

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Aleksandrs ĻVOVS

Doktora studiju programmas „Enerģētika un elektrotehnika” doktorants

**ELEKTROAPGĀDES DROŠUMA LĪMEŅA TEHNISKI-
EKONOMISKĀS REGULĒŠANAS METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
Dr. sc. ing., asoc.profesore
A.MUTULE

RTU Izdevniecība
Rīga 2013

UDK
.....

Ļvovs A. Elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas metodoloģijas izstrāde. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU, 2013.-36 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Promocijas padomes P-05 (Enerģētika) 2013. gada 2. aprīļa lēmumu Nr. 5/13



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

ISBN

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013.gada 29. aprīlī plkst.14:00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 117. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Docents/Projektu vadītājs, Dr.sc.ing. Antons Kutjuns
Rīgas Tehniskā universitāte/AS „Augstsprieguma tīkls”

Profesors, Dr.sc.ing. Jānis Gerhards
Rīgas Tehniskā universitāte

Vadošais pētnieks/Dekāna vietnieks zinātniskajā darbā, Dr.sc.ing. Argo Rosin
Tallinas Tehnoloģiskā universitāte, Enerģētikas fakultāte

APSTIPRINĀJUMS

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

Aleksandrs Ļvovs

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 6 nodaļas, secinājumus un rekomendācijas turpmākam darbam, izmantoto informācijas avotu sarakstu, 3 pielikumus, 60 attēlus, kopā 156 lappuses. Izmantoto informācijas avotu sarakstā ir 99 nosaukumi.

SATURS

Saturs	4
Promocijas darba aktualitāte	5
Promocijas darba mērķis un uzdevumi	6
Pētījuma līdzekļi un metodes	6
Promocijas darba zinātniskā nozīme	7
Promocijas darba praktiskā nozīme.....	7
Promocijas darba aprobācija	8
Publikācijas	8
Promocijas darba struktūra un apjoms	9
1. Latvijas videsapgādes tīkla drošuma stāvoklis.....	9
2. Elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskā regulēšana	11
3. Elektroapgādes drošuma rādītāju analīze	13
4. Elektroapgādes pārtraukumu ekonomiskā efekta novērtējums	14
5. Elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas tehnisko risinājumu izpēte un analīze.....	20
6. Elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas metodoloģija.....	30
Secinājumi un rekomendācijas turpmākajam darbam.....	33
Izmantoto informācijas avotu saraksts	34

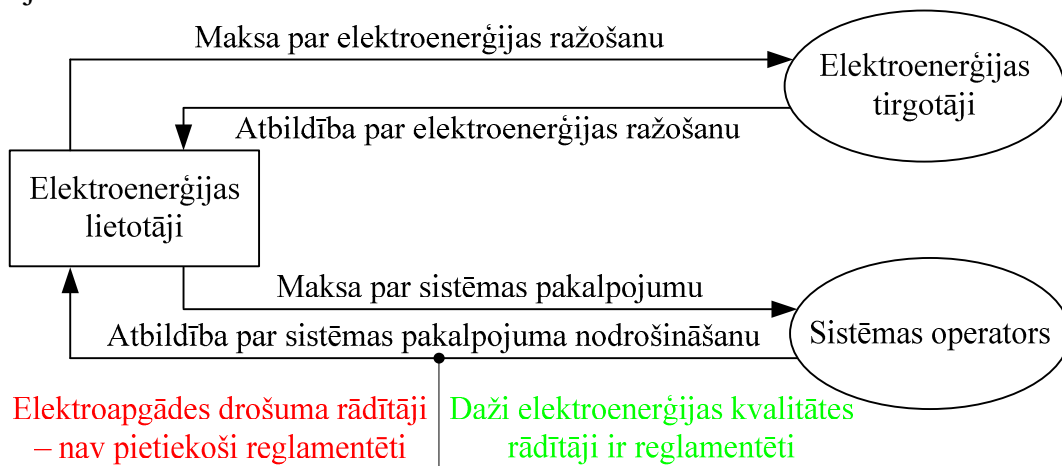
PROMOCIJAS DARBA AKTUALITĀTE

Mūsdienās nemitīgi pieaug prasības elektroenerģijas kvalitātei un elektroapgādes drošumam.

Atbilstoša elektroenerģijas kvalitātes līmeņa noteikšanai tiek pielietoti nacionālie standarti un normas, kā arī starptautiskie standarti. Taču atšķirībā no tādiem elektroenerģijas kvalitātes rādītājiem kā sprieguma novirze, mirgoņa, kopējais harmoniskais kropļojums (THD) u.c., elektroapgādes drošuma rādītāju vērtības netiek konkrēti reglamentētas.

Likumdošanā ir noteikts, ka sistēmas operatoram ir pienākums nodrošināt atbilstošu sistēmas pakalpojumu kvalitāti, kā arī viņš ir atbildīgs par sistēmas drošumu. Tomēr kvalitātes kritēriju pārkāpumu gadījumā, elektroenerģijas lietotājam var tikt piemērota tarifa atlaide. Tajā pat laikā elektroapgādes drošuma līmeņa vienīgais regulējums tiek attiecināts uz elektroapgādes pārtraukuma laiku, kam jābūt mazākam par 24 stundām. Pie tam, saskaņā ar spēkā esošu regulējumu lietotājs pats pieņem lēmumu par nepieciešamo elektroapgādes drošumu un veic papildpasākumus nepieciešamā elektroapgādes drošuma sasniegšanai par saviem līdzekļiem.

Elektroenerģijas lietotājam, kas maksā sistēmas operatoram par elektroenerģijas piegādes pakalpojumu, būtu jānodrošina sistēmas operatora atbildība par kvalitatīvu pakalpojuma sniegšanu, kas ietver sevī ne tikai atbildību par piegādātās elektroenerģijas kvalitātes kritērijiem, bet arī par elektroapgādes drošumu, kas ir viens no elektrotīkla darbības kvalitātes rādītājiem. Tomēr, neskatoties uz Likumā noteikto, sistēmas operatora atbildība par elektroapgādes drošumu nekur nav atrunāta. Pastāvošā situācija attēlota 1.attēlā.



1. att. Atbildības par elektroapgādi Latvijas elektroenerģētikas sektorā shēma

Iepriekšminētais parāda, ka pašreiz Latvijā elektroapgādes drošuma jomā ir tiesiskā regulējuma trūkums attiecībā uz sadales sistēmas operatora (turpmāk – SSO) pienākumiem elektroapgādes drošuma jomā, kas būtu definējams ar elektroapgādes pārtraukumu biežumu un ilgumu.

Esošās situācijas uzlabošanai jābūt izstrādātam regulēšanas elementam, kas ļautu noteikt nepieciešamo elektroapgādes drošuma līmeni, kā arī paredzētu sistēmas operatoru stimulēšanu nepieciešamā drošuma līmeņa sasniegšanai.

Tas, kā arī šīs problēmas vienotas risināšanas pieejas trūkums Eiropas Savienībā nosaka atbilstoša elektroapgādes drošuma līmeņa regulēšanas problemātikas lielu aktualitāti.

PROMOCIJAS DARBA MĒRĶIS UN UZDEVUMI

Darba mērķis ir elektrisko sadales tīklu drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas metodoloģijas izstrāde, kas kalpotu par pašreiz trūkstošo elektroapgādes drošuma regulēšanas elementu ar tehniski-ekonomisko pamatojumu. Pastāvošās likumdošanas pilnveidošanai, ieviešot regulēšanas metodoloģiju, jāsekmē optimālā elektroapgādes drošuma līmeņa sasniegšanai.

Par optimālo elektroapgādes drošuma līmeni ir uzskatāms tāds līmenis, pie kura sistēmas operatora izdevumu un lietotāju zaudējumu, kas saistīti ar elektroapgādes drošumu, summa ir minimāla. Līdz ar to, elektroapgādes drošuma līmeņa regulēšanas metodoloģijā:

- Jābūt definētiem svarīgākiem esošo elektroapgādes drošuma līmeni raksturojošiem tehniskiem rādītājiem un to izmantojamībai regulēšanā;
- Jānosaka elektrotīkla drošuma līmeņa aprēķinos izmantojamo metodiku;
- Skaidri jāapraksta elektrotīkla drošuma uzlabošanas tehnisko risinājumu tehniski-ekonomiskās efektivitātes novērtēšanas pieeju;
- Jāparedz elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšanu no elektroapgādes pārtraukumiem.

Mērķa sasniegšanai promocijas darbā tika izvirzīti un risināti šādi galvenie uzdevumi:

1. veikt Latvijas videsprieguma elektrotīklu elektroapgādes drošuma stāvokļa analīzi, lai noteiktu elektroapgādes drošuma problēmas aktualitāti;
2. analizēt Eiropā pielietojamās elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas pieejas;
3. apskatīt pastāvošus elektroapgādes drošuma līmeni raksturojošus rādītājus un novērtēt to noteikšanas metodes;
4. izpētīt un analizēt elektroapgādes pārtraukumu radīto zaudējumu elektroenerģijas lietotājiem novērtēšanas metodikas un izstrādāt zaudējumu novērtēšanas aptaujas anketu Latvijas apstākļiem, kā arī veikt reālo lietotāju zaudējumu novērtēšanu;
5. veikt elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanai izmantojamo tehnisko risinājumu izpēti un to efektivitātes analīzi
6. izstrādāt elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas metodoloģiju brīvā elektroenerģijas tirgus apstākļos.

Metodoloģijai jākalpo kā zinātniskajai un praktiskajai bāzei, risinot elektroapgādes drošuma jautājumus brīvā elektroenerģijas tirgus apstākļos.

PĒTĪJUMA LĪDZEKĻI UN METODES

Promocijas darbā veiktajiem pētījumiem ir izstrādāti un izmantoti matemātiskie modeļi, lai novērtētu tīkla drošumu, elektroapgādes pārtraukumu radītās izmaksas un analizētu elektroapgādes drošuma uzlabošanas paņēmieni efektivitāti.

Elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas pasākuma novērtēšanā tika pielietota minimālo ceļu kopas metode, kurai dota priekšroka pēc varbūtiskās un analītiskās drošuma noteikšanas metožu analīzes.

Elektroapgādes pārtraukumu radīto zaudējumu elektroenerģijas lietotājiem novērtēšanai tika izmantota kvantitatīvās aptaujas metode, izmantojot autora izstrādātu

aptaujas anketu. Elektroenerģijas lietotāju zaudējumu datu ieguvē un apstrādē pielietotas tiešo izmaksu un piedāvāto izvēlu metodes.

Promocijas darba uzdevumu risināšanai tika izmantotas Excel® un Matlab® datorprogrammas.

PROMOCIJAS DARBA ZINĀTNISKĀ NOZĪME

Promocijas darba zinātniskā nozīme ir noteikta ar tā aktualitāti, mērķi un uzdevumiem.

Uz drošuma līmeni raksturojošo rādītāju apskates un to noteikšanas metožu novērtēšanas un analīzes pamata definēti pielietojamo metožu trūkumi, kā arī piedāvāts risinājums trūkumu novēršanai.

Balstoties uz elektroapgādes pārtraukumu radīto zaudējumu elektroenerģijas lietotājiem novērtēšanas metodiku izpēti un analīzes pamata, ir izveidota aptaujas anketa elektroapgādes pārtraukumu izraisīto Latvijas elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšanai. Iegūti un novērtēti Latvijas elektroenerģijas lietotāju reālie elektroapgādes pārtraukumu izraisītie zaudējumi. Līdz ar to ir izveidota augstvērtīga bāze, kas izmantojama turpmākiem pētījumiem elektroapgādes drošuma jomā un atkārtoto pētījumu veikšanai.

Promocijas darba ietvaros veikto analīžu un pētījumu rezultātā izveidota elektroapgādes drošuma tehniski-ekonomiskās regulēšanas metodoloģija Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijai, kas veido teorētisko pamatu regulēšanas ieviešanai un no paša regulēšanas ieviešanas sākuma ļauj pieņemt no zinātniskā viedokļa pamatotus lēmumus.

PROMOCIJAS DARBA PRAKTISKĀ NOZĪME

Darbam ir būtiska tautsaimnieciska nozīme. Uz promocijas darba ietvaros veiktā pētījuma pamata izveidota iepriekš nepieejama datu bāze industrijas, komercpakalpojumu, sabiedrisko pakalpojumu, lauksaimniecības, un transporta pakalpojumu un uzglabāšanas sektoriem, kas ietver informāciju par šo sektoru elektroenerģijas lietotāju:

- zaudējumiem no elektroapgādes pārtraukumiem atkarībā no pārtraukuma ilguma;
- zaudējumu vērtību izmaiņām atkarībā no pārtraukuma notikuma brīža;
- pielietotiem rezerves elektroapgādes avotiem un to spēju nodrošināt elektroapgādi.

Līdz ar to ir izveidots pamats optimālā elektroapgādes drošuma līmeņa noteikšanai, kura sasniegšanas gadījumā samazinās kopējas ar elektroapgādi saistītas izmaksas.

Darbā apkopotā informācija par elektroapgādes drošuma līmeņa raksturlielumiem un to uzlabošanas tehniskajiem pasākumiem.

Piedāvāta aprēķinu pieeja elektroapgādes drošuma uzlabošanas pasākuma efektivitātes novērtēšanai. Veikti elektroapgādes drošuma līmeņa aprēķini lauku rajonu vīdriestības elektrotīkla shēmai, lai novērtētu drošuma līmeņa uzlabošanas pasākuma – gaisvadu līniju aizvietošana ar kabeļlīnijām – tehnisko, kā arī ekonomisko efektivitāti. Piedāvātā pieeja un veiktie tehniski-ekonomisko rādītāju aprēķini var kalpot par piemēru līdzīgu pieeju izstrādei un pielietošanai arī citu pasākumu efektivitātes novērtēšanai, kā arī ļauj izvēlēties efektīvākos elektroapgādes drošuma

līmeņa uzlabošanas pasākumus praksē un var tikt izmantoti risinot dažādus tīklu optimizācijas uzdevumus.

Izstrādātā elektroapgādes drošuma tehniski-ekonomiskā regulēšanas metodoloģija, kuras ieviešana praksē ļaus noteikt elektrotīkla attīstības virzienu elektroapgādes drošuma līmeņa jomā, regulēt sadales sistēmas operatoru investīcijas un nepieļaut neatbilstoša elektroapgādes drošuma līmeņa uzturēšanu.

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

Par darba izstrādē iegūtiem rezultātiem tika ziņots un tie tika apspriesti 5 starptautiskajās konferencēs:

1. Evaluation of customer costs of reliability with time-variable loads and outage costs. Riga Technical University 53rd International Scientific Conference and 1st World Congress of RPI-RTU Engineering Alumni, Latvija, Rīga, 11.-12.oktobris, 2012.
2. Analysis and Comparison of Distribution System Costs, Dependant on Underground Cable and Overhead Lines' Fault Probabilities and Maintenance Cost Difference. 12th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), Turcija, Istanbul, 10.-14. jūnijs, 2012.
3. Assessment of Different Power Line Types' Life-Time Costs in Distribution Network from Reliability Point of View. The 8th International Conference "2012 Electric Power Quality and Supply Reliability. PQ2012", Igaunija, Tartu, 11.-13. jūnijs, 2012.
4. Optimal Reliability Level Estimation for Distribution Network Considering Different Types of Load. 8th Conference of Young Scientists on Energy Issues, Lietuva, Kauņa, 26.-27. maijs, 2011.
5. Customer Dissatisfaction Index and Its Improvement Costs. 51st International Scientific conference „Power and Electrical Engineering”, Latvija, Rīga, 14. Oktobris, 2010.

