

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Ilze PRIEDĪTE

**KABEĻU LĪNIJU PROBLĒMAS UN RISINĀJUMI VIDĒJĀ SPRIEGUMA
ELEKTRISKAJOS TĪKLOS**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2013

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Ilze PRIEDĪTE

Doktora studiju programmas „Enerģētika un elektrotehnika (virziens Enerģētika)” doktorante

**KABEĻU LĪNIJU PROBLĒMAS UN RISINĀJUMI VIDĒJĀ SPRIEGUMA
ELEKTRISKAJOS TĪKLOS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. sc. ing., profesors
J. ROZENKRONŠ

Rīga 2013

UDK
E1

Priedīte I. Kabeļu līniju posmu problēmas un risinājumi vidējā sprieguma elektriskajos tīklos.
Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU, 2013.-29 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Promocijas padomes P-05 (Enerģētika) 2013. gada 29. novembra lēmumu Nr. 14/13.

ISBN

PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU (enerģētikas)
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu (enerģētikas) doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2014.g. 9. janvārī plkst. 14:00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 117. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asociētā profesore, Dr.sc.ing. Svetlana Guseva
Rīgas Tehniskā universitāte, Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte, Latvija

Izpilddirektors, Dr.sc.ing. Kārlis Briņķis
Latvijas Elektroenerģētiķu un Energobūvnieku Asociācija, Latvija

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

APSTIPRINĀJUMS

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

Ilze Priedīte(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 13 tabulas un 64 attēlus, kopā 110 lappuses. Literatūras sarakstā ir 85 nosaukumi.

Saturs

Promocijas darba aktualitāte	5
Promocijas darba mērķi un uzdevumi.....	6
Pētījuma līdzekļi un metodes	6
Promocijas darba zinātniskā nozīme.....	6
Promocijas darba praktiskā nozīme	6
Promocijas darba aprobācija	7
Publikācijas	8
Promocijas darba struktūra un apjoms	9
1. Vidējā sprieguma apakšzemes kabeļu līniju PE apvalka novecošanās likumsakarību izpēte	9
2. Uz ekonomiskiem apsvērumiem balstīts optimāla līnijas veida (GVL, KL un IVGVL) izvēles algoritms.....	12
3. Metode pieskarsprieguma noteikšanai zemesslēguma gadījumā vidējā sprieguma tīklos	16
4. Optimāla neitrāles režīma izvēles un pārbaudes pēc pieskarsprieguma algoritms	20
Secinājumi un rekomendācijas turpmākajam darbam	24

Promocijas darba aktualitāte

Pašlaik tiek turpināta AS „Sadales tīkls” 2011. gadā uzsāktā 230 miljonu latu investīciju programma apmēram 6000km gara gaisvadu līniju (GVL) mežos aizstāšanai ar 20 kV kabeļu līnijām (KL). To ir paredzēts realizēt 35 gadu laikā un šobrīd ir izstrādāts investīciju plāns pirmajiem pieciem gadiem. [4]

Plānotie kabeļu apjomi un izmaksas 35 gadu programmas pirmajos 5 gados [4]

Gads	2011	2012	2013	2014	2015
milj. Ls	1,5	3,8	5,8	7,7	7,7
km	39	100	150	200	200

Palielinot vīdsprieguma tīklos kabeļu posmu īpatsvaru GVL (AS „Sadales tīkls” uzsāktās 230 miljonu latu investīciju ietvaros [4]), aktualizēsies dažādas problēmas, tostarp, problēmas, kas saistītas ar zemesslēgumiem. Divkārsu zemesslēgumu gadījumā liela daļa vai pat visa bojājuma strāva plūst caur kabeļa ekrānu un karsē apvalku. Šī promocijas darba nodaļa ir veltīta kabeļu PE apvalku novecošanās izpētei.

Aizvietojot GVL ar KL vīdsprieguma tīklā (tādējādi veidojot jauktos tīklus), ir būtiski pareizi izvēlēties neitrāles darba režīmu, jo GVL un KL ir atšķirīgas prasības neitrāles režīmam, t.i., KL gadījumā bojājumi ir nepārejoši, tādēļ tie ir jāatslēdz nekavējotī, bet GVL bojājumi var būt gan nepārejoši, gan pārejoši, tādēļ tajās ir ieteicams uzstādīt automatiskās atkalieslēgšanas ierīces (AAI). No neitrāļu režīma tiešā veidā ir atkarīgs tīkla darba drošums un tīkla izbūves izmaksas. Pareizi izvēlēts neitrāļu režīms samazina bojājumu skaitu, ilgumu un divkārsu zemesslēgumu risku. Tāpēc pašlaik ir ļoti liela nepieciešamība pēc ērta un viegli lietojama neitrāļu režīma izvēles un pārbaudes pēc pieskārsprīeguma algoritma, kas ļautu inženieriem nekļūdiģi izvēlēties optimālu neitrāles režīmu.

Saistībā ar kabeļu izmaksām valda mīts, ka tās ir ļoti dārgas un tādēļ ārpus pilsētām lietojamas tikai izņēmuma kārtā (lai gan problēmas rada arī attiecības ar zemes īpašniekiem, šajā darbā tās netiek aplūkotas, jo šī problēma ir kopēja daudzām valstīm). Šo mītu uztur un atbalsta ārvalstu pētījumi. Piemēram, saskaņā ar Florida Power & Light Company (FPL) datiem KL izbūves izmaksas ir 5 līdz 15 reizes lielākas nekā GVL (pilsētu teritorijās, zem ceļiem un grūti rokamās augsnēs, piemēram, granīts, akmeņi, u. tml. izmaksas ir lielākas, bet atklātās pļavās, viegli piekļūstamās vietās, bez kokiem izmaksas ir ievērojami zemākas), bet izolētu vadu gaisvadu līnijas (IVGVL) izbūves izmaksas ir 10 līdz 20% lielākas nekā GVL. Savukārt Somijā veiktā pētījuma rezultāti rāda, ka kabeļi lauku rajonu centros un rūpniecības zonās ir par apmēram 30% dārgāki, salīdzinot ar IVGVL. Lielbritānijā veiktā pētījuma rezultāti apkopoti tabulā. [27, 29]

KL izmaksu attiecība pret GVL [27, 29]

Spriegums [kV]	KL izmaksu attiecība pret GVL pamatojoties uz	
	izbūves izmaksām	dzīves cikla izmaksām
11kV	1-2	1
20kV	1.2-1.5	1
33kV	2.5-3	1.4
66kV	3	1.5

No šiem ārvalstu pētījumiem ir redzams, ka katrā valstī kabeļu izbūves izmaksas ir atšķirīgas valsts ģeogrāfiskā stāvokļa un augsnes ģeoloģiskās struktūras dēļ. Latvijā nevar izmantot citu valstu pētījumus, jo izbūvēt KL smilšainajā Latvijas priežu mežā ir nesalīdzināmi lētāk nekā Somijas granīta klintīs. Tieši tādēļ pašreiz ir akūta nepieciešamība pēc dažādu līniju veidu (IVGVL, GVL un KL) ekonomiskā novērtējuma algoritma. Šāds algoritms dod iespēju veikt salīdzinošus aprēķinus, lai izlemtu, kurš no līniju veidiem ir vīsekonomiskākais konkrētajā situācijā- turklāt ne tikai izbūves izmaksu ziņā, bet arī ekspluatācijas un bojājumu novēršanas ziņā.

Līdz 2011. gadam Latvijā zemējumietais projektēja un izveidoja atbilstoši LEK 048 ar normētām zemējumietais izplūdpresetībām. 2011. gadā ir pieņemts jaunais LVS EN50522 standarts, kur zemējumietais pamatparametrs ir pieļaujamais pieskarspriegums nevis zemējumietais izplūdpresetība. Jaunajā standartā LVS EN50522 nav dota aprēķinu metode vidsprieguma apakšstaciju zemējumietaisēm. Tādējādi ir svarīgi izstrādāt metodi pieskarsprieguma aprēķinam zemeslēguma gadījumā vidsprieguma tīklos, ievērojot zemesslēguma strāvas atgriešanos barošanas centrā pa vidsprieguma kabeļu metāla ekrāniem, atkārtotiem zemētājiem 0.4kV tīklā un galvaniski saistīto tīklu transformatoru apakšstaciju zemējumietaisēm.

Promocijas darba mērķi un uzdevumi

1. Veikt kabeļu PE apvalka novecošanās likumsakarību izpēti.
2. Izstrādāt uz ekonomiskiem apsvērumiem balstītu optimālās līnijas veida izvēles algoritmu.
3. Izstrādāt metodi pieskarsprieguma aprēķinam zemeslēguma gadījumā vidsprieguma tīklos, ievērojot zemesslēguma strāvas atgriešanos barošanas centrā pa vidējā sprieguma kabeļu metāla ekrāniem, atkārtotos zemētājus 0.4kV tīklā un galvaniski saistīto tīklu transformatoru apakšstaciju zemējumietaisēs.
4. Noteikt atkārtotā zemētāja pilnās pretestības ietekmi uz pieskarsprieguma vērtību.
5. Noteikt PEN vada pretestības ietekmi uz zemētājietaisēs pilno pretestību.
6. Izstrādāt neitrāles režīmu izvēles un pārbaudes pēc pieskarsprieguma algoritmu.

Pētījuma līdzekļi un metodes

1. Literatūras un pētījumu rezultātu analīze polietilēna (PE) apvalku destrukciju un par neitrāles režīmu pielietojuma veidiem, elektrolīniju bojājumu veidiem, utt.
2. Eksperimenti ar diferenciāli skenējošo kalorimetru (DSC), lai noteiktu kabeļu apvalka destrukcijas sākuma temperatūru un eksperiments mufelkrāsnī, lai noteiktu kabeļu apvalka termisko izturību ilgstošā režīmā.
3. Datorprogrammas EXCEL un MathCAD tika lietotas ekonomiskiem, kabeļu apvalka temperatūras un pieskarsprieguma aprēķiniem.

Promocijas darba zinātniskā nozīme

1. Veikta kabeļu PE apvalka novecošanās likumsakarību izpēte.
2. Izstrādāts uz ekonomiskiem apsvērumiem balstīts optimālās līnijas veida izvēles algoritms.
3. Izstrādāta metode pieskarsprieguma aprēķinam zemeslēguma gadījumā vidējā sprieguma tīklos, ievērojot zemesslēguma strāvas atgriešanos barošanas centrā pa vidējā sprieguma kabeļu metāla ekrāniem, atkārtotos zemētājus 0.4kV tīklā un galvaniski saistīto tīklu transformatoru apakšstaciju zemējumietaisēs.
4. Izstrādāts vidējā sprieguma neitrāles režīmu izvēles un pārbaudes pēc pieskarsprieguma algoritms, kurš ļauj vienkārši un ātri izvēlēties optimālo neitrāles režīmu.
5. Noteikta atkārtotā zemētāja pilnās pretestības ietekme uz pieskarsprieguma vērtību.
6. Izstrādāts neitrāles režīmu izvēles un pārbaudes pēc pieskarsprieguma algoritms.

Promocijas darba praktiskā nozīme

1. Veiktā kabeļu PE apvalka novecošanās likumsakarību izpēte sniedz sadales tīklu ekspluatācijas inženieriem jaunas zināšanas par kabeļu PE apvalka novecošanos.
2. Izstrādātais uz ekonomiskiem apsvērumiem balstītais optimālās līnijas veida izvēles algoritms ļauj ātri un ērti salīdzināt un izvērtēt dažādu līniju veidu izbūves, ekspluatācijas un bojājumu novēršanas izmaksas atkarībā no tā, kādā vidē atrodas elektropārvades līnija (klajumā, mežā vai zem asfalta) un atkarībā no tā, vai līnija tiek izbūvēta par uzņēmumu iekšējiem vai ārējiem finanšu līdzekļiem.

3. Izstrādātā metode pieskarsprieguma aprēķinam zemeslēguma gadījumā vidējā sprieguma tīklos, ievērojot zemesslēguma strāvas atgriešanos barošanas centrā pa vidējā sprieguma kabeļu metāla ekrāniem, atkārtotos zemētājus 0.4kV tīklā un galvaniski saistīto tīklu transformatoru apakšstaciju zemējumietaises, ir ārkārtīgi noderīga sadales tīklu ekspluatācijas inženieriem, jo tā ļauj ērti un ātri veikt aprēķinus vidējā sprieguma apakšstaciju zemējumietaisēm.
4. Noteikta atkārtotā zemētāja pilnās pretestības ietekme uz pieskarsprieguma vērtību. Iegūtā pieskarsprieguma vērtības procentuālās izmaiņas līkne atkarībā no atkārtotā zemētāja pilnās pretestības (par bāzi pieņemot 30 Ω) var būt noderīga sadales tīklu ekspluatācijas inženieriem, novērtējot atkārtotā zemētāja pilnās pretestības izmaiņas lietderību.
5. Noteikta PEN vada pretestības ietekmi uz zemētājietaisies pilno pretestību var būt noderīga sadales tīklu ekspluatācijas inženieriem, novērtējot PEN vada pretestības ietekmi uz zemētājietaisies pilno pretestību.
6. Izstrādātais neitrāļu režīma izvēles un pārbaudes pēc pieskarsprieguma algoritms ir ērts, viegli lietojams un ļauj inženieriem nekļūdīgi izvēlēties neitrāles režīmu, tādējādi palielinot tīkla drošumu (samazina vienfāzes zemesslēguma skaitu, ilgumu un divkāršu zemesslēgumu risku) un optimizēt tīkla izbūves izmaksas.

