



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Tomas Stapulionis
STATINIO APSAUGOS NUO ŽAIBO EFEKTYVUMO TYRIMAS
Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

STATINIO APSAUGOS NUO ŽAIBO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos sistemos (612H63005)

Vadovas

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

2017-06-02

Recenzentas

Doc. dr. Renata Miliūnė

Projektą atliko

Tomas Stapulionis

2017-06-02

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Tomas Stapulionis

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 612H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Statinio apsaugos nuo žaibo efektyvumo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. Birželio 02 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tomo Stapulionio** baigiamasis projektas tema „Statinio apsaugos nuo žaibo efektyvumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Stapulionis, T. Statinio apsaugos nuo žaibo efektyvumo tyrimas. Magistrinis baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Alfonsas Morkvėnas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai.

Reikšminiai žodžiai: *Apsauga nuo žaibo, žaibo išlydis, rizika, efektyvumas, apsaugos patikimumas, apsaugos nuo žaibo kategorija.*

Kaunas, 2017. 65 psl.

SANTRAUKA

Apsaugos nuo žaibo patikimumo nustatymas objektui yra labai svarbus parenkant apsaugos nuo žaibo sistemas. Remiantis sferos metodu buvo perskaičiuojami žaibo ėmiklių išdėstymo vietos priklausomai nuo reikalaujamos apsaugos nuo žaibo patikimumo kategorijos. Skaičiavimai atlikti taip, kad būtų gaunami maksimalūs leistini atstumai tarp žaibo ėmiklių, išlaikant objektui reikiamą apsaugos nuo žaibo patikimumo lygį.

Bandymų metu atlikti tyrimai parodė, kad objektui esant izoliuotam žemės potencialo atžvilgiu, žaibo išlydžio tikimybė yra minimali. Rizikos lygis dar labiau sumažėja ypač tada, kai šalia yra stambių konstrukcijų ir objektų, kurie yra laidūs elektros srovei ir turi ryšį su žemės potencialu. Objektui, turinčiam ryšį su žemės potencialu ar turinčiam metalinių ar kitų laidžių konstrukcijų, rizikos lygis ženkliai išauga.

Šiame darbe taip pat buvo analizuojamas apsaugos nuo žaibo efektyvumas, eksperimentiškai įvertinama pažeidimo rizika, tiriamos maksimalios ribos tarp žaibo ėmiklių išsidėstymo, priklausomai nuo patikimumo kategorijos. Ir, galiausiai, buvo vertinami žaibo ėmiklių apsaugos zonų plotai bei jų kitimo priklausomybės.

Stapulionis. T. The research of building protection against lightning effectiveness. *Master's qualification degree* / supervisor assoc. prof. Alfonsas Morkvėnas. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical power systems.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: *Protection against lightning, lightning bolt, risk, efficiency, the reliability of protection, the category of efficiency risk.*

Kaunas, 2017. 65 p.

SUMMARY

The estimation of building's protection against lightning is greatly important when selecting the systems of protection against lightning. The places of lightning samplers were estimated depending on required category of lightning protection according to the sphere method. The calculations were conducted so that they could show the maximum available distances between each lightning sampler while keeping the required level of protection against lightning.

The results of the experiments revealed the tendency if the object is isolated at ground potential, the possibility of lightning bolt is minimal, especially when there are large constructions and objects, which are permeable to electricity energy and has the connection with the potential of the ground. If the object has the connection with the ground potential or it contains metal or other permeable constructions, the level of lightning bolt risk to the building rises dramatically.

This research paper also contains the analysis of lightning protection efficiency, the experimentally evaluated risk of infringement, the calculations of maximum distances between locations of each lightning sampler in dependence on the categories of reliance. And, finally, there were evaluated the protection zones areas of the lightning samplers' and their reliance of alterations in the thesis.

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	9
PAGRINDINĖS SĄVOKOS.....	11
ĮVADAS.....	12
1. PERKŪNIJA.....	13
2. STATINIŲ APSAUGOS NUO ŽAIBO KLASIFIKAVIMAS.....	16
3. APSAUGA NUO ŽAIBO.....	17
4. SFEROS METODAS.....	23
5. ATLIKTI TYRIMAI.....	26
6. STATINIO APSAUGOS NUO ŽAIBO RIZIKOS.....	27
7. RIZIKOS SKAIČIAVIMAI.....	31
8. ŽAIBO ĖMIKLIŲ VIDINĖS APSAUGOS ZONOS.....	38
9. ŽAIBO ĖMIKLIO IŠORINĖ APSAUGOS ZONA.....	42
10. ŽAIBO ĖMIKLIŲ VIDINĖS APSAUGOS ZONOS ĮLENKIS.....	46
11. ŽAIBO ĖMIKLIŲ VIDINĖS APSAUGOS ZONOS LABORATORINIAI BANDYMAI ..	54
12. ŽAIBO ĖMIKLIO IŠORINĖ APSAUGOS ZONOS LABORATORINIAI TYRIMAI	58
13. ŽAIBO ĖMIKLIO VIDINĖS APSAUGOS ZONOS ĮLENKIO LABORATORINIAI TYRIMAI.....	61
IŠVADOS.....	64
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	65

LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1 lentelė. Statinio apsaugos nuo žaibo kategorijos patikimumas [3]	16
3.1 lentelė. Pasyvaus žaibo ėmiklio privalumai ir trūkumai	18
3.2 lentelė. Pasyvioji apsauga naudojant tinklo metodą [3].....	18
3.3 lentelė. Vidutinis atstumas tarp įžeminimo laidininkų priklausomai nuo apsaugos klasės ..	19
3.4 lentelė. Pasyviosios tinklo apsaugos privalumai ir trūkumai [11].	19
3.5 lentelė. Žaibo ėmiklių su įtemptu trosu apsauga privalumai ir trūkumai [11]:.....	20
3.6 lentelė. Aktyviosios žaibosaugos privalumai ir trūkumai [11].	21
4.1 lentelė. Sferos dydis pagal kategorija [3].....	23
4.2 lentelė. Sferos įlenkiai prie atitinkamos kategorijos ir atstumo [4]	25
6.1 lentelė. Toleruotinos rizikos vertės R_T	28
6.2 lentelė. Rizikos analizė pagal IEC 62305-2 [4]	29
7.1 lentelė. Rizikos skaičiavimo formulės	31
7.2 lentelė. Grėsmės žmogui koeficientų lentelė	34
7.3 lentelė. Gaisro nuostolių koeficientų lentelė.....	34
7.4 lentelė. Statinio buvimo vietos koeficientų lentelė	35
7.5 lentelė. Gaisro tikimybe pagal medžiagų degumą	35
7.6 lentelė. Koeficientas pagal turimas statinio komunikacijas	35
7.7 lentelė. Elektros linija sujungta su statiniu.....	36
7.8 lentelė. Oro ir kabelinės linijos išraiškos	36
7.9 lentelė. Apsaugos nuo statinio kategorija	37
7.10 lentelė. Apsaugos nuo statinio kategorija	37
8.1 lentelė. Vidinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 - 5m$	39
8.2 lentelė. Vidinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 - 8m$	39
8.3 lentelė. Vidinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 - 12m$	40

8.4 lentelė. Vidinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 - 15\text{m}$	40
9.1 lentelė. Išorinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 - 5\text{m}$	43
9.2 lentelė. Išorinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 - 8\text{m}$	43
9.3 lentelė. Išorinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 - 8\text{m}$	44
9.4 lentelė. Išorinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 - 8\text{m}$	44
10.1 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis kai objekto aukštis $h_1 - 5$ ir 8m	47
10.2 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis kai objekto aukštis $h_1 - 12$ ir 15m	48
11.3 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis, kai objekto aukštis $h_1 - 5\text{m}$ su paaukštintu žaibo ėmikliu.....	51
11.4 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis kai objekto aukštis $h_1 - 8\text{m}$ su paaukštintu žaibo ėmikliu.....	51
11.5 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis kai objekto aukštis $h_1 - 12\text{m}$ su paaukštintu žaibo ėmikliu.....	52
11.6 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis kai objekto aukštis $h_1 - 15\text{m}$ su paaukštintu žaibo ėmikliu.....	52
11.1 lentelė. Vidinė apsaugos zona, kai žaibo ėmiklio aukštis $h - 12\text{cm}$	55
11.2 lentelė. Vidinė apsaugos zonos laboratorinio bandymo rezultatai.....	56
11.3 lentelė. Vidinė apsaugos zonos laboratorinio bandymo rezultatai (tęsinys).....	57
12.1 lentelė. Išorinė apsaugos zona kai žaibo ėmiklio aukštis $h - 12\text{cm}$	58
12.2 lentelė. Išorinės apsaugos zonos laboratorinio bandymo rezultatai.....	59
14.1 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkio laboratorinio bandymo tyrimo duomenys.....	62
14.2 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkio laboratorinio bandymo tyrimo duomenys, kai žaibo ėmiklis paaukštintas	62
14.3 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkio laboratorinio bandymo rezultatai	63
14.4 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkio laboratorinio bandymo rezultatai (tęsinys)	63

