija pašlaik atrodas pašā sākumposmā ceļā uz viedo tīklu ieviešanu. Pirmie soļi viedo tīklu virzienā tika izdarīti, kad AS «Latvenergo» ieviesa AEUS- automatizētās elektroenerģijas uzskaites sistēmu. To gan vēl nedrīkst uzskatīt par modernu uzskaites sistēmu (MUS), jo izmantotie elektroniskie skaitītāji nenodrošina divvirzienu komunikāciju un abu virzienu jaudas plūsmas uzskaiti, respektīvi, tie tikai saglabā informāciju par ikstundas elektroenerģijas patēriņu un datus par sprieguma atslēgumiem un skaitītāja bojājumiem, kā arī vienreiz diennaktī nodod informāciju sistēmai [22–23].

Otrajā nodaļā dots gaidāmo pozitīvo izmaiņu uzskaitījums.

1. Enerģijas zudumu samazināšana, kas savukārt pazeminās izmešu daudzumu un enerģijas cenas.

2. Enerģijas patēriņa grafika izlīdzināšana. Samazināsies izmaksas nepieciešamas rezerves uzturēšanai un atbilstoši – enerģijas cenas.

3. Atjaunojamo enerģijas resursu īpatsvara palielināšana, atbilstoši – izmešu daudzuma un, iespējams, cenu samazināšana.

4. Drošuma līmeņa paaugstināšana un atbilstoši – energoapgādes pārtraukumu ilguma samazināšana, veidojot «salas režīmus» atkarības no augstsprieguma tīkliem samazināšana.

### 3. ENERGOSISTĒMU PLĀNOŠANAS METOŽU TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS

Trešā nodaļa veltīta energosistēmu plānošanas metožu apskatam un pamatojumam. Pilsētu un to rajonu attīstības uzdevumu atrisināšanai ir nepieciešama elektroapgādes sistēmas elementu parametru racionāla izvēle. Pilsētas vai tās rajonu aplēses slodžu noteikšanai var izmantot tikai orientējošos, vispārinātos rādītājus un metodes. Darbā ir aplūkotas, analizētas un savstarpēji salīdzinātas divas metodes: deterministiskā un piedāvāta stohastiskā pieeja pilsētu slodzes prognozēšanai un novērtēšanai, kā arī piedāvāta stohastiskā pieeja tīkla elementu racionālai izvēlei.

Deterministiskā metode kā galvenos ieejas parametrus izmanto īpatnējo aplēses slodzi (uz vienu cilvēku) pilsētas komunālā un sadzīves sektorā un iedzīvotāju skaitu pilsētā, tās dzīvojamajos rajonos, mikrorajonos, kvartālos utt. [24].

Pilsētas dzīvojamā rajona (mikrorajona utt.) orientējošo aplēses slodzi aprēķinā šādi [24]:

$$P_d = p_{sl} N_{iedz}, \quad (3.1.)$$

kur  $p_{sl}$  – īpatnējā aplēses slodze (uz vienu cilvēku) komunālajā un sadzīves sektorā, kW/cilv.;  $N_{iedz}$  – iedzīvotāju skaits mikrorajonā vai dzīvojamā rajonā, cilv. Vidējais mājsaimniecības lielums Rīgā ir 2,24 iemītnieki [25].

Zinot īpatnējās aplēses slodzes komunālajā un sadzīves sektorā  $p_{sl}$  un iedzīvotāju skaitu  $N_{iedz}$ , pēc (3.1.) var aprēķināt dzīvojamo rajonu (mikrorajonu, kvartālu utt.) aplēses slodzi  $P_{apl}$  jebkuram perspektīvajam gadam, t. sk., piemēram, 2020. gadam.

Kopēja patērētāju noslodze būtu jāsedz ar pietiekamu TA (transformatoru apakšstacija, turpmāk TA) jaudu, ņemot vērā nepieciešamo rezervi. Kopējo pilsētas un tās rajona elektrisko aplēses slodzi, ievērojot sprieguma līmeni, vispārējā formā var izteikt šādi [24]. Kopēja elektriskā slodze no pilsētas uz sprieguma līmenī veidojot šo slodzi vispārējā forma ir [24]:

$$S_{pils} = k_{cc,j} \cdot \sum_{n=1}^{n_{TA}} S_{TA,i} = \sigma \cdot \Pi_{pils} \quad (3.2.)$$

kur  $S_{TA,i}$  ir  $i$ -tās transformatora apakšstacijas noslodze,  $i = 1, 2, \dots, n_{TA}$ ;  $k_{cc,j}$  – TA maksimālas noslodzes enerģijas sistēmas nejaušības koeficients atkarībā no TA daudzuma tīklā dotajā sprieguma līmenī  $j, j = 0, 1, 2, \dots, J$ ;  $n_{TA}$  – transformatora apakšstaciju daudzums projektējamā pilsētā;  $\sigma$  – vidējais slodzes blīvums pilsētai, MVA/km<sup>2</sup>;  $\Pi_{pils}$  – kopēja apkopes teritorija, km<sup>2</sup>.

Pilsētas pilno summāro slodzi var noteikt šādi:

$$S_{pils} = \sigma_{vid} \Pi_{pils} = \sigma_{vid} \sum_{i=1}^{n_{TA}} \Pi_{TA,i}, \quad (3.3.)$$

kur  $\sigma_{\text{vid}}$  – vidējais slodzes blīvums pilsētā, MVA/km<sup>2</sup>;  $\Pi_{\text{pils}}$  – pilsētas apbūves platības un cita ar to cieši saistītā pieguļošā teritorija, km<sup>2</sup>;  $\Pi_{\text{TA},i}$  –  $i$ -tās apakšstacijas apkalpes zona, km<sup>2</sup>;  $n_{\text{TA}}$  – transformatoru apakšstaciju skaits.

No vienādības nosacījuma izriet:

$$\sigma_{\text{vid}} = \frac{k_{\text{cc},j} \sum_{i=1}^{n_{\text{TA}}} S_{\text{TA},i}}{\sum_{i=1}^{n_{\text{TA}}} \Pi_{\text{TA},i}} = \frac{k_{\text{cc},j} \sum_{i=1}^{n_{\text{TA}}} n_i \beta_i S_{\text{nom},i}}{\sum_{i=1}^{n_{\text{TA}}} \Pi_{\text{TA},i}}, \quad (3.4.)$$

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

### 3.1. Deterministiskā pieeja tīkla elementu racionālai izvēlei

Izvēli pēc ekonomiskiem apsvērumiem var izdarīt pēc ekonomiskā strāvas blīvuma metodes vai pēc ekonomisko intervālu metodes (EIM), kas balstās uz ikgadējo izmaksu minimuma kritēriju [26–33]. Ņemot vērā ekonomiskā strāvas blīvuma metodes neprecizitātes, tika izveidota precizētā EIM. EIM realizācijas pieeja ļauj izvēlēties ekonomiski pamatotu, racionālu līnijas vada šķērsgriezumu un nodrošināt minimālas summārās ikgadējās izmaksas gan elektrisko tīklu būvniecībai, gan to ekspluatācijai. Šīs metodes modifikācija balstās uz elektrolīnijas izbūves summāro ikgadējo izmaksu minimuma meklēšanu. Rezultātā tiek veikti ekonomisko intervālu aprēķini pēc strāvas un jaudas, un tiek konstruētas to nomogrammas [26].

Summārās ikgadējās izmaksas katram vada šķērsgriezumam atkarībā no strāvas līnijā var aprēķināt šādi [26]:

$$\begin{aligned} c_1 &= (i + p_{\Sigma})K_{L1} + 3I_{\text{max}}^2 R_1 (\tau\beta' + \beta'')10^{-3} \\ c_2 &= (i + p_{\Sigma})K_{L2} + 3I_{\text{max}}^2 R_2 (\tau\beta' + \beta'')10^{-3} \\ &\quad \dots \\ c_i &= (i + p_{\Sigma})K_{Li} + 3I_{\text{max}}^2 R_i (\tau\beta' + \beta'')10^{-3} \end{aligned} \quad (3.5.)$$

kur  $p_{\Sigma}$  – summārie amortizācijas, uzturēšanas un apkalpošanas atskaitījumi, r. v.;  $i$  – procentu likme jeb banku aizdevumu procenti, r. v.;  $K_L$  – elektropārvades līniju (EPL) kapitālieguldījumi, €;  $I_{\text{max}}$  – maksimālā līnijas slodzes strāva visā aplēses periodā, A;  $R$  – līnijas vada aktīvā pretestība,  $\Omega$ ;  $\tau = f(T_{\text{maks}})$  – maksimālo zudumu laiks, h;  $\beta'$  – īpatnējā elektroenerģijas zudumu vērtība, €/kWh;  $\beta''$  – jaudas cena sistēmas slodzes maksimuma laikā, €/kW.

Optimālu līnijas variantu pirmkārt raksturo ekonomiski lietderīgs vadu šķērsgriezums, kas izvēlēts uzdotā sprieguma līnijas izpildes variantiem, maksimāli nododamās jaudas uzdotajiem lielumiem, zaudētās enerģijas 1 kW·h vērtībai, lielāku jaudas zudumu laikam utt. Vada šķērsgriezums, kura intervālā atrodas nododamā jauda, ir ekonomiski lietderīgs [31]. Tātad pēc šīs metodes var konstruēt universālas ekonomiskas nomogrammas, kas nodrošina elektrolīniju ekonomiskā vada šķērsgriezuma ērtu, precīzāku izvēli dažādiem spriegumiem un tīklu izpildījumiem [26, 33–34].

Neskatoties uz EIM priekšrocībām, tā tomēr pilnībā nedarbojas tirgus ekonomikas apstākļos. Līdz ar to mūsdienu ekonomiskajos apstākļos tradicionālās elektrolīniju parametru, piemēram, vadu šķērsgriezumu, izvēles un noteikšanas metodes ir jāpilnveido.

### 3.2. Stohastiskā pieeja tīkla elementu racionālai izvēlei

Brīvais tirgus, alternatīvie un vietējie enerģijas avoti, jaunas enerģijas uzglabāšanas un komunikācijas tehnoloģijas ir galvenie faktori, kas, no vienas puses, nodrošina alternatīvus risinājumus energosistēmu plānošanas problēmu atrisināšanai un, no otras puses, paaugstina nenoteiktības līmeni. Jaunie apstākļi piespiež meklēt un/vai pilnveidot piemērotas energosistēmu plānošanas metodes.