Promocijas darba aprobācija

1. J. Rozenkrons, V. Sults, I. Priedite. Quenching of Partial Discharges in medium voltage networks by traditional arc suppression coil // „Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ)”, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Kuressaare, Estonia, June 16-18, 2010.- Conference Proceedings, P. 203 – 206, ISBN: 978-1-4244-6978-9
2. Ilze Priedite-Razgale, Aleksandrs Lvovs, Janis Rozenkrons. Feasibility Study of GVL Replacement with Underground Cable Lines in the MV Distribution Network, CYSENI 2012, 9th International Conference of Young Scientists on Energy Issues, May 24-25, 2012, Kaunas, Lithuania, ISSN 1822-7554, (referred in INSPEC database).
3. Ilze Priedite-Razgale, Janis Rozenkrons. Development of the algorithm and software “MVES-TV 2012” for calculation of touch voltage in MV networks with low resistance neutral earthing, EPE 2012, 13th International Scientific Conference on Electric Power engineering, May 23–25, 2012, Brno, Czech Republic, ISBN 978 - 80 - 214 - 4514 – 7 (Conference Proceedings Citation Index CPCI on ISI Web of Knowledge)
4. Ilze Priedite-Razgale, Janis Rozenkrons. Development of the Algorithm and Software “MVES-GS 2012” for Selection of the Neutral Grounding Type in Medium Voltage Networks, ERD 2012, 11th International Scientific Conference Engineering for Rural Development proceedings, Vol 11, May 24-25, 2012, Jelgava, Latvia, ISSN 1691-5976, page 511-515 (ABSTRACTED AND INDEXED: AGRIS; CAB ABSTRACTS; CABI full text; EBSCO Academic Search Complete; Thomson Reuters Web of Science; Elsevier Scopus; PROQUEST database)
5. Ilze Priedite-Razgale, Aleksandrs Lvovs, Vilnis Kreslins. Analysis and Comparison of Distribution System Costs, Dependant on Cable and Overhead Lines' Fault Probabilities and Maintenance Cost Difference, PMAPS` 2012, 12th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, June10-14, 2012, Istanbul, Turkey (published in IEEEExplore)
6. Ilze Priedite-Razgale, Janis Rozenkrons. Development of the Algorithm and Software “MVES-TV 2012” for Assessment of Touch Voltage in MV Networks with Compensated Neutral Earthing, PQ2012, 8th International Conference 2012 Electric Power Quality and Supply Reliability, June16-18, 2012, Tartu, Estonia (published in IEEEExplore)
7. Aleksandrs Lvovs, Ilze Priedite-Razgale, Janis Rozenkrons, Vilnis Kreslins. Assessment of Different Power Line Types` Life-time Costs in Distribution Network From Reliability Point of View, PQ2012, 8th International Conference 2012 Electric Power Quality and Supply Reliability, June16-18, 2012, Tartu, Estonia (published in IEEEExplore)
8. Ilze Priedite-Razgale, Jānis Rozenkrons. Development of an Algorithm and Software “MVES-TV2012” for Touch Voltage Calculation in MV Networks. Riga Technical University 53rd

International Scientific Conference and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni, October 10-12, 2012, Riga, Latvia.

9. Ilze Priedite-Razgale, Juris Bitenieks. Single phase earth fault impact on underground cable outer PE jacket in MV isolated neutral systems, EPE 2013, 14th International Scientific Conference on Electric Power engineering, May 28–30, 2013, Jeseniky, Czech Republic, (Conference Proceedings Citation Index CPCI on ISI Web of Knowledge)

Publikācijas

Starptautiski referējamos izdevumos

1. J. Rozenkrons, V. Sults, I. Priedite. Quenching of Partial Discharges in medium voltage networks by traditional arc suppression coil // „Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ)”, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Kuressaare, Estonia, June 16-18, 2010.- Conference Proceedings, P. 203 – 206, ISBN: 978-1-4244-6978-9
2. Ilze Priedite-Razgale, Aleksandrs Lvovs, Janis Rozenkrons. Feasibility Study of GVL Replacement with Underground Cable Lines in the MV Distribution Network, CYSENI 2012, 9th International Conference of Young Scientists on Energy Issues, May 24-25, 2012, Kaunas, Lithuania, ISSN 1822-7554, (referred in INSPEC database).
3. Ilze Priedite-Razgale, Janis Rozenkrons. Development of the algorithm and software “MVES-TV 2012” for calculation of touch voltage in MV networks with low resistance neutral earthing, EPE 2012, 13th International Scientific Conference on Electric Power engineering, May 23–25, 2012, Brno, Czech Republic, ISBN 978 - 80 - 214 - 4514 – 7 (Conference Proceedings Citation Index CPCI on ISI Web of Knowledge)
4. Ilze Priedite-Razgale, Janis Rozenkrons. Development of the Algorithm and Software “MVES-GS 2012” for Selection of the Neutral Grounding Type in Medium Voltage Networks, ERD 2012, 11th International Scientific Conference Engineering for Rural Development proceedings, Vol 11, May 24-25, 2012, Jelgava, Latvia, ISSN 1691-5976, page 511-515 (ABSTRACTED AND INDEXED: AGRIS; CAB ABSTRACTS; CABI full text; EBSCO Academic Search Complete; Thomson Reuters Web of Science; Elsevier Scopus; PROQUEST database)
5. Ilze Priedite-Razgale, Aleksandrs Lvovs, Vilnis Kreslins. Analysis and Comparison of Distribution System Costs, Dependant on Cable and Overhead Lines' Fault Probabilities and Maintenance Cost Difference, PMAPS` 2012, 12th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, June 10-14, 2012, Istanbul, Turkey (published in IEEEXplore)
6. Ilze Priedite-Razgale, Janis Rozenkrons. Development of the Algorithm and Software “MVES-TV 2012” for Assessment of Touch Voltage in MV Networks with Compensated Neutral Earthing, PQ2012, 8th International Conference 2012 Electric Power Quality and Supply Reliability, June 16-18, 2012, Tartu, Estonia (published in IEEEXplore)
7. Aleksandrs Lvovs, Ilze Priedite-Razgale, Janis Rozenkrons, Vilnis Kreslins. Assessment of Different Power Line Types` Life-time Costs in Distribution Network From Reliability Point of View, PQ2012, 8th International Conference 2012 Electric Power Quality and Supply Reliability, June 16-18, 2012, Tartu, Estonia (published in IEEEXplore)
8. Ilze Priedite-Razgale, Jānis Rozenkrons. Development of an Algorithm and Software “MVES-TV2012” for Touch Voltage Calculation in MV Networks. Riga Technical University 53rd International Scientific Conference and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni, October 10-12, 2012, Riga, Latvia.
9. Ilze Priedite-Razgale, Juris Bitenieks. Single phase earth fault impact on underground cable outer PE jacket in MV isolated neutral systems, EPE 2013, 14th International Scientific Conference on Electric Power engineering, May 28–30, 2013, Jeseniky, Czech Republic, (Conference Proceedings Citation Index CPCI on ISI Web of Knowledge)
10. Ilze Priedite-Razgale, Jānis Rozenkrons. Development of an Algorithm and Software “MVES-TV2012” for Touch Voltage Calculation in MV Networks. RTU Zinātniskie raksti, Enerģētika un elektrotehnika 31. sējums, sērija 4. – RTU, Rīga, 2013. – 79.-85.lpp.(ISSN 1407-7345).

Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā, tas satur ievadu, 4 nodaļas, literatūras sarakstu. Darba kopējais apjoms ir 110 datorsalikuma lappuses, kurās ietverti 64 attēli un 13 tabulas. Literatūras sarakstā norādīti 85 izmantotās literatūras avoti.

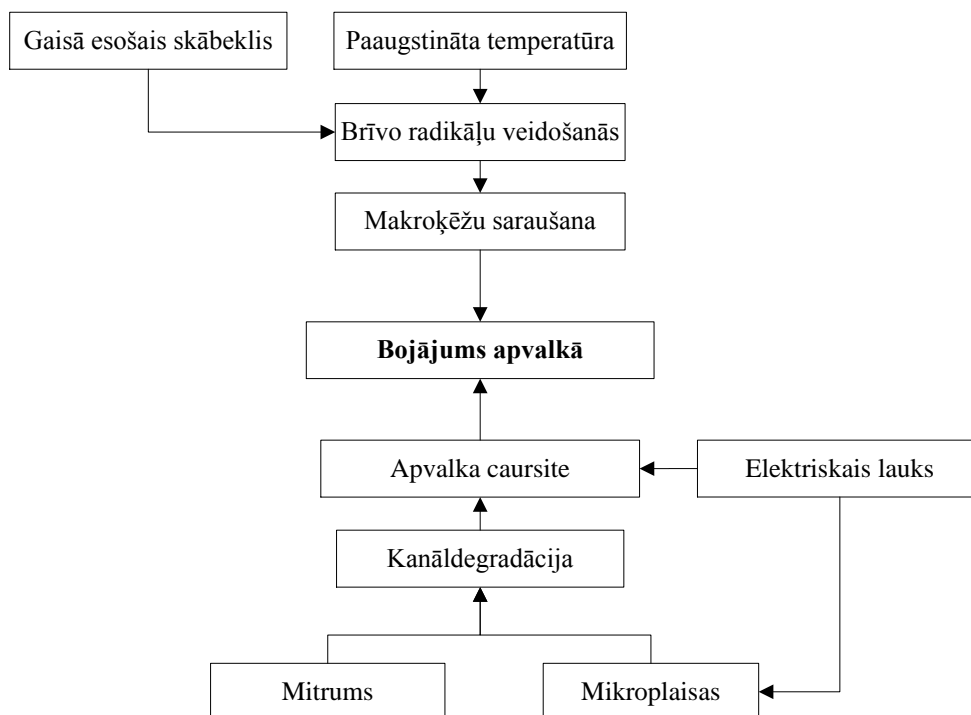
1. Vidējā sprieguma apakšzemes kabeļu līniju PE apvalka novecošanās likumsakarību izpēte

Šajā nodaļā tiek analizēti vidējā sprieguma apakšzemes kabeļu apvalka silšanas cēloņi, veikts šo kabeļu apvalka fizikāli ķīmisko īpašību novērtējums, analizēta kabeļu apvalka destrukcija, veikta kabeļu PE apvalka termiskās stabilitātes pārbaude ar DSC.

Palielinot vidējā sprieguma tīklos kabeļu posmu īpatsvaru GVL (AS „Sadales tīkls” uzsāktā 230 miljonu latu investīciju programma[4]), aktualizēsies dažādas problēmas, tostarp, problēmas, kas saistītas ar divkāršajiem zemesslēgumiem. Divkāršo zemesslēgumu gadījumā liela daļa vai pat visa bojājuma strāva plūst caur kabeļa ekrānu un karsē izolāciju un apvalku. Šī promocijas darba nodaļa ir veltīta polietilēna apvalka novecošanās likumsakarību izpētei.

Kabeļu apvalka silšana ir atkarīga no tīkla darba režīma, t.i., silšana normālā slodzes režīmā, silšana vienfāzes zemesslēguma gadījumā un silšana divkārša zemesslēguma gadījumā. Vidējā sprieguma kabeļu tīklos ar izolētu neitrāli nav paredzēta automātiska, ātra zemesslēguma strāvu atslēgšana. Pēc veiktajiem pētījumiem dažos 20kV tīklos vienfāzes zemesslēguma strāvas vietās, kur nav uzstādīta dzēšspole var sasniegt pat 100A.

Kabeļu PE apvalka destrukcijas process vienkāršoti parādīts 1.1. attēlā. [13]



1.1. att. Apakšzemes kabeļu apvalka destrukcijas process [11, 13]

Tādēļ RTU Polimērmateriālu institūtā promocijas darba izstrādāšanas ietvaros tika veikta kabeļu ārējā PE apvalka analīze, izmantojot Mettler Toledo diferenciāli skenējošo kalorimetru (DSC), slāpekļa atmosfērā, temperatūras diapazonā no 25...300°C (paraugiem ar augstāku kušanas temperatūru diapazons no 25...380°C) ar pastāvīgu sildīšanas ātrumu 10°C/min, kas ļāva novērtēt 12 XLPE izolācijas kabeļu PE apvalku kristāliskās fāzes kušanas parametrus (kušanas pīķa maksimuma temperatūru T_{m1} , kušanas temperatūru diapazonu ΔT_{m1}). Šie raksturlielumi tika noteikti izmantojot oriģinālo programmu METTLER GraphVare TA72PS.5.