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Elektros krūvių pasiskirstymas ir vertikalūs oro srautai perkūnijos debesyse [1].	14
3.1 pav. Vertikalaus strypo žaibo ėmiklio apsaugos zona [3].	17
3.3 pav. Apsaugos kampo priklausomybė nuo žaibolaidžio apsaugos klasės ir žaibo ėmiklio aukščio H nuo norimos apsaugoti zonos atskaitos plokštumos [3].	18
3.4 pav. Pasyvioji apsauga naudojant tinklo metodą [11].	19
3.5 pav. Dviejų strypų žaibo ėmiklių apsaugos zona [3].	20
3.6 pav. Keturių strypinių žaibo ėmiklių apsauga naudojant trosus [11].	20
4.1 pav. Sferos spindulys priklausomai nuo skirtingo apsaugos klasės (LPL – apsaugos nuo žaibo kategorija) [4].	23
4.2 pav. Riedančios sferos metodas ir apsaugos nuo žaibo zonos (LPZs) [4].	24
4.3 pav. Sferos įlenkis (p) tarp žaibo ėmiklių [4].	24
6.1 pav. Programos skaičiavimo metodikos seka [9].	27
7.1 pav. Apsaugos erdvės skaičiavimas T_d stačiakampiems statiniams.	32
7.2. pav. Vidutinė perkūnijos trukmė Lietuvoje (min.) 1961-2010 metų laikotarpiu [13].	33
7.3 pav. Vidutinis dienų su perkūnija skaičius Lietuvoje 1961-2010 metų laikotarpiu [13].	33
8.2 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas kai objektas h_1 – 12m aukščio o žaibo ėmikliai h – 17m aukščio.	41
9.1 pav. Išorinės zonos žaibo ėmiklio formulės atvaizdavimas grafiškai.	42
10.2 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas, kai objektas h_1 – 5m aukščio o žaibo ėmikliai h – 10m aukščio.	45
10.3 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas kai objektas h_1 – 15m aukščio o žaibo ėmikliai h – 20m aukščio.	45
10.1 pav. Vidinės apsaugos zonos įlenkins tarp dvejų žaibo ėmiklių.	46
10.2 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas, kai objektas yra h_1 – 8m aukščio.	49
10.3 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas, kai objekto aukštis yra h_1 – 12m.	49
11.3 pav. Vidinė apsaugos zona su keturiais žaibo ėmikliai, kai objektas yra h_1 – 8m aukščio.	50

11.3 pav. Vidinė apsaugos zona su keturiais žaibo ėmikliai, kai objektas yra $h_1 = 12\text{m}$ aukščio.	50
11.4 pav. Vidinė apsaugos zona su šešiais žaibo ėmikliais, kai objekto aukštis $h_1 = 8\text{m}$ o žairolaidžio $h = 24\text{m}$ ir apsaugos nuo žaibo kategorija II	53
11.1 pav. Impulsinio įtampos generatoriaus principinė schema	54
11.3 pav. Laboratorinio bandymas vidinės apsaugos zonos nustatymui kai objektas $h_1 = 6,5\text{cm}$	56
12.1 pav. Laboratorinio bandymo schema kai objekto aukštis $h_1 = 4,5\text{cm}$	58
12.2 pav. Laboratorinio bandymas išorinės apsaugos zonos nustatymui kai objektas $h_1 = 4,5\text{cm}$	59
12.3 pav. Žaibo išlydžių pramušimai tyrinėjant išorine apsaugos zona.....	60
13.1 pav. Laboratorinio bandymo schema kai objekto aukštis $h_1 = 6,5\text{cm}$	61
13.2 pav. Laboratorinio bandymas vidinės apsaugos zonos nustatymui	61

PAGRINDINĖS SĄVOKOS

“Statinių apsauga nuo žaibo. Išorinė statinių apsauga nuo žaibo“ reglamente vartojamos pagrindinės sąvokos yra tos pačios, kurios pateiktos Lietuvos Respublikos statybos įstatyme ir Elektros įrenginių įrengimo bendrosiose taisyklėse. Kitos Reglamente naudojamos sąvokos:

- **Aktyvusis žaibo ėmiklis** – žaibo ėmiklis su įmontuota elektronine įranga;
- **Išorinė statinių apsauga nuo žaibo** (toliau – išorinė statinių apsauga) – visuma priemonių, skirta statinio apsaugai nuo tiesioginio žaibo poveikio;
- **Įžeminimo laidininkas** – laidininkas, jungiantis žaibo ėmiklį su įžemintuvu;
- **Įžemiklis** (įžeminimo elektrodas) – grunte esantis laidininkas, per kurį, įvykus žaibo išlydžiui, teka didžiausia įžemėjimo srovės dalis;
- **Įžemintuvas** – grunte esančių elektrodų, jungiamųjų laidininkų ir išlyginamojo tinklo visuma;
- **Įžeminimo įrenginys** – įžemintuvo ir įžeminimo laidininkų visuma;
- **Statinio apsaugos nuo žaibo patikimumas** (toliau – statinio apsaugos patikimumas) – patikimumas, kuriuo žaibolaidžio apsaugos zonoje statinys bus apsaugotas nuo tiesioginio žaibo poveikio;
- **Tiesioginis žaibo poveikis** – žaibo išlydis į statinį, dėl kurio statinys gali sugriūti, kilti gaisras statinyje, pavojus žmonėms ir gyvūnams, esantiems statinyje ar šalia jo;
- **Žaibolaidis** – įrenginys, kurį sudaro žaibo ėmiklis, įžeminimo laidininkas, įžemintuvas, kurio pagrindinė dalis yra įžemiklis, skirti statinio apsaugai nuo tiesioginio žaibo poveikio;
- **Žaibolaidžio apsaugos zona** (toliau – apsaugos zona) – erdvė aplink žaibolaidį, kurioje yra maža tiesioginio žaibo poveikio tikimybė ir užtikrinamas pasirinktos apsaugos patikimumas;
- **Žaibo ėmiklis** – žaibolaidžio dalis tiesioginiam žaibo išlydžiui priimti;
- **Izoliuotas žaibolaidis** – strypinis arba lyninis žaibolaidis, tvirtinamas prie saugomo statinio elektrai nelaidžiais (izoliuojančiais) laikikliais.

IVADAS

Kiekvieną sekundę visame pasaulyje vyksta žaibavimai, kurie skrieja žemės link. Žaibas turi daug galios, kurie gali siekti iki šimto tūkstančių kilovoltų, o srovė - iki dviejų šimtų tūkstančių amperų. Žaibai yra pavojingi ne vien tik žmonijai, bet ir gamtai ir gyvūnijai, kur žaibo išlydis gali sukelti didelius gaisrus. Žaibai sukelia terminį, griaunamąjį (mechaninį) ir elektromagnetinį poveikį. Elektros įrenginiams yra pavojingas tiek tiesioginis žaibo smūgis, tiek netiesioginis jo poveikis. Nuo žaibo išlydžio padeda apsisaugoti apsaugos nuo žaibo.

Apsauga nuo žaibo – tai ištisas techninių sprendinių ir specialios įrangos kompleksas.

Daugiau kaip keletą šimtų metų žmonija tobulina apsaugas nuo žaibo. Šiame amžiuje jau yra sukurta ištisos sistemos, kurios padeda apsisaugoti nuo žaibo. Siekiant apsaugoti pastatus ir statinius nuo tiesioginio žaibo smūgio, naudojama tradicinė arba aktyvioji apsauga nuo žaibo. Tradicinės žaibosaugos principai jau buvo suformuoti dar praeito amžiaus pradžioje ir iki šių dienų mažai pakito.