PUBLIKĀCIJAS

Par darba izstrādē iegūtiem rezultātiem starptautiski referējamajos izdevumos 8 publikācijas:

1. Ļvovs A., Mutule A. Customer Dissatisfaction Index and Its Improvement Costs // RTU zinātniskie raksti. 4. sēr., Enerģētika un elektrotehnika. - 27. sēj. (2010), 21.-26. lpp. (raksts pieejams EBSCO un VERSITA datu bāzēs).
2. Ļvovs A., Mutule A. Optimal Reliability Level Estimation for Distribution Network Considering Different Types of Load // Proceedings of Conference of Young Scientists on Energy Issues, Lietuva, Kaunas, 26.-27. maijs, 2011. - III-104.-III-116. lpp. (raksts pieejams INSPEC datu bāzē).
3. Ļvovs A., Mutule A. Estimation of Power Supply Interruption Related Costs. Methodology, Survey Questionnaire and Received Data Normalization // Conference Proceedings of 9th International Conference of Young Scientists on Energy Issues, Lietuva, Kauņa, 24.-25. maijs, 2012. - V-308.-V-322. lpp. (raksts pieejams INSPEC datu bāzē).
4. Priedīte-Razgale I., Ļvovs A., Rozenkrons J. Feasibility Study of Overhead Lines Replacement with Underground Cable Lines in the MV Distribution Network // Conference Proceedings of 9th International Conference of Young

- Scientists on Energy Issues, Lietuva, Kauņa, 24.-25. maijs, 2012. - III-123.-III-132. lpp. (raksts pieejams INSPEC datu bāzē).
5. Ļvovs A., Priedīte-Razgale I., Rozenkrons J., Krēsliņš V. Assessment of Different Power Line Types' Life-Time Costs in Distribution Network from Reliability Point of View // Conference Proceedings (USB Media) of "The 8th International Conference "2012 Electric Power Quality and Supply Reliability. PQ2012"", Igaunija, Tartu, 11.-13. jūnijs, 2012. - 155.-162. lpp. (raksts pieejams IEEEExplore datu bāzē).
 6. Priedīte-Razgale I., Ļvovs A., Krēsliņš V. Analysis and Comparison of Distribution System Costs, Dependant on Underground Cable and Overhead Lines' Fault Probabilities and Maintenance Cost Difference // Proceedings of the 12th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Turcija, Istanbul, 10.-14. jūnijs, 2012. - 786.-791. lpp. (IEEEExplore datu bāze).
 7. Ļvovs A., Mutule A. Evaluation of customer costs of reliability with time-variable loads and outage costs. Conference Proceedings of Riga Technical University 53rd International Scientific Conference and 1st World Congress of RPI-RTU Engineering Alumni. 11.-12.oktobris, 2012. - 1.-6. lpp.
 8. Ļvovs A., Mutule A., Power supply interruption cost estimation for Latvian customers. Results of customer survey in the year 2012. // Latvian journal of physics and technical sciences, 2013. – 11 lpp. Publikācija ir iesniegta un pieņemta publicēšanai.

PROMOCIJAS DARBA STRUKTŪRA UN APJOMS

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā, tas satur ievadu, 6 nodaļas, secinājumus un rekomendācijas turpmākam darbam, izmantoto informācijas avotu sarakstu un 3 pielikumus. Darba kopējais apjoms ir 156 datorsalikuma lappuses, kurās ietverti 60 attēli un 15 tabulas, neskaitot pielikumus ietvertos attēlus un tabulas. Izmantoto informācijas avotu sarakstā 99 informācijas avoti.

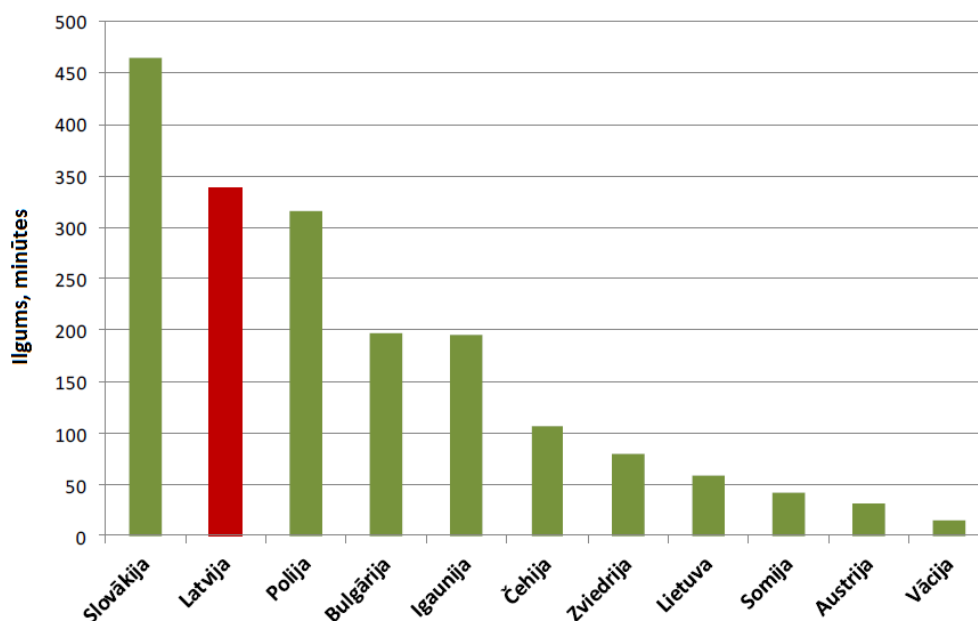
1. LATVIJAS VIDSPRIEGUMA SADALES TĪKLA DROŠUMA STĀVOKLIS

Lielākā daļa elektroenerģijas gala lietotāju ir pieslēgta pie sadales tīkliem, kuri ir veidoti, izmantojot 20, 10 un 0,4 kV, kā arī atsevišķos gadījumos 6kV un 1 kV, sprieguma tīklus. Elektroenerģiju lietotājiem pa sadales tīkliem piegādā vienpadsmit licencētie SSO, bet lielākais no tiem ir AS „Sadales tīkls” (turpmāk - ST) [1].

Elektroenerģijas sadales tīklu kopgarums nedaudz pārsniedz deviņdesmit tūkstošus kilometrus. Apmēram trešo daļu (34 tūkstošus kilometru) no sadales sistēmas veido vidsprieguma (6 – 20 kV) tīkls un apmēram divas trešdaļas – zemsprieguma (0,4 kV) tīkls. Ik gadu tiek veikti elektrotīkla attīstības un rekonstrukcijas darbi, ka arī tiek uzlabota lietotājiem sniegtā elektroapgādes pakalpojuma kvalitāte.

Sadales sistēmas operatori ik gadu sniedz informāciju par dažiem sadales tīkla drošuma rādītājiem Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijai (turpmāk – SPRK). Elektroapgādes pārtraukuma vidējais ilgums uz vienu iedzīvotāju ir viens no

elektroapgādes drošuma līmeni raksturojošiem rādītājiem. 1.1. attēlā ir grafiski parādīts Latvijas un citu Eiropas Savienības dalībvalstu elektroapgādes pārtraukuma vidējais ilgums uz vienu iedzīvotāju bez stihijas ietekmes [2, 3].



1.1.att. Elektroapgādes pārtraukuma vidējais ilgums uz vienu lietotāju, bez stihijas ietekmes

Kā redzams 1.1.attēlā, elektroenerģijas lietotāji Latvijā piedzīvo relatīvi lielus elektroenerģijas piegādes pārtraukumus, salīdzinot ar citām ES valstīm, kas savukārt var būt saistīts ar atšķirīgiem klimatiskiem apstākļiem, atšķirībām tīkla uzbūvē, u.c. faktoriem. Tomēr, neskatoties uz minētiem iespējamiem drošuma līmeņa atšķirību iemesliem var secināt, ka elektroapgādes drošuma problēma Latvijas situācijai ir aktuāla.

Elektroapgādes pārtraukumus iedala plānotajos un neplānotajos pārtraukumos. Neplānoto pārtraukumu ilgums ir ļoti mainīgs, jo to būtiski ietekmē dabas stihiju apmērs un ilgums. Plānoto pārtraukumu ilgums piedzīvo mazākas, tomēr arī ievērojamas fluktuācijas. Plānotie pārtraukumi ir saistīti ar elektrotīklu uzturēšanas darbu veikšanu tādos elektrotīklu posmos, kur nav iespējama rezerves barošanas nodrošināšana.

Veicot ST bojājumu iemeslu statistikas analīzi, secināts, ka dažu bojājuma iemeslu datu apkopošana netiek veikta pietiekoši detalizēti. Tas liedz veikt bojājumu iemeslu vispusīgu analīzi un var traucēt pareizas materiālu iegādes un ekspluatācijas politikas izvēlei. Tāpat, pamatojoties uz tīklu bojājumu iemeslu analīzi, jāsecina, ka lielākā daļa no bojājumiem rodas tādu iemeslu dēļ, kuru SSO nevar ietekmēt tiešā veidā.

Nemot vērā promocijas darbā apkopoto bojājumu statistiku, salīdzinot bojājumu skaitu Rīgas pilsētas reģionā ar bojājumu skaitu citos ST reģionos, var secināt, ka lielākās problēmas ar elektroapgādes drošumu pastāv tieši lauku teritorijās, kur tīkli tiek veidoti pārsvarā ar gaisvadu līnijām.

Latvijas sadales tīklu elektroapgādes drošuma līmeņa izpēti un analīzes rezultātā secināts, ka situācija elektroapgādes drošuma jomā Latvijā ir sarežģīta, jo lielākas ar elektroapgādes drošuma līmeni saistītas problēmas pastāv lielākajā tīkla daļā – lauku reģionos ar lielu un garu gaisvadu līniju īpatsvaru un salīdzinoši zemāku

lietotāju blīvumu. Līdz ar to lielāka uzmanība situācijas uzlabošanai būtu jāvelta sadales tīklu rekonstrukciju veikšanai lauku rajonos, ņemot vērā nepieciešamo elektroapgādes drošuma līmeni.

Iepriekšminētais iezīmē tālākas izpētes un analīzes veikšanas virzienus – pastāvošas elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomisko regulēšanas pieejas un metodoloģijas, elektroapgādes drošuma līmeņa rādītāju noteikšana un klasificēšana, elektrotīkla drošuma līmeņa noteikšanas metodes, elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas tehniski risinājumi un to efektivitāte, ņemot vērā lietotāju zaudējumus no elektroapgādes pārtraukumiem. Nākamās nodaļas ir veltītas minēto virzienu izpētei un analīzei.

2. ELEKTROAPGĀDES DROŠUMA LĪMEŅA TEHNISKI-EKONOMISKĀ REGULĒŠANA

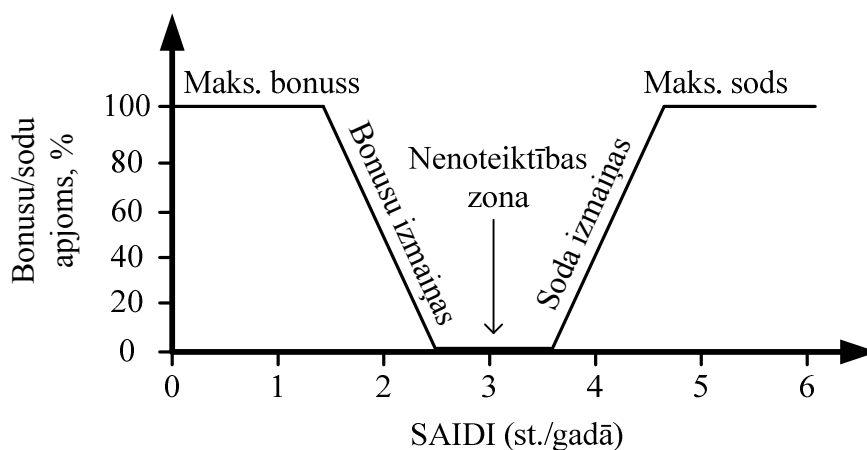
Ņemot vērā elektroenerģiju pārvades un sadales sistēmu operatoru monopolstāvokli un regulēto pakalpojumu tarifu, ir nepieciešams veikt elektroapgādes drošuma rādītāju kontroli, lai samazinātu drošuma līmeņa pasliktināšanas riskus. Tādēļ daudzās valstīs tiek pielietota elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskā regulēšana.

Saskaņā ar Eiropas Enerģētikas Regulatoru Padomes (Council of European Energy Regulators - CEER) 2011. gada atskaitē minēto, drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskā regulēšana tiek pielietota vismaz 15 Eiropas valstīs [2].

Galvenais elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas mērķis ir uzturēt vai paaugstināt noteikto drošuma līmeni, izmantojot ekonomiskus stimulus. Regulēšanas sistēma, pēc būtības, rada mākslīgo tirgu sistēmas operatoru darbībā.

Elektroapgādes drošuma regulēšanā ekonomiskos stimulus var iedalīt bonusos un sodos, un to noteikšanai jābalstās uz informāciju par lietotājiem radītajiem zaudējumiem no elektroenerģijas piegādes pārtraukumiem. Atbilstošie bonusi un sodi tiek piemēroti sistēmas operatoriem atkarībā no to faktisko tīkla tehnisko rādītāju atbilstības noteiktajām rādītāju robežvērtībām.

Kā tīkla drošuma līmeņa tehniskos rādītājus parasti izmanto elektroapgādes pārtraukumu biežumu un ilgumu, tas ir, SAIFI un SAIDI indeksus. Atkarībā no noteiktajām drošuma rādītāju robežvērtībām, regulēšanā ir iespējams izdalīt 3 zonas: 1) Bonusu zona; 2) Nenoteiktības zona (dead zone); un 3) Sodu zona (skat. 2.1. att.). Gadījumā, ja faktiskā drošuma rādītāja vērtība ir mazāka par zemāko robežvērtību, SSO pienākas bonuss. Ja drošuma rādītāji atrodas starp drošuma indeksa robežvērtībām, ne bonusi, ne sodi netiek piemēroti. Savukārt, drošuma rādītāja vērtībai pārsniedzot augstāko robežvērtību, sistēmas operatoram tiek piemērots sods [4, 5].



2.1. att. Bonusu un sodu sistēma elektroapgādes drošuma līmeņa regulēšanas sistēmā

Ir svarīgi noteikt tādas nenoteiktības zonas drošuma rādītāju vērtības, kas atbilstu optimālajam elektroapgādes drošuma līmenim vai optimālā elektroapgādes drošuma līmeņa zonai. Optimālais elektroapgādes drošuma līmenis ir tāds drošuma līmenis, pie kura elektroenerģijas lietotāju un sistēmas operatora ar elektroapgādes drošumu saistīto zaudējumu/izmaksu summai ir minimālā vērtība.

Kā redzams, elektroapgādes drošuma līmeņa regulēšanas metodoloģijas teorētiskā bāze ir relatīvi vienkārša. Toties regulēšanas praktiskā realizēšana varētu saskarties ar vairākām grūtībām, piemēram, atbilstoša bonusu/sodu lielumu noteikšana un maiņa atkarībā no drošuma līmeņa, drošuma rādītāju robežvērtību noteikšana valsts reģioniem (tīkla daļām), valsts reģionu (tīkla daļu) definēšana utt..

Promocijas darbā tika analizētas 16 sekojošās Eiropas valstīs pielietotās drošuma līmeņa tehniski-ekonomisko regulēšanas pieejas: Bulgārija, Dānija, Somija, Francija, Lielbritānija, Ungārija, Īrija, Itālija, Lietuva, Nīderlande, Norvēģija, Portugāle, Slovēnija, Spānija, Igaunija. Analīzē tika izmantota informācija par pastāvošo regulējumu gan no valsts regulatoriem, tā arī no individuāliem ekspertiem [2, 6-9].

Analizējot Eiropas valstu pielietotās regulēšanas pieejas, secināts, ka pašreiz nepastāv kopīgas pieejas regulēšanas īstenošanai, kas būtu vērsta uz optimālā elektroapgādes drošuma līmeņa sasniegšanu. Uz doto brīdi lielākā daļa no pielietotajām tehniski-ekonomiskās regulēšanas pieejām objektīvi nevar nodrošināt optimālo elektroapgādes drošuma līmeni, vismaz tādēļ, ka nepieciešamais elektroapgādes drošuma līmenis tiek noteikts pamatojoties uz citu valstu elektrotīklu drošuma līmeņiem, nevis uz valstī darbojošos sistēmas operatoru izdevumiem un elektroenerģijas lietotāju zaudējumiem, kas saistīti ar elektroapgādes drošumu.

Lai ieviestu elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomisko regulēšanu, kas sekmētu optimālā elektroapgādes drošuma līmeņa sasniegšanu un uzturēšanu, jāizvēlas regulēšanai piemērotus drošuma līmeņa rādītājus, kā arī jānosaka regulēšanā izmantojamās un neizmantojamās rādītāju vērtības. Bez drošuma rādītāju izvēles, nepieciešams pamatojums atšķirīga drošuma līmeņa regulējuma piemērošanai dažādiem valsts reģioniem un jānosaka katram reģionam atbilstošus drošuma līmeņa rādītāju vērtības, kā arī jāizvērtē nepieciešamība kontrolēt un regulēt elektroapgādes drošuma līmeņus individuāliem lietotājiem. Vēl viens elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas ieviešanas būtisks priekšnosacījums ir elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšanas pētījuma veikšana valstī, kas ļauj noteikt atbilstošus bonusu/sodu apmērus. Elektroapgādes drošuma līmeņa regulēšanas

ieviešana nodrošinās nacionālās regulatīvās iestādes un elektrotīklu sistēmas operatoru vienotu izpratni par elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas iespējām, elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas pasākumu izmaksu novērtēšanu, kā arī par minēto pasākumu efekta novērtēšanu.

3. ELEKTROAPGĀDES DROŠUMA RĀDĪTĀJU ANALĪZE

Elektroapgādes drošuma novērtēšanai ir izstrādāti un pielietoti vairāki indeksi (rādītāji). Ne visi indeksi tiek pielietoti visās energokompānijās, bet tie, kuri tiek pielietoti bieži vien ietver sevī informāciju novērtētu ar dažādām metodikām.

Elektroenerģijas piegādes pastāvīgumu konkrētam slodzes punktam nosaka ar trim slodzes punkta pamatindeksiem, bet elektrotīklam vai elektrotīkla reģionam kopumā - ar virkni sistēmas indeksu.