Lai pārbaudītu deterministiskās pieejas derīgumu stohastiskajā vidē, tālāk tiek piedāvāta stohastiskā pieeja elektrolīniju parametru racionālai izvēlei. Formulējot apskatāmo optimizācijas uzdevumu, arī tālāk saglabāsim mērķa funkcijas būtību – centīsimies minimizēt gada izdevumus. Turklāt apgalvosim, ka izdevumus  $c$  jebkurā laika intervālā iespējams aprakstīt ar funkciju  $\varphi$  šādā veidā [35]:

$$c = \varphi(p_{sl}, \beta, t_{vid}, \Pi), \quad (3.6.)$$

kur  $p_{sl}, \beta, t_{vid}$  – attiecīgi līnijas slodze, elektroenerģijas cena un ārējā gaisa temperatūra;  $\Pi$  – citi parametri, kuri ietekmē gada izdevumus  $c$  (ekspluatācijas cena, kredīta apjoms un likme).

Analizējot (3.6.), varam apgalvot, ka slodze, cena un temperatūra ir gadījuma laika funkcijas. Šīs funkcijas nav stacionāras. Starp tām ir korelācijas saiknes [36]. 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 šā procesa diskretizāciju laikā, uzdodot laika momentus. Katram laika momentam jāuzdod parametru  $p_{sl}, \beta, t_{vid}$  varbūtības sadalījuma funkcijas. Šīs sadalījuma funkcijas var aprakstīt ar pirmās, otrās utt. kārtu sadalījuma funkcijām atbilstoši [37]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_1(P_{sl}^1, \beta^1, T_{vid}^1, t_1) \equiv P\{p_{sl}; \beta(t_1) < P_{sl}^1; \beta(t_1) < \beta^1; t_{vid}(t_1) < T_{vid}^1\}, \\ \Phi_1(P_{sl}^1, \beta^1, T_{vid}^1, t_1; P_{sl}^2, \beta^2, T_{vid}^2, t_2) \equiv \\ \equiv P\{p_{sl}; \beta(t_1) < P_{sl}^1; \beta(t_1) < \beta^1; t_{vid}(t_1) < T_{vid}^1; (p_{sl}(t_2) < P_{sl}^2; \beta(t_2) < \beta^2; t_{vid}(t_2) < T_{vid}^2) \\ \dots \end{array} \right\} \quad (3.7.)$$

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

Zinot funkciju (3.6.) un varbūtību sadalījuma funkcijas (3.7.), var aprēķināt gadījuma procesa novērošanas kopas vidējo vērtību [35]:

$$\begin{aligned} M[C_G] &\equiv M[\varphi(p_{sl}, \beta, t_{vid}, \Pi)] = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(P_{sl}^1, \beta^1, T_{vid}^1; P_{sl}^2, \beta^2, T_{vid}^2; \dots) d\Phi_n(P_{sl}^1, \beta^1, T_{vid}^1; \dots; P_{sl}^n, \beta^n, T_{vid}^n). \end{aligned} \quad (3.8.)$$

Analizējot izteiksmi (3.8.), 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 galvenais bremsējošais faktors stohastiskās pieejas izmantošanā. Sakarā ar viedo tīklu tehnoloģiju realizāciju augstākminētā problēma ir viegli atrisināma, un tā ļauj veikt parametru daudzdimensiju reģistrāciju (jauda, ārējā gaisa temperatūra, cenas u. c.) un izveidot elektronisko datubāzi (bibliotēku). Līdz ar to atzīmētais stohastiskās pieejas trūkums kļūst pārvarams.

Stohastiskās pieejas koncepcija sastāv no trīs galvenajām aprēķina stadijām:

1. attiecīgās pilsētas un tās rajona kopējās elektriskās aplēses slodzes prognozēšana, ņemot vērā slodzes pieauguma scenārijus, kā arī tās plānošanas un attīstības aspektus;
2. elektrolīnijas parametru racionāla izvēle, galvenokārt vada šķērsriezuma optimālā varianta izvēle ar minimālām summārajām ikgadējām vidējām izmaksām (SIVI). Šeit tiek veikts arī detalizēts elektrolīniju kapitālo izmaksu aprēķins, kā arī tiek aprēķināti un novērtēti jaudas zudumi tīklā. ST gadījumā papildus tiek veikta vada pārbaude pēc pieļaujamajiem sprieguma zudumiem;
3. minimālo SIVI, kā arī šo izmaksu neto pašreizējās vērtības (NPV) aprēķināšana un analīze abām aplūkotajām metodēm (stohastiskajai un deterministiskajai pieejai) novērtēšanas – plānošanas perioda laikā. Racionāli pamatota projekta varianta izvēle.

Nākotnes prognozēšana paredz slodzes pieauguma prognozēšanu, ņemot vērā tās mainīgo raksturu. Slodze pastāvīgi mainās un rada jaudas zudumus tīklā. Šo zudumu izmaksas atkarīgas no elektroenerģijas cenas. Turklāt mainās arī elektroenerģijas cena. Kā viens no prognožu parametriem jāņem vērā arī ārējais temperatūra sakarā ar tās lielo ietekmi uz jaudas zudumiem.

Iespējamo elektrolīniju projektēšanas variantu saraksts prasa apsvērt līnijas projektu vairākos variantos. Šādu variantu skaits var būt ārkārtīgi liels, jo pastāv dažādas iespējamās elektrolīniju parametru un konstrukciju kombinācijas. Atbilstošās kombinācijas izvēle atkarīga no elektrolīnijas sprieguma līmeņa, līnijas trases izvietojuma sarežģītības un līnijas garuma, kā arī līnijas galveno parametru izvēles. Lai realizētu šo soli, lietderīgi un efektīvi ir izmantot jaudīgas automatizētās projektēšanas sistēmas, piemēram, PLS-CADD programmatūru [20]. Izmantojot PLS-CADD programmatūras iespējas [20, 37], tika izstrādāts gaisvadu elektrolīnijas (GL) trīsdimensiju modelis, kurā tika izpētītas šā modeļa vairākas alternatīvas pie dažādiem elektrolīniju darba režīmiem un aprēķina nosacījumiem.

Rezultātā gan tiek nodrošināts risinājums ar viszemākajām kapitālizmaksām, gan arī uzreiz tiek samazināts milzīgais elektrolīniju projektēšanas variantu skaits. Turklāt jāņem vērā elektrolīniju projektēšanas prakse un pieredze, līdztekus ievērojot pastāvošos tehniskos ierobežojumus.

### **3.3. Procesi bibliotēkas izveide**

#### **3.3.1. Ievads**

Straujā informāciju tehnoloģiju attīstība nepārprotami ietekmē arī viedo tehnoloģiju attīstību. Iespējams izmantot priekšrocības, ko sniedz jaunākie datu vākšanas un apkopošanas rīki, piemēram, tādi kā «viedie skaitītāji». Šie skaitītāji sniedz iespēju aplūkot esošo patēriņa situāciju jebkurā laika posmā un jebkurā EL patēriņa grupā, tādās kā privātmājas, ražotnes, dažādas sabiedriskās ēkas u. c.

Darbā ir sniegta metode, saskaņā ar kuru, izstrādājot jaunu ciematu vai pilsētas projektu, tiek ņemta par pamatu procesu bibliotēka ar tipiskiem EL patēriņa slodzes objektiem, kur ir arī iekļauta gaisa temperatūra un cena par elektrību gada griezumā. Savukārt, izstrādājot projektu, varēs iekļaut arī cenu prognozēšanu nākotnē.

Pirmais solis, izstrādājot projektu jaunās pilsētas elektroapgādei, ir korekta un adekvāta priekšprojekta izstrāde, kurā būtu ietverti visi EL un to paredzamā slodze. Šā priekšprojekta izstrāde būtiski ietekmē būvobjekta izbūves izmaksas, jo, kā jau zināms, elektroapgādes tīklu

izbūve nav lēta. Protams, jāņem vērā arī tas, ka pozitīvas migrācijas ietekmē apdzīvotā vieta ilgtermiņā arī izpletīsies un nepieciešamās jaudas rezerves nebūs liekas.

Darbā apkopota informācija par dažām lielpilsētas rajona slodzēm un to aprēķināšanas metodēm. Aplēses slodzes analīzei un apkopošanai izmantoti ārvalstu un Latvijas literatūras avoti un instruktīvie materiāli [28–29, 38].

### **3.3.2. Datu vākšana un analīze**

Formulētā uzdevuma realizācijai tika apkopots un apstrādāts ievērojams datu apjoms. Tas ir nepieciešams, lai būtu nodrošināts ģeogrāfiskais pilsētas attēlojums, tai skaitā ēkas un vietas, esošās a/st. Viens no galvenajiem datu avotiem ir ģeogrāfiskā informācijas sistēma (ĢIS). Tika izveidoti arī *AutoCAD* rasējumi, lai atspoguļotu nepieciešamo informāciju. Turklāt dažāda informācija par sistēmas elementiem tika iegūta manuāli. Par esošo sadales a/st. slodzi dati ir doti *MS Excel* programmā. Deterministiskās un stohastiskās metodes grafiku iegūšanai tika arī ņemti vērā dati no viedajiem elektroenerģijas skatītājiem.

### **3.3.3. Procesu bibliotēka**

Datu apkopošanai un apstrādes bibliotēkas izveidošanai par pamatu tika ņemta esošā klientu apkalpošanas un norēķinu sistēmas (KANS) datubāze, kas tiek lietota koncernā AS «Latvenergo». Šajā sarežģītajā datubāzē katrs objekts ir sagrupēts kategorijās un sadalīts patēriņa klasēs, kas ievērojami atvieglo darbu. Daļa no KANS datubāzes funkcionalitātes ir saistīta ar tās lietojumu datu apkopošanai un apstrādei. Bibliotēkas izveides procesā tika ņemti vērā vairāki parametri, kas būtiski ietekmē kopējo EL patēriņa un cenas ainu. EL – fiziskā vai juridiskā persona, kas pērk elektroenerģiju rūpnieciskajām un (vai) mājsaimniecības vajadzībām.

Par pamatu procesu bibliotēkas izveidei ir ņemtas dažādu EL grupu noslodzes (daudzdzīvokļu dzīvojamās mājas, veikali, slimnīcas u. c. sabiedriskās ēkas, ražotnes, biroju ēkas, privātmājas, ģenerācijas a/st. u. c.).

## **4. ELEKTROLĪNIJU PARAMETRU OPTIMIZĀCIJA PROJEKTĒŠANAS STADIJĀ**

Ceturtajā nodaļā aplūkoti pilsētu un to rajonu slodzes prognozēšanas, kā arī elektrolīniju parametru optimizācijas piemēri un to pētījumu rezultāti. Veicot minēto metožu savstarpējo salīdzinājumu, tika pamatota piedāvāto stohastisko pieeju izmantošanas racionalitāte. Minētie pētījumu rezultāti balstās uz reāli esošo a/st., kā arī elektrolīniju datiem.