Kintant žemės klimatui, vis dažniau užfiksuojama perkūnijos atvejų, todėl apsauga nuo žaibo tampa vis aktualesnė mokslo sritis, kuriai ligi šiol skirta ne daug dėmesio. Atsižvelgiant į tai, svarbu laiku pradėti tyrimus, kurie padėtų išsiaiškinti, kuri apsaugos nuo žaibo technologija yra efektyviausia, remiantis rizikos skaičiavimais bei apsaugos nuo žaibo projektavimo taisyklėmis.

Darbo tikslas: ištirti apsaugos nuo tiesioginio žaibo smūgio sistemos efektyvumą ir eksperimentiškai įvertinti pažeidžiamumo riziką.

Temos pagrindimui išsikeliami šie uždaviniai:

1. Nustatyti didžiausiai leistinus atstumus tarp žaibo ėmiklių išlaikant apsaugos nuo žaibo efektyvumą;
2. Nustatyti žaibo ėmiklio didžiausias išorinės apsaugos zonos vertes prie kurių yra išlaikomas apsaugos nuo žaibo efektyvumas;
3. Įvertinti apsaugos zonos susiaurėjimą tarp dvejų žaibo ėmiklių, apskaičiuojant leistinus atstumus tarp jų;
4. Eksperimentiškai ištirti apsaugos nuo žaibo sistemos efektyvumą ir pažeidžiamumo riziką.

1. PERKŪNIJA

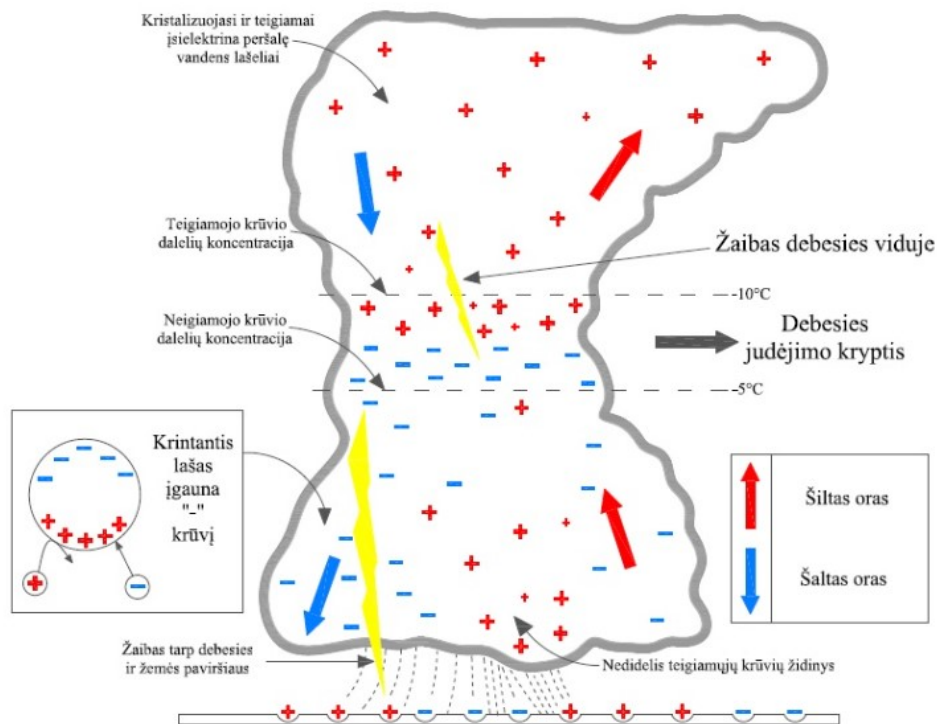
Pirmoje darbo skyriaus dalyje apžvelgiama perkūnijos susidarymo procesas. Perkūnijos metu susidarę krūviai sukuria elektros iškrova kitaip vadinamą žaibą, kuris padaro daug žalos tiek žmonių turtui, tiek sveikatai ir gyvybei. Perkūnijos susidarymo procesus aprašė Arūnas Bukantis ir juos išreiškė taip:

Perkūnija – elektros iškrova atmosferoje tarp debesų ir žemės arba tik tarp debesų, lydima šviesos (vad. *žaibo*) blyksnių ir garsaus dundėjimo (vad. *griaustinio*). Perkūniją paprastai lydi smarkūs vėjai, krituliai, kartais net kruša [1].

Susidarymas – perkūniją sukelia teigiamai ir neigiamai įsielektrinusios debesų dalelės ir jonai, kurių daug susikaupia storuose kamuoliniuose debesyse. Tokiuose debesyse susidaro daug didelių vandens lašelių, kurie iš pradžių būna neutralūs, bet krisdami įsielektrina neigiamai, nes krintantis lašas ar ledo kristalėlis 100 V/m elektriniame lauke poliarizuojasi, pakeliui sutiktus neigiamuosius jonus lašo apačia pritraukia, o teigiamuosius atstumia. Neigiamai įelektrinti lašai krinta į debesis apačią, o atstumtieji teigiamieji jonai su oro srautais kyla į viršų. Kartu kylantys poliarizuoti lašeliai ir ledo kristalai įsielektrina teigiamai. Dar vienas elektrizacijos procesas vyksta kristalizacijos metu – teigiamai įsielektrina ir debesis viršuje besikristalizuodami peršalę vandens lašeliai. Taigi, viršutinėje debesis dalyje kaupiasi teigiamieji jonai, o vidurinėje ir žemutinėje – neigiamieji. Neigiamojo krūvio jonai koncentruojasi arti $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ izotermos, o teigiamojo krūvio centras – keliais kilometrais aukščiau. Nedidelių teigiamų jonų židinių dar būna ir debesis apačioje ties $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ izoterma. Neigiamai įsielektrinusios debesis apačia indukuoja priešingą, t. y. teigiamąjį, žemės paviršiaus krūvį [1].

Elektros iškrovos – vidutinio dydžio perkūnijos debesyje cirkuliuoja apie 100 000 t vandens, todėl toks debesis tampa galingu elektros generatoriumi atmosferoje. Kai debesyse, tarp debesų arba tarp žemės paviršiaus ir debesis įtampa pasiekia 100 mln. ir daugiau voltų, prasideda elektros iškrovos – žaibavimas. Prieš pagrindinę žaibo iškrovą nuo debesis link žemės praeina žaibas lyderis. Lyderio kanale vyksta stipri oro jonizacija [1].

Lyderio jonizuotu kanalu juda pagrindinio žaibo impulsas, kuris prasideda jau nuo žemės ir toliau žaibuoja nuo žemės į viršų (teigiami krūviai kyla į viršų). Pagrindinio žaibo impulsai juda maždaug puse šviesos greičio [1].



1.1 pav. Elektros krūvių pasiskirstymas ir vertikalūs oro srautai perkūnijos debesyse [1].

Perkūnijų pasiskirstymas – Lietuvos teritorijoje per metus būna 19–30 dienų su perkūnija (kai kuriais metais būna net 40–45 kartų). Dažniausiai tokių dienų pasitaiko Lietuvos pietuose, nes čia šiurkštus, minkštas paklotinis paviršius stabdo oro srautus ir skatina konvekcinius procesus [2].

Perkūnija vienu metu apima nedidelę teritorijos dalį, nes konvekcija taip pat yra lokalinis reiškinys. Tik vasarą apie 15–20 % perkūnijų apima daugiau kaip pusę teritorijos. Žiemos perkūnijas vienu metu užfiksuoja ne daugiau kaip 1–2 meteorologijos stotys (daugiausiai pajūrio) [2].

Dienų su perkūnijomis skaičius – daugiausiai dienų su perkūnijomis būna birželio–liepos mėnesiais (pajūryje – rugpjūtį). Žemyninėje teritorijos dalyje perkūnijų daugėja pavasarį sparčiau negu pajūryje, sparčiau rudenį ir mažėja. Gegužės–rugsėjo mėnesiais tenka 96 % metinio dienų su perkūnijomis skaičiaus. Šaltuoju metų laiku (lapkričio–kovo mėnesiais) perkūnijų pasitaiko ne kas metai: pajūryje – 80 %, kitur 40–50 % metų [2].

Perkūnijos trukmė – per parą perkūnija trunka vidutiniškai 2,1–2,4 valandas (kartais vasarą – net 14–16 val.). Ilgiausiai (apie 4 val.) perkūnija trunka nejudriuose ir šaltuose frontuose, kuriuose kyla banginiai procesai, ir šiltuose frontuose, judančiuose iš pietų ir rytų (apie 2 val.). Mažiausiai trunka vidujinės perkūnijos – apie 0,5 valandos [2].