Šajā nodaļā tika apskatīti drošuma līmeni raksturojošie indeksi slodzes punktiem un elektroenerģijas piegādes sistēmai, kā arī analizētas metodikas elektroapgādes sistēmas drošuma līmeni raksturojošo indeksu sadalīšanai parasto dienu un nozīmīgo notikumu dienu indeksos.

Veicot elektroapgādes sistēmas indeksu aprēķinus parasti izmanto informāciju par pastāvīgiem (ilgstošiem) elektroapgādes pārtraukumiem. Pastāv arī speciālie indeksi, kas izmanto tā saucamos momentānos (īslaicīgos) elektroapgādes pārtraukumus. Promocijas darba ietvaros ir apskatīti un analizēti sekojoši indeksi:

- Sistēmas vidējā elektroapgādes pārtraukumu skaita indekss SAIFI (System average interruption frequency index).
- Sistēmas vidējā elektroapgādes pārtraukumu ilguma indekss SAIDI (System average interruption duration index).
- Klienta vidējā elektroapgādes pārtraukumu ilguma indekss CAIDI (Customer average interruption duration index).
- Momentāno elektroapgādes pārtraukumu vidējā skaita indekss MAIFI (Momentary average interruption frequency index).
- Klienta kopējais vidējā elektroapgādes pārtraukumu ilguma indekss CTAIDI (Customer total average interruption duration index).
- Klienta vidējā elektroapgādes pārtraukumu skaita indekss CAIFI (Customer average interruption frequency index).
- Vidējais servisa (elektroapgādes) pieejamības indekss ASAI (Average service availability index).
- Vidējais sistēmas elektroapgādes pārtraukumu skaita indekss ASIFI (Average system interruption frequency index).
- Vidējais sistēmas elektroapgādes pārtraukumu ilguma indekss ASIDI (Average system interruption duration index).
- Sagaidāmais nepiegādātās elektroenerģijas daudzums EENS (Expected energy not supplied).
- Sagaidāmās elektroapgādes pārtraukumu izmaksas ECOST (Expected interruption cost).
- Pārtrauktās elektroenerģijas novērtējuma likme IEAR (Interrupted energy assessment rate).

Analīzes rezultātā promocijas darba autors uzskata, ka elektrotīklu sistēmas operatoru tehniski-ekonomiskās regulēšanas sistēmās būtu jāizmanto nevis tikai SAIDI un SAIFI indeksi, bet arī CAIDI indekss, kas ļautu precīzāk novērtēt lietotāju

zaudējumus no elektroapgādes pārtraukumiem. Tāpat būtu lietderīgi papildināt apkopojamo un izmantojamo indeksu klāstu ar MAIFI indeksu, jo īslaicīgo pārtraukumu problēma ir aktuāla lielai daļai lietotāju.

Papildus atšķirībām, kas saistīti ar tīklu ģeogrāfiju, drošuma indeksu vērtības var mainīties atkarībā no datu savākšanas un apstrādes paņēmieniem un metodikām, ka arī uzņēmumā izveidojušos praksi. Efektu uz elektroapgādes drošumu raksturojošiem indeksiem atstāj arī dažādu laika sliekšņu piemērošana, lai definētu ilgstošo un īslaicīgo elektroapgādes pārtraukumu.

Lielākās grūtības var rasties ar tā saucamo „nozīmīgo notikumu dienu” (major event days) izslēgšanu no apkopotas informācijas par drošuma indeksiem. Tādu drošuma rādītāju vērtību izslēgšana no kopējās informācijas par drošuma līmeni ir nozīmīga ar to, ka tas ļauj spriest par reālajām drošuma līmeņa izmaiņām no elektrotīkla operatora veicamajiem pasākumiem drošuma līmeņa uzlabošanai/saglabāšanai noteiktajā līmenī, kas ir īpaši svarīgi gadījumos, kad tiek pielietota sistēmas operatora tehniski-ekonomiskā regulēšana, jo, plānojot savas darbības un investīcijas tīklā, sistēmas operators ņem vērā attiecīgajam reģionam raksturīgus dabas apstākļus un citus faktorus, kas piemīt noteiktajam valsts reģionam.

Parasti sistēmas operatori, analizējot elektroapgādes drošumu, nosaka drošuma indeksu vērtības, kas iekļauj visus notikumus, kā arī, apstrādājot datus, atdala parastās ekspluatācijas dienas no dienām ar „nozīmīgiem notikumiem” [4]. Jēdzienu „nozīmīgo notikumu diena” (turpmāk – NND) lieto, lai izdalītu ārkārtas situāciju radītos elektroapgādes traucējumus no pārējo dienu elektroapgādes traucējumiem. Latvijas lielākais sadales sistēmas operators – ST, sadala tīkla drošumu raksturojošus kritērijus divās daļās – „ar dabas stihijas ietekmi” un „bez dabas stihijas ietekmes”. Pirmie no tiem rodas gadījumos, ja ar konkrētā iecirkņa darbinieku spēkiem nav iespējams likvidēt elektroapgādes pārtraukumu 24 stundu laikā.

Promocijas darbā ir apskatītas un analizētas IEEE standartā 1366-2003 piedāvāta 2.5 Betu metode NND izslēgšanai no statistikas datiem, kas tiek pielietota ASV un Itālijā pielietotā Divu soļu metode, kas pēc būtības ir tikai nedaudz pārveidota 2.5 Betu metode. Papildus iepriekšminētajām metodēm tika apskatītas un analizētas arī Butstrepas un 3 Sigmus metodes [10-16]. Darba ietvaros tika noteiktas NND un normālo dienu SAIDI vērtības Latvijas apstākļiem 2009., 2010., 2011. un 2012.gadam, izmantojot IEEE metodiku un ST pieeju.

Secināts, ka neskatoties uz drošuma rādītāju standartos un normatīvajos aktos minētās definīcijas, elektroapgādes drošuma rādītāju vērtību savstarpējā salīdzināšana ir apgrūtināta atšķirīgo bojājumu uzskaites pieeju dēļ, kā arī dažādu valstu un reģionu klimatisko apstākļu un tīkla uzbūves īpatnību dēļ. Tāpat secināts, ka neviena no apskatītajām NND noteikšanas metodēm nenodrošina pilnīgi pareizu drošuma rādītāju uzskaiti. Kā viens no NND noteikšanas problēmas risinājumiem varētu būt bojājumu statistikas apvienošana ar informāciju par šķēršļiem, kas liedz elektrotīklu sistēmas operatoriem uzsākt elektroapgādes atjaunošanas darbus, kā arī ar informāciju, par trešo personu rīcību, kas sekmēja elektroapgādes pārtraukuma situācijas rašanos.

4. ELEKTROAPGĀDES PĀRTRAUKUMU EKONOMISKĀ EFEKTA NOVĒRTĒJUMS

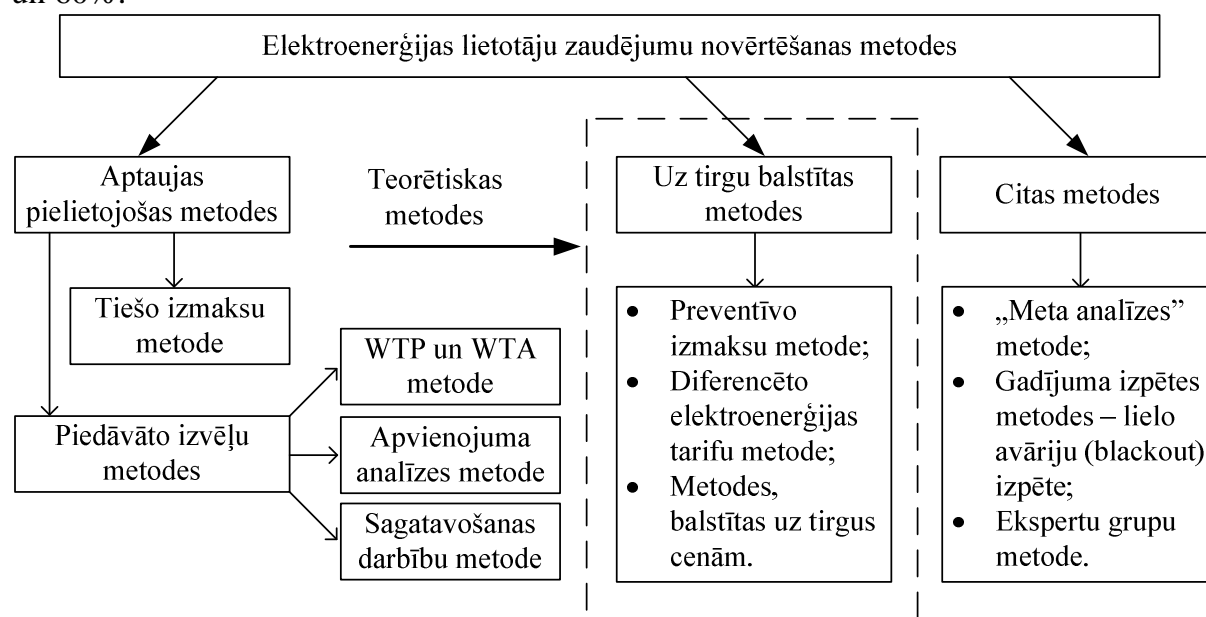
Viena no elektrotīklam izvirzāmajām prasībām ir tā efektivitāte – tīkla uzdevums ir piegādāt elektroenerģiju ar iespējami zemākām izmaksām. Tīkla

efektivitāti var vērtēt, piemēram, no elektroenerģijas un jaudas zudumu viedokļa, izbūves izmaksām, bet var vērtēt arī no tā bojājumu dēļ elektroenerģijas lietotājiem radīto zaudējumu viedokļa un elektrotīklu sistēmas operatora izmaksām drošuma līmeņa sasniegšanai un uzturēšanai. Elektroenerģijas lietotājiem radīto zaudējumu apjoms, kas rodas elektroapgādes pārtraukumu dēļ, kā arī sistēmas operatora izmaksas, ir atkarīgas no tīkla drošuma līmeņa. Līdz ar to tīkla drošuma līmenis kalpo par vienu no tīkla efektivitātes novērtēšanas kritērijiem, pie kura sistēmas operatora izmaksām un lietotāju zaudējumiem jāatrodas optimālajā jeb sabalansētajā līmenī.

Lai izstrādātu ticamas un drošas elektroapgādes drošuma līmeņa regulēšanas metodes, ļoti liela nozīme ir pietiekošai informācijai par lietotājiem radītajiem zaudējumiem.

Lai novērtētu elektroenerģijas lietotāju ar elektroapgādes drošumu saistīto zaudējumu apjomu, tiek pielietotas dažādas metodes. Šajā nodaļā tika analizētas un sistematizētas elektroenerģijas lietotāju ar elektroapgādes drošumu saistīto zaudējumu novērtēšanas metodes, detalizēti tika pētītas „tiešo izmaksu” un „WTP un WTA” metodes, kuras autors izmantoja Latvijas elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšanas pētījumā, kā arī analizēti pētījuma rezultātā iegūtie dati un veikts to salīdzinājums ar citās valstīs veikto pētījumu rezultātiem.

Pirms pētījuma veikšanas, tika apzinātas pastāvošas elektroenerģijas lietotāju grupas, kā arī izpētītas un analizētas monetāro zaudējumu novērtēšanas metodes, kas ir sargrupētas 4.3.attēlā [26-30]. Kā minēts iepriekš, detalizētāka uzmanība tika veltīta divām no metodēm, kas ir izplatītākās metodes zaudējumu novērtēšanai komerciālajā un industrijas sektoros – šo metožu kopējais izmantošanas īpatsvars ir respektīvi 62% un 60%.



4.3. att. Elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšanas metožu grupēšana

Pētījumam tika izvēlētas aptaujas pielietojošas metodes, jo tieši lietotāji labāk zina par to zaudējumiem pie elektroapgādes pārtraukumiem.

Pēdējo gadu (2010.-2012.) notikumi, kas bija par iemeslu elektroapgādes pārtraukumam lielam lietotāju skaitam, sekmēja tam, ka Latvijas Republikas Valdības rīcības plānā 2012. gadam tika paredzēts izvērtēt elektroenerģijas piegādes pārtraukumu dēļ uzņēmumiem radīto zaudējumu apmērus un iespējas ieviest

kompensācijas mehānismu [31], kas savukārt arī kalpoja par aptaujas galveno mērķi. Minēto pētījumu bija paredzēts veikt, jo elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšana pielietojot aptaujas Latvijā līdz 2012.gadam netika veikta un pēdējā zināmā lietotājiem radīto zaudējumu izpēte Latvijā tika veikta vēl 1976. gadā [32].

Ņemot vērā minēto informācijas trūkumu, veiktā lietotāju zaudējumu novērtēšanas pētījuma papildus mērķis bija iegūt pēc iespējas vairāk ar elektroenerģijas lietotāju zaudējumiem saistītas informācijas pie pastāvošiem laika un finansiāliem ierobežojumiem.

Aptaujas vadīšanas veids – izmantojot interneta resursus (lietotājiem tika izsūtītas vēstules pa e-pastu ar aptaujas anketām), tika izvēlēts kā optimālais variants starp vairākiem apskatītajiem aptaujas vadīšanas veidiem, iepriekšminēto ierobežojumu dēļ.

Respondentu grupas aptaujai tika izvēlētas izmantojot NACE 2. redakcijas klasifikatoru atbilstoši pētījuma mērķiem, kā arī ņemot vērā ārvalstu pētījumu rezultātu analīzi, kas norādīja uz lielākiem zaudējumiem industrijas, komercpakalpojumu un sabiedrisko pakalpojumu sektoros.

Pētījumam tika sastādīta un izmantota tieši Latvijas apstākļiem un situācijas piemērota anketa. Anketas sastādīšanā tika ņemti vērā vairāki faktori, sākot no izvēlēto zaudējumu novērtēšanas metožu īpatnībām, kas ļauj paaugstināt iegūto rezultātu ticamību, un beidzot ar datiem, kas ir nepieciešami iegūto zaudējumu datu normalizēšanai.

Latvijas pētījumā iesaistāmo respondentu skaits – 3000 pēc elektroenerģijas patēriņa lielākie lietotāji, tika izvēlēts ņemot vērā ārvalstīs veikto pētījumu pieredzi, kā arī prognozējot sagaidāmo Latvijas respondentu aktivitāti.

Zemāk dots veiktā pētījuma īss apraksts un galvenie rezultāti.

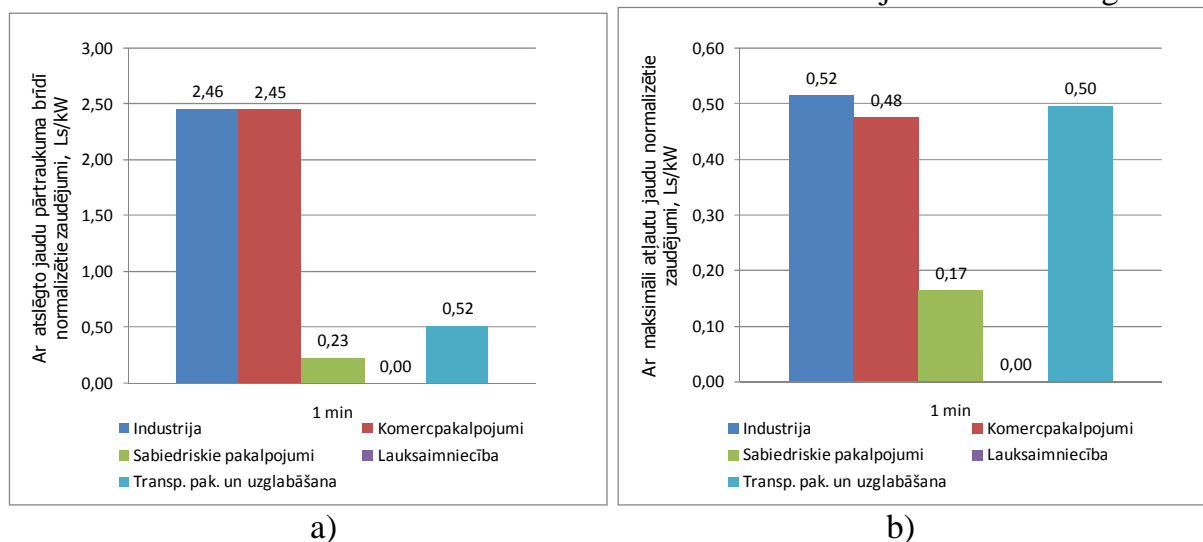
Zaudējumu novērtēšanas pētījums sākās 2012.gada jūlijā ar anketu izsūtīšanu 3000 respondentiem. Pēc noteiktā laika respondentiem, kas nebija atsūtījuši anketas vai kādā citā veidā nebija snieguši atbildi uz tiem izsūtīto e-pastu, tika aizsūtīta atgādinājuma vēstule. Nākamais pētījuma posms bija iegūto rezultātu apkopošana un apstrāde, kam sekoja iegūto datu analīze.