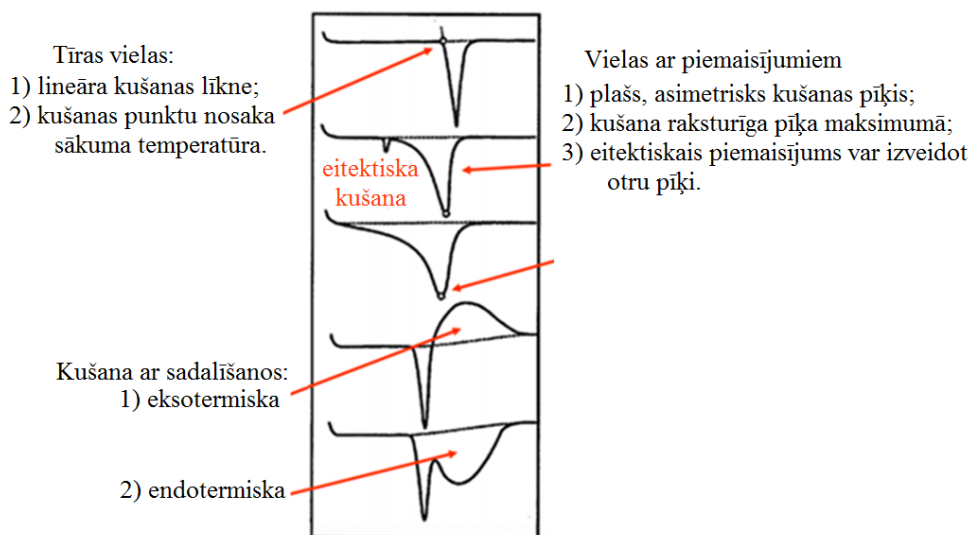
Pētījumā tika izmantoti AS „Sadales tīkls” 6 viendzīslas un 6 trīsdzīslu XLPE kabeļi ar atšķirīgu ekspluatācijas ilgumu, spriegumu un ražotāju. PE paraugi (~9.5mg) tika iekapsulēti standarta alumīnija

pannā. Visu šo kabeļu tehniskajā specifikācijā ir norādīts, ka dzīslai maksimāli pieļaujamā temperatūra ilgstošā darbā ir 90°C (rekomendējama temperatūra gan ir tikai 65°C), bet maksimāli pieļaujamā temperatūra īsslēguma gadījumā ir 250°C (līdz 5 sekundēm). [30, 7, 12]

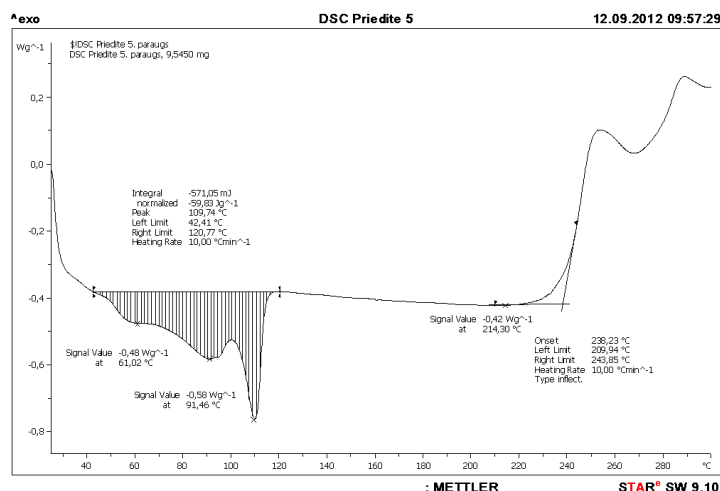
Kabeļu apvalku materiāli ir dažāda blīvuma polietilēns ar atšķirīgām piedevām. Tādēļ to kušanas temperatūras intervāli ir atšķirīgi, t.i., kristāliska polimēra kušana notiek temperatūras intervālā. To nosaka polimēra kristāliskuma pakāpe un kristāliskās struktūras sakārtotības pakāpe (mazāk sakārtoti kristāliski veidojumi kūst pie zemākas temperatūras). Materiāla tīrību ir iespējams noteikt pēc DSC līknēm, kā parādīts 1.2. att. [21]

1.3. attēlā parādīta parauga Nr.5 dinamiskā DSC termogramma. Termogrammā var redzēt, ka šim materiālam ir raksturīgs plašs, vairāku pīķu kušanas režīms temperatūras intervālā no 42°C līdz 121°C temperatūrā. Kušanas pīķa maksimums ir vērojams pie temperatūras 109,74°C. Turklāt divi papildus pārklājušos kušanas pīķi, ko var novērot zemākās temperatūrās, t.i., pie 91,46°C un 61,02°C, liecina par daudzkomponentu materiālu. Materiāla termiskā sadalīšanās skaidri redzama pie 238,23°C temperatūras.

Viendzīslu XLPE kabeļu ārējā PE apvalka pārbaudes rezultāti apkopoti 1.1. tabulā. Saskaņā ar literatūru, kušanas temperatūra zema blīvuma PE ir ap 98...115°C, vidēja blīvuma ap 122...124°C, bet augsta blīvuma PE 130...137°C [13, 17], tādējādi var secināt, ka paraugu Nr.7 un Nr.5 galvenā sastāvdaļa visdrīzāk ir zema blīvuma PE, bet paraugu Nr.6 un Nr.8 galvenā sastāvdaļa visdrīzāk ir vidēja blīvuma PE. No tā izriet, ka paraugu Nr.7 un Nr.5 galvenais komponents visticamāk ir zema blīvuma PE, bet paraugu Nr.6 un Nr.8 galvenais komponents visticamāk ir vidēja blīvuma PE. Paraugu Nr.1 un Nr.11 galvenais komponents, kas neuzrāda ievērojamu kušanas pīķi, visdrīzāk ir kāds polimēra kopolimērs ar zemu kristāliskuma pakāpi.



1.2. att. Kušanas process DSC [21]



1.3. att. Parauga Nr.5 termogramma

Viendzīslu XLPE kabeļu ārējā apvalka pārbaudes rezultāti

Parauga Nr.	Spriegums, KV	Ārējais PE apvalks	Ekspluatācijas ilgums, gados	Kušanas sākuma temperatūra, °C	Kušanas pīķis, °C	Materiāla termiskā sadalīšanās, °C
1	10	PE UV-izturīgs	2007 ^a	_*	_*	280.64
7	10	PE DMP2	12	57.69	85.76	310.66
5	20	PE kompaunds	5	42.41	109.74	238.23
11	20	PE kompaunds	6	_*	_*	278.14
6	20	PE noturīgs pret laikapstākļiem	6	53.45	120.05	275.53
8	20	PE noturīgs pret laikapstākļiem	6	44.12	124.09	267.77

^a Izgatavošanas gads (nelietots kabelis no noliktavas).

*Materiāla kristāliskās daļas kušana ir nenozīmīga, tas visdrīzāk ir izskaidrojams ar materiāla amorfajām īpašībām.

Trīsdzīslu XLPE kabeļu ārējā PE apvalka pārbaudes rezultāti apkopoti 1.2. tabulā.

Trīsdzīslu XLPE kabeļu ārējā apvalka pārbaudes rezultāti

Parauga Nr.	Spriegums, KV	Ārējais PE apvalks	Ekspluatācijas ilgums, gados	Kušanas sākuma temperatūra, °C	Kušanas pīķis, °C	Materiāla termiskā sadalīšanās, °C
2	20	PE	4	53.44	103.50	268.45
3	10	PE	3	56.91	97.75	286.02
4	10	PE	3	34.54	94.80	290.57
9	10	PE	2011 ^a	76.36	126.08	268.61
10	10	LLD PE	2012 ^a	268.37	334.76	268.37
12	10	PE	11	57.77	106.22	270.65

^a Izgatavošanas gads (nelietots kabelis no noliktavas)

Rezultāti rāda, ka paraugu Nr. 2., Nr.3, Nr.4. un Nr.12. visdrīzāk ir izgatavoti no zema blīvuma PE, bet parauga Nr.9. galvenais komponents visdrīzāk ir izgatavots no vidēja vai augsta blīvuma PE. Paraugs Nr.10 neuzrāda ievērojamu kušanu, tādējādi visticamāk, tas ir izgatavots no polietilēna kopolimēra vai kāda cita elastīga materiāla ar zemu kristāliskuma pakāpi.

Iegūtie rezultāti rāda, ka polimēru apvalkam nav iespējams noteikt tādu novecošanās likumsakarību kā impregnēta papīra izolācijas kabeļiem (6°C palielina izolācijas novecojumu divkārti), jo PE apvalks netiek izgatavots no tīra polietilēna. Katrs apvalka materiāls tiek izgatavots no dažāda blīvuma polietilēna ar atšķirīgām piedevām (antioksidanti, antipirēni, plastifikatori, stabilizatori, utt.), kas tik ļoti maina šo materiālu fizikāli-ķīmiskās īpašības, ka tie nav savstarpēji salīdzināmi. Līdz ar to novecošanās likumsakarībās būtu iespējams iegūt tikai konkrēta ražotāja konkrētas kabeļu markas kabeļiem. Praktiski tas nozīmētu to, ka katra ražotāja katra kabeļu markas izpētei ir jāvelta 30-40 gadi, lai novērtētu, kā šajos 30-40 gados ir mainījušās šī konkrētā ražotāja konkrētās kabeļu markas kabeļa apvalks. Tas ir laika un resursu ietilpīgs pētījums, kura lietderība ir apšaubāma, jo nemiļīgi tiek izstrādāti jauni kabeļu apvalku polimērmateriālu kompaundi, kuru īpašības būtiski atšķiras no iepriekš ražotajiem.

2. Uz ekonomiskiem apsvērumiem balstīts optimāla līnijas veida (GVL, KL un IVGVL) izvēles algoritms

Šajā nodaļā tiek analizētas izbūves, ekspluatācijas un bojājumu novēršanas izmaksas dažādiem līniju konstrukciju veidiem, piedāvāts uz ekonomiskiem apsvērumiem balstīts optimālas līnijas veida izvēles algoritms, kā arī aprēķina piemērs.

Saistībā ar kabeļu izmaksām valda mīts, ka tās ir ļoti dārgas un tādēļ lietojamas tikai izņēmuma kārtā. Šo mītu uztur un atbalsta ārvalstu pētījumi. Piemēram, saskaņā ar Florida Power & Light Company (FPL) datiem KL izbūves izmaksas ir 5 līdz 15 reizes dārgākas nekā GVL (pilsētu teritorijās, zem ceļiem un grūti rokamās augsnēs, piemēram, granīts, akmeņi, u. tml. izmaksas ir dārgākas, bet atklātās, viegli piekļūstamās vietās, bez kokiem, piemēram, pļavās, krūmājos, lauksaimniecības zemē, ievērojami lētākas), bet IVGVL izbūves izmaksas ir 10 līdz 20% dārgākas nekā GVL. Savukārt Somijā veiktā pētījuma rezultāti rāda, ka kabeļi lauku rajonu centros un rūpniecības zonās ir par apmēram 30% dārgāki, salīdzinot ar IVGVL. Lielbritānijā veiktā pētījuma rezultāti apkopoti 2.1. tabulā. [27, 29]

2.1. tabula

KL izmaksu attiecība pret GVL [27, 29]

Spriegums [kV]	Pamatojoties uz izbūves izmaksām	Pamatojoties uz dzīves cikla izmaksām
11kV	1-2	1
20kV	1.2-1.5	1
33kV	2.5-3	1.4
66kV	3	1.5

No šiem ārvalstu pētījumiem ir acīmredzams tas, ka katrā valstī kabeļu izbūves izmaksas ir atšķirīgas, jo katrai valstij ir atšķirīgs ģeogrāfiskais stāvoklis un ģeoloģiskā struktūra. Latvijā nevar izmantot citu valstu pētījumus, jo izbūvēt KL smilšainajā Latvijas priežu mežā ir nesalīdzināmi lētāk nekā Somijas granīta klintīs. Tieši tādēļ pašreiz ir akūta nepieciešamība pēc dažādu līniju veidu (IVGVL, GVL un KL) ekonomiskā novērtējuma algoritma. Šāds algoritms dod iespēju veikt salīdzinošus aprēķinus, lai izlemtu, kurš no līniju veidiem ir visekonomiskākais- turklāt ne tikai izbūves izmaksu ziņā, bet arī ekspluatācijas un bojājumu novēršanas ziņā. Dažkārt līnija ar augstākām izbūves izmaksām izrādās lētāka par līniju ar zemākām izbūves izmaksām, ja apskata visu līnijas ekspluatācijas laiku.

Kopējās ikgadējās izmaksas katram līniju veidam visā tā dzīves ciklā iegūst, saskaitot kopā attiecīgās līnijas visu trīs dzīves cikla posmu- izbūves, ekspluatācijas un bojājumu novēršanas- izmaksas saskaņā ar 2.1. izteiksmi [14]:

$$C = C_i + C_{mi} + C_{f.e.i} \quad (2.1)$$

kur C_i – kopējās līnijas izbūves izmaksas [naudas vienības/laika periods];
 C_{mi} – kopējās līnijas ekspluatācijas izmaksas [naudas vienības/laika periods];
 $C_{f.e.i}$ – kopējās līnijas bojājumu novēršanas izmaksas [naudas vienības/laika periods].