Perkūnių paros eiga – Perkūnių paros eiga žemyninėje teritorijos dalyje paklūsta terminės konvekcijos paros eigai, todėl apie 43 % perkūnijos valandų tenka laiko intervalui tarp 12–18 valandos. Perkūnijos dažnos ir 18–23 valandą (34 % bendros trukmės), nes šiuo metu jos kaip tik susidaro šiltuose frontuose. Pajūryje trečdalis perkūnijos valandų taip pat koncentruojasi vakare, 18–24 valandomis (kai nusilpsta konvekciją stabdantis jūros brizas). Rečiausiai perkūnijos pasitaiko 6–12 valandomis [2].

2. STATINIŲ APSAUGOS NUO ŽAIBO KLASIFIKAVIMAS

Apsaugos nuo žaibo sistemos projektuojamos ir įrengiamos pagal Lietuvoje galiojantį statybos techninį reglamentą: *Statinių apsauga nuo žaibo. Išorinė statinių apsauga nuo žaibo*.

Apsaugos nuo žaibo požiūriu visi pastatai ir statiniai pagal LST EN 62305-2 skirstomi į keturias kategorijas:

I kategorijai – priskiriami gamybiniai statiniai, sandėliai ir kitos paskirties patalpos, kuriose ilgai išsilaiko ir sistemingai kaupiasi degūs ir sprogūs dujų, skysčių garų arba lašelių, dulkių bei plaušelių ir oro mišiniai, kurie nuo elektros kibirkšties galėtų sprogti ir sugriauti statinius arba traumuoti žmones.

II kategorija – priskiriami visi gamybiniai statiniai, sandėliai arba kitos paskirties patalpos, kuriose susidaro dujų, garų ir dulkių mišiniai su oru, galintys sprogti gamybinės avarijos metu (sugedus ventiliacijai ir t.t.).

III kategorija – priskiriami visi gamybiniai statiniai, gyvulininkystės fermos, sandėliai, visuomeniniai ir gyvenamieji pastatai bei patalpos, kuriuos žaibas gali uždegti, sugriauti, traumuoti juose esančius žmones ir užmušti juose esančius gyvulius.

IV kategorija – priskiriami visi kiti likę statiniai.

3.1 lentelė. Statinio apsaugos nuo žaibo kategorijos patikimumas [3].

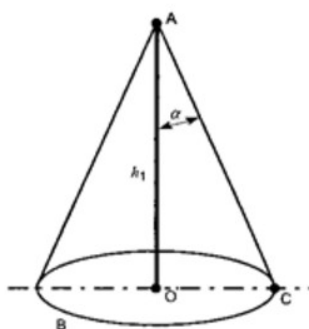
Apsaugos klasė	Apsaugos patikimumas
I	0,99
II	0,97
III	0,91
IV	0,84

3. APSAUGA NUO ŽAIBO

Pasyvioji apsauga nuo žaibo – statinio apsaugai nuo tiesioginio žaibo poveikio apsaugoti iškėlimas žaibo ėmiklis „strypas“ (*žaibo ėmiklis – žaibolaidžio dalis, skirta žaibo gaudymui*). Šie žaibo ėmikliai priima žaibo smūgį ir nutekina jį į žemę taip apsaugodami saugomus objektus.

Labai dažnai galima sutikti kyšančius strypus dar kitaip vadinamus Franklino žaibolaidžiais, kurie susideda iš kelių pagrindinių dalių t.y. žaibo ėmiklio, įžeminimo laidininko ir įžemiklio [5,10].

Vertikalaus „strypo“ žaibo ėmiklio apsaugos zona yra kūgio formos, kurio ašis sutampa su žaibo ėmiklio ašimi, kampas α priklauso nuo apsaugos klasės (žr. 3.1 pav.) ir parenkamo žaibo ėmiklio aukščio [5,10].



3.1 pav. Vertikalaus strypo žaibo ėmiklio apsaugos zona [3].

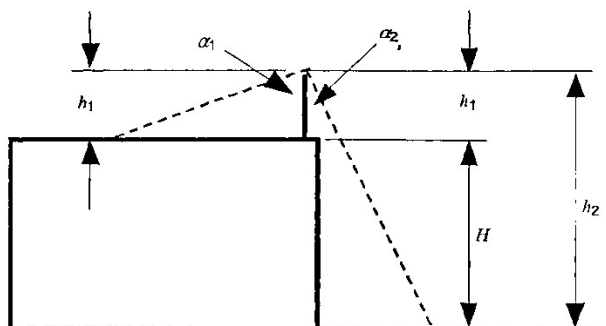
Čia: A – žaibo ėmiklio viršūnė;

B – atskaitos plokštuma;

OC – apsaugos zonos spindulys;

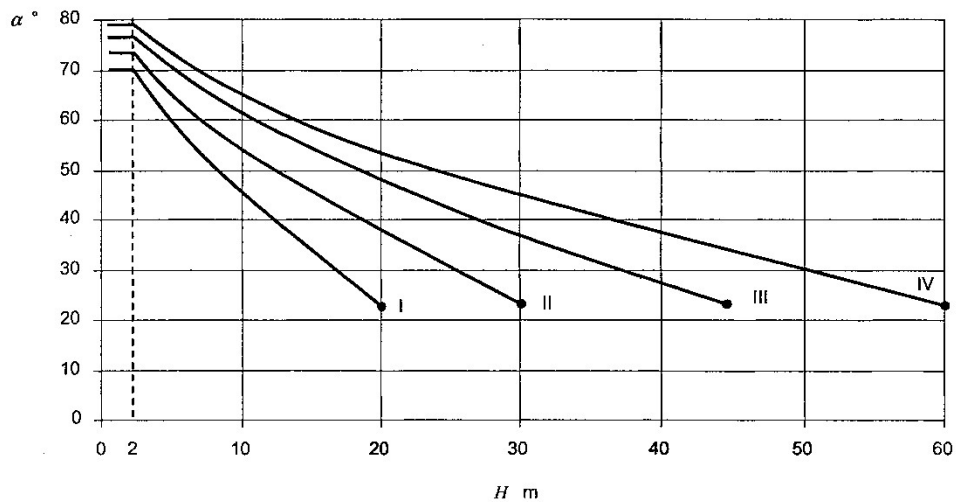
h_1 – žaibo ėmiklio strypo aukštis virš apsaugos zonos atskaitos plokštumos;

α – apsauginis kampas pagal.



3.2 pav. Vertikalaus strypo žaibo ėmiklio apsaugos zona [3].

Čia h_1 – fizinis žaibo ėmiklio strypo aukštis.



3.3 pav. Apsaugos kampo priklausomybė nuo žaibolaidžio apsaugos klasės ir žaibo ėmiklio aukščio H nuo norimos apsaugoti zonos atskaitos plokštumos [3].

3.1 lentelė. Pasyvaus žaibo ėmiklio privalumai ir trūkumai

Privalumai	Trūkumai
Lengvas įrengimas	Nedidelis apsaugos zonos plotas
Ekonomiška	Stambios konstrukcijos reikalaujančios atlaikyti mechanines apkrovas
Galima įrenginti matomai ir paslėptai statinių struktūroje	

Apsaugai ant šlaitinio stogo kraigo prie kiekvieno metalinio kamino ar išsikišimo tvirtinami nedideli 0,15m aukščio strypai, kurie specialia viela susijungiami su žemėje esančių įžeminimo įrenginiu. Esant plokščiam stogui visos esančios metalinės dalys – metalinė stogo danga (arba metalinis tinklas), metalinės antenos ir t.t – sujungiamos ir įžeminamos [5,10].