Respondentu aktivitāte bija zemāka par plānotajiem 10%. Kopumā tika saņemtas 240 anketas, kas veido aptuveni 8% no visiem aptaujas dalībniekiem, kuriem tika izsūtītas vēstules ar anketām. Pie tam, liela daļa anketu bija nederīgas, jo tās bija aizpildītas tikai daļēji un nesniedza pietiekošu informāciju. Tikai 111 anketas no 240, jeb 46%, bija aizpildītas atbilstošā veidā, lai tās būtu izmantojamas. Derīgo anketu sadalījums pa lietotāju sektoriem ir sekojošs: industrija – 34 anketas, komercpakalpojumi – 30 anketas, sabiedriskie pakalpojumi – 41 anketa, Lauksaimniecība – 2 anketas, Transporta pakalpojumi un uzglabāšana – 4 anketas. Līdz ar to var apgalvot, ka lietderīgā respondentu aktivitāte sastādījusi tikai 3.7%.

Pētījumā iegūtie rezultāti par lietotāju zaudējumiem pie dažāda ilguma elektroapgādes pārtraukumiem tika sadalīti divās daļās – īslaicīgo pārtraukumu zaudējumi (zaudējumi no pārtraukumiem ar ilgumu <3min) un ilgstošo pārtraukumu zaudējumi.

Iegūtas zaudējumu vērtības tika normalizētas ar pasaulē vispārpieņemtajiem normalizēšanas faktoriem, izmantojot kā lietotāju tipveida slodžu grafikus un anketās sniegto informāciju, tā arī dažu lietotāju reālus slodžu grafikus. Datu apstrādes rezultāta tika iegūtas lietotāju zaudējumu līknes.

4.9 attēlā redzami piecu lietotāju sektoru zaudējumi no īslaicīgiem elektroapgādes pārtraukumiem. Zaudējumi apjomi iegūti no anketās norādītajiem lietotāju zaudējumiem, kas tika normalizēti ar atslēgto jaudu pārtraukuma brīdī (4.9 a) att.) vai maksimāli atļautu jaudu (4.9 b) att.). Atslēgtās jaudas vērtība tika noteikta izmantojot informāciju par katram lietotājam maksimāli atļautu jaudu un atbilstošo tipveida slodžu grafiku [33]. Īslaicīgo un ilglaicīgo elektroapgādes pārtraukumu normalizēšanas faktoru noteikšanai tika izmantoti arī 46 lietotāju reālie slodžu grafiki.

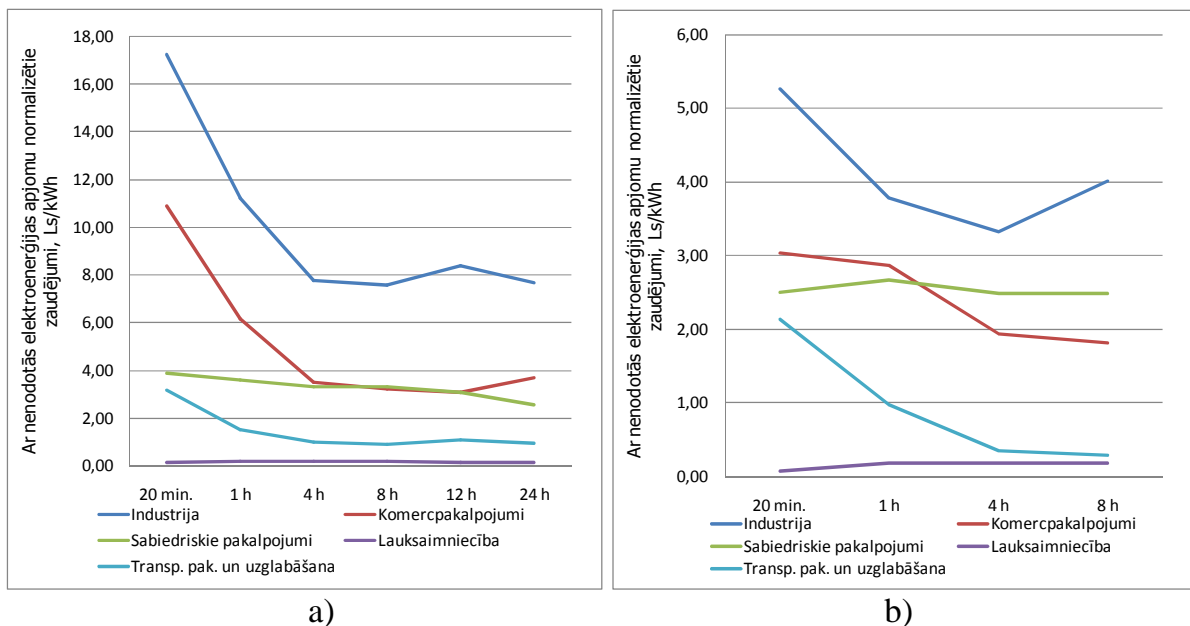


4.9. att. Lietotāju zaudējumi no īslaicīga elektroapgādes pārtraukuma. Zaudējumi normalizēti ar: a) atslēgto jaudu pārtraukuma brīdī; b) ar maks. atļautu jaudu

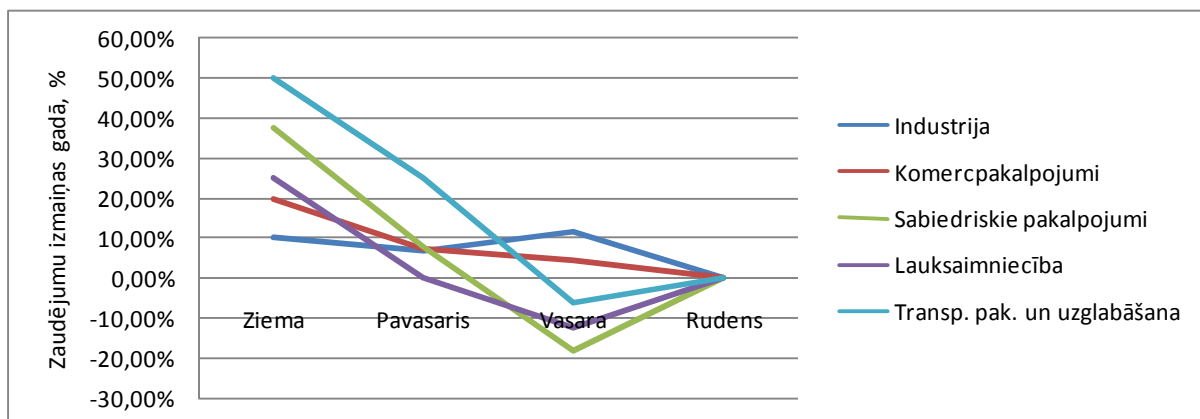
Attēlos 4.10 a) un 4.10 b) doti piecu lietotāju sektoru zaudējumi no plānotiem un neplānotiem elektroapgādes pārtraukumiem. Zaudējumi iegūti no anketās norādītajiem lietotāju zaudējumiem, kas tika normalizēti ar nepiegādātās elektroenerģijas daudzumu. Nepiegādātās elektroenerģijas vērtība, tāpat kā atslēgtās jaudas vērtība īslaicīgiem pārtraukumiem, tika noteikta izmantojot gan tipveida, gan reālus slodžu grafikus.

Pētījumā tika iegūta informācija arī par lietotāju zaudējumu samazinājumu pie plānotiem pārtraukumiem, salīdzinot ar zaudējumiem pie neplānotiem pārtraukumiem. Izņemot lauksaimniecības sektoru, kas neparāda zaudējumu samazināju, visos pārējos sektoros vērojams straujš zaudējumu kritums – sākot ar 25% un līdz par 70% pie pārtraukumiem līdz 8 stundām.

Papildus lietotāju zaudējumu līknēm, pētījuma realizēšanas rezultātā tika izveidotas zaudējumu izmaiņu līknes, kas parāda zaudējumu izmaiņas laikā – atkarībā no sezonas, nedēļas dienas vai dienas laika, kurā notika elektroapgādes pārtraukums. Zaudējumu izmaiņas atkarībā no sezonas redzamas 4.13 attēlā. Iegūtie rezultāti parāda par cik procentiem izmainīsies zaudējumi no elektroapgādes pārtraukuma, ja tas notiks nevis bāzes scenārijā norādītajā laikā, bet citā sezonā, nedēļas dienā vai dienas stundā.



4.10. att. Lietotāju zaudējumi no a) neplānotiem; un b) plānotiem elektroapgādes pārtraukumiem



4.13. att. Lietotāju zaudējumu izmaiņas atkarībā no gadalaika.

Pētījuma laikā tika savākta informācija arī par elektroapgādes rezerves avota esamību pie lietotājiem, to veidu, kā arī spēju nodrošināt elektroapgādi.

Ārvalstu pētījumu datu apstrāde ļāvusi autora pētījumu par zaudējumiem Latvijā rezultātus salīdzināt ar ārvalstu pētījumu rezultātiem.

Promocijas darba ietvaros tika veikts arī Latvijas pētījuma iegūto rezultātu salīdzinājums ar ārvalstu pētījumos iegūtiem rezultātiem, kas parādīja promocijas darba ietvaros veiktā pētījuma rezultātu – lietotāju zaudējumu līkņu formu, atbilstību ārvalstu pētījumu rezultātiem.

Izmantojot šī pētījuma rezultātus, ir iespējams noteikt nākamajos līdzīgajos pētījumos iesaistāmo respondentu skaitu. Tas ir iespējams, izmantojot (4.2) un (4.3) formulas, bet ar nosacījumu, ja pētījuma laikā iegūto rezultātu sadalījums atbilst normālajam [27, 34].

$$n = \left(\frac{S \cdot 2 \cdot Z}{L} \right)^2 \quad (4.2)$$

kur

n – nepieciešamo respondentu skaits;

S – standarta novirze procentos no vidējās vērtības;

Z – lielums, kas atkarīgs no rezultātu sadalījuma veida un rezultātu konfidences līmeņa (rezultātu drošuma).

L – vēlamais konfidences intervāla garums procentos no vidējās vērtības.

Savukārt, nepieciešamo aptaujājamo respondentu skaitam jābūt vienādam ar lielumu, ko izrēķina saskaņā ar izteiksmi (4.3):

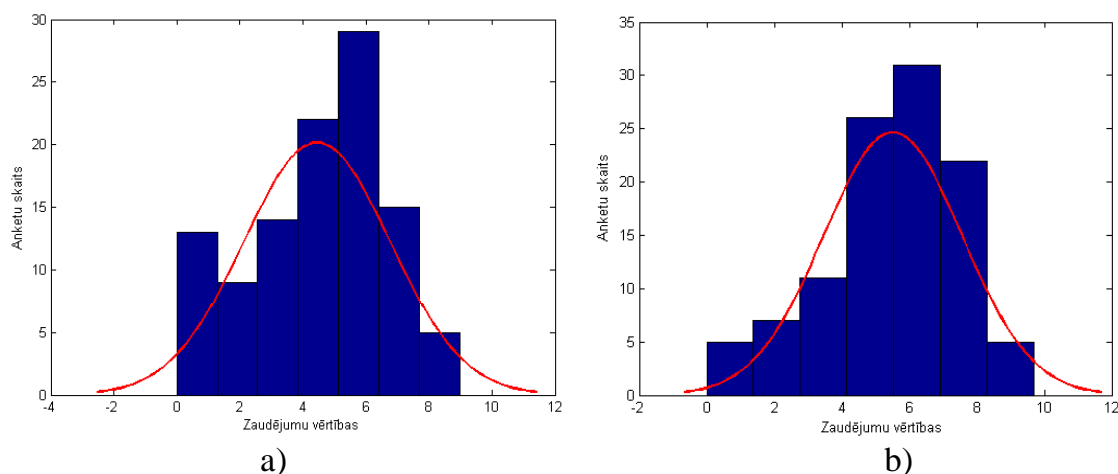
$$N = \frac{n}{R} \quad (4.3)$$

kur

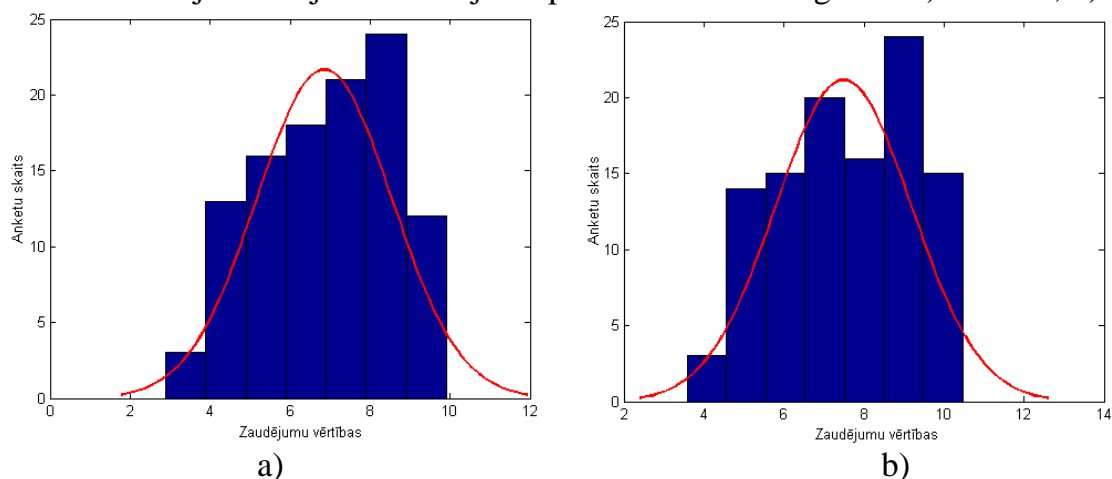
N – nepieciešamais izsūtāmo anketu skaits;

R – respondentu aktivitāte.

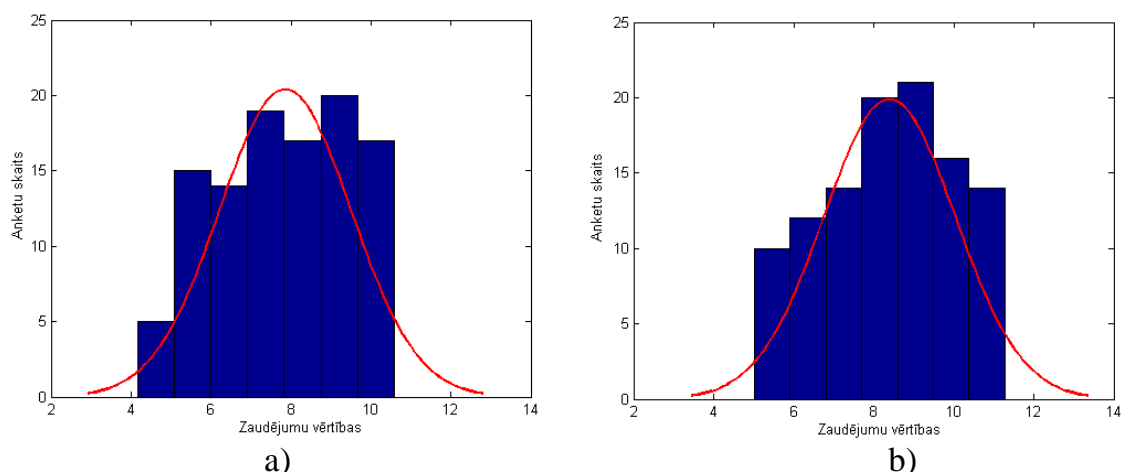
Tā kā lietotāju zaudējumi var būt tikai pozitīvi, tad to sadalījums nevar atbilst parastajam normālajam (Gausa) sadalījumam. Savukārt lietotāju zaudējumu logaritmiem, sadalījums var atbilst normālajam sadalījumam. Atbilstoši apstrādājot rezultātus, tika iegūti lietotāju zaudējumu sadalījumi, kas atbilst pārtraukumiem ar ilgumu 20 minūtes, 1, 4, 8 12 un 24 stundas un ir attēloti attēlos 4.22, 4.23 un 4.24.



4.22.att. Lietotāju zaudējumu sadalījums pārtraukumam ar ilgumu: a) 20 min.; b) 1h



4.23.att. Lietotāju zaudējumu sadalījums pārtraukumam ar ilgumu: a) 4h; b) 8h



4.24.att. Lietotāju zaudējumu sadalījums pārtraukumam ar ilgumu: a) 12h; b) 24h

Trīs iepriekšējos attēlos uz X ass attēloti zaudējumu vērtības, savukārt uz Y ass – zaudējumu vērtību intervālam atbilstošo anketu skaits. Kā var redzēt no šiem attēliem, rezultātu sadalījums ir tuvs normālajam sadalījumam, it īpaši ņemot vērā atbildējušo respondentu skaitu. Līdz ar to, pamatojoties uz veikto pētījumu, ir iespējams noteikt nākamajos pētījumos iesaistāmo respondentu skaitu.