### **4.1. Projekts «Zunda» un «Alūksne»**

#### **4.1.1. Ievads**

Reālās elektroapgādes rajona noslodzes ainas attēlošana ir ļoti komplicēts process. Izmantojot reālus datus, tiek ņemti vērā visi slodzi ietekmējošie faktori – daļējais EL patēriņš, elektroenerģijas cenas, a/st. apkalpes zonas plānotie remontu, avārijas remontu, pārslēgumi no/uz citām a/st.

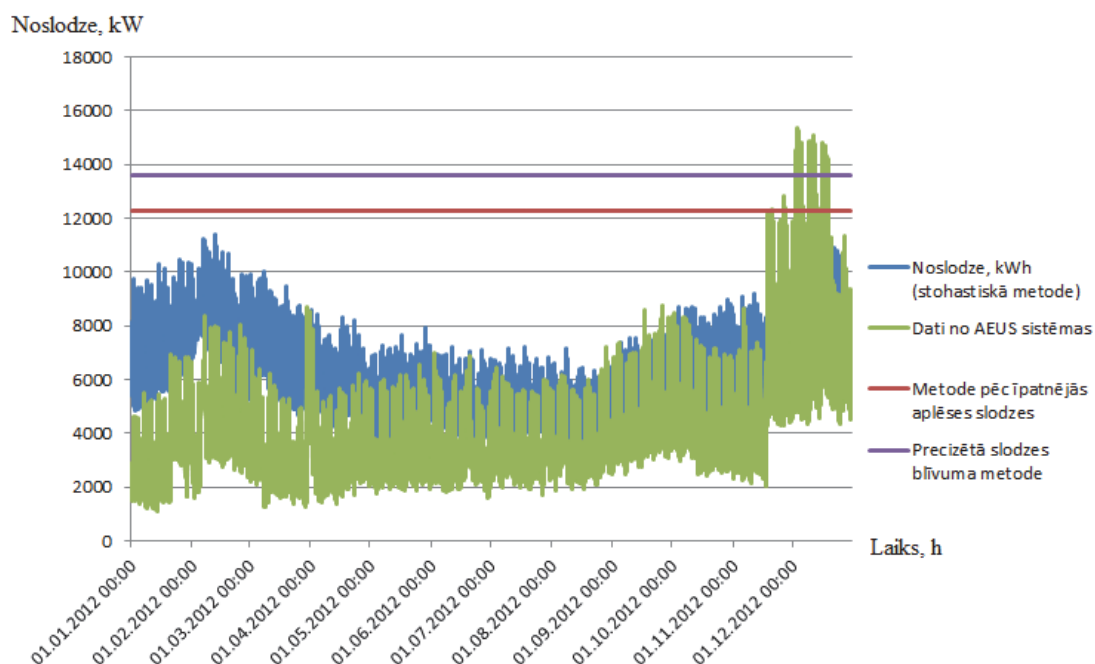
Minētie dati ļauj noteikt tr-ra elektroenerģijas patēriņu, kā arī reālā laika slodžu rezervi. Tomēr tas neparāda visas elektroapgādes apkalpes zonas reālo EL noslodzes datus, kas palīdzētu noteikt nepieciešamo un optimālo tr-ru jaudas lieluma izvēli, kā arī EPL noslodzi attiecīgajā pilsētā un/vai tās rajonā.

#### 4.1.2. Metožu lietošanas rezultāti un analīze

TA «Zunda» apkalpes zonas iedzīvotāju skaits 2012. gadā orientējoši ir pieņemts 10 304 pēc [39]. Pieņemts, ka slodze komunālsadzīves un servisa sektoros ir apmēram 80 % no apkalpes rajona summārās slodzes.

Lai pārbaudītu deterministisko metožu piemērotību stohastiskajā vidē, izmantosim darbā izklāstīto un piedāvāto stohastisko pieeju elektrotīkla slodzes prognozēšanai.

Izskatīto metožu iegūtie rezultāti atspoguļoti 4.1. attēlā.



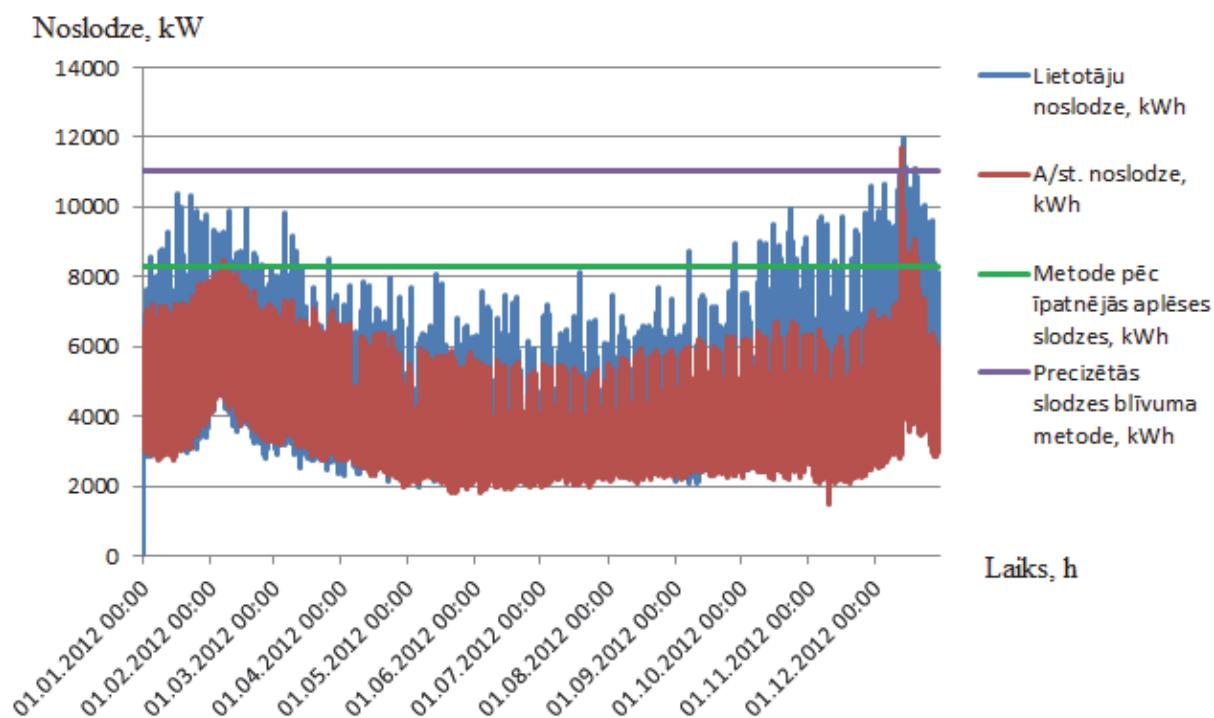
4.1. attēls. TA «Zunda» gada noslodze, izmantojot dažādas metodes, kW·h.

Izmantojot stohastisko pieeju, var redzēt slodzes periodiskumu, kas atbilst sezonalitātei. Izteikti slodzes maksimumi (maksimālā tīkla noslodze) pastāv elektroenerģijas patēriņa pīķa stundās, kā arī ziemas sezonas laikā.

Lielākā a/st. «Alūksne» daļa ir iezīmēta kā dzīvojamās apbūves teritorija, bet šajās robežās ir daudz gan izglītības iestāžu un sabiedrisko ēku, gan ievērojama rūpnieciskā un komerciālā infrastruktūra. Alūksnes reālajā apkalpes zonā ietilpst dienvidu rajoni. 2010. gadā a/st. apkalpes zona ir apmēram 1699,8 km<sup>2</sup>.

Izskatīto metožu savstarpējā salīdzinājumā iegūtie rezultāti atspoguļoti 4.2. attēlā. Noslodzes tendences saglabājas kā iepriekšējā piemērā, kas nozīmē, ka, izmantojot stohastisko pieeju, piemēram, a/st., EPL, sadales līnijai, lietotāju noslodzes noteikšanai, var iegūt reālo ainu par slodzes izmaiņām tīklā katrā stundas intervālā.





4.2. attēls. TA «Aluksne» gada noslodze, izmantojot dažādas metodes.

Salīdzināšanas analīze balstās uz a/st. «Aluksne» apkopes zonas projektu datiem, kas raksturo pilsētu elektroapgādes attīstību. Šajā projektā pieņemts, ka elektrolīnijas jauda pieaug par 2 % katru gadu (plānošanas periods ir 30 gadu) [42].

Izmantojot iegūtos slodzes grafikus, tika aprēķinātas SIVI (vienam gadam) visiem EPL projekta variantiem, izmantojot izsmeljošās meklēšanas metodi.

Mūsu gadījumā pētījumā minētā programma aprēķināja SIVI no pirmā gada projekta īstenošanas. No sešiem līnijas vada šķērsgrīzumu alternatīviem variantiem pirmais (AS-50) ir ar viszemāko SIVI rādītāju. Līdz ar to iepriekš iesniegtie grafiki rāda visas iespējamās SIVI vērtības no izvēlēto līniju vadu šķērsgrīzumiem. Tā rezultātā optimālā SIVI vērtība AS-50 ir noteikta: pirmajā gadījumā (attiecībā uz 1. tr-ru) nominālā SIVI vērtība ir 70 670 €, otrajā gadījumā (attiecībā uz 2. tr-ru) – 98 750 €.

Izmantojot iepriekš aprakstīto programmu, SIVI aprēķināto NPV nosaka katram gadam visā EPL plānošanas perioda laikā. Iegūtie rezultāti un analīze par abām pieejām ir atspoguļoti 4.1. tabulā.

4.1. tabula

Deterministiskās metodes un stohastiskās pieejas salīdzināšanas rezultāti

|                           | Stohastiskā<br>pieeja | Deterministiskā<br>metode | Starpība,<br>% |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|
| SIVI, € (1. tr-rs)        | 2127 316              | 2938 016                  | 38,10          |
| SIVI, € (2. tr-rs)        | 2969 634              | 3614 564                  | 21,71          |
| NPV no SIVI, € (1. tr-rs) | 1573 659,14           | 1960 109,09               | 24,55          |
| NPV no SIVI, € (2. tr-rs) | 2216 492,09           | 2518 936,5                | 13,64          |

Visbeidzot, var secināt, ka attiecībā uz visiem projekta variantiem piedāvātā stohastiskā pieeja dod būtisku investīciju ekonomiju, kas pierāda pamatotību un nepieciešamību, to lietot. Tādējādi elektroenerģijas cenu un slodzes svārstības (spēja apmierināt EL pieprasījumu) ir jāņem vērā, it īpaši tas ir aktuāli tirgus apstākļos.

## **5. VIENKĀRŠOTĀS SHĒMAS 110 kV APAKŠSTACIJAS AR VIENU TRANSFORMATORU IZBŪVES PAMATOJUMS**

Piektā nodaļa sniedz 110 kV apakšstacijas ar vienu transformatoru izbūves lietderīguma pamatojumu.