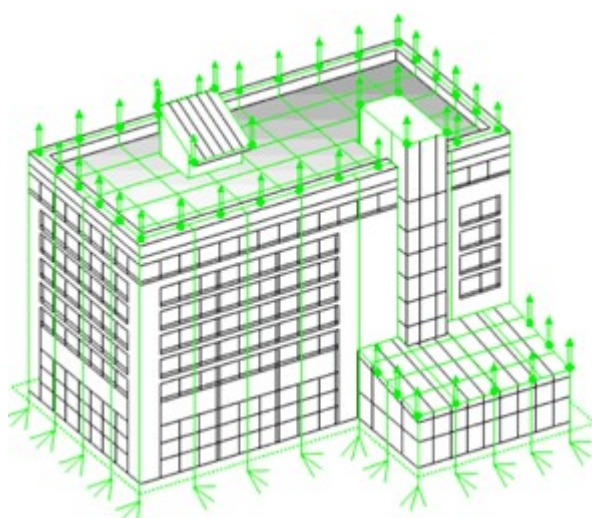
Esant dideliems plokščiems stogams jų apsaugai nuo žaibo naudojamas tinklo metodas (ar kitaip Faradėjaus narvas), kuris susideda tam tikru atstumu (žr. 3.2 lent.) ir išdėstytais žaibo nuvedikliais (viela) priklausomai nuo apsaugos klasės (žr. 3.3 lent.).

3.2 lentelė. Pasyvioji apsauga naudojant tinklo metodą [3].

Apsaugos klasė	Tinklo žingsnis, m
I	5 × 5
II	10 × 10
III	15 × 15
IV	20 × 20

3.3 lentelė. Vidutinis atstumas tarp įžeminimo laidininkų priklausomai nuo apsaugos klasės

Apsaugos klasė	Vidutinis atstumas tarp įžeminimo laidininkų, m
I	10
II	15
III	20
IV	25

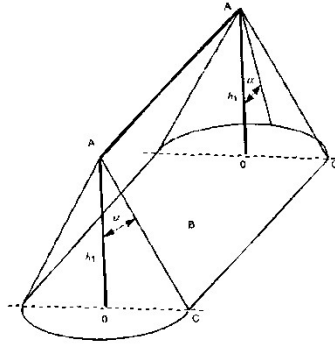


3.4 pav. Pasyvioji apsauga naudojant tinklo metodą [11].

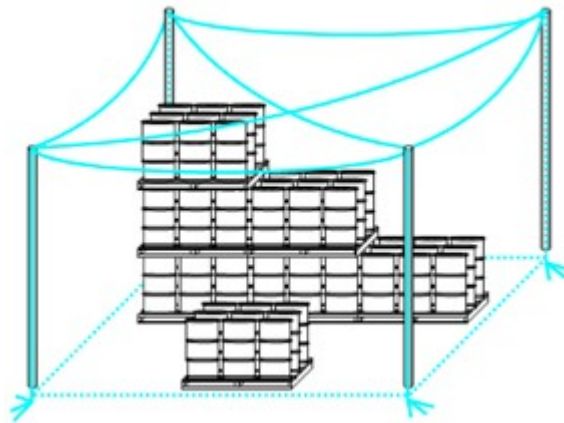
3.4 lentelė. Pasyviosios tinklo apsaugos privalumai ir trūkumai [11].

Privalumai	Trūkumai
Sumažinamas elektromagnetinės spinduliuotės poveikis.	Kompleksiškas įrengimas nėra pigiai įrengiamas.
Prideda prie bendro potencialo išlyginimo tarp objekto elementu ir žemės potencialo atžvilgiu.	Suteikia ne estetinį vaizdą priklausomai nuo apsaugomo objekto.

Ilgų statinių bei elektros perdavimo linijų apsaugai naudojami trosai (lynais) su žaibo ėmikliais. Šis apsaugos principas panašus į tinklo metodą (ar kitaip Faradėjaus narvą). Dviejų strypų žaibo ėmiklių apsaugos zona yra vieno strypo žaibo ėmiklių zonų suma, kai kūgio viršūnės yra kiekviename tiesės tarp strypų taške.



3.5 pav. Dviejų strypų žaibo ėmiklių apsaugos zona [3].



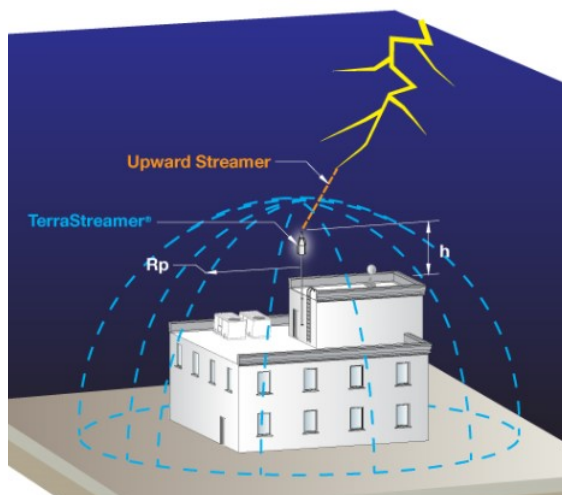
3.6 pav. Keturių strypinių žaibo ėmiklių apsauga naudojant trosus [11].

3.5 lentelė. Žaibo ėmiklių su įtemptu trosu apsauga privalumai ir trūkumai [11]:

Privalumai	Trūkumai
Sumažinamas elektromagnetinės spinduliuotės poveikis saugomajame plote. Žaibo srovė nuteka keliais laidininkais žemyn.	Kabantys trosai gali būti pavojingi kėlimo mechanizmams.
Prisideda prie bendro potencialo išlyginimo tarp objekto elementu ir žemės potencialo atžvilgiu.	Kompleksiškas įrengimas, nėra pigiai įrengiamas.
Apsaugo atviras zonas.	Suteikia ne estetinį vaizdą priklausomai nuo apsaugomo objekto.

Aktyvioji apsauga nuo žaibo – statinio apsaugai nuo tiesioginio žaibo poveikio skirtas įrenginys su įmontuota elektronine įranga, sukuriančia vainikinį išlydį. Aktyviajame žaibo ėmiklyje sumontuota elektroninė įranga, kuri perkūnijos metu per sekundės dalis prieš žaibo išlydį ima skleisti aukšto dažnio impulsus. Dėl to žaibo ėmiklis sukuria vainikinį išlydį, kuris sukuria jonizuotą kanalą (atvirkštinį išlydį) žaibui nukreipti į žaibo ėmiklį. Šis jonizuotas kanalas sąlyginai padidina žaibo ėmiklio aukštį ir daug kartų praplečia jo apsaugos zoną. Aktyviojo žaibo ėmiklio apsaugos zona gali siekti iki 100 metrų ir daugiau, priklausomai nuo žaibosaugos

kategorijos, sumontavimo aukščio (ne mažiau 2-6 m. virš aukščiausios statinio dalies) ir aktyvinio žaibolaidžio gamintojo nurodytų parametrų. Apsaugos spindulio dydis priklauso nuo išankstinio žaibolaidžio aktyvavimo laiko (Δt μs) tai skaičius, nurodantis veikimo aukštį bei efektyvumą [12].



3.7 pav. Aktyviojo žaibolaidžio apsaugos zona.

3.6 lentelė. Aktyviosios žaibosaugos privalumai ir trūkumai [11].

Privalumai	Trūkumai
Jei apsaugoma teritorija yra pavojinga, aktyvusis žaibo ėmiklis gali būti montuojamas lauke.	Minimalus aktyvaus žaibolaidžio aukštis 2 metrai nuo aukščiausio statinio altitudės.
Galima apsaugoti keletą statinių vienu metu su tuo pačiu žaibo ėmikliu.	Stambios konstrukcijos reikalaujančios atlaikyti mechanines apkrovas priklausomai nuo reikiamo aktyvaus žaibolaidžio aukščio.
Ekonomiškesnis variantas nei kitos sistemos su apsauga nuo žaibo.	
Galima apsaugoti pastatus ir supančią aplinką tuo pačiu laiku.	
Apsauga atviroms erdvėms.	
Gali būti lengvai integruojamas pastebimai ir paslėptai į pastato konstrukcijas.	

Būtina parinkti tinkamiausią pastatui žaibosaugos sistemą, apskaičiuoti perdengimo zonas (t.y. plotą, kurį žaibolaidis turi apsaugoti) pagal pastato kategoriją, tinkamai parinkti medžiagas žaibolaidžio įrengimui. Aktyvinio, Faradėjaus, Franklino ir trosinio žaibolaidžių įžemintuvų varžos turi atitikti Elektros įrenginių įrengimo bendrųjų taisyklių reikalavimus ir STR 2.01.06:2009 „Statinių apsauga nuo žaibo“, „Išorinė statinių apsauga nuo žaibo“ standartų reikalavimus [5,10].