Nepieciešamo respondentu skaita noteikšanai ir nepieciešams zināt iegūto rezultātu standarta novirzi S , lielumu Z , kas atkarīgs no rezultātu sadalījuma veida un rezultātu konfidences līmeņa (rezultātu drošuma), kā arī vēlamo konfidences līmeni un konfidences intervāla garumu.

4.5.tabulā apkopoti aprēķinu rezultāti nepieciešamajam izsūtāmo anketu skaitam, kas ievēro zemu respondentu aktivitāti Latvijā un nodrošinātu rezultātu iekļūšanu intervālā $\pm 5\%$ no iegūto rezultātu vidējās vērtības ar varbūtību 95%. Izsūtāmo anketu skaits aprēķināts atsevišķi katram elektroapgādes pārtraukuma ilgumam.

4.5. tabula

Nepieciešamais izsūtāmo anketu skaits

	Elektroapgādes pārtraukuma ilgums					
	20 min.	1 st.	4 st.	8 st.	12 st.	24 st.
Nepieciešamais anketu skaits	11359	5772	2537	2140	1825	1599

Ņemot vērā neplānoto pārtraukumu vidējo ilgumu uz cietušo lietotāju Latvija – vidēji 3,13 stundas laika posmā no 2009. līdz 2011.gadam, var secināt, ka izvēlētais aptaujājamo respondentu skaits aptaujai tika izvēlēts pareizi un līdz ar to pētījumā iegūto rezultātu ticamība ir augsta.

5. ELEKTROAPGĀDES DROŠUMA LĪMEŅA UZLABOŠANAS TEHNISKO RISINĀJUMU IZPĒTE UN ANALĪZE

Šī nodaļa ir veltīta elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas tehnisko risinājumu analīzei. Šīs nodaļas pirmajā apakšnodaļā ir apskatītas drošuma līmeni raksturojošo parametru noteikšanas metodes. Izmantojot šīs metodes ir iespējams noteikt elektrotīkla drošuma līmeni raksturojošo parametru izmaiņas pie dažādiem tīkla attīstības scenārijiem. Elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanai sadales tīklā

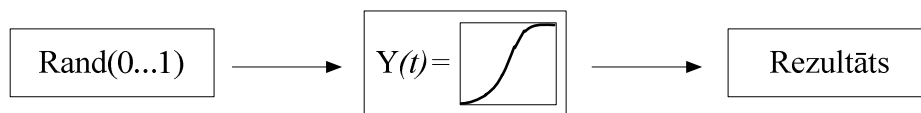
jāveic tādi pasākumi, kas ir ekonomiski efektīvi un ļauj sasniegt optimālo elektroapgādes drošuma līmeni. Līdz ar to, nodaļā ir arī apskatīts lietotāju zaudējumu un sistēmas operatora izmaksu novērtēšanas jautājums izstrādājot un piedāvājot lietotāju zaudējumu un sistēmas operatoru izmaksu noteikšanas algoritmus. Trešajā apakšnodaļā ir izpētīti iespējamie elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas tehniskie risinājumi. Savukārt ceturtajā apakšnodaļā veikti detalizēti elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas aprēķini vienam no drošuma līmeņa uzlabošanas risinājumiem

Drošuma līmeni raksturojošo parametru noteikšanas (novērtēšanas) metodikas

Elektroapgādes drošuma līmeni raksturojošo parametru noteikšanai iespējams pielietot gan tā saucamo deterministisko (no angļu val. Deterministic assessment), jeb analītisko novērtēšanas tehniku, gan varbūtisko, jeb simulāciju novērtēšanas tehniku, kas pēdējā laikā iegūst popularitāti datoru ražotspējas pieauguma dēļ.

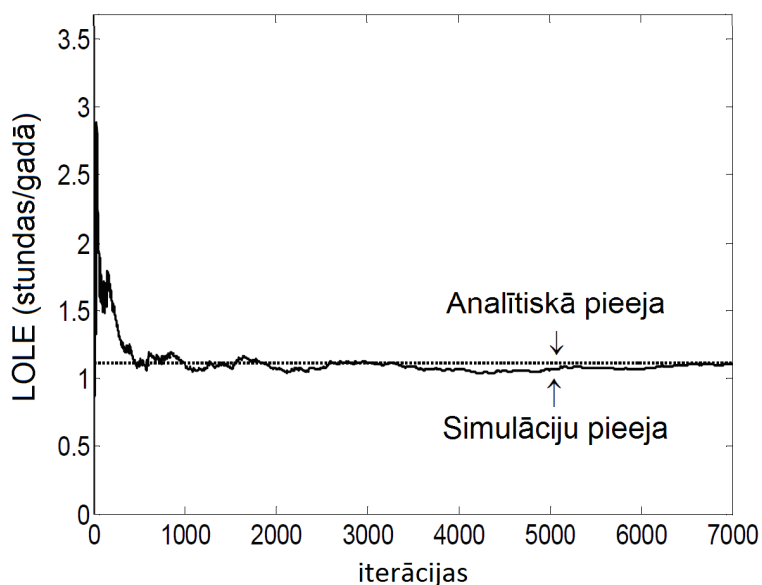
Varbūtiskās drošuma novērtēšanas metodikas tika attīstītas pamatojoties uz to, ka elektrotīkla bojājumiem ir varbūtisks raksturs un līdz ar to varbūtiskās metodes var labāk atspoguļot notiekošos procesus. Popularitāti ir ieguvušas ir tā saucamās *Monte Karlo simulācijas metodes*.

Monte Karlo simulācijas metožu aprēķinu procesa būtība ilustrēta 5.3. attēlā [17]. Nejausie skaitļi tiek izmantoti sistēmas elementu drošumu raksturojošo parametru vērtību noteikšanā (5.3. attēlā apzīmēts ar $Y(t)$). Kad elementu parametru vērtības ir zināmas, tiek iegūts gala rezultāts, kas balstās uz sistēmas datiem – sistēmas struktūru, kas nosaka elementu savstarpējo mijiedarbību. Veicot aprēķinus ar Monte Karlo metodēm pēc katra aprēķinu cikla tiek iegūts atšķirīgs rezultāts. Līdz ar to parasti tiek veikts pietiekoši liels iterāciju skaits, pie kura iegūtais rezultāts mainās nelielā diapazonā.



elementu stāvokli. Minimālā šķēluma kopā nevar būt citas apakškopas, kuras darbnespēja radīs visas sistēmas darbnespēju.

Monte Karlo metožu pētījumu rezultāti rāda, ka rezultātu konverģence pie vidējās vērtības notiek plašā iterāciju diapazonā, kas var būt izskaidrojams ar atšķirīgo metožu pielietojumu. Tā, piemēram, pie slodzes zaudēšanas matemātiskās cerības (angl. – loss of load expectation LOLE) aprēķiniem, rezultāta konverģence ir vērojama pēc ~ 500 iterācijām un sakrīt ar analītiskā modeļa rezultātiem (skat. att.5.5.) [21]. Analītiskās un simulāciju tehniku rezultātu konverģence ilustrēta arī Penga Wanga (angl. – Peng Wang) disertācijā „Reliability Cost/Worth Consideration in Distribution System Evaluation”, kur atteicu matemātiskās cerības vērtība, kas tika noteikta, izmantojot secīgo simulāciju, konverģēja ar analītisko rezultātu pēc 1700 – 2000 iterācijām [22]. Sistēmas drošuma indeksu (SAIDI, SAIFI, u.c.) aprēķini arī parādīja līdzīgu rezultātu.



5.5. att. LOLE vērtības aprēķins ar analītisko un simulācijas pieeju

Ņemot vērā skaitļošanas tehnikas (datoru) attīstību un izstrādātas pieejas, kas palīdz sasniegt ātrāku rezultātu konverģenci, elektroapgādes drošuma varbūtiskā novērtēšanas pieeja var tikt realizēta pietiekoši viegli. Tomēr tās pielietojanai ir daži trūkumi, kas saistīti ar pietiekoši detalizētas statistikas informācijas trūkumu par elektroiekārtu bojājumiem (atbilstošu sadalījumu veidu izvēlei) un augstām atbilstošo datorprogrammu izmaksām [20]. Ņemot vērā faktu, ka salīdzinājumā ar analītisko metodi, stohastiskās metodes pielietojanai ir nepieciešama daudzkārt detalizētāka iekārtu bojājumu statistika un to, ka sadales tīkla drošuma līmeņa analīzes veikšanai ar analītiskām metodēm ir iespējams pielietot samazinātas (tipveida) tīkla shēmas, analītiskajai drošuma līmeņa novērtēšanai ir dodama priekšrocība drošuma uzlabošanas paņēmieni analīzē.

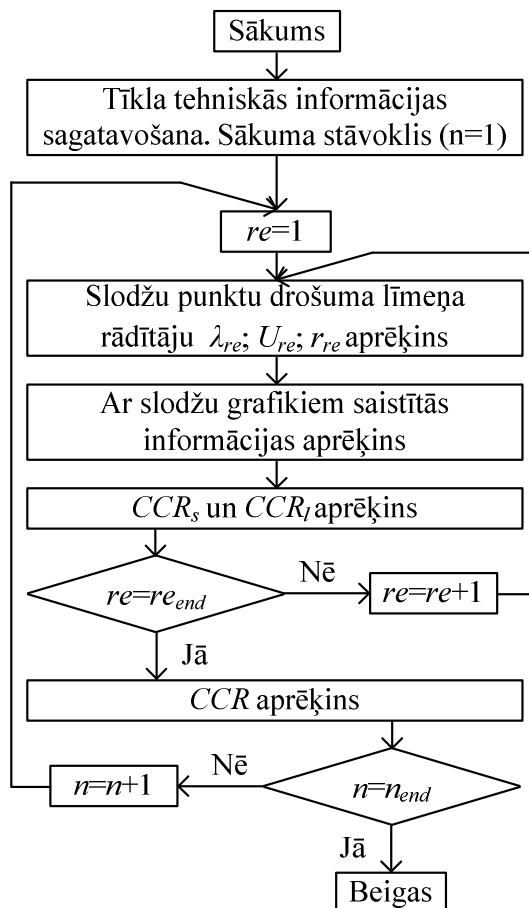
Elektroenerģijas lietotājiem radīto zaudējumu novērtēšana, ņemot vērā laikā mainīgās attiecināto zaudējumu vērtības un slodzes

Izpētot industrijas un komercpakalpojumu sektoru lietotājiem radīto attiecināto zaudējumu vērtību izmaiņas laikā un analizējot to atbilstību sektoru slodžu grafiku izmaiņām, nonācu pie secinājuma, ka lietotājiem radīto zaudējumu vērtību izmaiņas

atkarībā no laika var gan labi korelēt ar sektora slodzes izmaiņām, gan arī korelācija var nepastāvēt [23-25].

Gadījumā, ja korelācija starp attiecināto zaudējumu vērtības izmaiņām un nepiegādātās elektroenerģijas apjomu ir vāja vai nav novērojama un ir pieejama informācija par sektoru un lietotāju slodžu grafikiem, jāņem vērā gan slodzes, gan zaudējumu vērtību izmaiņas laikā.

Elektroenerģijas lietotājiem radīto zaudējumu novērtēšanas veikšanas procesam, ņemot vērā nepiegādātās elektroenerģijas (turpmāk – ENS) un no laika atkarīgas zaudējuma vērtības, šī promocijas darba autors izstrādāja veicamo darbību secības algoritms, kas attēlots 5.12. attēlā.



5.12. att. Elektroenerģijas lietotājiem radīto zaudējumu novērtēšanas procesā veicamo darbību secības algoritms

Saskaņā ar piedāvāto algoritmu pirms lietotājiem radīto zaudējumu novērtēšanas tiek veikta tīkla informācijas sagatavošana un slodžu punktu drošuma līmeņa rādītāju aprēķins sākuma darba režīmam $re=1$ un pie tīkla sākuma stāvokļa $n=1$. Ar slodžu grafikiem saistītās informācijas (pārtrauktās jaudas un ENS) aprēķins tiek veikts, pamatojoties uz slodžu punktu informāciju. Pēc informācijas sagatavošanas notiek lietotājiem radīto zaudējumu aprēķins tīkla darba režīmam re , kas nosaka lietotāja slodzes grafiku, konkrētajam gadalaikam un darba laikam vai brīvlaikam (brīvdienai). Aprēķinu cikls turpinās līdz brīdim, kad ir apskatīti visi režīmi. Gadījumā, ja tiek salīdzināti vairāki tīkla konfigurācijas varianti (piemēram, gaisvadu līnijas tiek aizvietotas ar kabelīnijām), tiek mainīts tīkla stāvokļa numurs n , un aprēķins tiek veikts atkārtots no paša sākuma.

Lietotājiem radīto zaudējumu aprēķins atbilstoši piedāvātajam algoritmam tiek veikts, izmantojot izteiksmi (5.1) zaudējumu aprēķināšanai no īslaicīgiem pārtraukumiem un izteiksmi (5.2) ilgstošiem pārtraukumiem.

$$CCR_s = \sum_{re=1}^{re_{end}} \frac{h_{re}}{8760} \cdot \left[\sum_{f=1}^F \sum_{lpf=1}^{LPf} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^z P_{re,lpf,i} \cdot h_{lpf,i} \cdot C_{s,re,lpf,i}}{24} \cdot P_{max,lpf} \cdot \left(\sum_{L=1(L \in M_{Lf})}^{L=lpf-1} \lambda_{Ls,re} + \sum_{L=lpf(L \in M_{Lf})}^{L=lpf} \lambda_{Ls,re} + \sum_{L=lpf+1(L \in M_{Lf})}^{L=LPf} \lambda_{Ll,re} \right) \right) \right] \quad (5.1)$$

kur

CCR_s – lietotāju zaudējumi no īslaicīgiem elektroapgādes pārtraukumiem [naudas vienības].

re – tīkla darba režīms.

re_{end} – tīkla darba režīmu kopējais skaits.

h_{re} – tīkla darba režīma re ilgums gada laikā [st.].

f – fīdera numurs.

F – kopējais fīderu f skaits, kas pievienoti pie apakšstacijas.

lpf – fīdera f slodzes punkta numurs.

LPf – kopējais slodžu punktu skaits fīderī f .

i – laika intervāla numurs, kas atbilst konkrētam lietotāju pārtraukuma zaudējuma līmenim.

z – kopējais laika intervālu skaits dienā.

$P_{re,lpf,i}$ – vidējā aktīvās jaudas vērtība % no maksimālās jaudas, kas atbilst laika intervālam i slodzes punktā lpf fīderī f režīmā re [%].

$h_{lpf,i}$ – intervāla i ilgums, kas atbilst konkrētam lietotāju pārtraukuma zaudējuma līmenim slodzes punktā lpf fīderī f [st.].

$C_{s,re,lpf,i}$ – īslaicīgo pārtraukumu lietotāju zaudējumi laika intervālā i slodzes punktā lpf fīderī f tīkla darba režīmā re [naudas vienības/kW].

$P_{max,lpf}$ – maksimālā aktīvā jauda fīdera f slodzes punktā lpf [kW].

L – fīdera sekcijas numurs.

M_{Lf} – sekciju kopa, kas veido fīderi f .

$\lambda_{Ls,re}$ – īslaicīgo pārtraukumu skaits sekcijai L režīmā re .

$\lambda_{Ll,re}$ – ilgstošo pārtraukumu skaits sekcijai L režīmā re .

$$CCR_l = \sum_{re=1}^{re_{end}} \frac{h_{re}}{8760} \cdot \left[\sum_{f=1}^F \sum_{lpf=1}^{LPf} \cdot \left(\frac{\sum_{x=1}^{24} ENS(t_{repair})_{re,lpf,x} \cdot C(t_{repair})_{l,re,lpf,x}}{24} \cdot \sum_{L=1(L \in M_{Lf})}^{L=lpf-1} \lambda_{Ll,re} + \frac{\sum_{x=1}^{24} ENS(t_{repair})_{re,lpf,x} \cdot C(t_{repair})_{l,re,lpf,x}}{24} \cdot \sum_{L=lpf(L \in M_{Lf})}^{L=lpf} \lambda_{Ll,re} + \frac{\sum_{x=1}^{24} ENS(t_{switch})_{re,lpf,x} \cdot C(t_{switch})_{l,re,lpf,x}}{24} \cdot \sum_{L=lpf+1(L \in M_{Lf})}^{L=LPf} \lambda_{Ll,re} \right) \right] \quad (5.2)$$

kur

CCR_l – lietotāju zaudējumi no ilgstošiem elektroapgādes pārtraukumiem [naudas vienības].

$ENS(t_{repair})_{re,lpf,x}$, $ENS(t_{switch})_{re,lpf,x}$ – nepiegādātas elektroenerģijas daudzums slodzes punktam lpf , pie pārtraukuma uz bojājuma novēršanas/pārslēguma veikšanas laiku, ja pārtraukums sākas dienas stundā x režīmā re [kWh].