### **5.1. Ievads**

Pieaugušās elektroapgādes kvalitātes prasības un pēdējos gados novērotie Latvijai iepriekš neraksturīgie laika apstākļi (piemēram, apkārtējās gaisa temperatūras izmaiņas, spēcīgas vēja brāzmas u. c. [43–44]) ir iemesls, lai pārskatītu sadales elektrotīkla arhitektūru un topoloģiju. Turklāt pārvades un sadales elektrotīklu attīstība un jaunu teritoriju apsaimniekošana rada nepieciešamību pieslēgt pie jau izbūvētiem elektriskiem tīkliem jaunus patērētājus un ģeneratorus, kas var atrasties tālu no esošajām a/st.

Vietās, kur pašreizējais sadales elektrotīkls nav izveidots atbilstoši jaunu jaudu pieslēgšanai vai pašreizējo lietotāju elektroietaišu atļautās jaudas palielināšanai, šobrīd izmantotie risinājumi ir šādi:

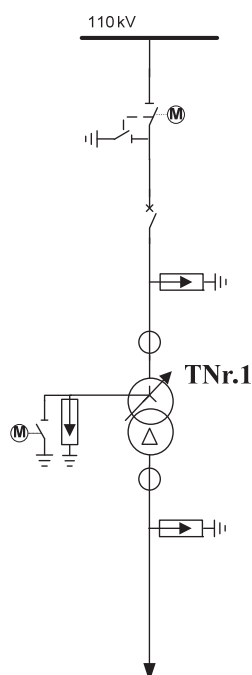
- 1) attiecīgā sadales elektrotīkla posma rekonstrukcija;
- 2) jaunas vīdsprieguma kabeļlīnijas (KL) izbūve no a/st. kopnēm, ja to atļauj tr-ra jauda;
- 3) jaunas 110 kV a/st. izbūve, kas ļautu samazināt to lietotāju skaitu, kurus skar elektroapgādes traucējumi vīdsprieguma elektrotīkla bojājuma gadījumā un plānoto atslēgumu laikā, palielinātu jaunu pieslēgumu realizēšanas iespēju, samazinātu elektroenerģijas zudumus sadales elektrotīklā, vienkāršotu selektīvas relejaizsardzības (RA) izveidošanu sadales elektrotīklā.

Energosistēmas restrukturizācijas rezultātā var secināt, ka sarežģīsies lēmumu pieņemšanas process par a/st. elektriskās shēmas izvēli, radot savstarpējas sistēmas operatoru (SO) pretrunas, kuras varētu mazināt, ja uzņēmums – labuma guvējs pilnībā kompensētu zaudētajam radušās papildu izmaksas. Taču kopumā var secināt, ka galvenais ieguvējs būs elektroenerģijas gala lietotājs. Pieredzes apkopošanas rezultātā rodas standarti un noteikumi, kas daudzos gadījumos stipri atvieglo lēmumu pieņemšanu. Taču daudzos gadījumos, mainoties apstākļiem, uzkrātajai pieredzei nav pamatojuma, jo esošajā situācijā energosistēmu attīstības uzdevumu risināšanā ir jāreķinās ar jaunām tehnoloģijām un prasībām un būtiski uzlabotajiem iekārtu parametriem (vīdie tīkli, sakaru kanāli, tr-ri, mērmaiņi, komutācijas iekārtas, drošuma paaugstināšana, zudumu samazināšana u. c.).

Pieslēgšana pie sistēmas sadales operatora (SSO) tīkliem var būt saistīta ar nepieciešamību būvēt garas vīdsprieguma līnijas ar būtiskiem kapitālieguldījumiem un apkalpošanas izmaksām. Gadījumos, ja jaunie patērētāji un ģeneratori atrodas salīdzinoši tuvu esošai augstsprieguma pārvades līnijai, iespējams uzbūvēt jaunu a/st. Arī šis pieslēguma ierīkošanas variants ir saistīts ar būtiskām izmaksām. Izmaksas var samazināt, izvēloties racionāli pamatotu elektrisko shēmu jauno patērētāju un ģeneratoru pieslēgšanai. Iespējamie elektroapgādes pieslēguma ierīkošanas

risinājumu varianti ir jaunu papildu 20 kV elektrolīniju celtniecība līdz patērētāju pieslēgšanas vietai vai jaunu a/st. būvniecība. Šajā gadījumā ir jāizsver un jāpieņem lēmums būvēt dārgas a/st., piemēram, a/st. ar H-veida shēmu vai VAS ar vienu tr-ru, kas ir mazāk dārgas un, pareizi izplānojot šādas a/st., tās būtiski var uzlabot elektroapgādes drošumu un kvalitāti gala lietotājam. Bez izņēmuma visos gadījumos, aprīkojot līdzšinējā tipa a/st. ar H-veida shēmu un vietu diviem tr-riem, tiek mākslīgi palielināts uzstādītās tr-ru jaudas apjoms; tiek «iesaldēti» SSO resursi, gaidot potenciālo slodzes pieaugumu; tiek nepamatoti sadārdzinātas pieslēguma ierīkošanas izmaksas lietotājiem [45].

VAS bloku shēmas izmanto visplašāk, tajās divi vai vairāki tīkla elementi, piemēram, līnija un pazeminošais transformators «L-T» (sk. 5.1. attēlu), saslēgti virknē un strādā nesaistīti ar citiem blokiem. Tādēļ viena elementa bojājuma vai remonta dēļ tiek atslēgts arī bloka otrs elements.

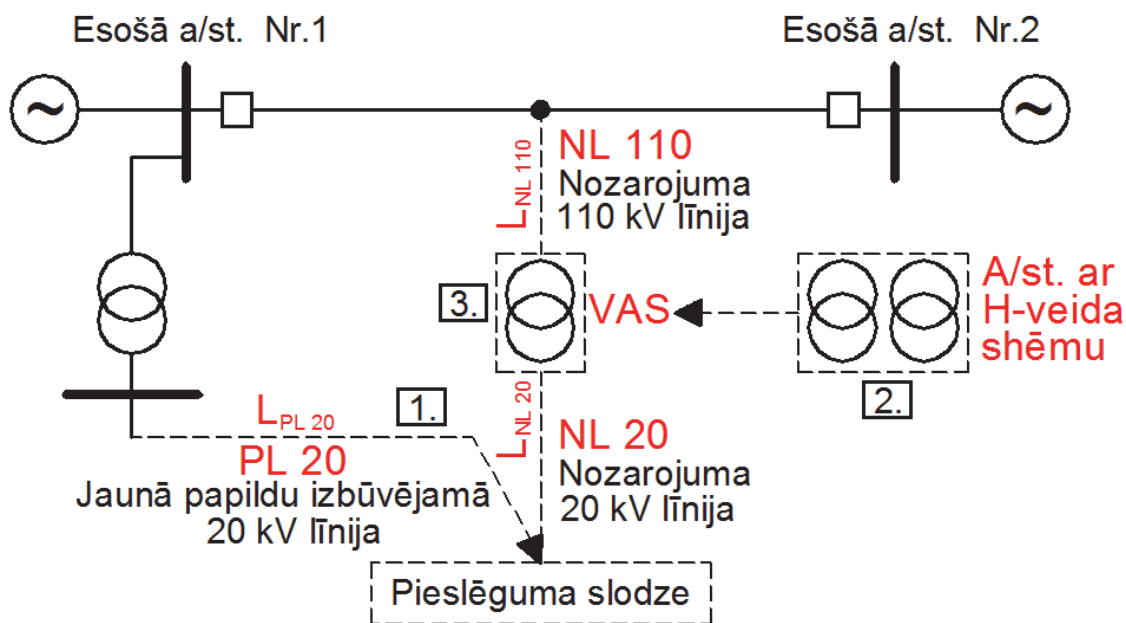


5.1. attēls. TNr. 1 bloku shēma ar jaudas slēdzi.

## 5.2. Problēmas būtība un alternatīvie risinājumi

Lai paskaidrotu problēmas būtību, apskatīsim kopējo pieslēguma ierīkošanas variantu shēmu, kas atspoguļo trīs izskatītos jaunu patērētāju un ģeneratoru pieslēguma ierīkošanas variantus (sk. 5.2. attēlu).

1. Jaunās papildu izbūvējamās 20 kV līnijas (PL 20) būvniecība – no esošās a/st. līdz elektrisko slodžu centram. Izmaksas un drošums šajā gadījumā ir atkarīgi no attāluma no esošām a/st. un jaunu patērētāju un ģeneratoru (pieslēguma slodzes) atrašanās vietas un nepieciešamās jaudas lieluma. Jāizvērtē katrs gadījums atsevišķi.
2. A/st. ar H-veida shēmu būvniecība. Šis risinājums ir ar vislielākajiem kapitālieguldījumiem, salīdzinot ar citiem variantiem, kas pamatoti ar tālāk sniegtajiem aprēķiniem.
3. VAS būvniecība. Šis variants visos gadījumos prasa mazākus kapitālieguldījumus, salīdzinot ar otro variantu.



5.2. attēls. Elektroapgādes pieslēguma ierīkošanas varianti.

Salīdzinot ar H-veida shēmu, VAS izmantošana pazemina jauna pieslēguma elektroapgādes drošuma līmeni vēl šādos apstākļos: augstsprieguma līnijas bojājuma gadījumā vai/un transformatora bojājuma un plānotā remonta gadījumā.

### 5.3. Vienkāršotās apakšstacijas pieslēguma realizācija

VAS realizācija var radīt divu veidu trūkumus.

1. Ietekme uz pārvades sistēmas operatora (PSO) tīkla drošumu. Šo ietekmi iespējams likvidēt, izmantojot pietiekami drošus un ātrdarbīgus sakaru kanālus un tr-ra aizsardzības rezervēšanu. Prasības sakaru kanāliem pilnībā atbilst mūsdienu iespējām, viedo tīklu koncepcijai un jau sasniegtajiem drošuma rādītājiem (gatavības koeficients lielāks par 0,998).
2. Ilgstošs energoapgādes pārtraukums nerezervēta VAS tr-ra bojājumu gadījumā. Šajā gadījumā elektroapgādes pārtraukums ir līdzīgs periodam, kas nepieciešams tr-ra nomaiņai. Atzīmētā trūkuma ietekmi var samazināt līdz pieņemamam līmenim, ja:
  - energosistēma izmanto tipveida VAS;
  - energosistēma uztur rezerves tr-rus, ar kuriem var ātri nomainīt bojātos.