Žaibosaugos sistemą pastatui parenka projektuotojas, atsižvelgdamas į daugelį parametrų. Saugant pastatus nuo tiesioginių žaibo išlydžių, stengiamasi nukreipti žaibo energiją į žemę, tiesiausiu keliu, kiek įmanoma mažiau ją sulaikant. Pagal keliamus reikalavimus STR 2.01.06:2009 [3,5,10].

Reikalavimus Aktyviojo žaibo šaltiniui nustato gamintojas. Aktyvieji žaibo šaltiniai gali būti naudojami tik tada, kai jie atitinka Europos Sąjungos direktyvose, normatyviniuose saugos ir paskirties dokumentuose ir kituose teisės aktuose nustatytiems techniniams, saugos ir kokybės reikalavimams [5,10].

Projektuojant ir įrenginėjant žaibosaugos sistemas būtina vadovautis STR 2.01.06:2009 „Statinių apsauga nuo žaibo“, reglamentu „Išorinė statinių apsauga nuo žaibo“, bei šio reglamento nuorodomis į kitus dokumentus [5,10].

4. SFEROS METODAS

Pats tiksliausias būdas patikrinti ar suprojektuota pastato apsauga nuo žaibo efektyvi yra sferos metodas. Tai apibrėžia „Statinių apsauga nuo žaibo. Išorinė statinių apsauga nuo žaibo“ reglamente. Sfera simbolizuoja rutulys kurio dydis priklauso nuo apsaugos klasės, prie skirtingos kategorijos skiriasi sferos dydis. Kuo reikalaujama apsaugos nuo žaibo kategorija yra didesnė, tuo sfera yra mažesnė, nes išauga apsaugos patikimumas.

4.1 lentelė. Sferos dydis pagal kategorija [3]

Rizikos lygis (apsaugos nuo žaibo kategorija)	Sferos spindulys
I	20 m
II	30 m
III	45 m
IV	60 m



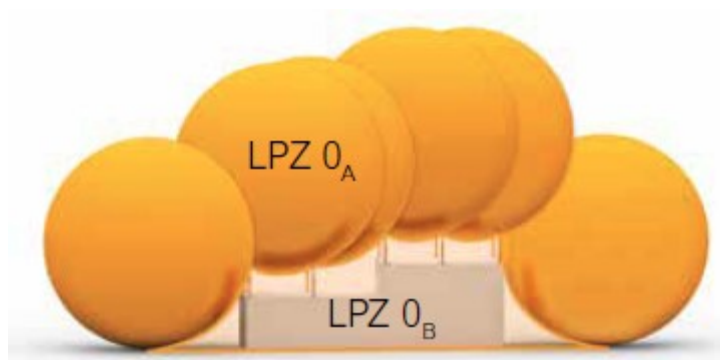
4.1 pav. Sferos spindulys priklausomai nuo skirtingo apsaugos klasės (LPL – apsaugos nuo žaibo kategorija) [4]

Modernios programos gali leisti modeliuoti sfera 2D ir 3D erdvėje. Sfera turi neliesti statinio, jeigu taip įvyksta tada reiškia, kad suprojektuota apsauga nuo žaibo yra bloga. Sferos rutulys turi „perriedėti“ visą statinį ir, jeigu nei vienoje vietoje nelietė statinio, o tik žaibo ėmiklius ir laidininkus, tada yra teigiama, kad apsauga yra tinkamai suprojektuota ir yra efektyvi.

Sferos rutulio metodas leidžia instaliaciją išskirti į skirtingas apsaugos nuo žaibo zonas (LPZs) ar „apsaugos nuo žaibo lygius“ (LPLs) [4]:

- LPZ 0A – pavojai nuo tiesioginių žaibo smūgių ir susidariusio elektromagnetinio lauko;

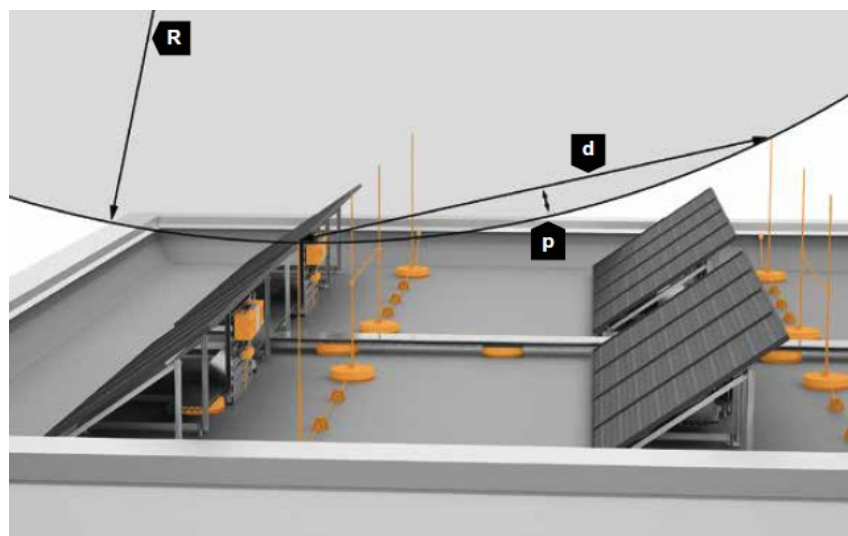
- LPZ 0B – apsaugo nuo tiesioginių žaibo „smūgių“, bet išlieka žaibo elektromagnetinio lauko rizika.



4.2 pav. Riedančios sferos metodas ir apsaugos nuo žaibo zonos (LPZs) [4]

Žaibo pataikymas į statinio sieną/šoną galimi, jei statinys yra aukštesnis už sferos spindulį. Tačiau tikimybė, kad žaibo šoninis smūgis statiniams, kurių aukštis ne didesnis kaip $h < 60$ m, yra labai maža [3].

Sferos metodas tai pat gali būti naudojamas nustatyti reikiamų žaibo ėmiklių aukštį ir atstumą tarp jų. Jeigu yra naudojami keli žaibo ėmikliai, skirti apsaugoti statinį ar objektą, reikia atkreipti dėmesį į sferos įlenkį tarp žaibo ėmiklių [4].



4.3 pav. Sferos įlenkis (p) tarp žaibo ėmiklių [4]

- Čia p – įlenkio gylis;
 R – sferos spindulys;
 d – atstumas tarp žaibo ėmiklių.

4.2 lentelė. Sferos įlenkiai prie atitinkamos kategorijos ir atstumo [4]

Atstumas tarp žaibo ėmiklių (d) metrais	Įlenkio gylis, kai apsaugos nuo žaibo kategorija I, sferos spindulys R – 20m	Įlenkio gylis kai apsaugos nuo žaibo kategorija II, sferos spindulys R – 30m	Įlenkio gylis kai apsaugos nuo žaibo kategorija III, sferos spindulys R – 45m	Įlenkio gylis kai apsaugos nuo žaibo kategorija IV, sferos spindulys R – 60m
2	0,03	0,02	0,01	0,01
3	0,06	0,04	0,03	0,02
4	0,10	0,07	0,04	0,04
5	0,16	0,10	0,07	0,05
10	0,64	0,42	0,28	0,21
15	1,46	0,96	0,63	0,47
20	2,68	1,72	1,13	0,84

Sferos įlenkis tarp žaibo ėmiklių galima apskaičiuoti pagal formulę [4]:

$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

Čia p – įlenkio gylis;

r – sferos spindulys;

d – atstumas tarp žaibo ėmiklių.

5. ATLIKTI TYRIMAI

Buvo ištirti įvairių tipų aktyvieji žaibo ėmikliai: DYNASPHERE 3000 (pagaminta Australijoje); PULSAR 60 (pagaminta Prancūzijoje); PREVECTRON 2-S6.60 (pagaminta Prancūzijoje). Šių aktyviųjų žaibo ėmiklių veikimo efektyvumas lyginamas su tradicinių Franklino strypinių žaibo ėmikliu, turinčių skirtingos geometrinės formos viršutinius antgalius. Bandymų metu Vokietijoje, Ilmenau technikos universiteto laboratorijoje buvo vertinami išlydžio įtampų pradžios kitimo parametrai ir išlydžių emisijos srovių pakitimai. Malaizijos sostinėje Kvala Lumpūre 10 metų (nuo 1990 m. iki 2000 m.) buvo tiriami 25 aktyviosios apsaugos žaibo ėmikliai natūraliomis gamtinėmis sąlygomis. Kvala Lumpūras priklauso didelių audrų su lietumi ir žaibais zonai (daugiau nei 200 dienų per metus vyksta žaibavimas ir audros). Buvo stebimas žaibo išlydžių poveikis pastatams [5].