Ekspluatācijas izmaksas, tāpat kā izbūves un bojājumu novēršanas izmaksas, katram līniju veidam ir atšķirīgas, tāpēc katram no tiem šis izmaksu aprēķins jāveic ar konkrētam līnijas veidam atbilstošu izteiksmi. Piemēram, GVL un IVGVL ekspluatācijas izmaksas aprēķina saskaņā ar 2.2. izteiksmi [20]:

$$C_{mi} = N_i \cdot (C_{org} + C_{op.s} + C_m) \cdot \frac{l_i}{100} + l_i \cdot 1000 \cdot l_{pzi} \cdot C_{cpz} \cdot \frac{1}{P_{cpz}}, \quad (2.2)$$

kur N_i – profilakses remontu/darbu skaita izmaksas viena gada laikā [naudas vienība/(km*gads)];
 C_{org} – darbu organizēšanas un pielaišanas pie darba organizēšanas izmaksas [naudas vienība/profilakses remonts];
 $C_{op.s}$ – operatīvo pārslēgumu veikšanas izmaksas [naudas vienība/pārslēgums];

C_m – profilakses remonta laikā izmantoto materiālu izmaksas [naudas vienība/profilakses remonts];
 l_i – līnijas ar parametriem i garums [km];
 $l_{pz.i}$ – kopējais aizsargjoslas platums (uz abām pusēm no līnijas) elektrolīnijai ar parametriem i [m];
 C_{cpz} – aizsargjoslas uzturēšanas izmaksas [naudas vienības/m²];
 p_{cpz} – laika intervāls starp aizsargjoslas uzturēšanas darbu veikšanu [gados].

Savukārt KL ekspluatācijas izmaksas aprēķina saskaņā ar 2.3. izteiksmi [20]:

$$C_{mi} = \frac{l_i \cdot 1000 \cdot l_{pz.i} \cdot C_{cpz}}{p_{cpz}}, \quad (2.3.)$$

kur l_i – KL ar parametriem i garums [km];
 $l_{pz.i}$ – kopējais aizsargjoslas platums (uz abām pusēm no līnijas) KL ar parametriem i [m];
 C_{cpz} – aizsargjoslas uzturēšanas izmaksas [naudas vienība/m²];
 p_{cpz} – laika intervāls starp aizsargjoslas uzturēšanas darbu veikšanu [gados].

Ne vienmēr optimālais līniju veids katram konkrētam gadījumam ir tikai viena veida līnija. Tas ir saistīts ar to, ka nereti viena līnijas trase atrodas dažādās vidēs, piemēram, mežā, pļavā (krūmājos, lauksaimniecības zemē), zem asfalta, u. tml. Šī iemesla dēļ dažkārt optimāls risinājums ir vairāku līniju veidu kombinācija, atkarībā no vides, kādā līnija atrodas. Vairāku līniju veidu kombinācijas izmaksas aprēķina saskaņā ar 2.4. izteiksmi [20]:

$$C = \sum_{i=1}^n (C_i + C_{mi} + C_{fe.i}) \quad (2.4)$$

kur C – vairāku līniju veidu kombinācijas kopējās izmaksas aprēķina 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 – ciparu, kas atbilst konkrētajam līnijas veidam (vairāku līniju veidu kombinācijas gadījumā katru līnijas veidu apzīmē ar ciparu);
 n – kopējais līniju veidu skaits, kas tiek izmantots tīkla izbūvei.

Izbūves izmaksas ir atkarīgas arī no tā, vai tīkla attīstības projekts tiks veikts ar uzņēmuma iekšējiem finanšu līdzekļiem (piemēram, ietaupījumi no bojājumu novēršanas līdzekļiem, ja attiecīgajā gadā ir bijis mazāk bojājumu nekā plānots, u. tml.) vai ārējiem finanšu līdzekļiem (piemēram, bankas kredīts). Ja izbūve tiek veikta, izmantojot ārējos finanšu līdzekļus, tad aprēķinātās izbūves izmaksas ir jākorrigē, izmantojot NPV (pašreizējās neto vērtības) metodi. Tādējādi aprēķinos tiek ņemta vērā bankas kredīta procentu likme, inflācijas koeficients, kā arī kreditēšanas periods. Izbūves izmaksas koriģē ar 2.5. izteiksmi [14]:

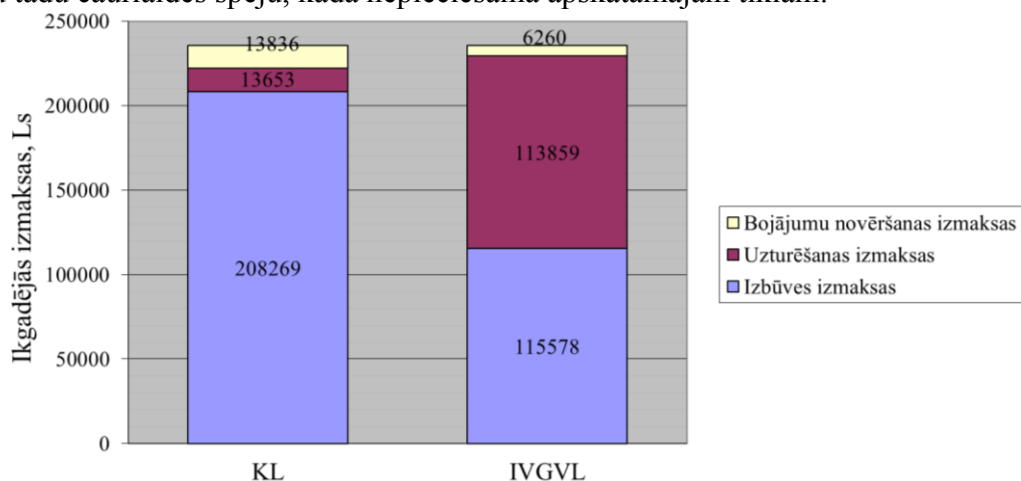
$$C_i = \frac{C_{l_{kmi}} \cdot l_i \cdot \left(1 + \frac{\text{int}_r}{100}\right)^{t_{cr}}}{\left(1 + \frac{\text{inf}}{100}\right)^{t_{cr}} \cdot t_{ei}}, \quad (2.5)$$

kur $C_{l_{kmi}}$ – līnijas ar parametriem i izbūves izmaksas [naudas vienības / km];
 l_i – līnijas ar parametriem i garums [km];
 int_r – bankas kredīta procentu likme [%];
 t_{cr} – kreditēšanas periods [gadi].
 inf – inflācijas koeficients [%];
 t_{ei} – līnijas ar parametriem i darbmūžs [gadi].

Dažādu vidējā sprieguma līniju veidu (gaisvadu līnijas, gaisa kabeļu līnijas un kabeļi) izmaksu aprēķina algoritms parādīts 2.2. attēlā.

Aprēķina piemērs jaunu līniju izbūvei, kas balstīts uz izmaksu datiem Latvijā [32].

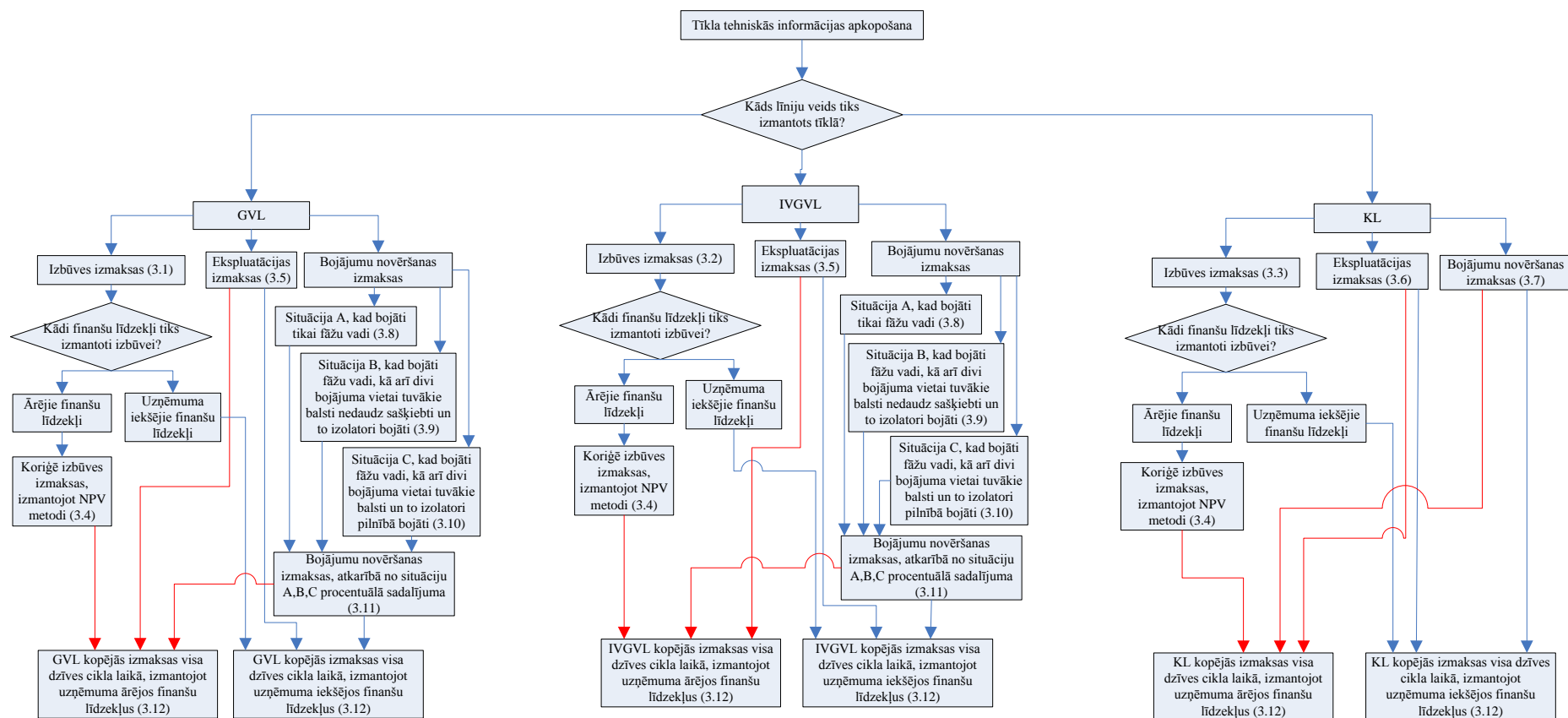
Lai salīdzinātu GVL, IVGVL un KL izmaksas, ir jāveic aprēķins trīs atsevišķiem gadījumiem-gadījumam, kad viss tīkls ir veidots no GVL, gadījumam, kas viss tīkls ir veidots no IVGVL, un gadījumam, kad viss tīkls veidots no KL. Visos gadījumos GVL, IVGVL un KL ir jāizvēlas tā, lai tās nodrošinātu tādu caurlaides spēju, kāda nepieciešama apskatāmajam tīklam.



2.1. att. Esošās GVL līnijas aizstāšanas ar KL vai IVGVL visa kalpošanas laika izmaksas lauku apvidos bez ielas cietā seguma, pieņemot, ka puse līnijas atrodas mežā, puse lauksaimniecības (pļavā, krūmājos) zemē (izbūvei izmantojot tikai uzņēmuma iekšējos finanšu līdzekļus)

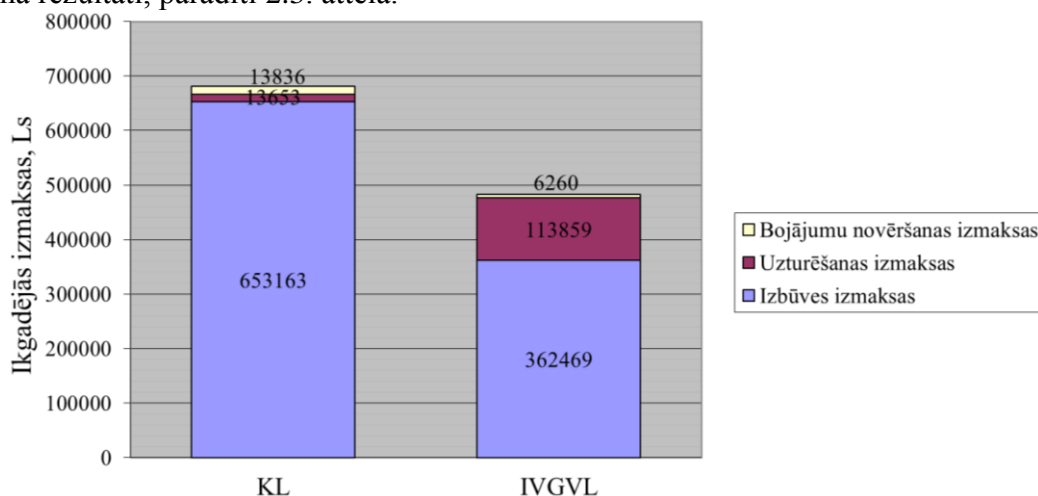
Esošās GVL līnijas aizstāšanas ar KL vai IVGVL lauku apvidos bez ielas cietā seguma, pieņemot, ka puse līnijas atrodas mežā, puse lauksaimniecības (pļavā, krūmājos) zemē (izbūvei izmantojot tikai uzņēmuma iekšējos finanšu līdzekļus) visa kalpošanas laika izmaksu aprēķina rezultāti, parādīti 2.1. attēlā.