Taču šo trūkumu rašanās varbūtība ir niecīga, jo:

- 1) pēdējo 40 gadu laikā pieredze liecina, ka 110 kV tr-ru bojājumi ir tikai aptuveni 1 % no visiem elektrotīkla bojājumiem, un lielāko bojājumu daļu izsauc bojājumi tieši elektrolīnijās [46–47];
- 2) moderno tr-ru kalpošanas laiks vidēji ir apmēram 40 gadu (pēc Krievijas Valsts standarta (GOST) ražotiem transformatoriem –  $\geq 25$  gadi), un papildus ir sagaidāms, ka tiks izstrādātas un ieviestas efektīvākas tr-ru kontroles un diagnostikas sistēmas, kas rezultātā ļaus pagarināt tr-ra kalpošanas laiku un nodrošināt nepieciešamo drošuma pakāpi, izmantojot prognozēšanas un tehniskā stāvokļa vadības stratēģiju [48];
- 3) vairumā gadījumu VAS risinājumu ieteikts realizēt, ja tiek nodrošināta rezervēšana pa 20 kV tīklu, bet tāda gadījumā rodas arī problēmas, piemēram, samazinās sprieguma kvalitāte, palielinās zudumi u. c. Taču katrs gadījums jāizsver atsevišķi.

Izvērtējot ārvalstu (Vācijas u. c.) energokompāniju pieredzi, tika konstatēts, ka VAS realizācijai izmanto karkasa ēkas vai konteinaera izpildījuma a/st. ar augstsprieguma un vīdsprieguma gāzizolētām sadalēm, kas būtiski atvieglo a/st. izbūvi un turpmāko ekspluatāciju [49–51].

VAS karkasa ēkas vai konteinaera izpildījuma a/st. Vācijas energokompānijas plaši izmanto vīdsprieguma gāzizolētas slēgiekārtas. 20 kV slēgiekārtu kopņu strāva  $I_{kopnes} = 1250$  A, atejošā fīdera strāva  $I_{fid} = 630$  A. Tas nozīme, ka tipveida 110/20 kV a/st. risinājumam var izmantot tr-ru ar jaudu līdz 40 MVA. Ņemot vērā esošo slodzes blīvumu un noslodzi Latvijas pilsētās un reģionos, tik liela tr-ru jauda ir aktuāla tikai lielās republikas nozīmes pilsētās un/vai nākotnes vajadzībām (perspektīvie pieslēgumi). Iesaku VAS risinājumā izmantot karkasa ēku vai konteinaera izpildījuma a/st. ar jaudu ne lielāku par  $S_N = 16$  MVA. Tr-ra jauda ir atkarīga arī no esošā vīdsprieguma tīkla elektroapgādes spējas rezervēt nepieciešamo jaudu no blakus esošām a/st. Atejošo fīderu skaits ir atkarīgs no tīkla konfigurācijas, klientu daudzuma un slodzes konkrētajā rajonā. Iesaku atejošo fīderu skaitu ne lielāku par piecām elektrolīnijām. Karkasa ēkā vai konteinaera izpildījuma a/st. var izvietot 10 ligzdu: tr-ra pievienojums, dzēšspoles pievienojums, pašpatēriņa tr-ra pievienojums, septiņi pievienojumi atejošiem pievienojumiem. Iesaku uzstādīt divus pašpatēriņa tr-rus: Nr. 1 pieslēgt pie 110/20 kV kopnēm, Nr. 2 pie 20 kV ligzdas. Sprieguma pazušanas gadījumā 110 kV pusē pašpatēriņa tr-ru Nr. 2 var nobarot no esošā 20 kV tīkla, izmantojot rezervēšanas iespējas. Pašpatēriņa tr-ra jauda ir ne lielāka par  $S_N = 25$  kVA.

Rezultātā var secināt, ka pamatā VAS plānots būvēt laukos vai/un nelielās pilsētās, tāpēc VAS izpildījumu var nodrošināt, izmantojot gaisa izolācijas sadali (viszemākās izmaksas), bet kā nākotnes risinājums, samazinoties cenām, ļoti piemērota būtu karkasa ēka vai konteinaera izpildījuma a/st. ar vīdsprieguma gāzizolētu sadali, jo šādam risinājumam pastāv vairākas priekšrocības, piemēram, mazs izvadu skaits (samazinās kopējās būvniecības izmaksas), kompakts (iespējams paredzēt vietu perspektīviem pieslēgumiem), lielāks ekspluatācijas drošums, nepieciešamības gadījumā konteinaera izpildījuma a/st. ir viegli pārvietojama u. c.

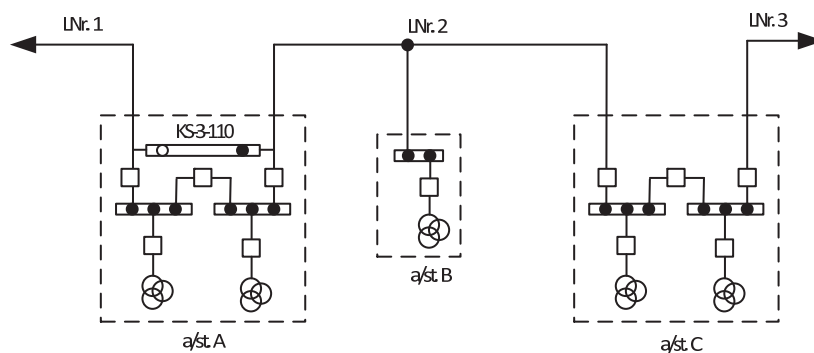
## **5.4. Relejaizsardzības darbība un organizācija vienkāršotās apakšstacijas gadījumā**

### **5.4.1. Nozarojuma transformatoru ietekme uz relejaizsardzību un automātiku**

Latvijā pastāv virkne VAS. Vienā līnijā – viens nozarojums. Viena no VAS priekšrocībām ir iespēja atteikties no papildu EPL celtniecības. Trūkums – EPL drošuma samazināšanās un RA sarežģīšanās.

Cieši savienoto nozarojuma a/st. skaits starp esošajām a/st. nedrīkst pārsniegt trīs [52].

VAS «B» nav slēdža no augstsprieguma puses (PSO). Līnijai LNr. 2 ir ierīkotas aizsardzības tikai a/st. «A» un a/st. «C» (sk. 5.3. attēlu.).



5.3. attēls. VAS «B» shēmas piemērs LNr. 2, kas savieno a/st. «A» un «C».

Īsslēguma gadījumā a/st. «B» kopnēs (augstsprieguma puse – 110 kV) iedarbosies līnijas LNr. 2 pirmās zonas distantaizsardzība (DA) a/st. «A» un a/st. «B».

Īsslēguma gadījumā aiz a/st. «B» tr-ra (vidsprieguma puse – 6 kV, 10 kV vai 20 kV) iedarbosies tr-ra aizsardzība. Uz tr-ru tiek uzstādīti divi aizsardzības komplekti, nodrošinot tuvējo rezervēšanu. Tr-ra otra aizsardzības komplekta atteice ir mazticama, tāpēc **tālā rezervēšana 110 kV līnijai LNr. 2 netiek nodrošināta.**

Ar **tuvējo rezervēšanu** saprot divu aizsardzību izmantošanu šajā pievienojumā, kas savstarpēji rezervē viena otru, katrai no tām ir pietiekams jutīgums pamatdarbības zonā, un tās parasti ir veidotas, balstoties uz dažādiem principiem.

Bojājuma gadījumā tr-ros darbojas divas aizsardzības – gāzes un diferenciālā, pateicoties kurām tiek nodrošināta aizsardzību tuvējā rezervēšana (protams, tuvējā rezervēšana tiek nodrošināta tikai tādu bojājumu gadījumos, kad abām aizsardzībām piemīt pietiekams jutīgums).

**Gadījumos, kad objektā tiek veikta aizsardzību tuvējā rezervēšana, abu aizsardzību vienlaicīga atteice ir mazticama, un prasība pēc attiecīgajiem tālās rezervēšanas aizsardzību pievienojumiem rodas reti.**

Bojājuma gadījumā pievienojumā un slēdža kļūmes gadījumā tuvējā rezervēšana nevar nodrošināt bojājuma lokalizēšanu. Tāpēc tuvējās rezervēšanas līdzekļi tiek papildināti ar speciālām slēdžu kļūmju rezervēšanas iekārtām, kas nodrošina bojājuma vietai tuvāko slēdžu izslēgšanos aplūkotajā režīmā.

Aizsardzību vai robežjošos iecirkņu slēdžu kļūmes **rezervēšanas variants tiek dēvēts par tālo.** Tādu rezervēšanu veic aizsardzība (un izslēdz slēdzi) nevis uz objekta, kur notikusi iekārtu kļūme, bet citās attālinātās a/st.

Līdz ar to, ja noticis bojājums nozarlīnijā (NL) ar tās aizsardzību vai slēdža kļūmi, tālās rezervēšanas funkciju izpildes laikā jānostrādā aizsardzībām un jāatslēdzas slēdžiem apakšstacijā «B».

**Tālā rezervēšana** nodrošina avāriju lokalizēšanu, īsslēguma strāvas plūsmas un iekārtas bojājumu attīstības apturēšanu.

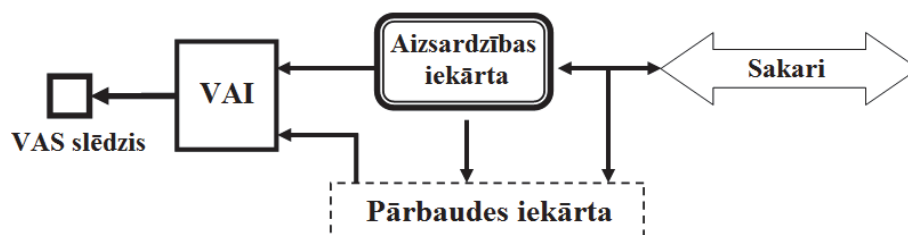
Aizsardzību jutīguma paaugstināšanai to darbam tālās rezervēšanas režīmā kopņu sajūgslēdžos un sekcijas slēdžos papildus ierīko speciālus aizsardzības komplektus. Ja ar tādu aizsardzības komplektu var atslēgt kopņu sajūgslēdzi, tad viena no kopnes sistēmām, bet kopā ar to arī virkne līniju un a/st., tiks atdalīta no bojātā sistēmas iecirkņa. Savienojumos, kas ir pieslēgti citai kopņu sistēmai ar neizslēgušos bojāto elementu, pieaug īsslēgumu strāvas, paaugstinās aizsardzību jutīgums, kas nodrošina tālo rezervēšanu.