Apibendrinant bandymus, atliktus Vokietijoje laboratorijos sąlygomis ir Malaizijoje natūraliomis sąlygomis, daroma keletas išvadų [5]:

- Aktyvieji žaibo ėmikliai nėra efektyvesni nei Franklino tipo žaibo ėmikliai;
- Aktyviųjų žaibo ėmiklių įranga nesudaro sąlygų pasikeisti emisijos srovėms.

2000 metais Malaizijoje 25-oje tarptautinėje apsaugos nuo žaibo klausimais vykusioje konferencijoje paskelbta [5]:

- Pastebėta, kad žaibas pažeidžia ne vien tik aktyviaisiais žaibo ėmikliais saugomų pastatų aštirus kampus, kraštus ar stogo viršūnes, bet pasitaiko atvejų, kad žaibo išlydis kartais koncentruojasi ir į apvalias namo struktūros dalis;
- Pastebėta, kad žaibo išlydžių vietos būna šalia arba net žemiau nuo aktyviojo žaibo ėmiklio elektroninės įrangos.

Po tyrimų Malaizijoje ekspertai nerekomenduoja pastatų apsaugai nuo žaibų naudoti aktyviają žaibolaidžių įrangą, nes ji neužtikrina veiksmingesnės pastatų apsaugos nuo žaibo tiesioginių išlydžių negu Franklino strypiniai žaibolaidžiai [5].

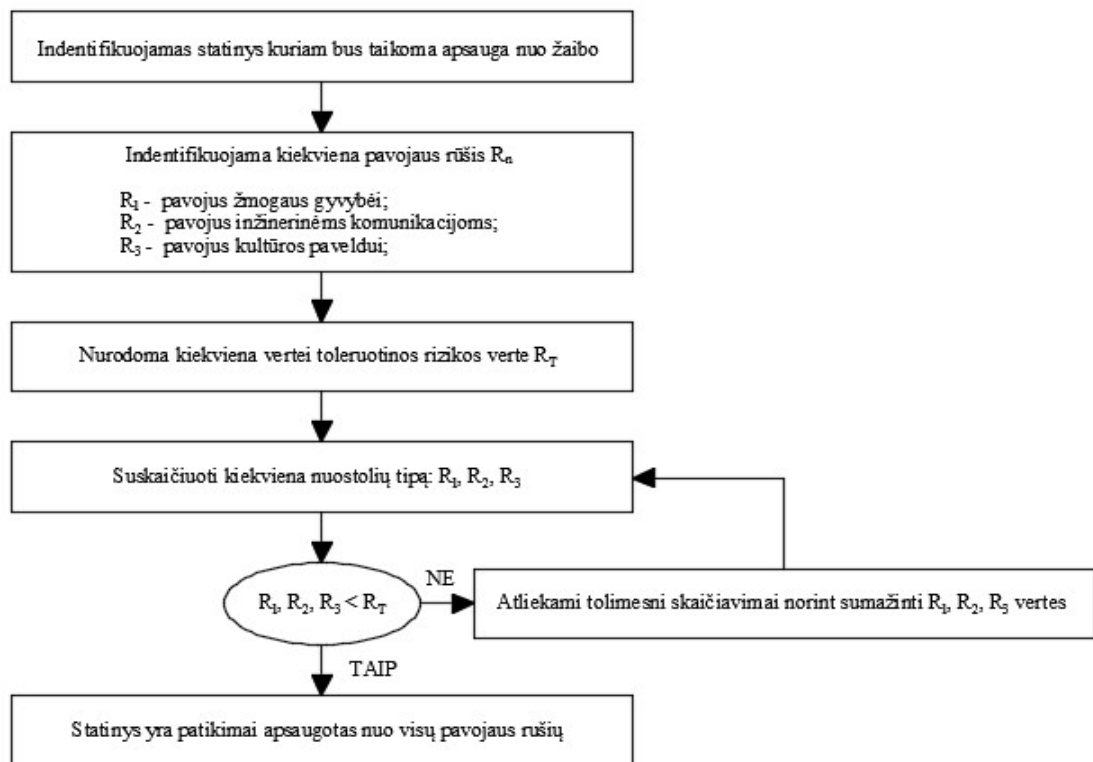
6. STATINIO APSAUGOS NUO ŽAIBO RIZIKOS

IEC 62305-2 nurodo žaibo rizikos skaičiavimo procedūra, kurioje apibrėžta skaičiavimo metodika ir leistinos ribos. Gauti rezultatai turi būti žemesni arba lygūs nurodytoms standarte IEC 62305-2 vertėms, tik tada daroma išvada, kad yra tinkamai įvertinta pastato rizika bei parinkta statinio apsaugos nuo žaibo kategorija.

Rizika apskaičiuojama, atsižvelgiant į statinio (objekto) kategoriją, kuriai jis yra priskiriamas. Apsaugos nuo žaibo klasė lemia patikimumas, kuris yra nurodomas STR 2.01.06:2009 (*Statinių apsauga nuo žaibo. Išorinė statinių apsauga nuo žaibo*) arba LST EN 62305-2 Lietuvoje.

Apsaugos nuo žaibo rizikos skaičiavimai gali būti neskaiciuojami kai to nereikalaujama. Didesnio patikimumo statiniams rizikos skaičiavimai yra būtini.

Pats standartas yra brangus ir jis susideda iš daugiau nei šimto puslapiu. Išsami rizikos skaičiavimo analizė gali trukti daugiau nei dešimtis valandų kol būtų nuodugniai išanalizuota situacija. Tam, kad būtų sumažinta rizikos skaičiavimo trukmė yra naudojamos skaičiavimo programos, kurios supaprastina skaičiavimus.



6.1 pav. Programos skaičiavimo metodikos seka [9].

Sudėtingiems arba didelio sprogimo rizikos pastatams/situacijoms reikėtų atlikti detalizuotus rizikos skaičiavimą remiantis standartu, tai apimtų [9]:

- vietos su pavojingomis ar sprogiomis medžiagomis;
- ligoninės arba kiti statiniai, kai nepradėjus veikti vidaus sistemoms atsiranda tikimybė sukelti žmogaus gyvybei pavojų;

Rizikos analizės procesą galima išskaidyti į keletą punktų:

- identifikuoti statinį, kuris bus apsaugotas ir jo aplinką;
- suskaičiuoti kiekviena nuostolių ir rizikos rūšis (nuo R_1 iki R_3);
- palyginti R_1 iki R_3 su toleruotinos rizikos verte R_T ir nustatyti, ar apsauga yra reikalinga;
- vertinti apsaugos galimybe R_1 iki $R_3 \leq R_T$;
- kiekviena rizikos vertė R turi atskirą toleruotinos rizikos vertę R_T .

Statinio apsaugos nuo žaibo rizikos reikšmės R_1, R_2, R_3 turi būti lygios arba **mažesnės** už toleruotinos rizikos vertę R_T .

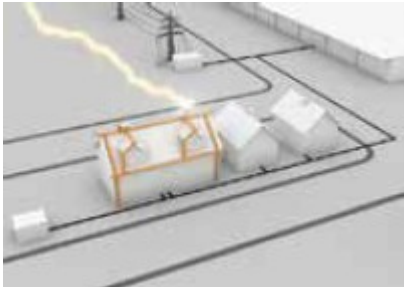
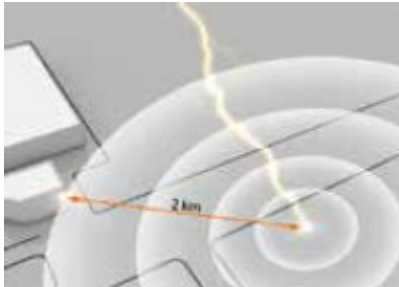
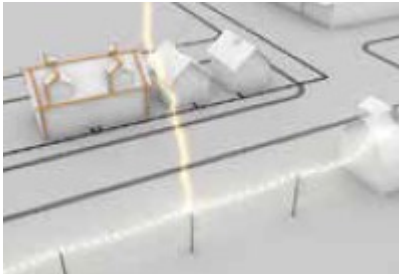

6.1 lentelė. Toleruotinos rizikos vertės R_T .