Aprēķinu rezultāti rāda, ka vislielākās izbūves un bojājumu novēršanas izmaksas ir KL, bet IVGVL ir gandrīz divas reizes mazākas nekā kabeļiem. Toties ekspluatācijas izmaksām ir pretējs raksturs- IVGVL tās ir vairāk nekā 8 reizes lielākas nekā KL. Visa kalpošanas laika izmaksas šajā gadījumā ir gandrīz vienādas, tomēr mazliet zemākas tās ir IVGVL.



2.2.att. Dažādu vidējā sprieguma līniju veidu (gaisvadu līnijas, gaisa kabeļu līnijas un kabeļi) izmaksu aprēķina algoritms (iekavās norādīti atbilstošo izteiksmju numuri promocijas darbā)

Esošās GVL līnijas aizstāšanas ar KL vai IVGVL lauku apvidos bez ielas cietā seguma, pieņemot, ka puse līnijas atrodas mežā, puse lauksaimniecības (pļavā, krūmājos) zemē (izbūvei izmantojot tikai uzņēmuma ārējos finanšu līdzekļus) visa kalpošanas laika izmaksu aprēķina rezultāti, parādīti 2.3. attēlā.



2.3. att. Esošās GVL līnijas aizstāšanas ar KL vai IVGVL visa kalpošanas laika izmaksas lauku apvidos bez ielas cietā seguma, pieņemot, ka puse līnijas atrodas mežā, puse lauksaimniecības (pļavā, krūmājos) zemē (izbūvei izmantojot tikai uzņēmuma ārējos finanšu līdzekļus)

Aprēķinu rezultāti rāda, ka vislielākās izbūves un bojājumu novēršanas izmaksas ir KL, bet IVGVL ir ievērojami mazākas nekā kabeļiem. Toties ekspluatācijas izmaksām ir pretējs raksturs- IVGVL tās ir vairāk nekā 8 reizes lielākas nekā KL. Visa kalpošanas laika izmaksas šajā gadījumā vismazākās ir IVGVL.

3. Metode pieskarsprieguma noteikšanai zemesslēguma gadījumā vidējā sprieguma tīklos

Šajā nodaļā tiek piedāvāta metode pieskarsprieguma noteikšanai zemesslēguma gadījumā, tiek novērtēta atkārtotā zemētāja pilnās pretestības ietekme uz pieskarsprieguma vērtību, kā arī PEN vada pretestības ietekme uz zemējumietaisies pilno pretestību.

Līdz 2011. gadam Latvijā zemējumietaisies projektēja un izveidoja atbilstoši LEK 048 ar normētām zemējumietaisies izplūdpresetībām. 2011. gadā ir pieņemts jaunais LVS EN50522 standarts, kur zemējumietaisies pamatparametrs ir pieļaujamais pieskarspriegums nevis zemējumietaisies izplūdpresetība. Jaunajā standartā LVS EN50522 nav dota aprēķinu metode vidējā sprieguma apakšstaciju zemējumietaisies. Tādēļ šī promocijas darba ietvaros tika ņemta dalība jaunā LEK 136 „Vidsprieguma tīkla neitrāles darba režīmi (izolēta, kompensēta un mazresistīva neitrāle)” izstrādē, ar mērķi izveidot aprēķinu metodi vidējā sprieguma apakšstaciju zemējumietaisies. Šī metode ir paredzēta pieskarsprieguma noteikšanai zemesslēguma gadījumā vidējā sprieguma tīklos, ievērojot zemesslēguma strāvas atgriešanos barošanas centrā pa vidējā sprieguma kabeļu metāla ekrāniem, atkārtotos zemētājus 0.4kV tīklā un galvaniski saistīto tīklu transformatoru apakšstaciju zemējumietaisies. [15,31,28]

Zemesslēguma strāva, strāva zemējumietaisies, strāvas daļa caur zemētāju, strāvas daļa caur transformatoru apakšstacijas dabiskiem zemētājiem, strāvas daļa caur atkārtoto zemētāju, strāvas daļa caur blakus esošā transformatora zemējumietaisies, transformatoru apakšstacijas dabisko zemētāju pilnā pretestība, zemētāja izplūdpresetība, atkārtotā zemētāja pilnā pretestība un blakus esošā transformatora zemējumietaisies pilnā pretestība zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zemējumietaisies zonā parādīta 3.1. attēlā.

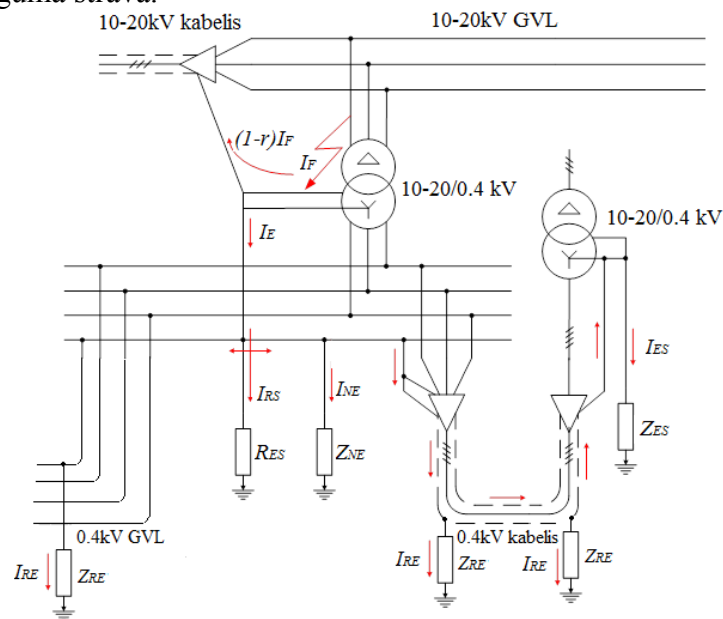
Aizvietošanas shēma zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zemējumietaisē zonā parādīta 3.2. attēlā. Aizvietošanas shēmā ir ņemta vērā atkārtotā zemētāja pilnā pretestība, zemētāja izplūdpretestība, blakus esošā transformatora zemējumietaisē pilnā pretestība un transformatoru apakšstacijas dabisko zemētāju pilnā pretestība.

Pieskarsprieguma vērtību nosaka un tās pieļaujamību novērtē pēc energostandarta LEK136 un valsts standarta LVS EN50522:2011 norādījumiem. [23, 15, 25]

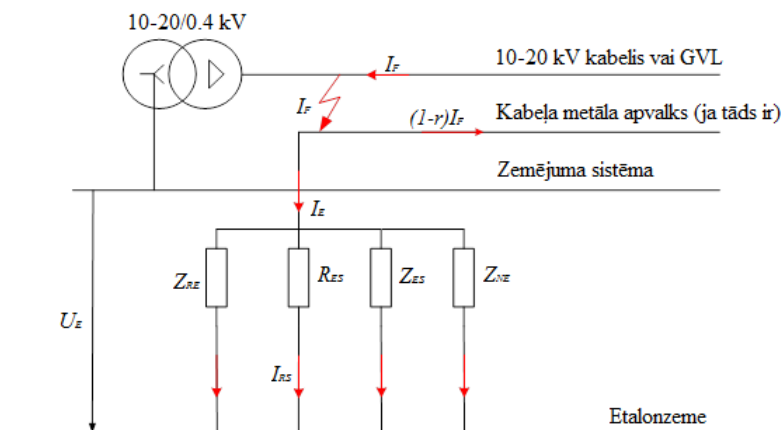
Strāva zemējumietaisē saskaņā ar aprēķinu metodiku „Pieskarsprieguma un pieļaujamās zemējuma kontūra izplūdes pretestības noteikšana vidējā sprieguma tīklā ar izolētu, kompensētu vai mazrezistīvi zemētu neitrāli”, kura izstrādē piedalījās arī promocijas darba autore [15]:

$$I_E = r \cdot I_F \quad (3.1)$$

kur r - samazinājuma koeficients;
 I_F - zemesslēguma strāva.



3.1. att. Strāvas, spriegumi un pretestības zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zemējumietaisē zonā (r -samazinājuma koeficients, I_F -zemesslēguma strāva, I_E -strāva zemējumietaisē, I_{RS} -strāvas daļa caur zemētāju, Z_{NE} -TA dabisko zemētāju pilnā pretestība, I_{NE} -strāvas daļa caur TA dabiskiem zemētājiem, R_{ES} -zemētāja izplūdpretestība, I_{RE} -strāvas daļa caur atkārtoto zemētāju, I_{ES} -strāvas daļa caur blakus esošā transformatora zemējumietaisē, Z_{RE} -atkārtotā zemētāja pilnā pretestība, Z_{ES} - blakus esošā transformatora zemējumietaisē pilnā pretestība) [15]



3.2. att. Aizvietošanas shēma zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zemējumietaisē zonā (r -samazinājuma koeficients, I_E -strāva zemējumietaisē, I_F - zemesslēguma strāva, U_E - potenciāla pieaugums uz zemējumietaisē – zemētājspriegums, Z_{RE}

-atkārtotā zemētāja pilnā pretestība, R_{ES} -zemētāja izplūdpretestība, Z_{NE} -TA dabisko zemētāju pilnā pretestība, I_{RS} -strāvas daļa caur zemētāju, Z_{ES} - blakus esošā transformatora zemējumietais pilnā pretestība) [15]

Potenciāla pieaugumu uz zemējumietais jeb zemētājspriegumu nosaka saskaņā ar 3.2. izteiksmi [15]:

$$U_E = I_E \cdot Z_E \quad (3.2)$$

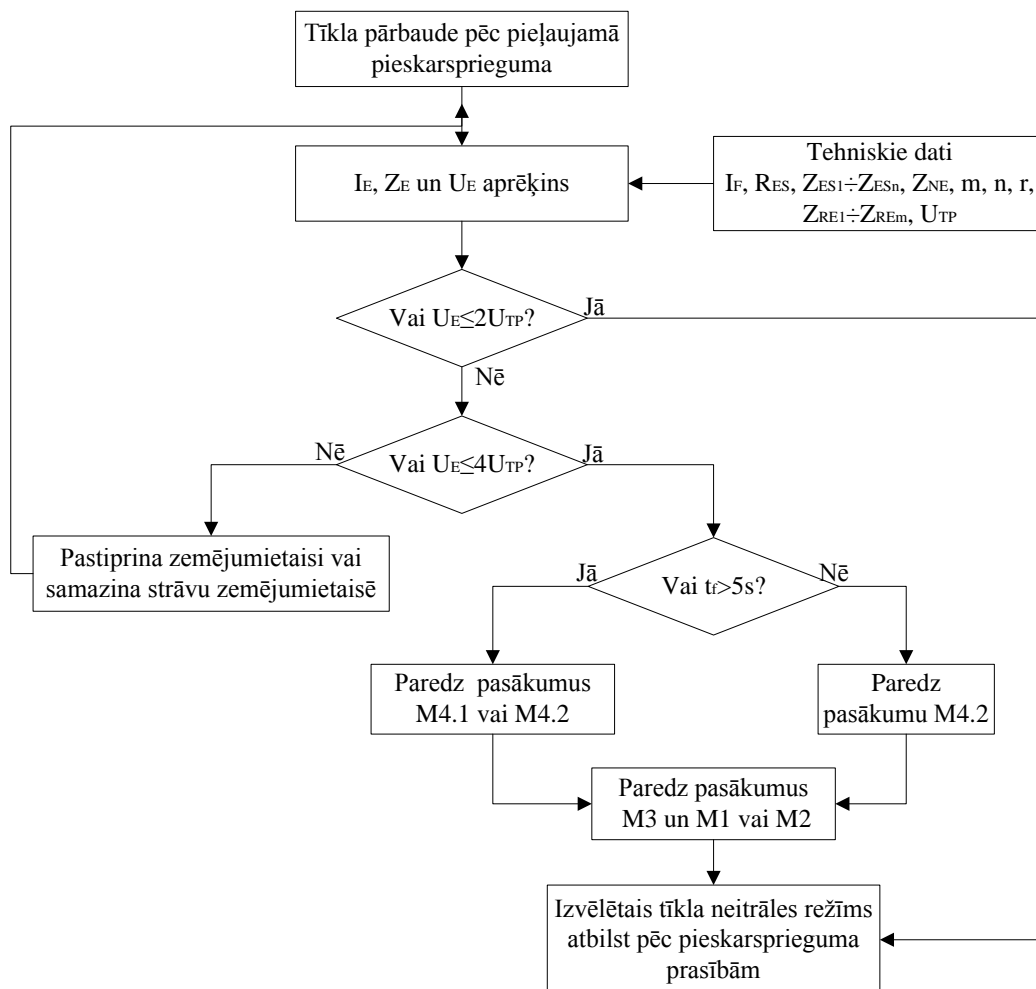
kur I_E - strāva zemējumietaisē;
 Z_E - zemējumietais pilnā pretestībām.