**Līdz ar to tr-ra aizsardzības tuvējā rezervēšana Latvijā tiek īstenota ar otrā aizsardzības komplekta palīdzību, bet tālo rezervēšanu nav iespējams nodrošināt vairāku iemeslu dēļ.**

1. Nav normatīvo prasību attiecībā uz tr-ra aizsardzības tālo rezervēšanu.
2. Mūsdienīgo mikroprocesoru termināļu tehniskie ierobežojumi.  
Pastāv pretestību iestatījumu ierobežojumi – līdz 250  $\Omega$ . Kad rodas īsslēgums VAS vidsprieguma tīklā, neizdodas nodrošināt jutīgumu. Šajā gadījumā 110 kV līnijas beigās plūst ļoti mazas strāvas, kas nozīmē, ka pilnā pretestība līdz īsslēguma vietai ir ļoti liela – krietni lielāka par 250  $\Omega$  (līdz pat 600–700  $\Omega$ ).
3. Tuvā rezervēšana ir droša. Aizsardzības otrā komplekta atteices ir mazticamas.
4. Barojošās a/st. ļoti bieži ir apejas remonta kopne KS-3-100. Tādu a/st. Latvijā ir ļoti daudz. Šī kopne sarežģī slēdža bojājuma automātikas ierīkošanu.

#### 5.4.2. Relejaizsardzības organizācija

Mūsdienīga tehnika dod iespēju veikt nepārtrauktu sakaru kanālu kontroli un atpazīt – praktiski momentāni – tā bojājumu. Šo iespēju var izmantot, lai likvidētu visas VAS ierīkošanas negatīvās sekas PSO. Sakaru bojājuma gadījumā pietiek atslēgt VAS no pārvades tīkla (PSO). Šis pasākums var būt izdevīgs un pieņemams augsta sakaru kanālu drošuma gadījumā, ļaujot ieteikt PSO un SSO tehnisko interešu nesakrītību atrisināšanai izmantot doto shēmu, kas atspoguļota 5.4. attēlā.



5.4. attēls. Piedāvātā principiālā shēma sakaru kanālu nodrošināšanai.

Piedāvātā risinājuma būtība ir šāda:

1. tiek veikta nepārtraukta sakaru kanālu kontrole;
2. tiek izmantota informācijas apmaiņa starp augstsprieguma līnijas a/st. (PSO) un VAS. Bojājumu gadījumā augstsprieguma līnijā VAS slēdzis tiek atslēgts. Šāds risinājums likvidē VAS ietekmi uz EPL darbību, bet tikai pie darbotiespējīgiem sakariem;
3. VAS slēdzis tiek papildus atslēgts arī sakaru kanālu bojājumu gadījumos.

Atzīmēsim, ka esošie sakaru kanāli ir droši (gatavības koeficients lielāks par 0,998), bet tomēr nenodrošina atbilstošu RA vadības algoritmu sakaru kanālu atteicu gadījumā. Paskaidrotais risinājums to nodrošina un atbilst viedo tīklu koncepcijai, ir viegli rezervējams un spējīgs likvidēt pretrunas starp SSO un PSO.

#### 5.5. Piedāvātās variantu salīdzinājuma metodes koncepcija

Veicot variantu salīdzinājumu, jāizvēlas to efektivitātes novērtējuma rādītāji (kritēriji). Ņemot vērā, ka visi salīdzinātie varianti ir spējīgi nodrošināt enerģijas pieprasījumu patērētājiem, var pieņemt, ka ieņēmumi par šo pakalpojumu ir vienādi visos aplūkotajos

gadījumos. Šajā situācijā par visizdevīgāko var uzskatīt variantu, kas nodrošina vismazākās projekta realizācijas un uzturēšanas izmaksas.

Piedāvātā VAS aizsardzības pieeja (sk. 5.4. attēlu.) ļauj neievērot VAS izbūves ietekmi uz esošās 110 kV maģistrālās elektrolīnijas drošumu, jo tiek piedāvāts piemērot tehnisko risinājumu, kas paredz izmantot ātrdarbīgu un drošu sakaru kanālu.

Pēc piedāvātās metodes nosakāmās izmaksas sastāv no trim sastāvdaļām: būvizmaksas, elektroenerģijas zudumu izmaksas un izmaksas par nepiegādāto elektroenerģiju. Būvizmaksas un zudumu izmaksas tiek attiecinātas uz SSO gan 110 kV, gan 20 kV spriegumā. Nosakot SSO izmaksas, 20 kV slēdžu izmaksas, 20/0,4 kV transformatoru izmaksas un zemsprieguma elektrolīniju izmaksas neievērojam, jo tās ir nemainīgas visiem pieņemtajiem variantiem.

Piedāvātā metode ļauj noteikt summārās gada izmaksas katram risinājumam, ļaujot izvēlēties variantu ar vismazākajām izmaksām.

## 5.6. Piemēri, iegūtie rezultāti un to analīze

Lai izstrādātu un pamatotu kritērijus VAS celtniecībai, jāizskata trīs iepriekš minētie alternatīvie risinājumi (sk. 5.2. attēlu.), veicot šādu galveno parametru variācijas: nozarojuma 110 kV līnijas (NL 110) garums, nozarojuma 20 kV līnijas (NL 20) garums – izbūvējamā 20 kV līnija no VAS līdz elektrisko slodžu centram, jaunās papildu izbūvējamās 20 kV līnijas (PL 20) garums – attālums no esošās a/st. līdz slodzei, pieslēguma jauda.

### 5.6.1. Aprēķinu izejdati

Tālāk atspoguļotajiem aprēķiniem visos gadījumos tika izmantota ikgadējo izmaksu metode [28], neskatoties uz to, ka bieži ekonomiskajos aprēķinos izmanto NPV metodi, jo EPL projektiem lauku reģionos daudzos gadījumos atmaksāšanās periods ir aptuveni 20–30 gadu, citos gadījumos šādi projekti vispār neatmaksājas. Ikgadējās izmaksas atspoguļo to, cik klientam jāsamaksā, ekspluatējot energoobjektu aplēses gadā, ievērojot būvizmaksu noseģšanu, izmaksas no zudumiem un izmaksas no nepiegādātās elektroenerģijas.

Šobrīd un tuvākajos trijos četros gados eiro valūtas kredītlīdzekļu, kas pieejami liela korporatīvajam klientam ar labu reitingu, bankas procentu likme ir diapazonā 2–2,5 %. Aprēķinā banku aizdevuma procentus pieņemam 2,8 % ar nelielu rezervi.

Summārie amortizācijas, uzturēšanas un apkalpošanas izdevumi nozarojuma 110 kV līnijai, nozarojuma 20 kV līnijai, jaunai papildu izbūvējamai 20 kV līnijai, kā arī a/st. (VAS un a/st. ar H-veida shēmu) pieņemti atbilstoši [28].

Kombinētās 20 kV līnijas vienas garuma vienības būves maksa (īpatnējā maksa) pieņemta atbilstoši [53].

Elektroenerģijas cena pieņemta saskaņā ar 2015. gada vidējo cenu *Nord Pool Spot* biržā – 41,825 €/MW·h, neņemot vērā tirgotāja uzcenojumu [54].

Dažu parametru vērtības, piemēram, tr-ra atteicu intensitāte un to sakārtošanas (atjaunošanas) laiks, jaudas slēdža atteicu intensitāte un to sakārtošanas (atjaunošanas) laiks u. c., pieņemti atbilstoši [55].

Atbilstoši AS «Sadales tīkls» (SSO) tehniskajai politikai [56] maģistrālos 20 kV gaisvadu elektrotīklus izbūvē ar vada šķērssgriezumu ne mazāku kā 70 mm<sup>2</sup>, izmantojot alumīnija-tērauda vai izolētos vadus. Aprēķinā tiek pieņemti divi vada šķērssgriezumi – 70 mm<sup>2</sup> un 95 mm<sup>2</sup>. Visos



izskatītajos risinājumos pieņemts, ka 20 kV elektrolīnijas ir gaisvadu izpildījumā, kas pamatots ar to, ka VAS celtniecība paredzēta galvenokārt lauku apvidos, kur elektroenerģijas patēriņa pieaugums pēc AS «Sadales tīkls» (SSO) attīstības plāniem paredz 0 % laukos (1,5 % pilsētā) [59].

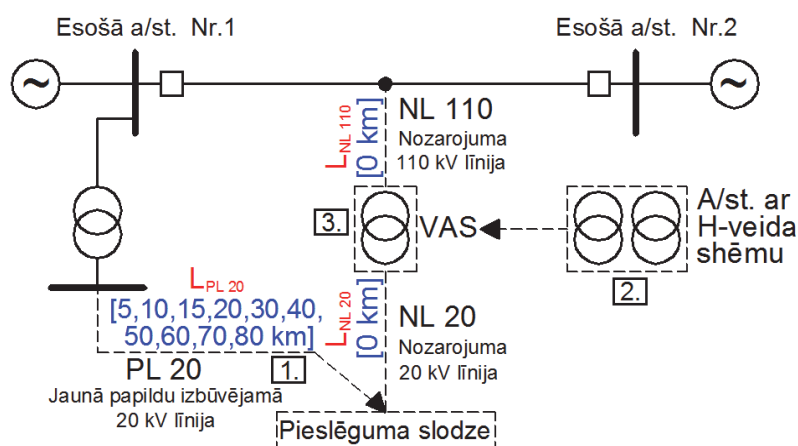
Aprēķinos pieļaujamais sprieguma kritums vīdsprieguma elektrotīklā nepārsniedz  $\pm 5\%$  no elektrotīkla nominālā sprieguma.

Atzīmēsim, ka pieslēguma ierīkošanas varianti ar 2,5 MW un 5,0 MW jaudām, kas pašlaik un tuvākajā nākotnē var būt reāls pieslēgums, doti tālāk pie katra aplūkojamā piemēra. Aplūkotajos piemēros pieņemts, ka tiks izbūvēta viena jauna papildu 20 kV elektrolīnija (atejošā), kuras garums ir mainīgs parametrs un pieņemts 5 km, 10 km, 15 km, 20 km, 30 km, 40 km, 50 km, 60 km, 70 km, 80 km. Savukārt nozarojuma 20 kV līnijas garums pieņemts maksimāli 20 km.

## 5.6.2. Piemērs

### Piemēra aprēķinu nosacījumi

Nozarojuma 110 kV līnijas garums ir pieņemts 0 km (VAS atrodas zem esošās 110 kV maģistrālās elektrolīnijas); nozarojuma 20 kV līnijas (izbūvējamās 20 kV līnijas no VAS līdz elektrisko slodžu centram) garums arī pieņemts 0 km (pieslēguma slodze atrodas tuvu 110/20 kV VAS). Elektroapgādes pieslēguma ierīkošanas varianta shēma dota 5.5. attēlā. Iegūtie rezultāti atspoguļoti 5.6.–5.7. attēlā.