$C(t_{repair})_{l,re,lpf,x}$, $C(t_{switch})_{l,re,lpf,x}$ – fīdera f slodzes punkta lp lietotāju zaudējumi ja pārtraukums, uz bojājuma novēršanas/pārslēguma veikšanas laiku, sākas dienas stundā x tīkla darba režīmā re [naudas vienības/kW].

(5.1) un (5.2.) izteiksmes tiek izmantotas lietotājiem radīto zaudējumu aprēķiniem radiālajā tīklā. Fīdera rezerves barošanas iespējas neatstāj iespaidu uz īslaicīgo pārtraukumu zaudējumiem, jo pie pārtraukumiem ar ilgumu mazāku par 3 minūtēm pārslēgšanās uz rezerves barošanas līniju nenotiek, un līdz ar to (5.1) izteiksmi bez pārveidojumiem var izmantot arī cilpveida fīdera gadījumā. Ilgstošo pārtraukumu gadījumā, kad pieejams rezerves barošanas ceļš, (5.2) izteiksmē bojājuma novēršanas laiku t_{repair} apaļo iekavu pirmajā saskaitāmajā nepieciešams aizvietot ar pārslēguma veikšanas laiku t_{switch} .

Elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas tehniskie risinājumi sadales tīkla līmenī

Sadales tīklu drošuma līmeņa novērtēšanai visbiežāk pielieto SAIDI un SAIFI indeksus, kā arī būtu nepieciešams pielietot CAIDI un MAIFI indeksus. Šo indeksu pielietošana arī norāda virzienus drošuma uzlabošanas risinājumu realizēšanai - elektroapgādes drošuma līmeni iespējams paaugstināt:

- Samazinot bojājumu skaitu;
- Samazinot elektroapgādes pārtraukuma ilgumu;
- Samazinot ietekmēto klientu skaitu.

Promocijas darbā ir definēti tehniskie risinājumi, kā arī sniegts to izvērtējums, katram no elektroapgādes drošuma līmeņa paaugstināšanas virzieniem.

Apakšnodaļā nonākts pie slēdziena, ka elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas tehnisko risinājumu spēja uzlabot elektroapgādes drošumu ir būtiski atkarīga no esošā elektrotīkla struktūras un konfigurācijas un tie var papildināt viens otru. Savukārt minēto tehnisko risinājumu ietekme uz drošuma līmeņa sistēmas rādītājiem – SAIDI, SAIFI, u.c. – ir atkarīga arī no elektroenerģijas lietotāju sadalījuma elektrotīklā. Līdz ar to katra no tehniskiem risinājumiem efektivitāti būtu jāvērtē detalizēti un apskatot raksturīgus elektrotīkla piemērus. Elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas paņēmiena izvēli konkrētajam elektrotīklam jāveic pamatojoties ne tikai uz tehniskiem aprēķiniem, bet arī paņēmiena ekonomiskā efekta kontekstā.

Izvērtēti arī vairāki reālie drošuma līmeņa uzlabošanas pasākumu piemēri no Latvijas lielākā sadales sistēmas operatora AS „Sadales tīkls”, ietverot informāciju gan par pasākuma izmaksām, gan sagaidāmo atdevi no tā realizēšanas.

Katram no pasākumiem/drošuma uzlabošanas variantiem ir atšķirīga investīciju efektivitāte, t.i. no katra drošuma uzlabošanā investētā lata ar dažādiem pasākumiem var sasniegt atšķirīgu drošuma uzlabošanas līmeni. Tomēr minētos variantus nevar

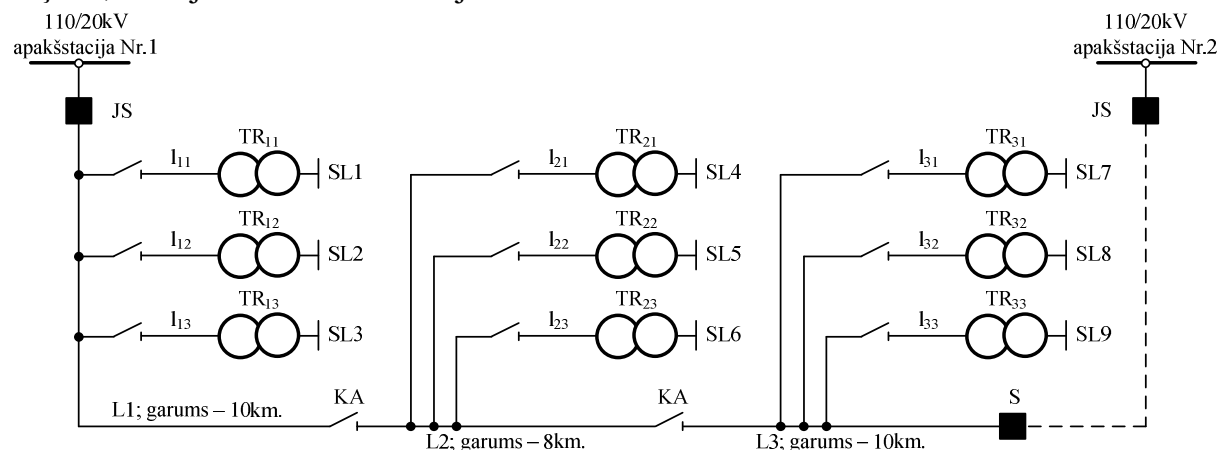
vērtēt, skatoties tikai uz investīciju apjomu un viena drošuma rādītāja vērtību, bet jāvērtē realizējamo pasākumu ietekmi uz visiem izmantojamiem drošuma līmeņa rādītājiem, kā arī tīkla ekspluatācijas izmaksu izmaiņām, jo, piemēram, kabeļlīniju ieguldīšana no vienas puses prasa lielākas investīcijas uz vienu SAIDI vienības samazinājumu, toties kabeļlīniju izmantošana ne tikai samazina ilgstošo pārtraukumu skaitu, bet arī īslaicīgo pārtraukumu skaitu un sistēmas operatora izmaksas, kas attiecas uz trašu tīrīšanu.

Pie tam jāatceras, ka drošuma līmeni ir vērts paaugstināt tikai līdz kādam noteiktam brīdim, pēc kura drošuma uzlabošana vairs nav pamatojama. Konkrēto elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas pasākumu ieviešana jāveic, pamatojoties uz detalizētiem aprēķiniem.

Elektroenerģijas sadales gaisvadu līniju aizvietošanas ar kabeļlīnijām tehniski-ekonomiskā novērtēšana un analīze

Promocijas darbā tika piedāvāta pieeja elektroenerģijas sadales gaisvadu līniju aizvietošanas ar kabeļlīnijām tehniski-ekonomiskajai novērtēšanai, kas ir viens no aktuālākajiem elektroapgādes drošuma līmeņa paaugstināšanas pasākumiem Latvijā. Minētas pieejas izveidošanas mērķis ir izvērtēt energoapgādes uzņēmuma izdevumus no elektrotīklā pielietotā elektrolīnijas veida – gaisvadu līnijas (turpmāk - GVL) vai kabeļlīnijas (turpmāk - KL). Lietotāju un sistēmas operatora zaudējumu/izdevumu summa ļauj spriest par konkrēta līnijas tipa efektivitāti no elektroapgādes drošuma viedokļa.

Aprēķini tika veikti tipveida Latvijas videsapgādes sadales tīkla shēmai, kas izveidota pamatojoties uz AS „Sadales tīkls” Izpētes un standartu departamenta vadītāja sniegto informāciju par tīkla struktūru (skat. 5.13. att.) [35]. Tika pieņemts, ka sekcija L1 un tās nozarojumi atrodas pļavā, sekcija L2 un tās nozarojumi atrodas pie ceļiem, sekcija L3 un tās nozarojumi atrodas mežā.



6.13. att. Reālā sadales tīkla tipveida shēma maģistrālajai barošanas līnijai – fīderim

KL bojājumu skaits tika ņemts pamatojoties uz AS „Sadales tīkls” informāciju par KL bojājumiem, savukārt GVL bojājumu statistika tika ņemta no Tamperes Tehniskās Universitātes zinātnieku publikācijas, kurā GVL bojājumu skaits tika dots atkarībā no GVL izvietojuma – laukā, mežā vai pie ceļa [36].

Elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšana

Lietotāju zaudējumu novērtēšanai no elektroapgādes pārtraukumiem tika izmantota zaudējumu novērtēšanas pieeja, kas aprakstīta šajā promocijas darba nodaļā

(dota iepriekš), individuālus lietotāju tipveida grafikus aizstājot ar vidējo slodzi lietotāju sektoram, kas tika noteikta atsevišķi katram no gadalaikiem, kā arī darba dienai un brīvdienas/svētku dienai.

Lietotāju zaudējumu novērtēšanā tika izmantota informācija par elektroenerģijas patēriņa struktūru pa elektroenerģijas lietotāju sektoriem, kas ir atrodamā Centrālās statistikas pārvaldes datu bāzē, kā arī lietotāju tipveida slodžu grafikiem, kas tika izmantoti elektroenerģijas lietotāju sektoru vidējās slodzes noteikšanā [33, 37, 38]. Tika pieņemts, ka katrā slodžu punktā ir 100 lietotāji, kuru kopējā maksimālā jauda vienāda ar 450kW.

Elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšanai tika izmantoti Latvijas elektroenerģijas lietotāju aptaujas rezultāti, kas atspoguļoti promocijas darba 4. nodaļā un satur informāciju ne tikai par zaudējumu apmēriem, bet arī to izmaiņām atkarībā no pārtraukuma notikuma ilguma un laika. Lietotāju zaudējumu aprēķins tika veikts atsevišķi katram gadalaikam, izdalot arī darba dienas un brīvdienas. Ņemot vērā to, ka lietotāju zaudējumi ir atkarīgi no elektroapgādes pārtraukuma ilguma, tika izmantots arī Latvijai raksturīgs bojājumu novēršanas laiks vīdsprieguma tīklos, kas, saskaņā ar žurnālā „Energoforums” sniegto informāciju, 2011. gada vasarā sastādīja 7 stundas un 7 minūtes [39]. Ņemot vērā komutācijas aparātu esamību apskatāmajā tīklā, tika izmantots arī pārslēgumu veikšanas laiks, kas tika pieņemts vienāds ar 1 stundu.

Sadales elektrotīklu sistēmas operatora izmaksu novērtēšana

Elektroapgādes uzņēmuma izmaksas, kas saistītas ar elektrosadales līnijām sastāv no kapitālieguldījumu, jeb līnijas izbūvi saistītajām izmaksām, ekspluatācijas izmaksām un bojājumu novēršanas izmaksām. Alternatīvo variantu salīdzināšanai minētās izmaksas tiek aprēķinātas vienam ekspluatācijas gadam. Kopējās izmaksas veidojas no trīs iepriekšminēto izmaksu summas saskaņā ar (5.3). izteiksmi

$$C = \sum_{i=1}^n (C_i + C_{mi} + C_{fe.i}) \quad (5.3)$$

kur

C – kopējās izmaksas aprēķinu periodā [naudas vienības/laika periods];

C_i – kopējās līnijas izbūves izmaksas [naudas vienības/laika periods];

C_{mi} – kopējās līnijas ekspluatācijas izmaksas [naudas vienības/laika periods];

$C_{fe.i}$ – kopējās līnijas bojājumu novēršanas izmaksas [naudas vienības/laika periods];

i – skaitlis, kas atbilst konkrētajam līnijas tipam;

n – kopējais līniju tipu skaits, kas tiek izmantots tīkla izbūvei.

Veicot energoapgādes uzņēmuma ar elektrolīniju izbūvi un ekspluatāciju saistīto darbību un izmaksu izpēti un analīzi, tika izstrādāts izmaksu novērtēšanas algoritms, kā arī sastādītas matemātiskās izteiksmes aprēķinu veikšanai. Piedāvātais algoritms redzams 5.15. attēlā, un tā pielietošana ir šāda: pirms izmaksu aprēķinu veikšanas nepieciešama informācijas par plānoto tīklu apkopošana – elektrolīniju garumu un atbilstošu tehnisko parametru izvēle. Kad informācija par tīklu ir apkopota nepieciešams savākt informāciju par atbilstošo līniju izmaksām, kā arī katra līniju tipa bojājumu statistiku. Kopējo izmaksu aprēķins sākas ar izvēli – ņemt vai neņemt kredītu tīkla attīstības projektam. Kredīta ņemšanas gadījumā izbūves izmaksu aprēķinos tiek izmantota NPV metode un izvēlēti tādi parametri kā banku procentu likme, inflācijas likme un kredīta ņemšanas termiņš. Ņemot vērā kabeļlīniju un gaisvadu līniju ekspluatācijas un bojājumu novēršanas īpatnības, ar šīm darbībām

saistītas izmaksas tiek aprēķinātas izmantojot atšķirīgas matemātiskās izteiksmes. Gala rezultāts tiek iegūts izmantojot (5.3.) formulu. Algoritmā minētie cipari iekavās atbilst formulu numuriem promocijas darba tekstā.

Elektrolīnijas izbūves izmaksas uz vienu ekspluatācijas gadu tiek veiktas, izmantojot (5.4) formulu, kas balstās uz NPV metodi.

$$C_i = \frac{C_{l_{kmi}} \cdot l_i \cdot \left(1 + \frac{\text{int}_r}{100}\right)^{t_{cr}}}{\left(1 + \frac{\text{inf}}{100}\right)^{t_{cr}} \cdot t_{ei}} \quad (5.4)$$

kur

$C_{l_{kmi}}$ – līnijas ar parametriem i izbūves izmaksas [naudas vienības / km];

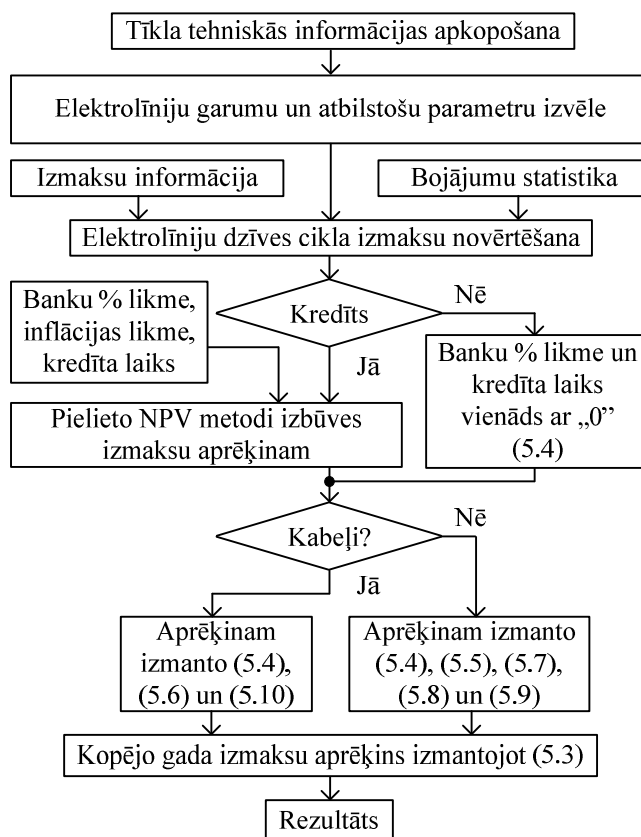
l_i – līnijas ar parametriem i garums [km];

int_r – banku procentu likme [%];

inf – inflācijas procentu likme [%];

t_{ei} – līnijas ar parametriem i darba mūžs [gadi];

t_{cr} – kredīta ņemšanas termiņš [gadi].



5.15. att. Energoapgādes uzņēmuma izmaksu novērtēšanas algoritms

Elektrotīklu ekspluatācijas izmaksu aprēķins kabeļlīnijām un gaisvadu līnijām tiek veikts atsevišķi, izmantojot (5.5) formulu gaisvadu līnijām un (5.6) formulu kabeļlīnijām.

$$C_{mi} = N_i \cdot (C_{org} + C_{op.s} + C_m) \cdot \frac{l_i}{100} + l_i \cdot 1000 \cdot l_{pzi} \cdot C_{cpz} \cdot \frac{1}{P_{cp2}} \quad (5.5)$$

$$C_{mi} = \frac{l_i \cdot 1000 \cdot l_{pzi} \cdot C_{cpz}}{P_{cpz}} \quad (5.6)$$

kur

N_i – profilakses remontu/darbu skaits vien gada laikā [naudas vienība/(km*gads)];

C_{org} – darbu organizēšana un pielaišana pie darba [naudas vienība/profilakses remonts];

$C_{op.s}$ – operatīvo pārslēgumu veikšana [naudas vienība/pārslēgums];

C_m – profilakses remonta laikā izmantot materiālu izmaksas [naudas vienība/profilakses remonts];

$l_{pz.i}$ – kopējais aizsargjoslas platums (uz abām pusēm no līnijas) elektrolīnijai ar parametriem i (GVL un GVL ar izolētiem vadiem līdz 20kV – $2 \times 6.5 = 13\text{m}$; kabeļlīnijai $2 \times 1 = 2\text{m}$ – atbilstoši [40]) [m];

C_{cpz} – aizsargjoslas uzturēšanas izmaksas [naudas vienības/m²];

$pcpz$ – laika intervāls starp aizsargjoslas uzturēšanas darbu veikšanu [gads].