Zemējumietais pilno pretestību nosaka saskaņā ar 3.3. izteiksmi [15]:

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + \frac{1}{Z_{NE}} + \sum^n \frac{1}{Z_{ES}} + \sum^m \frac{1}{Z_{RE}}} \quad (3.3)$$

kur R_{ES} - zemētāja izplūdpretestība;
 Z_{NE} - TA dabisko zemētāju pilnā pretestībām;
 Z_{ES} - blakus esošā transformatora zemējumietais pilnā pretestībām;
 Z_{RE} - atkārtotā zemētāja pilnā pretestība;
 n - blakus esošo transformatoru skaits;
 m - atkārtoto zemētāju skaits.

Pieskarsprieguma un sadales TA zemējumietais pārbaudes algoritms parādīts 3.3. attēlā.

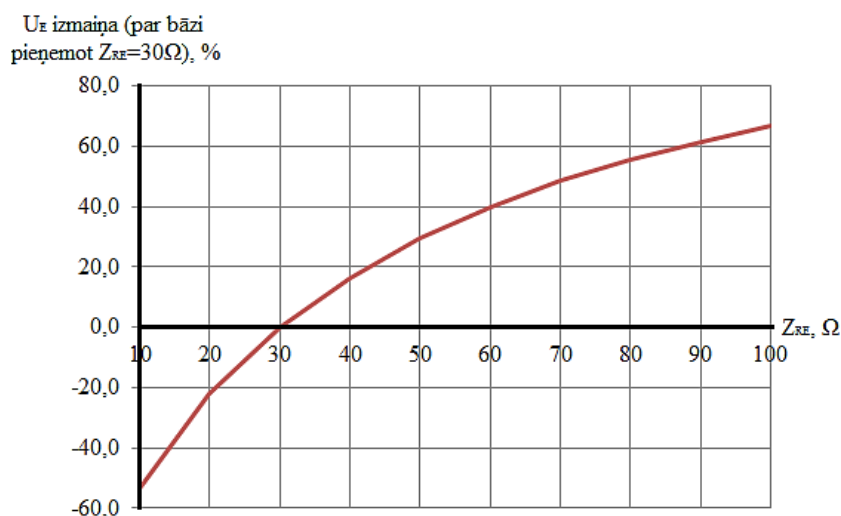


3.3. att. Pieskarsprieguma un sadales TA zemējumietais pārbaudes algoritms [15]

Lai U_E vērtību pieļautu līdz $4U_{TP}$ vērtību, jāpastiprina zemējumietaisē vai jāsamazina strāva zemējumietaisē, piemēram, palielinot vertikālo zemējumelektrodu skaitu vai garumu, vidējā sprieguma gaisvadu līnijai uzstāda ceturto vadu, gaisvadu līnijas vietā izbūvējot KL, u.tml. Pēc tam atkārtoti pieskarsprieguma pārbaudi. [15]

Lai noteiktu atkārtotā zemētāja pilnās pretestības ietekmi uz pieskarsprieguma vērtību, tika veikta pieskarsprieguma noteikšana dažādām atkārtoto zemētāju pretestību vērtībām 20/0.4kV apakšstacijai ar diviem sadales transformatoriem, kas pieslēgti 20kV KL tīklam ar Al apvalkiem un dzīslām

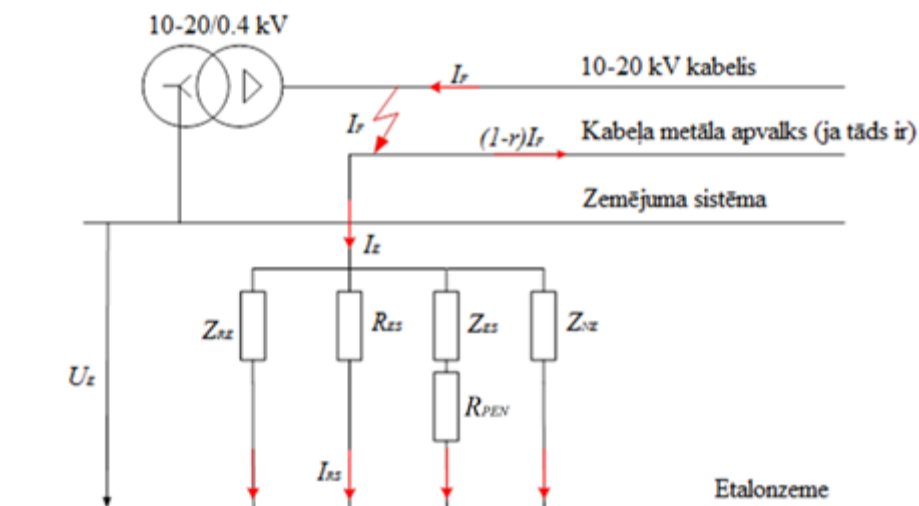
Pieskarsprieguma vērtības procentuālā izmaiņa atkarībā no atkārtotā zemētāja pilnās pretestības (par bāzi pieņemot 30Ω), parādīta 3.4. attēlā. Palielinot atkārtotā zemētāja pilno pretestību par 33%, pieskarspriegums palielinās par 16.49%. Divkāršojot atkārtotā zemētāja pilno pretestību, pieskarspriegums palielinās par 39.79%. Samazinot atkārtotā zemētāja pilno pretestību par 66%, pieskarspriegums samazinās par 22.27%, bet samazinot atkārtotā zemētāja pilno pretestību par 33%, pieskarspriegums samazinās par 53.40%.



3.4. att. Pieskarsprieguma vērtības procentuālā izmaiņa atkarībā no atkārtotā zemētāja pilnās pretestības (par bāzi pieņemot 30Ω).

Noteiktā atkārtotā zemētāja pilnās pretestības ietekme uz pieskarsprieguma vērtību, rāda, ka palielinot atkārtotā zemētāja pilno pretestību, palielinās arī pieskarspriegums un pretēji. Šī sakarība ir proporcionāla. Pieskarsprieguma vērtības izmaiņas ir straujākas pie mazākām atkārtotā zemētāja pilnās pretestības vērtības izmaiņām. Iegūtā pieskarsprieguma vērtības procentuālās izmaiņas līkne atkarībā no atkārtotā zemētāja pilnās pretestības (par bāzi pieņemot 30Ω) var būt noderīga sadales tīklu ekspluatācijas inženieriem, novērtējot atkārtotā zemētāja pilnās pretestības izmaiņas lietderību.

Lai noteiktu PEN vada pretestības ietekmi uz zemējumietaisē pilno pretestību tika veikta zemējumietaisē pilnās pretestības un pieskarsprieguma noteikšana diviem gadījumiem-gadījumam, kad PEN vada pretestība tiek ņemta vērā un gadījumam, kad PEN vada pretestība netiek ņemta vērā. Gadījumam, kad PEN vada pretestība netiek ņemta vērā, tika lietota 3.5. attēlā parādītā aizvietošanas shēma.



3.5. att. Aizvietošanas shēma zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zemējumietaisē zonā (r -samazinājuma koeficients, I_E -strāva zemējumietaisē, I_F - zemesslēguma strāva, U_E - potenciāla pieaugums uz zemējumietaisē – zemētājspriegums, Z_{RE} -atkārtotā zemētāja pilnā pretestība, R_{ES} -zemētāja izplūdpresetība, Z_{NE} -TA dabisko zemētāju pilnā pretestība, I_{RS} -strāvas daļa caur zemētāju, Z_{ES} - blakus esošā transformatora zemējumietaisē pilnā pretestība, R_{PEN} - PEN vada pretestība) [15]

Aprēķins tika veikts 20/0.4kV apakšstacijai ar diviem sadales transformatoriem, kas pieslēgti 20kV KL tīklam ar Al apvalkiem un dzīslām.

Zemētājspriegumu 20kV KL tīklam ar Al apvalkiem un dzīslām, ja PEN vada pretestība netiek ņemta vērā:

$$U_E = I_E \cdot Z_E = 8.48 \cdot 0.57 = 4.83V \quad (3.4)$$

un gadījumam, kad PEN vada pretestība tiek ņemta vērā:

$$U_E = I_E \cdot Z_E = 8.48 \cdot 0.59 = 5V \quad (3.5)$$

Tātad, gadījumā, ja aprēķinā tiek ņemta vērā PEN vada pretestība, tad apakšstacijas zemējumietaisē pilnās pretestība un pieskārsprriegums palielinās par 3.5%.

4. Optimāla neitrāles režīma izvēles un pārbaudes pēc pieskārsprrieguma algoritms

Šajā nodaļā tiek analizēta neitrāles režīma ietekme uz vienfāzes un divkāršajiem zemesslēgumiem vidējā sprieguma tīklā, apskatīts pieskārsprriegums vidējā sprieguma tīklā, analizēti neitrāles režīmi un izstrādāts neitrāles režīma algoritms.

Neitrāļu režīma izvēles un pēc pārbaudes pieskārsprrieguma algoritms ir parādīts 4.1. attēlā.

Optimāla neitrāles darba režīma noteikšanu sāk ar tehniski pamatotu tīkla veida (kabeļu, gaisvadu) izvēli.

GVL, jaukto līniju un KL gadījumā turpmāko izvēli iespaido kapacitīvo zemesslēgumu strāvu lielums katra sprieguma līmeņa tīklam, t.i., izolētas neitrāles darba režīmu izvēles gadījumā, ja kapacitīvo zemesslēgumu strāva 6kV tīklā ir mazāka par 30A, 10kV tīklā- mazāka par 25A, bet 20kV tīklā- mazāka par 20A. Gadījumā, ja kapacitīvā zemesslēguma strāva 6kV tīklā ir lielāka par 30A, 10kV tīklā- lielāka par 25A, bet 20kV tīklā- lielāka par 20A, ir GVL un jaukto līniju gadījumā ir jāizvēlas kompensētas neitrāles režīms (ja nobīdes spriegums lielāks par 15% no fāzes sprieguma, tad izmanto papildus rezistoru vai transpozīciju), bet KL gadījumā mazpretestības neitrāle. [16, 10, 15]

Pēc tīkla neitrāles darba režīma izvēles, nepieciešams noteikt tā pieļaujamību pēc pieskarsprieguma un zemējuma kontūra pieļaujamās vērtības. Pieskarsprieguma pieļaujamību novērtē netieši, aprēķinot spriegumu uz zemējumietais. Lai to izdarītu, ir nepieciešams aprēķināt strāvu zemējumietaisē (I_E), zemējumietaisē pilnā pretestībā (Z_E) un potenciāla pieaugums uz zemējumietaisē (U_E). Ja potenciāla pieaugums uz zemējumietaisē ir mazāks vai vienāds par divkāršu pieļaujamā pieskarsprieguma vērtību, tad izvēlētais tīkla neitrāles režīms atbilst pēc pieskarsprieguma prasībām. Ja potenciāla pieaugums uz zemējumietaisē ir lielāks par divkāršu pieļaujamā pieskarsprieguma vērtību, tad turpmāko rīcību noteiks tas, vai potenciāla pieaugums uz zemējumietaisē ir lielāks par četrkāršu pieļaujamā pieskarsprieguma vērtību, t.i., ja potenciāla pieaugums uz zemējumietaisē ir lielāks par četrkāršu pieļaujamā pieskarsprieguma vērtību, tad jāpastiprina zemējumietaisi vai jāsamazina strāvu zemējumietaisē un atkārtoti jānovērtē pieļaujamība pēc pieskarsprieguma. Ja potenciāla pieaugums uz zemējumietaisē ir mazāks par četrkāršu pieļaujamā pieskarsprieguma vērtību, tad tālāko rīcību noteiks bojājuma laiks (t_f), proti, ja bojājuma laiks lielāks par 5 sekundēm, tad paredz pasākumus M4.1. un M4.2., bet ja mazāks par 5s, tad M4.2. pasākumus. Abos gadījumos nepieciešami divi papildpasākumi- M3 un M1 vai M2. Pasākumi ir detalizēti aprakstīti 3.2. apakšnodaļā. Pēc šo pasākumu īstenošanas, izvēlētais tīkla neitrāles režīms atbilst pēc pieskarsprieguma prasībām.

Speciāli pasākumi ēku ārējām sienām un žogiem ap iekštelpu elektroiekārtām. Viens no speciāliem pasākumiem M1.1 līdz M1.3 var tikt lietots kā aizsardzība pret pieskarspriegumu, pieskaroties sienām un žogiem no ārpuses.

M1.1: Strāvu nevadoša materiāla lietošana ārējām sienām (piemēram, mūris vai koks) un izvairīšanās no iezemētām metāla daļām, kam var pieskarties no ārpuses.

M1.2: Potenciāla izlīdzināšana ar horizontāliem zemējumelektrodiem, kas savienoti ar zemētāju E, apmēram 1m attālumā no ārējās sienas, maksimāli 0.5m dziļumā.

M1.3: Operatīvās apkalpes vietas izolācija. Izolācijas materiāla klājumam jābūt pietiekami lielam, lai nevarētu ar roku pieskarties zemētām vadošām daļām ārpus izolācijas materiāla klājuma. Ja pieskaršanās iespējama tikai no sāniem, izolācijas materiāla platums var nepārsniegt 1.25m. Kā pamatlīdzeklis personāla aizsardzībai pret pieskarspriegumu ir dielektrisko cimdu izmantošana. Kā papildlīdzekļi darba vietas izolācijai var tikt izmantoti izolējošs paklājiņš, sadrupināti akmeņi vai grants slānis operatīvajā apkalpes vietā.