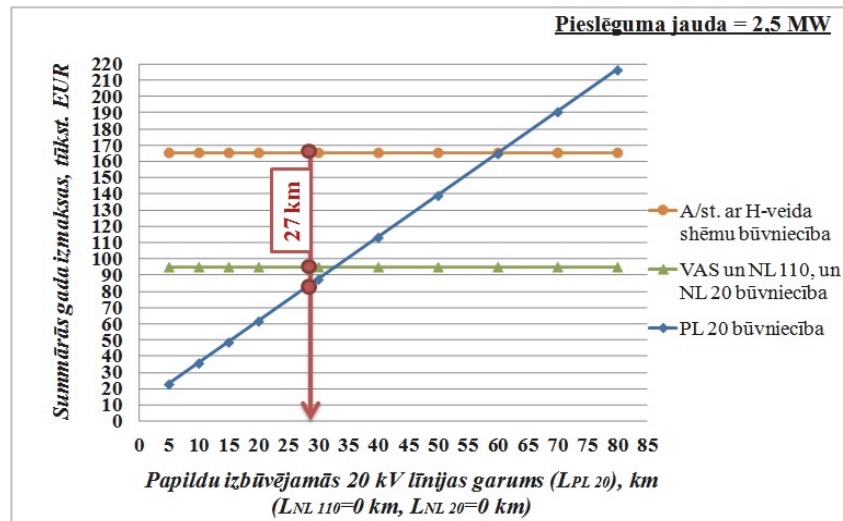


5.5. attēls. Elektroapgādes pieslēguma ierīkošanas varianta shēma, kas atbilst piemēra Nr. 1 aprēķina nosacījumiem.

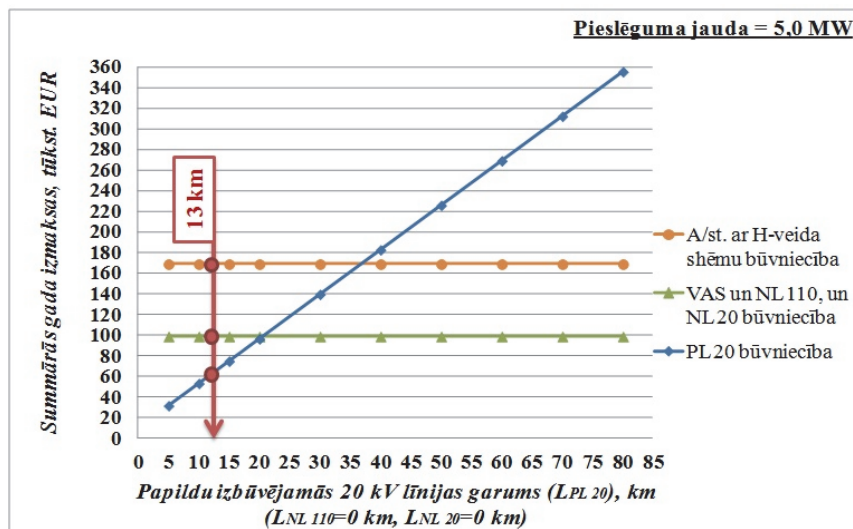
### Piemēra rezultāti (jaunās papildu izbūvējamās 20 kV līnijas vada šķērsgriezums ir 70 mm<sup>2</sup>).

- Pie pieslēguma jaudas 2,5 MW redzams, ka no izmaksu viedokļa izdevīgākais tīkla pieslēguma ierīkošanas variants atbilst jaunās papildu 20 kV līnijas izbūvei, ja tās garums ir līdz 33 km (tātad no esošajām a/st. līdz slodzei). Pēc 33 km izdevīgi kļūst būvēt VAS, **bet, ņemot vērā sprieguma zudumus**, papildu izbūvējamās 20 kV līnijas garums **ir ierobežots – 27 km**.
- Pie pieslēguma jaudas 5,0 MW izbūvēt papildu 20 kV līniju būtu izdevīgi jau pie mazāka tās garuma (līdz 20 km), **bet, ņemot vērā sprieguma zudumus**, papildu izbūvējamās 20 kV līnijas garums **ir ierobežots – 13 km**.

- Pie pieslēguma jaudas 7,5 MW – līdz 13 km, **bet, ņemot vērā sprieguma zudumus, papildu izbūvējamās 20 kV līnijas garums ir ierobežots – 9 km.**
- Pie pieslēguma jaudas 10,0 MW jāizbūvē papildu 20 kV līnija ar garumu līdz 8 km, **bet, ņemot vērā sprieguma zudumus, papildu izbūvējamās 20 kV līnijas garums ir ierobežots – 7 km.**



5.6. attēls. Piemēra Nr. 1 rezultāti, kad pieslēguma jauda ir **2,5 MW** un papildu izbūvējamās 20 kV elektrolīnijas vada šķērsgriezums ir **70 mm<sup>2</sup>**. Pieslēguma jauda = 2,5 MW.



5.7. attēls. Piemēra Nr. 1 rezultāti, kad pieslēguma jauda ir **5,0 MW** un papildu izbūvējamās 20 kV elektrolīnijas vada šķērsgriezums ir **70 mm<sup>2</sup>**.

**Piemēra rezultāti (jaunās papildu izbūvējamās 20 kV līnijas vada šķērsgriezums ir 95 mm<sup>2</sup>).**

- Pie pieslēguma jaudas 2,5 MW redzams, ka no izmaksu viedokļa izdevīgākais tīkla pieslēguma ierīkošanas variants atbilst papildu 20 kV līnijas izbūvei, ja tās garums ir līdz 32 km. Pēc 32 km izdevīgi kļūst būvēt VAS, **un, ņemot vērā sprieguma zudumus, papildu izbūvējamās 20 kV līnijas garums ir arī ierobežots – 32 km.**

- Pie pieslēguma jaudas 5,0 MW izbūvēt papildu 20 kV līniju būtu izdevīgi jau pie mazāka tās garuma (līdz 23 km), **bet, ņemot vērā sprieguma zudumus**, papildu izbūvējamās 20 kV līnijas garums **ir ierobežots – 16 km.**
- Pie pieslēguma jaudas 7,5 MW – līdz 15 km, **bet, ņemot vērā sprieguma zudumus**, papildu izbūvējamās 20 kV līnijas garums **ir ierobežots – 11 km.**
- Pie pieslēguma jaudas 10,0 MW jāizbūvē papildu 20 kV līnija ar garumu līdz 10 km, **bet, ņemot vērā sprieguma zudumus**, papildu izbūvējamās 20 kV līnijas garums **ir ierobežots – 8 km.**

## 6. SECINĀJUMI

Sestajā nodaļā atspoguļoti secinājumi un rekomendācijas turpmākam darbam.

1. Energosistēmu restrukturizācija un tirgus mehānismu ņemšana vērā būtiski maina energoobjektu pamatošanas un optimizācijas uzdevuma formulējumu, jo lēmumus nākas pieņemt lielu cenu svārstību apstākļos.
2. Agrāk izstrādātās tradicionālās plānošanas optimizācijas uzdevuma risināšanas metodes ir novecojušas. Nepieciešamas izmaiņas un pārbaudes attiecībā uz tradicionālo un pastāvošo pieeju piemērotību, kā arī jāmeklē jaunas piemērotas metodes.
3. *PLS-CADD* programmatūras izmantošana ļauj optimizēt elektrolīniju aprēķina parametrus ātrāk un precīzāk. Tā rezultātā iespējams precīzi novērtēt kopējos kapitālieguldījumus katram GL projektēšanas variantam.
4. Tiek piedāvāta stohastiskā pieeja, kurā izstrādātais algoritms ievēro enerģijas cenu, ārgaisa temperatūras un līniju noslodzes stohastisko raksturu.
5. Ieteiktais algoritms ļauj noteikt minimālās summārās ikgadējas vidējas izmaksas un atbilstošo optimālo vada šķērsgriezumu, ļaujot mainīt ievaddatus īsā laika intervālā un aprēķināt rezultātus.
6. VAS izbūve spēj dot būtisku kapitālieguldījumu ekonomiju, to plaši izmanto daudzās pasaules valstīs (Vācijā, ASV, Somijā, Zviedrijā u. c.)
7. VAS ir viens no risinājumiem, kas sniedz lietotājam priekšrocības – uzlabo elektroapgādes kvalitāti un drošumu, līdztekus samazinot investīcijas jaunajam pieslēgumam. Šāda risinājuma pamatojums ir mūsdienīgas tehniski izpildītas un kvalitatīvas, Eiropas standartiem atbilstošas 110 kV a/st. (mūsdienīgas tehnoloģijas tīkla elementu aizsardzībai, kvalitatīvas un drošas elektroiekārtas, salīdzinot ar 1960.–1990. gadu iekārtām, samazināta elektroiekārtu atteiku varbūtība u. c.).
8. Lēmums par a/st. 110/20 kV shēmas izvēli vienlaikus skar PSO un SSO intereses, kuru nesakritība var novest pie tehniski un ekonomiski nepamatotiem risinājumiem, piemēram, a/st. ar H-veida shēmu izbūves.
9. VAS pieslēgšana augstsprieguma līnijai (PSO) ar nozarojumu ietekmē tās relejaizsardzību un automātikas darbību. Pētījumā piedāvātie relejaizsardzības risinājumi ļauj minimizēt minēto negatīvo ietekmi (viedo tehnoloģiju izmantošana – ātri un droši sakari).

10. Katrā gadījumā VAS būvniecībai ir jābūt pamatotai ar tehniski ekonomiskiem aprēķiniem, ņemot vērā drošuma radītāju uzlabošanu, jaunu klientu pieslēgšanas un elektroenerģijas realizācijas apjoma palielināšanas iespējas. Nepamatota a/st. būvniecība var izraisīt tr-ru jaudas nelietderīgu izmantošanu un liekus 110 kV iekārtu ekspluatācijas izdevumus.
11. VAS izbūves lietderība ir atkarīga no daudziem faktoriem (slodzes lieluma, slodžu izvietojuma, attāluma no esošām apakšstacijām, vidsprieguma tīkla konfigurācijas, elektroenerģijas cenas). Atkarībā no konkrētās situācijas par izdevīgāko var kļūt VAS izbūve vai vidsprieguma tīkla attīstība.
12. Lai samazinātu 110 kV tīkla bojājumu ietekmi uz klientu elektroapgādi, tiek ieteikts VAS izbūvē izmantot tipveida shēmu ar tipveida iekārtām, uzglabājot rezervē shēmas nozīmīgākās iekārtas (transformatori, slēdži, atdalītāji), lai bojājumu gadījumā varētu tās operatīvi nomainīt.
13. Kaimiņvalstu elektrotīklu ekspluatācijas jautājumu analīze rāda, ka lielākā daļa VAS atrodas SSO rīcībā. Turklāt tipveida VAS karkasa ēkas vai konteinera izpildījumā kļūst par vienotu iekārtu, kas satur 110 kV un lielākā mērā arī 20 kV aparāturu. Ņemot vērā 20 kV daļas īpatsvaru ekspluatācijas izdevumos, ieteicams, izvērtējot VAS lietderību no ekonomiskās puses, izskatīt jautājumu par jauno VAS pārņemšanu SSO bilanci un apkalpošanā.
14. Tirgus apstākļu un slodzes izmaiņu ievērošana, pieņemot lēmumus par VAS būvniecību, prasa darbietilpīgus aprēķinus, kurus iespējams automatizēt, izmantojot specializētu programmatūru, ko iespējams sintezēt, ieguldot samērā nelielus līdzekļus.