Līdzīgi kā ekspluatācijas izmaksu gadījumā, arī bojājumu novēršanas izmaksas tiek aprēķinātas atsevišķi gaisvadu un kabeļlīnijām. Bojājumu novēršanas izmaksu aprēķinu gaisvadu līnijām (GVL) veic trīs atsevišķiem gadījumiem:

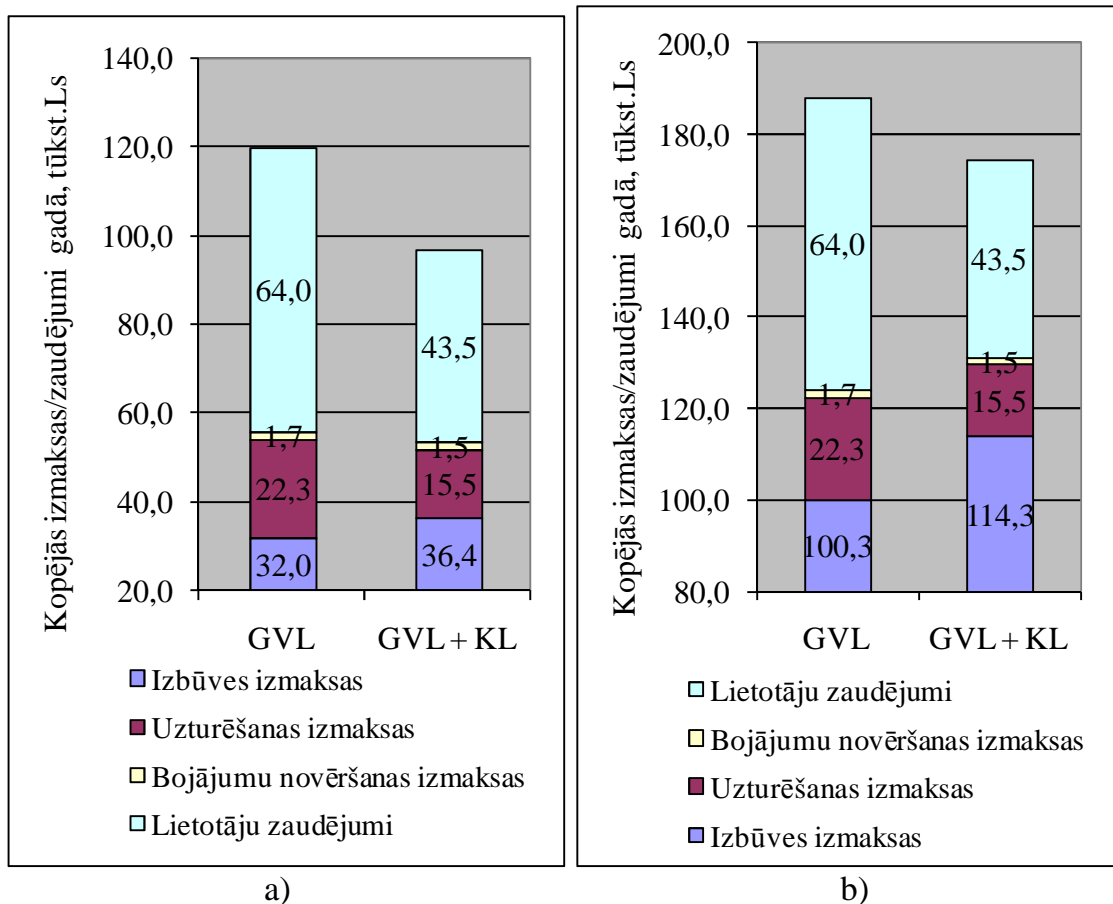
1. Līnijai ir bojāti tikai fāžu vadi;
2. Līnijai ir bojāti fāžu vadi, divu bojājuma vietai tuvāko balstu izolatori, kā arī paši divi tuvākie balsti ir nedaudz noliekušies;
3. Līnijai ir bojāti fāžu vadi un pilnībā bojāti divi bojājumu vietai tuvākie balsti ar izolatoriem.

Bojājumu novēršanas izmaksu aprēķinā tiek izmantoti detalizēti dati par bojājuma novēršanas pasākumu darbību izmaksām, piemēram, KL bojājuma gadījumā tiek ņemti vērā tranšejas rakšanas izmaksas, lentveida vai rievzobu profila izmaksas, zemes seguma atjaunošanas izmaksas, u.c. Izteiksmes GVL un KL bojājumu novēršanas izmaksu aprēķinam netiek iekļautas kopsavilkumā, vietas ekonomijas dēļ.

Aprēķinu rezultāti

5.16. attēlā attēloti sadales elektrotīklu sistēmas operatora izmaksu un elektroenerģijas lietotāju zaudējumu aprēķinu rezultāti. Atspoguļotie lietotāju zaudējumi ir aprēķināti, balstoties uz elektroapgādes pārtraukumu skaitu un elektroapgādes pārtraukumu ilgumiem.

5.16. attēlā esošajiem grafikiem var redzēt gan energokompānijas, gan elektroenerģijas lietotāju izmaksu/zaudējumu izmaiņas atkarībā no pielietota elektriskās līnijas veida vai veidu kombinācijas. Apzīmējums GVL atbilst gadījumam, kad fīderis un nozarojumi ir pilnībā veidoti ar gaisvadu līnijām, savukārt apzīmējums GVL+KL atbilst gadījumam, kad fīdera sekcijas L1 un L2 un atbilstošie nozarojumi ir veidoti ar gaisvadu līnijām, bet sekcija L3 ar atbilstošiem nozarojumiem – ar kabeļlīnijām.



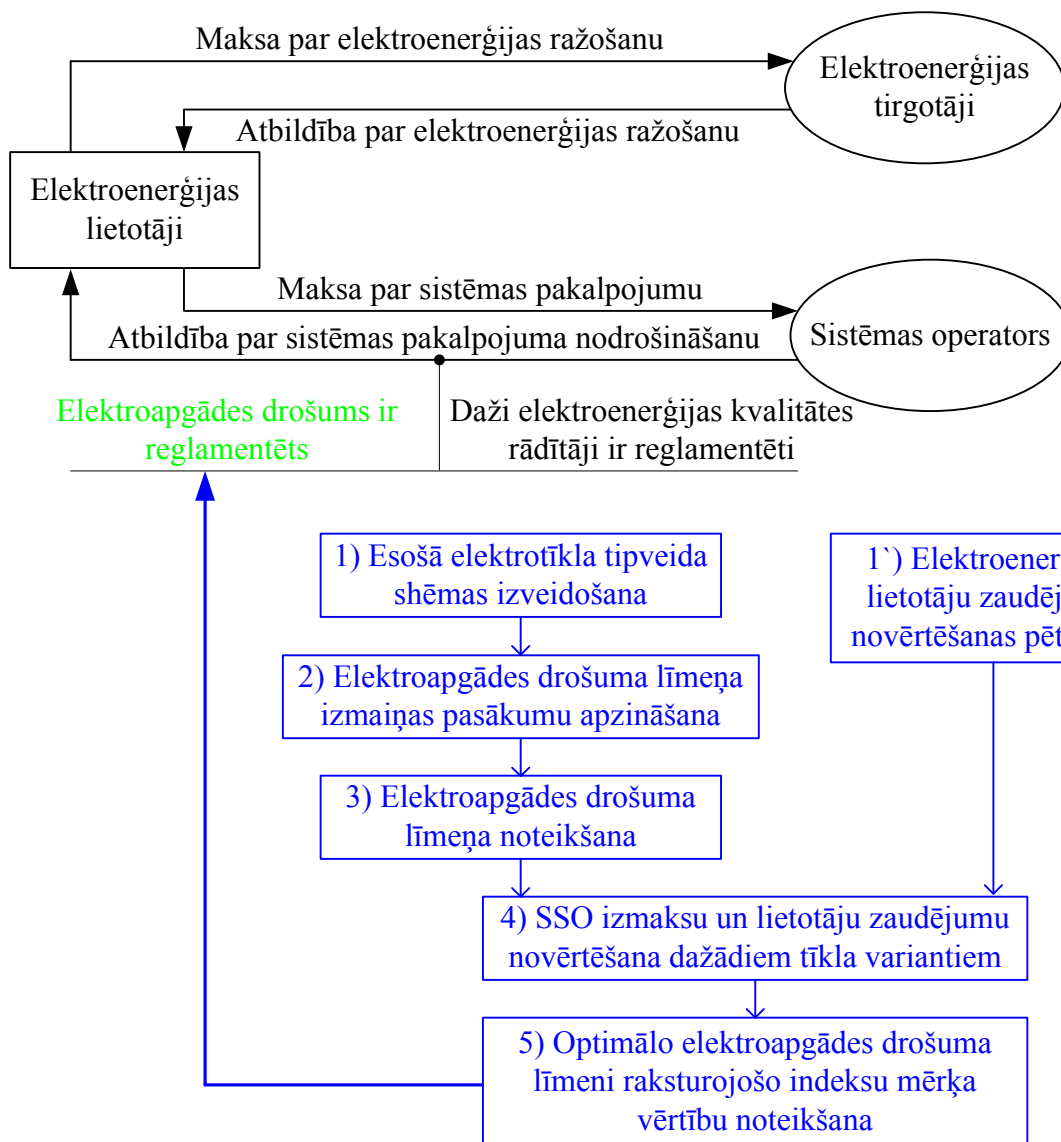
5.16. att. Sadales elektrotīklu sistēmas operatora izmaksas un elektroenerģijas lietotāju zaudējumi. Tīkls tiek būvēts: a) neņemot kredītu; b) ņemot kredītu

Aprēķinu rezultāti parāda, ka elektrotīkla optimālo elektroapgādes drošuma līmeni nevar izvēlēties, raugoties tikai no elektrotīklu ekspluatējošās kompānijas redzes punkta, jo energokompānijas ikgadējo izmaksu apjoms, izbūvējot GVL vietā KL, labākajā gadījumā paliks nemainīgi, vai pat arī pieaugs, kas, savukārt, radītu nepieciešamību pēc pakalpojumu sniegšanas tarifa paaugstināšanas. Tomēr, izvērtējot arī lietotāju zaudējumu izmaiņas atkarībā no pielietoto elektrolīniju veida, var redzēt, ka GVL un KL kombinācijas pielietošana dod pozitīvo rezultātu, jo kopējie zaudējumi/izmaksas samazinās.

6. ELEKTROAPGĀDES DROŠUMA LĪMEŅA TEHNISKI-EKONOMISKĀS REGULĒŠANAS METODOLOĢIJA

Šajā nodaļā tiek piedāvāta SSO tehniski-ekonomiskās regulēšanas metodoloģija, ņemot vērā elektrotīkla drošuma līmeni. Piedāvātā metodoloģija balstās uz autora veiktajiem pētījumiem, kas aprakstīti promocijas darbā.

Lai panāktu elektrotīkla drošuma līmeņa optimalitāti, jāsalīdzina vairāki tīkla attīstības varianti, kas apskata gan elektroapgādes drošuma līmeņa paaugstināšanos, gan pazemināšanos. Tādā veidā būs iespējams noteikt arī elektroapgādes drošuma līmeni raksturojošo indeksu mērķa vērtības. Līdz ar to ir nepieciešams veikt vairākas darbības, kas atspoguļotas 6.2. attēlā attēlotajā diagrammā (darbības ir numurētas).



6.2. att. Optimālo elektroapgādes drošuma līmeni raksturojošo indeksu mērķa vērtību noteikšana, kā elektroapgādes drošuma reglamentēšana

Kā izriet no piedāvātās diagrammas, primāras darbības regulēšanas ieviešanā ir elektrotīkla tipveida shēmas izveidošana, kā arī elektroenerģijas lietotāju zaudējumu no elektroapgādes pārtraukumiem novērtēšanas pētījuma veikšana.

Elektrotīkla tipveida shēmai pēc iespējas precīzāk jāatspoguļo reāla elektrotīkla struktūra, kā arī elektroapgādes drošuma līmeni raksturojošo indeksu vērtībām, kas tiek iegūti no izveidotās shēmas drošuma aprēķiniem, jāsakrīt ar indeksu vērtībām, kas iegūtas, apkopojot informāciju no reāla elektrotīkla. Ņemot vērā elektrotīklu dažādību valsts reģionos, jābūt izstrādātām vairākām shēmām, kas pēc iespējas precīzāk atspoguļotu reģionu.

Elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšanas pētījumam, līdzīgi, kā tipveida shēmas izveidošanas procesam, arī jānotiek ar zināmu laika rezervi pirms SSO regulēšanas stāšanās spēkā, jo pētījuma veikšana ir laikietilpīgs process. Elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšanas pētījums Latvijas gadījumā var balstīties uz promocijas darba ietvaros veikto pētījumu, lai aktualizētu regulēšanā pielietotus datus.

Pēc tipveida elektrotīkla shēmas izstrādes SSO jāizvērtē iespējas dažādu elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas/samazināšanas pasākumu ieviešanai

praksē. Šo pasākumu ietekmes novērtēšana uz elektroapgādes drošuma līmeni, kā arī paša SSO izdevumiem un lietotāju zaudējumu apmēru tiek paredzēta ar 6.2. attēlā redzamās diagrammas 3.un 4. punktu. Šajos punktos paredzēto darbību jautājumi apskatīti promocijas darba 5. nodaļā.

Pēdējā, piektajā, solī jāizvēlas drošuma līmeni raksturojošo indeksu mērķa vērtības kā plānotajiem, tā arī neplānotajiem elektroapgādes pārtraukumiem. Bez izplatītajiem SAIDI un SAIFI indeksiem, SSO regulēšanā jāizmanto arī tādi indeksi kā CAIDI un MAIFI.

Gadījumā, ja SSO noteiktajā regulēšanas periodā nerasniedz tam ar elektroapgādes drošuma indeksiem izvirzītus mērķus elektroapgādes drošuma jomā, nākamajā regulēšanas periodā jāseko tarifa izmaiņām, kas ņem vērā arī nerasniegto mērķu ekonomisko efektu. Lai nepieļautu pārāk lielas atšķirības elektroapgādes drošuma līmenī starp kāda reģiona sadales tīkla daļām, iespējams ieviest ne tikai SSO tarifa regulēšanu atkarībā no mērķu sasniegšanas, bet arī tiešās kompensācijas lietotājiem (naudā vai kā atlaidi no tarifa) gadījumos, ja elektroapgādes drošuma līmeņa rādītāji pārsniedz noteikto mērķi par kādu noteiktu vērtību vai 1.5, 2, vai vairāk reizēs. Tādā gadījumā novērtējot SSO tīkla stāvokļa atbilstību noteiktajiem drošuma līmeņa mērķiem un nosakot tarifu nākamajam regulēšanas periodam jāņem vērā jau veiktās kompensācijas par elektroapgādes pārtraukumiem.

No minētā izriet, ka regulatoram un SSO cieši jāsadarbojas, izstrādājot tipveida elektrotīkla shēmu, ka arī elektroapgādes drošuma līmeņa novērtēšanas jomā, definējot drošuma līmeņa aprēķina metodiku, SSO izmaksu un lietotāju zaudējumu aprēķina metodikas. Ņemot vērā faktu, ka dažu elektroapgādes drošuma līmeņa izmaiņas pasākumu realizēšanai ir nepieciešami vairāki gadi, regulēšanas periodiem jābūt ar salīdzināmiem ilgumiem, kā arī jābūt pareizi definētiem drošuma līmeņa indeksu mērķa vērtībām. Par atbilstošu SSO regulēšanas periodu var būt 3 gadu periods, kura laikā SSO ir jāsasniedz noteiktus drošuma līmeņa mērķus optimālā elektroapgādes drošuma līmeņa virzienā. Kopā ar definētiem drošuma līmeņa mērķiem, regulators arī apstiprina atbilstošu elektroenerģijas sadalīšanas tarifu, kas ļautu sasniegt uzdotus mērķus.

Iepriekš aprakstītā metodoloģija optimālā elektroapgādes drošuma līmeņa sasniegšanai iekļauj sevī elektroapgādes sistēmas drošuma līmeņa indeksu izmantošanu un lietotāju monetāro zaudējumu izmantošanu. Tomēr, dažām elektroenerģijas lietotāju grupām, īpaši mājsaimniecībām, zaudējumi no elektroapgādes pārtraukumiem ir grūti izsakāmi naudas izteiksmē, jo monetārie zaudējumi no elektroapgādes pārtraukumiem tiem ir minimāli vai to nav vispār. Pie tāda lietotāju zaudējuma līmeņa optimālais elektroapgādes drošuma līmenis var izrādīties ļoti zems – tiks pieļauts liels elektroapgādes pārtraukumu skaits, ka arī to ilgums. Tāda situācija var apdraudēt cilvēku drošību, kā arī ekonomikas attīstību kopumā. Līdz ar to šajā situācijā izšķiroša loma ir par enerģētiku atbildīgajai ministrijai un izpildvarai (Latvijas gadījumā – Ekonomikas ministrijai un Ministru kabinetam), kurai jādefinē minimālie elektroapgādes drošuma līmeņa kritēriji, izejot no ne tikai ekonomiskajiem, bet arī sociālās drošības kritērijiem. Tas nozīmē, ka daļa no SSO tarifa nebūs atkarīga no lietotāju monetāriem zaudējumiem un līdz ar to, to neietekmēs tarifa izmaiņas, kas saistītas ar optimālā elektroapgādes drošuma līmeņa sasniegšanu un uzturēšanu.