M2: Speciāli pasākumi žogiem ap ārtelpu elektroiekārtām. Viens no speciāliem pasākumiem M2.1 līdz M2.3 var tikt lietots kā aizsardzība pret pieskarspriegumu. Pasākums M2.4 paredzēts caur žogiem veidoto izeju aizsardzībai.

M2.1: Žogu veido no strāvu nevadoša materiāla, vai strāvu vadošu materiālu pārklāj ar plastmasu.

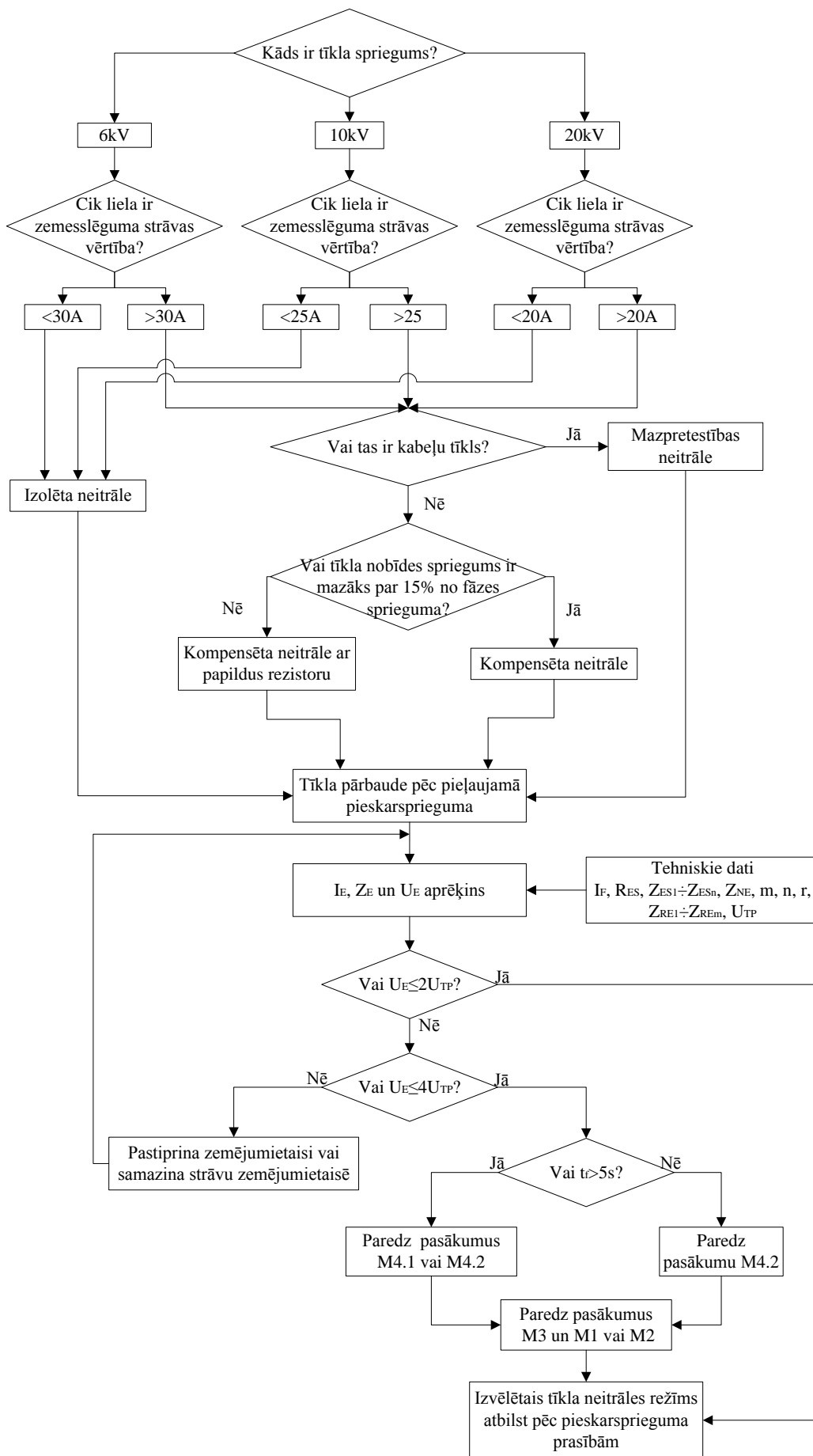
M2.2: Ja žogs ir no strāvu vadoša materiāla, potenciālu pie ieejas elektroietaisē izlīdzina ar horizontāliem zemējumelektrodiem (gabarīti kā M1.2) ar savienojumu ar žogu vai bez tā (skat. M2.4.)

M2.3: Apkalpes vietas izolāciju izveido kā norādīts M1.3 un izveido žoga zemējumu vai savieno ar zemējumietaisi.

M2.4: Ja ieeja (vārti) žogā ap elektroietaisi ir savienoti tieši ar zemējumietaisi vai caur kabeļu metāla apvalkiem u. tml., tad apkalpes vietas pie ieejām elektroietaisēs izolē kā norādīts M1.3 vai lieto potenciāla izlīdzināšanu.

M3: Speciāli pasākumi iekštelpu elektroiekārtās. Jālieto viens no pasākumiem M3.1 līdz M3.3.

M3.1: Potenciālu izlīdzināšana ar tīklveida zemējumelektrodu ieguldīšanu ēkas pamatos, ko savieno ar zemējumietaisi vismaz divos atsevišķos punktos. Pārbauda dzelzbetona metāla daļu strāvas caurlaides spēju. Var lietot arī metāla paklājus, savienotus ar zemējumietaisi vismaz divos punktos. Esošās ēkās var lietot arī horizontālus zemējumelektrodus pie ārējās sienas, kas savienoti ar zemējumietaisi.



4.1. att. Neitrāļu režīma izvēles un pārbaudes pēc pieskarsprieguma algoritms [16, 10, 15, 3]

- M3.2: Apkalpes vietās ar metāla pārklājumu pēdējie jāpievieno pie zemētām elektroiekārtu metāla daļām, kam var pieskarties apkalpes procesā.
- M3.3: Apkalpes vietas izolēšanu veic atbilstoši M1.3.
- M4: Speciālie pasākumi ārtelpu elektroiekārtās.
- M4.1: Apkalpes vietās potenciālu izlīdzina ar horizontālu zemējumelektrodu, kam pievienotas visas zemētās daļas, kurām var pieskarties no apkalpes vietas. Tā vietā var lietot metāla tīklu vai plāksni, kas savienota ar no apkalpes vietas sasniedzamām metāla daļām, kā arī apkalpes vietas izolēšanu atbilstoši M1.3.
- M4.2: Ierok horizontālu zemējumelektrodu, kas aptver visu zemējumietaisi. Tās iekšpusē ierok tīklveida horizontālus elektrodus ar noteikta izmēra „acīm”. [15]

Secinājumi un rekomendācijas turpmākajam darbam

„Zinātnes robežas līdzinās apvārsnim: jo vairāk tam tuvojamies, jo vairāk tas attālinās”
(Buasts)

Šajā promocijas darbā tika iegūtas jaunas atziņas par KL posmu problēmām un risinājumiem vidējā sprieguma gaisvadu tīklos.

Promocijas darbā iegūtie rezultāti rāda, ka polimēru apvalkam nav iespējams iegūt noteikt tādu novecošanās likumsakarību kā, piemēram, impregnēta papīra izolācijas kabeļiem (6°C palielina izolācijas novecojumu divkārti), jo PE apvalki netiek izgatavoti no tīra polietilēna. Katrs apvalka materiāls tiek izgatavots no dažāda blīvuma polietilēna ar atšķirīgām piedevām (antioksidanti, antipirēni, plastifikatori, stabilizatori, utt.), kas tik ļoti maina šo materiālu fizikāli-ķīmiskās īpašības, ka tie nav savstarpēji salīdzināmi. Līdz ar to novecošanās likumsakarības būtu iespējams iegūt tikai konkrēta ražotāja konkrētas kabeļu markas kabeļiem. Praktiski tas nozīmētu to, ka katra ražotāja katra kabeļu markas izpētei būtu jāvelta 30...40 gadi, lai novērtētu, kā šajos 30...40 gados ir mainījušās šī konkrētā ražotāja konkrētās kabeļu markas kabeļa apvalks. Tas ir laika un resursu ietilpīgs pētījums, kura lietderība ir apšaubāma, jo nemitīgi tiek izstrādāti jauni kabeļu apvalku polimērmateriālu kompaundi, kuru īpašības būtiski atšķiras no iepriekš ražotajiem.

Kabeļu ražotāji ne vienmēr norāda no kāda blīvuma polietilēna (PE) ir izgatavots kabeļa apvalks, bet tas ir būtiski, jo no blīvuma ir atkarīgas materiāla termiskās un fizikālās īpašības. No termiskās izturības viedokļa izolētas neitrāles tīklos, kuros zemesslēgumi netiek atslēgti momentāni, vislietderīgāk ir izvēlēties kabeļus, kuru apvalki izgatavoti no augsta blīvuma PE, jo to kušanas temperatūra ir ievērojami augstāka (130...137°C) nekā zema (98...115°C) vai vidēja (120...124°C) blīvuma PE.

Izveidotais neitrāļu režīma izvēles algoritms ar pieskarsprieguma pārbaudi ir ērts, viegli lietojams un ļauj inženieriem nekļūdīgi izvēlēties neitrāles režīmu, tādējādi palielinot tīkla drošumu (samazina vienfāzes zemesslēguma skaitu, ilgumu un divkārtu zemesslēgumu risku) un optimizēt tīkla izbūves izmaksas.

Jauktos vidējā sprieguma tīklos izolētu neitrāli ir lietderīgi izvēlēties gadījumā, ja ir neliela zemesslēguma strāva, t.i., mazāka par 30A 6kV tīklā, mazāka par 25A 10kV tīklā un mazāka par 20A 20kV tīklā. Lielāku zemesslēguma strāvas vērtību gadījumā lietderīgāk ir izvēlēties kompensētu neitrāli, bet ja tīkla nobīdes spriegums ir ir lielāks par 15% no fāzes sprieguma, tad kompensētas neitrāles tīklā jālieto papildus rezistors vai transpozīcija.

Līdz 2011. gadam Latvijā zemējumietaisais projektēja un izveidoja atbilstoši LEK 048. 2011. gadā ir pieņemts jaunais LVS EN50522 standarts, kur zemējumietaisais pamatparametrs ir pieļaujama pieskarspriegums nevis zemējumietaisais izplūdpresetība.

Darbā ir izstrādāta metode pieskarsprieguma aprēķinam zemeslēguma gadījumā vidējā sprieguma tīklos, ievērojot zemesslēguma strāvas atgriešanos barošanas centrā pa vidējā sprieguma kabeļu metāla ekrāniem, atkārtotos zemētājus 0.4kV tīklā un galvaniski saistīto tīklu transformatoru apakšstaciju zemējumietaisais. Lai tīkla zemējumietaisais atbilstu drošības prasībām, tā ir jāpārbauda pēc pieskarsprieguma vērtības, t.i., potenciāla pieaugumam uz zemējumietaisais ir jābūt mazākam vai vienādam ar divkārtu pieskarsprieguma vērtību vienfāzes zemesslēguma gadījumā. Ja potenciāla pieaugums uz zemējumietaisais ir lielāks par divkārtu pieļaujamo pieskarsprieguma vērtību, ir jāveic pasākumi, kas ierobežotu potenciāla pieaugumu uz zemējumietaisais līdz vērtībai, kas vienāda vai mazāka par divkārtu pieļaujamo pieskarsprieguma vērtību.

Latvijā nevar izmantot citu valstu pētījumus par KL izbūves izmaksām, jo katrā valstī ir atšķirīga ģeoloģiskā struktūra un darbaspēka izmaksas. Tādēļ promocijas darba ietvaros izstrādātais uz ekonomiskiem apsvērumiem balstīts optimālā līnijas veida (KL, GVL, IVGVL) izvēles algoritms ir ārkārtīgi nepieciešams tieši šobrīd, realizējot AS „Sadales tīkls”

2011. gadā uzsākto 230 miljonu latu investīciju programma apmēram 6000km gara GVL mežos aizstāšanai ar 20 kV KL.

Izstrādātais algoritms dod iespēju ātri un ērti veikt salīdzinošus aprēķinus, lai izlemtu, kurš no līniju veidiem ir visekonomiskākais- turklāt ne tikai izbūves izmaksu viedokļa, bet tiek novērtētas arī ekspluatācijas un bojājumu novēršanas izmaksas. Algoritmā ir ņemts vērā arī tas, kādi finanšu līdzekļu tiek izmantoti- iekšējie finanšu līdzekļi vai ārējie finanšu līdzekļi, kā arī līnijas instalēšanas apstākļi- meži, lauksaimniecības zemes (arī pļavas, krūmāji) vai zem asfalta seguma.