## LITERATŪRA

1. A. Martino, D. Fiorello, S. Shepherd, P. Pfaffenbichler: «Strategic modelling of transport and energy scenarios»; Vortrag: European Transport Conference 2006, Strasbourg/F; 18.09.2006–20.09.2006; in: «Seminar: European Transport Policy and Research», (2006)
2. Kā veidojas elektroenerģijas tirgus cena? Enerģija un Pasaule. Junghāns, G., Oļeņikova, I., Obuševs, A., Turčik, M., 2012, Nr. 1, 42.–45.lpp. ISSN 1407-5911.
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_meter](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter)
4. «Renewable Energy Sources». Renewable and Appropriate Energy Laboratory. p. 12. Retrieved 2012-12-06.
5. Atjaunojamo energoresursu potenciāls Latvija. Šipkovs, P., Reķis, J., Palejs, D., Dubrovskis, V., Birzietis, G., Barons, P., c., u. 1. – Rīga: BEMA, 2008. 60 lpp.
6. Atjaunojamās elektroenerģijas akumulācija. Blumberga, A., Blumberga, D., Dzene, I., Gušča, J., Romagnoli, F., Vīgants, E., Veidenbergs, I. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2015. 238 lpp. ISBN 978-9934-10-748-1.
7. Toward a Smart Grid. S. Massoud Amin and Bruce F. Wollenberg. IEEE power & energy magazine, September/October 2005, p. 34–41.
8. Latvian Project of Smart Grid and Renewables Technological Park. Sauhats A., Žalostība D., Bočkarjova G., Bieļa-Dailidoviča E., Dinevičs J. No: Recent Researches in Environmental Science & Landscaping: Energy, Environmental and Structural Engineering Series 2. [Athens]: WSEAS Press, 2012, 205.–210.lpp
9. Perfecting Business Processes In Electricity Grids By The Use Of Innovative Technology Of Demand Side Management In The Framework Of The General Conception Of Smart Grids By: Klavsuts, Irina L.; Klavsuts, Dmitry A.; Rusin, George L. SEP 02–05, 2014.
10. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
11. «Новости Электротехники» – Журнал №5 (71) 2011 год
12. A. Ančuks: «Viedo tīklu ietekme uz energosistēmas stabilitāti», – RTU, Rīga, 2011. gads. Commission for Energy Regulation: Cost-Benefit Analysis (CBA) for a National Electricity Smart Metering Rollout in Ireland/ CER11080c  
<http://www.cer.ie/GetAttachment.aspx?id=64b7c398-b242-4966-947f-26490b18f117>
13. Eiropas komisijas paziņojums Eiropas parlamentam, padomei, Eiropas ekonomikas un sociālo lietu komitejai un reģionu komitejai: Viedie tīkli. No inovācijas līdz ieviešanai/SEC(2011) 463 galīgā redakcija.
14. Andrejs Koliškins, Inta Volodko. Varbūtību teorijas un statistikas elementi. – Rīga, RTU izdevniecība, 2006. 81 lpp.
15. William W. Hines, Douglas C. Montgomery, David M. Goldsman, Connie M. Borrov. Probability and Statistics in Engineering, 2008. 672 lpp.
16. 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).
17. И. М. Соболев «Метод Монте-Карло», М., 1985.
18. <http://etap.com/>
19. <http://www.mathworks.se/help/econ/arima.forecast.html>

20. PLS-CADD™ (Power Line Systems-Computer Aided Design and Drafting) User's manual, 2011, p. 468.
21. AS «Sadales tīkls» 2012. gada slodžu pārskats.
22. AS «Sadales tīkls»: AEUS (automatizētās elektroenerģijas uzskaites sistēmas) apraksts [http://www.st.latvenergo.lv/pls/portal/docs/PAGE/LATVIAN/Sad\\_tikls/AEUS\\_apraksts.doc](http://www.st.latvenergo.lv/pls/portal/docs/PAGE/LATVIAN/Sad_tikls/AEUS_apraksts.doc)
23. Dace Plato. Viedie tīkli- jauna iespēja elektrību tērēt efektīvāk un lētāk/ Energo forums № 6 (28) 2010.gada decembris.
24. Petričenko Ļ., Guseva S., Jankovskis N. Load Density Formation in Largest Cities// Electronic Proceedings of the 55th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2014). – Rīga, Latvija: RTU, 2014. – 163. – 166. lpp.
25. LR Centrālās statistikas pārvalde. Iedzīvotāju dzimstība un mirstība
26. В. М. Блок. Выбор оптимальных сечений кабеля с учётом экономических показателей. – Электрические станции, 1945, Nr. 9–10, стр. 8–12.
27. В. М. Блок. Электрические сети и системы. Москва «Высшая школа», 1986 г.
28. 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, Nr. 3.
29. Э. Н. Зуев. Выбор основных параметров линий электропередачи районных электрических сетей в современных условиях. Методическое пособие. МЭУ. Москва: Информэлектро, 2003, 65 с.
30. Электрические системы. Электрические сети: учеб. для электроэнерг. спец. вузов / В. А. Веников, Л. А. Жуков, А. А. Глазунов и др.; Под ред. В. А. Веникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1998. – 510 с.
31. A. Vanags, Z. Krišāns. Elektriskie tīkli un sistēmas. Mācību grāmata, II daļa – Rīga: RTU izdevniecība, 2005. 342 lpp.
32. F. Kiessling, P. Nefzger, J. F. Nolasco, U. Kaintzyk, «Overhead Power Lines Planning, Design, Construction», Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York: 2003, 759 p.
33. V. Neimane, On development planning of electricity distribution networks. Doctoral dissertation, Stocholm: 2001.
34. Berjozkina S., Petričenko Ļ., Sauhats A., Jankovskis N. Overhead Power Line Design in Market Conditions// Proceedings of the 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG 2015). –Rīga, Latvija: IEEE, 2015. – 5. lpp.
35. G. Latorre, R. Cruz, J. Areiza, «Classification of publications and models on transmission expansion planning,» IEEE Trans. on Power Systems, v. 18, n. 2, pp. 938–946, May 2003.
36. R. Hemmati, R.A. Hooshmand, A. Khodabakhshian, «Comprehensive review of generation and transmission expansion planning,» IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 7, iss. 9, p. 955–964, April 2013.
37. M. O. Buygi, H. M. Shanechi, G. Balzer, M. Shahidehpour «Transmission planning approaches in restricted power systems,» in Proc. 2003 IEEE PowerTech, pp. 1–7.
38. «Elektrostacijas pieslēgšanas kārtība» <http://likumi.lv/doc.php?id=244670>

39. S. Berjozkina, L. Petrichenko, A. Sauhats, S. Guseva, V. Neimane, «The stochastic approach for conductor selection in transmission line development projects,» in Proc. 2014 IEEE International Energy Conf. (Energycon), pp. 557–564.
40. Petričenko Ļ., Sauhats A., Berjozkina S., Jankovskis N. Stochastic Planning of Distribution Lines// Proceedings of the 13th International Conference on the European Energy Market (EEM 2016). – Porto, Portugāle: IEEE, 2016. – 5. lpp. (tiks publicēts)
41. Vides izglītības fonds (Ekoskolu programma), «Klimata pārmaiņas», 36 lpp. / Internets. – <http://www.videsfonds.lv/documents/publikacija-klimata-parmainas.pdf>
42. K. Timmermanis, J. Rozenkrons. Elektrisko staciju un apakšstaciju elektriskā daļa. – Rīga: Zvaigzne, 1988. 502 lpp.
43. Л. Н. Баптиданов, В. Л. Козис, Б. Н. Неклепаев, Б. В. Нечаев, М. Н. Околович, Л. А. Солдаткина, В. И. Тарасов, А. Л. Церазов. Электрические сети и станции (под редакцией Л.Н. Баптиданова). – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 464.
44. Bevanger K., Bartzke G., Brøseth H., Dahl E.L., Gjershaug J. O., Hanssen F., Jacobsen K. O., Kvaløy P., May R., Meås R., Nygård T., Refsnæs S., Stokke S., Thomassen J. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Progress Report – NINA Report 762, 2011, 52. p.
45. A. Ļvovs. Elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas metodoloģijas izstrāde. Promocijas darbs. – Rīga: RTU, 2013. 156 lpp.
46. Dr. N. Loganathan, A. Pavithra. Distinguishing the Various Faults in transformer and Its Protection Using Support Vector Machine, International Journal of Advanced Research in Electric, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 4 (Iss. 2), 2015, lpp. 568–573.
47. ENTSO-E, Nordic grid disturbance statistics 2013, 2014, 64 p.
48. G. Gavrilovs. Apvienotas ekspluatācijas pieejas izstrāde lieljaudas transformatoru tehniskā stāvokļa noteikšanai. Promocijas darbs. – Rīga: RTU, 2012. 118 lpp.
49. ABB Power Technologies, PASS M0 Innovative solutions for distribution substations up to 170 kV, March 2005, 20 p.
50. Siemens, «Containerized» high-voltage substation/ Internets. – <http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-transmission/high-voltage-substations/>
51. Hermann J. Koch. Gas insulated substations. First Edition. – IEEE Press-John Wiley & Sons Ltd, 2014. 490 p.
52. Vadošie energosistēmu projektēšanas norādījumi un normatīvi: Nr. 9484TM-T6/ Энергосетьпроект. М.: 1981
53. AS «Sadales tīkls» 2014. gada sadales sistēmas būvdarbu vidējās faktiskās izmaksas pieslēguma maksas aprēķinam/ Internets. – [http://www.sadalestikls.lv/files/newnode/pieslegumi/pieslegumieur/2015-03-24\\_sludin\\_vid\\_izm\\_2014g.pdf](http://www.sadalestikls.lv/files/newnode/pieslegumi/pieslegumieur/2015-03-24_sludin_vid_izm_2014g.pdf)
54. Nord Pool Spot datubāze/ Internets. – <http://www.nordpoolspot.com/>
55. Fredrik Roos, Sture Lindahl. Distribution System Component Failure Rates and Repair Times – An Overview, 2004, 6 p.
56. AS «Sadales tīkls» Tehniskā politika (apstiprināta 09.07.2014.)
57. AS «Sadales tīkls» gada pārskats (2014)/ Internets. – <http://sadalestikls.lv/files/newnode/parskati/2014.gada%20parskats.pdf>