Ņemot vērā to, ka dažādu sektoru elektroenerģijas lietotājiem elektroapgādes pārtraukumi nodara atšķirīgu kaitējumu, būtu vērts izskatīt iespēju izveidot sadales tīkla zonas ar garantēto vai augstāku par vidējo drošuma līmeni, piemēram, industriāla sektora lietotājiem. Dažos Latvijas reģionos jau darbojas daži SSO ar nelielu lietotāju skaitu, kas apkalpo noteiktas lietotāju grupas ierobežotajā teritorijā. Šādos gadījumos jāizskata iespēja izslēgt minētus SSO un speciālās sadales tīkla zonas no kopējās regulēšanas un ļaut pašiem SSO un lietotājiem panākt vienošanos par nepieciešamo drošuma līmeni.

SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS TURPMĀKAJAM DARBAM

Esošas situācijas analīze parādīja, ka Latvijā, un īpaši lauku reģionos, ir viena no sliktākajām elektroapgādes drošuma līmenim Eiropā. Atšķirības drošuma līmeņa rādītāju vērtībās ir izskaidrojamas ne tikai ar elektrotīklu struktūru un ģeogrāfisko izvietojumu, bet arī ar nevienoto metožu pielietošanu elektroapgādes drošuma līmeņa indeksu noteikšanā.

Darbā veiktā ārvalstīs pielietoto tehniski-ekonomiskās regulēšanas pieeju analīze parādīja, ka pielietotās regulēšanas pieejas nevar nodrošināt optimālo elektroapgādes drošuma līmeni, jo nepieciešamais elektroapgādes drošuma līmenis tiek noteikts pamatojoties uz citu valstu elektrotīklu drošuma līmeņiem vai ņemot vērā vidējo vēsturisko elektroapgādes drošuma līmeni. Tāpat ne visās valstīs ir novērtēti lietotāju elektroapgādes pārtraukumu zaudējumi.

Veicot elektrotīkla drošuma rādītāju analīzi tika identificēti elektroapgādes drošuma līmeņa regulēšanā pielietojamie drošuma rādītāji un pastāvošo drošuma līmeņa rādītāju klasificēšanas metožu trūkumi. Baltoties uz veiktas analīzes darbā piedāvāta jauna pieeja drošuma rādītāju klasificēšanai, kā arī rādītāji, kas būtu pielietojami regulēšanā.

Darbā ir izstrādāta elektroenerģijas lietotāju zaudējumu vērtību novērtēšanas anketa, kas balstīta uz efektīvākajām zaudējumu novērtēšanas metodikām. Piedāvātā anketa tika aprobēta darba ietvaros veiktajā elektroenerģijas lietotāju zaudējumu novērtēšanas pētījumā. Dati par lietotāju zaudējumiem iegūti ar e-pasta aptaujas palīdzību, izsūtot anketu 3000 lielākiem elektroenerģijas lietotājiem. Pētījuma ietvaros saņemto un apstrādāto rezultātu analīze parādījusi, ka tiem ir augsta ticamība un tika izvēlēts atbilstošs pētījumā iesaistīto lietotāju skaits. Veiktais lietotāju zaudējumu novērtēšanas pētījums un izstrādātā anketa var kalpot par pamatu turpmāko pētījumu veikšanai nākotnē zaudējumu vērtību aktualizēšanai.

Darbā ir analizētas elektroapgādes drošuma līmeni raksturojošo parametru noteikšanas (novērtēšanas) metodikas.

Darbā ir izpētīti un novērtēti vairāki sadales elektrotīkla elektroapgādes drošuma uzlabošanas paņēmieni ar dažādu tehnisko un ekonomisko efektivitāti. Tika izstrādāts algoritms lietotāju ar elektroapgādes pārtraukumiem saistīto zaudējumu apjomu aprēķiniem ņemot vērā laika mainīgo slodzi un zaudējumu vērtības, kā arī energoapgādes uzņēmumu izmaksu novērtēšanas algoritms.

Darbā ir padziļināti analizēti elektroapgādes drošuma uzlabošanas paņēmieni – vīdsprieguma elektrotīkla gaisvadu līniju daļēja nomaina ar kabelļlīnijām. Piedāvātie algoritmi aprobēti uz aprēķinu piemēra izmantojot reālus datus par tīklu, elektroenerģijas lietotājiem un sadales sistēmas operatoru. Aprēķini tika veikti lauku elektrotīkla tipveida shēmai, kas sastādīta uz pieejamās informācijas par elektrotīklu. Aprēķinos izmantoti promocijas darba veiktā pētījuma ietvaros iegūtie Latvijas

lietotāju laikā mainīgie zaudējumi no elektroapgādes pārtraukumiem, kā arī ņemot vērā lietotāju mainīgo slodzi. Veiktie aprēķini parādījuši kabeļlīniju izmantošanas tehniski-ekonomiskās priekšrocības un to spējas sekmēt optimālā elektroapgādes drošuma līmeņa sasniegšanu Latvijas apstākļos.

Uz veikto pētījumu, analīžu, kā arī izstrādāto algoritmu bāzes darbā ir piedāvāta elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas metodoloģija sadales tīkliem ņemot vērā elektrotīkla drošuma līmeni. Ņemot vērā to, ka piedāvātā metodoloģija paredz optimāla elektroapgādes drošuma līmeņa atrašanu un tā sasniegšanas stimulēšanu, var apgalvot, ka, sekmējot sistēmas operatora un lietotāju izdevumu/zaudējumu summas samazināšanos, piedāvātās metodoloģijas ieviešana ļauj uzlabot visas sabiedrības labklājību. Elektroapgādes drošuma līmeņa tehniski-ekonomiskās regulēšanas metodoloģijas ieviešana praksē ļaus ne tikai noteikt sadales sistēmas operatoru atbildību par tīkla attīstību lietotāju un elektroenerģijas tirgotāju priekšā, bet arī sekmēs informācijas par visas valsts elektroapgādes drošumu sakārtošanu skaidri definējot un pamatojot sadales elektrotīkla nākotnes attīstības mērķi. Minētais fakts palīdzēs uzlabot investīciju vidi valstī, jo jaunajiem uzņēmumiem būs pieejama nepārprotama informācija par elektroapgādes drošuma esošo stāvokli un tā turpmākajām izmaiņām.

Piedāvātā metodoloģija novērš pastāvošo regulējuma trūkumu un paredz SSO un regulatora ciešo iesaisti regulēšanā. Līdz ar to promocijas darba mērķis un uzdevumi ir izpildīti.

Strādājot pie metodoloģijas ieviešanas praksē var rekomendēt sadales elektrotīklu padziļināto izpēti ar mērķi noteikt elektrotīkla reģionus ar līdzīgu un atšķirīgu tīklu uzbūvi, kā arī jāizstrādā detalizētas tipveida shēmas katram no izdalītiem reģioniem.

Sagaidāmā drošuma līmeņa izmaiņu prognozēšanai no piedāvātiem elektroapgādes drošuma līmeņa uzlabošanas pasākumiem, sadales sistēmu operatoriem vairāk jāstrādā pie detalizētākas statistikas bāzes izveidošanas, kurā būtu ietverta informācija par esošo tīkla elementu bojājumiem un to iemesliem.

Neskatoties uz promocijas darba ietvaros veiktā lietotāju zaudējumu novērtēšanas pētījuma datu ticamību, arī nākotnē jāturpina lietotāju aptauju veikšana ar mērķi noteikt zaudējumus no elektroapgādes pārtraukumiem. Turpmākajos pētījumos būtu vēlams pielietot arī citus aptaujas vadīšanas veidus un metodes, kā arī veikt uz konkrēto lietotāju sektoru vai grupu orientēto aptauju, kas vēl vairāk paaugstinās iegūto rezultātu ticamību un precizitāti.

IZMANTOTO INFORMĀCIJAS AVOTU SARAKSTS

1. Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas mājas lapas sadaļa „Licences elektroenerģijas sadalei” / Internets. - <http://www.sprk.gov.lv/index.php?sadala=648>.
2. „5th Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply 2011”. – Brussels: Council of European Energy Regulators. 2011. – 260 p. / Internets. - http://www.energy-regulators.eu/portal/page/portal/EER_HOME/CEER_5thBenchmarking_Report.pdf.
3. Pinkulis A. „Sadales tīklu izaicinājumi un attīstība”. Prezentācija konferencē “Latvenergo koncerna attīstība brīvā tirgus apstākļos”, 2012. gada 7. Novembris / Internets: http://www.latvenergo.lv/portal/page/portal/Latvian/files/2012/04_LEStratKonf_Pinkulis_Tikli.pdf.
4. Brown R.E. Electric power distribution reliability. – New York, Basel: Marcel Dekker, Inc., 2002. – 365 lpp.

5. A.A. Chowdhury, D. O. Koval. Power distribution system reliability. Practical methods and applications. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 531 lpp.
6. „Economic regulation of electricity grids in Nordic countries”. – Copenhagen: NordREG Nordic Energy Regulators. 2011. – 116 p. / Internets. - [https://www.nordicenergyregulators.org/upload/Reports/Economic regulation of electricity grids in Nordic countries.pdf](https://www.nordicenergyregulators.org/upload/Reports/Economic%20regulation%20of%20electricity%20grids%20in%20Nordic%20countries.pdf).
7. Wallnerström C.J., Bertling L. Laws and regulations of Swedish power distribution system 1996-2012// CIRED Workshop. – Lyon, 2010. – 1.-4. lpp.
8. Rivier J. Critical analysis of Spanish power quality regulation design// proceedings of Market Design Conference. – Stocholm, 2003. – 29-38 pp.
9. Karotamm M. Quality Regulation Through Pricing (Estonia). Presentation from Joint ERRA Licensing/Competition & ERRA Tariff/Pricing Committees' Meeting. – Bratislava, 2009.
10. IEEE Standard 1366-2003 “IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices”. - New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Inc.. 2004. - 35 p.
11. Warren C.A., Bouford J.D., Christie R.D., Kowalewski D., McDaniel J., Robinson R., Schepers D.J., Viglietta J., Williams C. Classification of Major Event Days// Power Engineering Society General Meeting. 13-17 July 2003. 6p.
12. Warren. C., Saint B. IEEE Reliability Indices Standards - Major Event Day calculations and how it effects small utilities. Rural Electric Power Conference. 23-25 May 2004. 12p.
13. Salvati S., Fumagalli E., Schiavo L.L. and Secchi P. Analysis Of The Methodology Adopted By The Italian Regulatory Authority For Identifying Major Event Days// 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems. – Stockholm: KTH, 2006. – 1.-6.p.
14. Fumagalli E., Schiavo L.L., Salvati S. and Secchi P. Statistical Identification of Major Event Days: An Application to Continuity of Supply Regulation in Italy// IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 21. No. 2. – USA: IEEE. 2006. 761-767 p.
15. Christie R.D. Statistical methods of classifying major event days in distribution systems// Power Engineering Society Summer Meeting. 25-25 July 2002. 3p.
16. Christie R.D. Statistical classification of major event days in distribution system reliability// IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 18. No. 4. – USA: IEEE. 2003.1336-1341 p.
17. Billinton R., Allan R. Reliability evaluation of power systems: - New York and London: Plenum press. 1996. – 514 p.
18. Solver T. Reliability in Performance-Based Regulation. Licentiate thesis. Electrical power systems. Department of electrical systems. Royal Institute of Technology. Sweden, 2005. 120 lpp. / Internets. - <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:14598/FULLTEXT01> .
19. IEEE Standard 493-2007 “IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems”. - New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Inc.. 2007. - 369 p.
20. Reliability of Electric Utility Distribution Systems: EPRI White Paper. – Palo Alto: EPRI. 2000. – 177 p.
21. Karimi S., Fotuhi M., Abasspour A. Time Series Application on Reliability Evaluation of Power Systems Including Wind Turbine Generators// MaxEnt 2006. Twenty sixth International Workshop on Bayesian Inference and Maximum Entropy Methods in Science and Engineering, CNRS, Paris, France July 2006. – 1-5 pp. / Internets: <http://djafari.free.fr/maxent2006/>.
22. Wang P. Reliability Cost/Worth Consideration in Distribution System Evaluation. PhD thesis. Department of Electrical Engineering. University of Saskatchewan. – Saskatoon, Saskatchewan. 1998. – 201 p.

23. Kaur N., Gurdip S., Bedi M. S., Bhatti T. Evaluation of Customer Interruption Cost for Reliability Planning of Power Systems in Developing Economies// Proceedings of the 8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems. – Iowa: Iowa State University, 2004. – 752.-755. lpp.
24. Karki N. R., Verma A. K., Mishra A. K., Shrestha J., Bhatkar M. Industrial customers' survey for outage cost valuation in a developing country// Proceedings of the North American Power Symposium (NAPS). – Starkville: Mississippi State University, 2009. – 1.-6. lpp.
25. Kariuki K. K., Allan R. N. Factors affecting customer outage costs due to electric service interruptions// IEE Proc.-Gener. Trcsm. Distrib. Vol. 143. No. 6. 1996. 521.-528. lpp.
26. Hofmann M., Seljeseth H., Volden G. H., Kjølle G. H. Study on Estimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances. - SINTEF Energi AS, SINTEF Energy Research, 2010. 146 lpp.
27. Guidelines of Good Practice on Estimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances. Council of European Energy Regulators, 2010. – 1-72 lpp.
28. Kivikko K., Makinen A., Jarventausta P., Silvast A., Heine P., Lehtonen, M. Research and analysis method comparison in finnish reliability worth study// The 19th International Conference on Electricity Distribution. Vienna, 2007. 1.-4. lpp.
29. Kjolle G. H., Samdal K., Singh B., Kvitastein O. A. Customer Costs Related to Interruptions and Voltage Problems: Methodology and Results// IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 23, Issue: 3. 2008. 1030.-1038. lpp.
30. Balducci P.J., Roop J. M., Schienbein L. A., DeSteele J. G., Weimar M. R. Electrical Power Interruption Cost Estimates for Individual Industries, Sectors, and U.S. Economy. PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY. – USA. 2002. – 1.-44. lpp.
31. LR Valdības rīcības plāns. 2012. gads / Internets. - <http://www.mk.gov.lv/lv/mk/darbibu-reglamentejosie-dokumenti/ricibas-plans-dv/>.
32. Krēsliņš V. Nenodotās elektroenerģijas izmaksas noteikšana pie patērētāju ierobežošanas. Paskaidrojošais saraksts diplomprojektam. – Rīga: RPI, 1976. -153 lpp.
33. Lietotāju tipveida slodžu grafiki. AS „Sadales tīkls”/AS „Latvenergo” mājas lapa / Internets. - http://www.st.latvenergo.lv/portal/page/portal/Latvian/Sad_tikls/Tipveida+grafiki_jauns.htm
34. Devore J.L. Probability and statistics for engineering and the sciences. 4th ed. – USA: Brooks/Cole Publishing company, 1995. – 743 p.
35. Budahs M. Prezentācija “AS “Sadales tīkls” modernizācija un attīstības perspektīvas”. „Dienas Biznesa” rīkotā konference „Enerģētikas forums 2011”. 7.decembrī, Rīgā.
36. Antikainen J., Repo S., Verho P., Järventausta P. Possibilities to Improve Reliability of Distribution Network by Intended Island Operation. International Journal of Innovations in Energy Systems and Power, Vol. 4, no. 1, 2009. 22-28 pp. / Internets: <http://ijesp.com/Vol4No1/IJESP4-1-4Antikainen.pdf>.
37. "ENG04. Elektroenerģijas ražošana, imports, eksports un patēriņš un siltumenerģijas ražošana un patēriņš, naturālās mērvienībās (NACE 2.red.)". LR Centrālās statistikas pārvaldes datu bāzes / Internets: <http://data.csb.gov.lv/DATABASE/vide/Ikgad%C4%93jie%20statistikas%20dati/Ener%C4%A3%C4%93tika/Ener%C4%A3%C4%93tika.asp>.
38. LDM saimes datorprogrammu elektroenerģijas lietotāju slodžu grafiku datu bāze. Fizikālās enerģētikas institūts, Energosistēmu matemātiskās modelēšanas laboratorija.
39. Žurnāls “Energo Forums”, Nr.3 (31), 2011 / Internets: http://www.latvenergo.lv/portal/page/portal/Latvian/EnergoForums1/EF_3_2011.pdf.
40. Aizsargjoslu likums / Internets: <http://www.likumi.lv/doc.php?id=42348>.