Lai radītu vispārēju priekšstatu par KL, GVL un IVGVL izmaksu salīdzinājumu, tika veikts aprēķina piemērs, kas balstīts uz izmaksu datiem Latvijā.

Aprēķinu rezultāti liecina, ka KL izbūves un bojājumu novēršanas izmaksas ir ievērojami lielākas nekā GVL un IVGVL, bet ekspluatācijas izmaksas GVL un IVGVL ir ievērojami lielākas nekā KL. Ja salīdzina izbūves izmaksas gadījumiem, kad uzņēmums izmanto iekšējos vai ārējos uzņēmuma līdzekļus, redzams, ka gadījumā, kad uzņēmums izmanto ārējos finanšu līdzekļus, izbūves izmaksas ir ievērojami lielākas.

Aprēķina piemēra rezultāti rāda, ka no ekonomiskā viedokļa, pilsētās ar ielas cieto segumu KL ir visneizdevīgākais risinājums, bet GVL- visizdevīgākais. Tomēr ainavas un drošības apsvērumu dēļ, pilsētās nav ieteicams GVL lietojums.

Jaunas līnijas lauku apvidos bez ielas cietā seguma, pieņemot, ka puse atrodas mežos, puse lauksaimniecības zemē (arī pļavās, krūmājos), visa kalpošanas laika izmaksu aprēķina rezultāti rāda, ka, ja izbūvei tiek izmantoti tikai uzņēmuma iekšējie finanšu līdzekļi, visizdevīgākais risinājums ir KL, bet visneizdevīgākais IVGVL, turpretī, ja izbūvei izmanto tikai uzņēmuma ārējos finanšu līdzekļus, GVL ir visizdevīgākais risinājums, bet visneizdevīgākais IVGVL.

Esošās GVL aizstāšanas ar KL vai IVGVL lauku apvidos bez ielas cietā seguma, pieņemot, ka puse līnijas atrodas mežā, puse lauksaimniecības (pļavā, krūmājos) zemē visa kalpošanas laika izmaksu aprēķina rezultāti rāda, ka, ja izbūvei izmanto tikai uzņēmuma iekšējos finanšu līdzekļus, tad KL un IVGVL ir gandrīz vienādas izmaksas, bet izmantojot ārējos finanšu līdzekļus, ievērojami lētāks risinājums ir IVGVL. Esošās GVL aizstāšanas ar KL vai IVGVL pilsētās ar ielas cieto segumu visa kalpošanas laika izmaksu aprēķina rezultāti rāda, ka neatkarīgi no tā, vai tiek izmantoti uzņēmuma iekšējie vai ārējie līdzekļi, IVGVL ir ievērojami izdevīgāks risinājums nekā KL.

Tomēr svarīgi ir norādīt, ka aprēķina piemērā tika izmantoti dažādi pieņēmumi, kas ne vienmēr atbilst reālajai situācijā kādā konkrētā gadījumā. Tādēļ katras situācijas izvērtēšanai ir jāizmanto šajā nodaļā aprakstītais algoritms, jo tajā ir iespējams iekļaut visus līnijas izbūves nosacījumus un aktuālos datus, tādējādi iegūstot ļoti precīzu aprēķinu. Tāpat jānorāda, ka aprēķina piemērā iegūtie rezultāti neatspoguļo reālās līnijas izmaksas. Aprēķinā ir iekļauti tikai tie parametri, kas ir atšķirīgi katram no līniju veidiem (tāpēc aprēķinos netiek ņemti vērā elektroenerģijas zudumi, utt.), jo algoritma mērķis ir iegūt tādu līniju veidu salīdzinošu rezultātu, kas ļautu izlemt, kuru no līniju veidiem izvēlēties. Turklāt ekonomiskais lietderīgums nedrīkst būt vienīgais izvēles kritērijs, jo katrā situācijā ir jāņem vērā katra līnijas veida lietderība konkrētajos vides apstākļos no tehniskā viedokļa, jo, piemēram, KL nav īslaicīgo pārtraukumu, un tās nav atkarīgas no klimatiskajiem apstākļiem, tātad ar KL iespējams panākt ievērojami augstāku elektroapgādes drošumu un kvalitatīvāku elektroenerģiju.

Tā kā tehnoloģijas nemitīgi attīstās, mainās arī cenas, tad šāds ekonomiskais novērtējums, izmantojot promocijas darbā piedāvāto algoritmu, ir jāveic katrai situācijai atsevišķi, aprēķinos izmantojot konkrētā brīža cenas, jo promocijas darba aprēķina piemērs raksturo tikai konkrētu gadījumu (visi aprēķinos izmantotie pieņēmumi aprakstīti 3.3. apakšnodaļā).

Izstrādātā metode pieskarsprieguma aprēķinam zemeslēguma gadījumā vidējā sprieguma tīklos, ievērojot zemesslēguma strāvas atgriešanos barošanas centrā pa vidējā sprieguma

kabeļu metāla ekrāniem, atkārtotos zemētājus 0.4kV tīklā un galvaniski saistīto tīklu transformatoru apakšstaciju zemējumietaises, ir ārkārtīgi noderīga sadales tīklu ekspluatācijas inženieriem, jo līdz 2011. gadam Latvijā zemējumietaises projektēja un izveidoja atbilstoši LEK 048 ar normētām zemējumietaises izplūdpresetībām, bet 2011. gadā ir pieņemtajā jaunajā LVS EN50522 standartā, kur zemējumietaises pamatparametrs ir pieļaujamais pieskarspriegums nevis zemējumietaises izplūdpresetība, nav dota aprēķinu metode vidējā sprieguma apakšstaciju zemējumietaisēm.

Noteiktā atkārtotā zemētāja pilnās presetības ietekme uz pieskarsprieguma vērtību, rāda, ka palielinot atkārtotā zemētāja pilno presetību, palielinās arī pieskarspriegums un pretēji. Tomēr šī sakarība ir proporcionāla, nevis lineāra. Pieskarsprieguma vērtības izmaiņas ir straujākas pie mazākām atkārtotā zemētāja pilnās presetības vērtības izmaiņām. Iegūtā pieskarsprieguma vērtības procentuālās izmaiņas līkne atkarībā no atkārtotā zemētāja pilnās presetības (par bāzi pieņemot 30 Ω) var būt noderīga sadales tīklu ekspluatācijas inženieriem, novērtējot atkārtotā zemētāja pilnās presetības izmaiņas lietderību.

PEN vada presetības ietekme uz zemējumietaises pilno presetību un pieskarspriegumu ir niecīga- tikai 3.5%. Tādēļ aprēķinos to var neņemt vērā.

Neitrāļu režīmu izpēti ir iespējams turpināt, analizējot DI izlāžu nepārtrauktas diagnosticēšanas un novēršanas iespējas kompensētas neitrāles tīklā. Būtu lietderīgi veikt divkārtšo zemesslēgumu gadījumos pieskarspriegumu pētījumus. Uz ekonomiskiem apsvērumiem balstīta optimāla līnijas veida izvēles algoritmu iespējams attīstīt un papildināt, izstrādājot datorprogrammu, kas padarīs ērtu salīdzinošo aprēķinu praktiskai lietošanai.

Šis promocijas darbs ir pamats maniem turpmākajiem zinātniskajiem pētījumiem.

„Zinātne nav un nekad nekļūs par pabeigtu grāmatu. Katrs nozīmīgs sasniegums rada jaunus jautājumus. Laikam ejot, katra attīstība nonāk pie jaunām un lielākām grūtībām.”

(Eiņšteinš)

Izmantotā literatūra

1. ABB Switchgear Manual. 11th revised edition. ABB Systems, 2006. 877 p.
2. AS Sadales tīkls dokumentācija: Kabeļu līniju bojājumu uzskaitē no 2000.-2010. gadam Rīgas pilsētas reģionā. (pie darba sprieguma/pie profilaktiskās pārbaudes).
3. Budahs M., Rozenkrons J. Neitrāles darba režīmi vidējā sprieguma elektrotīklos. – Latvijas elektroenerģētiķu biedrība. 1998.-38lpp.
4. Budahs, M. Stabila un mūsdienīga elektroapgāde Latvijā. AS Sadales tīkls modernizācija un attīstības perspektīvas. Enerģētikas forums 2011 “Energoapgādes drošība šodien un nākotnē”, 07.12.2011.
http://konferences.db.lv/wp-content/uploads/2011/12/Prezentacija_Budahs.pdf
5. Connor, T. Neutral Grounding, Siemens, 2008, online:
<http://www2.tavanir.org.ir/dm/etozi/download/siemens/EARTING/1-Theorie%20Neutral%20Earthing.pdf>
6. Cressall “Types of neutral earthing”
<http://www.cressall.com/neutralearthing/downloads/Types%20of%20neutral%20earthingIss2.pdf>
7. Draka produktu katalogs. 2007.-88lpp.
8. Electrical Transmission and Distribution Reference Book. Fourth edition. Westinghouse Electric Corporation, 1964. 832 p.
9. Guldbrand A. Industrial Electrical Engineering and Automation CODEN:LUTEDX/(TEIE-7216)/1-12/(2006)
<http://www.iea.lth.se/publications/Reports/LTH-IEA-7216.pdf>
10. IEC 61936-1 Power installations exceeding 1kV a.c.- Part 1:Common rules, Standard, 2010
11. Kalniņš M. Polimēru fizikālā ķīmija: mācību līdzeklis LPSR augstskolu inženiertehnisko specialitātes studentiem- Rīga: Zvaigzne, 1988.-241 lpp.
12. Keila Cables produktu katalogs. 2004-80lpp.
13. Kutnere E.. Sintētiskie polimēri. Lekciju konspekts- RTU Vispārīgās ķīmijas katedra, Rīga 1992.- 97lpp.
14. Krišans Z., Oļeinikova I. Elektroenerģētisko uzņēmumu vadības pamati (in Latvian). Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2007. 158 lpp. ISBN 978-9984-32-985-7.
15. LEK 136 Vidsprieguma 1. tīkla neitrāles darba režīmi (izolēta, kompensēta un mazresistīvi zemēta neitrāle): 2012. LVS EN 50522:2011 Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.
16. LVS HD 637 S1 Power installations exceeding 1kV a.c., Standard, 2003
17. Matbase: Natural & synthetic Polymers:Commodity Polymers: High-density Polyethylene / HDPE
<http://www.matbase.com/material/polymers/commodity/hdpe/properties>
18. Melnikovs V. Elektroapgāde 2.daļa.
<http://www.rvt.lv/macibu-materiali/Elektrikis/Elektroapgaade.2.dala.pdf>
19. Post Glover “Neutral Grounding Resistors. Technical information” [Online]. Available: http://www.postglover.com/Literature/NG112-06_Tech_Info.pdf
20. Priedīte-Razgale I., Ļvovs A., Krēsliņš V. Analysis and Comparison of Distribution System Costs, Dependant on Cable and Overhead Lines’ Fault Probabilities and Maintenance Cost Difference, PMAPS` 2012, 12th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, June10-14, 2012.
21. Rawlinson, C., Differential Scanning Calorimetry. Cooking with chemicals. School of Pharmacy University of Bradford, EYP, 2006. Online:
<http://www.mmsconferencing.com/pdf/ey/c.rawlinson.pdf>

22. Roberts, J., Altuve, H.J., Hou, D. Review of ground fault protection methods for grounded, ungrounded, and compensated distribution systems. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., Pullman, WA USA, online:
<https://www.selinc.com/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=2604>
23. Rozenkrons J. Aprēķinu metodika „Pieskarsprieguma un pieļaujamās zemējuma kontūra izplūdpresetības noteikšana vīdsprieguma tīklā ar izolētu, kompensētu vai mazresistīvi zemētu neitrāli”
24. Rozenkrons J., Budahs M., Divkāršo zemesslēgumu bīstamība vīdsprieguma kabeltīklos, Enerģija un pasaule, 2004. gads Nr.3
25. Rozenkrons J., Budahs M., Zemesslēguma problēmas kabeltīklos, Enerģētika un sabiedrība, 1998. gads Nr. 8
26. Singh S. N. Electric Power Generation Transmission And Distribution. 2nd Ed. PHI Learning Pvt.-2010.-433p
27. Tapio L. Design of MV and HV covered conductor overhead lines. 17th International Conference on Electricity Distribution. Barcelona, 2003
<http://www.cired.net/publications/cired2003/reports/R%201-39.pdf>
28. Timmermanis K., Rozenkrons J. Elektrisko staciju un apakšstaciju elektriskā daļa. Zvaigzne, 1988. 502 p.
29. Wareing B. Wood Pole Overhead Lines. -London: The Institution of Engineering and Technology, 2008.- 332p. <http://www.scribd.com/doc/95662773/144/Disadvantages-of-covered-conductors>
30. XLPE-Cables for High Voltage- Ericsson Cables AB, Kraftkabeldivisionen 1995.- 47p
31. LEK 048: 2006. Elektroietaišu zemēšana un elektrodrošības pasākumi. Galvenās tehniskās prasības.
32. Latvenergo: 2012. gada sadales sistēmas būvdarbu vīdējās faktiskās izmaksas pieslēguma maksas aprēķinam
http://www.latvenergo.lv/portal/page/portal/Latvian/ST/vid_izm_220212.pdf