Nuostolių tipas	$R_T(y^{-1})$
	IEC 62305-2
Pavojus žmogaus gyvybei	10^{-5} (rizika nuo 1 iki 100 000)
Pavojus inžinerinėms komunikacijoms	10^{-3} (rizika nuo 1 iki 1000)
Kultūrinių vertybių nuostoliai	10^{-4} (rizika nuo 1 iki 1000)

Kiekviena iš šių rizikų yra suskirstytos į atskirus rizikos komponentus (subkategorijas), kurie įvertinami pagal tiesioginius ir netiesioginius žaibo poveikius statiniams.

Pagal IEC 62305-2 rizikos analizės standartą žaibo išlydžiai yra priskiriami vienai ar keturioms galimoms pažaidoms (žalos rūšis (S1-S4)), priklausomai nuo smūgio vietos. Žaibo išlydis gali sukelti tris galimus padarinius (sukeltas nuostolis (D1-D4)), kuriuos sukelia žaibo išlydžiai. Gali būti įvairių saugomų objektų pažaidos priežastys (pažaidos tipas (L1-L4)) [4].

6.2 lentelė. Rizikos analizė pagal IEC 62305-2 [4]

Žaibo išlydžio vieta	Pavyzdys	Žalos rūšis	Sukeltos žalos tipas	Sukeltos nuostolių tipas
Objektui		S1	C1 C2 C3	D1, D4 D1, D2, D3, D4 D1, D2, D4
Į žeme netoli objekto		S2	C3	D1, D2, D4
Į komunikacijas kuri jungiasi su objektu		S3	C1 C2 C3	D1 D1, D2, D3, D4 D1, D2, D4
Į žeme netoli komunikacijos		S4	C3	D1, D2, D4

Čia C1 – elektros smūgis gyvai būtybei per prisilietimo ar žingsnio įtampą;

C2 – Gaisro, sprogimo, mechaniniu ar cheminių įvykių poveikis kurį sukėlė žaibo išlydis;

C3 – Elektros ir elektronikos sistemų sugadinimas dėl sukeltų viršįtampių;

- D1 – žmonių sužalojimas;
- D2 – neleistinas komunikacijų sutrikimas;
- D3 – kultūrinių vertybių nuostoliai;
- D4 – ekonominiai nuostoliai.

S1 – tiesioginis žaibo smūgis į objektą. Jeigu žaibo išlydis pataiko tiesiai į objekto apsaugos nuo žaibo sistemą arba į įžemintus ant stogo elementus, tuo atveju žaibo išlydžio srovė gali būti saugiai nutekinta į prijungtą įžemiklį. Bet vienos žaibo apsaugos sistemos nepakanka. Dėl šios nepriklausomybės visa pastato įžeminimo sistema įgauna didesnę potencialą. Šis potencialų skirtumas nulemia žaibo išlydžio srovės pasiskirstymą po visą objekto įžeminimo sistemą bei per visą elektros tiekimo ir ryšio kabelius įjungtus į įžeminimo sistemą. Tiesioginis žaibo smūgis kelia pavojų žmonių gyvybei, komunikacijoms, kultūrinėms vertybėms ir materialiam turtui. Statinio apsauga nuo žaibo žmonėms padeda išvengti tiesioginės žaibo išlydžio srovės ir gaisro sukėlimo rizikos [4].

S2 – žaibo smūgis netoli objekto. Vietinis žaibo išlydis sukuria papildomai aukštus magnetinius laukus, kurie elektros linijose sukelia viršįtampius sistemoje. Sukelti viršįtampių trikdžiai gali sugadinti elektros ir elektronikos sistemas. Apsaugos nuo žaibo sistema ir viršįtampių ribotuvai apsaugo nuo nekontroliuojamo kibirkščiavimo ir keliamos gaisro sukėlimo tikimybės [4].

S3 – tiesioginis žaibo smūgis į tiekimo linija. Tiesioginiam žaibo išlydžiui pataikius į žemos įtampos elektros ar ryšių kabelius, galimai dalis išlydžio srovės teks objektui, kuris yra sujungtas su šiais kabeliais. Elektros įrangai esančiai objekte didėja rizika būti sugandintiems nuo viršįtampių. Rizikos laipsnis priklauso nuo to kokia yra linija (oro ar požeminė), koks yra kabelių ekranavimo būdas ir kaip yra sujungta su įžeminimo potencialu. Tinkamos viršįtampio ir apsaugos nuo žaibo sistemos kompensuoja į objektą įeinančia sukelta žaibo išlydžio srovė [4].

S4 – tiesioginis žaibo smūgis šalia tiekimo linijos. Žaibo išlydis susidaręs arti elektros kabelio jame sukelia viršįtampius. Viršįtampių šuoliai yra papildomai sukeliama ir komutacijos metu (išjungimo/įjungimo operacijos), išjungiant arba prijungiant induktyvias ir reaktyvias apkrovas ir dėl trumpųjų jungimo srovių [4].

7. RIZIKOS SKAIČIAVIMAI

Skaičiavimo programos paremtos numatytais formulėmis kurios yra standarte IEC 62305-2 [2] pagal jas apskaičiuojamos rizikos reikšmės R_1 , R_2 , R_3 .

Visi šie skaičiavimai yra paremti į perkūnijos intensyvumą, statinio vietą, grėsme žmogui, gaisro nuostolių koeficientą, statinio komunikacijos, viršįtampio ribotuvus, statinio apsaugos nuo žaibo kategorija, žaibavimo intensyvumą regione ir gaisro tikimybe.

7.1 lentelė. Rizikos skaičiavimo formulės

Rizikos reikšmė	Formulės
R_1	$= R_{d1} + R_{i1}$ $= (N_d * P_d * h * r_f * L_{f1}) + (N_i * P_i * h * r_f * L_{f1})$ $= ((N_g * A_d * C_d * 0,000001) * P_d * h * r_f * L_{f1}) + ((N_g * C_d * A_i * 0,000001) * P_i * h * r_f * L_{f1})$
R_2	$= R_{d2} + R_{i2}$ $= (N_d * P_d * h * r_f * L_{f2}) + (N_i * P_i * h * r_f * L_{f2})$ $= ((N_g * A_d * C_d * 0,000001) * P_d * r_f * L_{f2}) + ((N_g * C_d * A_i * 0,000001) * P_i * r_f * L_{f2})$
R_3	$= R_{d3} + R_{i3}$ $= (N_d * P_d * h * r_f * 0,1) + (N_i * P_i * r_f * 0,1)$ $= ((N_g * A_d * C_d * 0,000001) * P_d * r_f * 0,1) + ((N_g * C_d * A_i * 0,000001) * P_i * r_f * 0,1)$

Čia A_i – elektros linijos;

T_d – perkūnijos intensyvumas;

C_d - statinio vieta;

h – grėsmė žmogui;

L_{f1} – gaisro nuostolių koeficientas;

L_{f2} – statinio komunikacijos;

P_i – viršįtampių ribotuvai;

P_d – statinio apsaugos nuo žaibo kategorija;

N_g – žaibavimo intensyvumas tame regione;

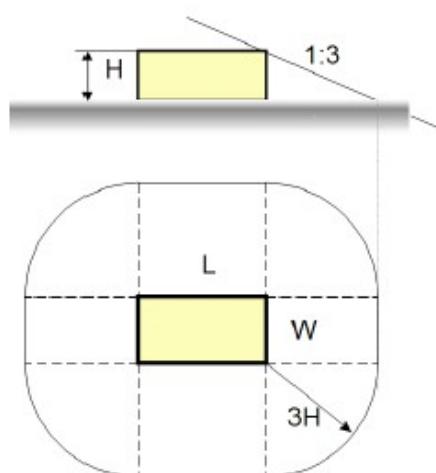
r_f – gaisro tikimybė.

Statinio parametrai Ad – skaičiavimo plotas nurodo žemės plotą kuriame kiekvienais metais yra tikimybė žaibo išlydžiui. Įvertinat apsaugomą plotą, reikia žinoti statinio aukštį ir buvimo vietovę.

Izoliuotam statiniui, esančiam ant žemės, apsaugos erdvė Ad yra apibrėžta atstumu tarp žemės paviršiaus ir tiesių linijų susikirtimo 1/3 nuolydžio, kuris pereina nuo viršutinių statinio dalių (žr. pav.7.1). Matematiškai apsaugos erdvė apskaičiuojama:

$$A_d = L * W + 6 * H * (L + W) + 9 * \Pi * H^2$$

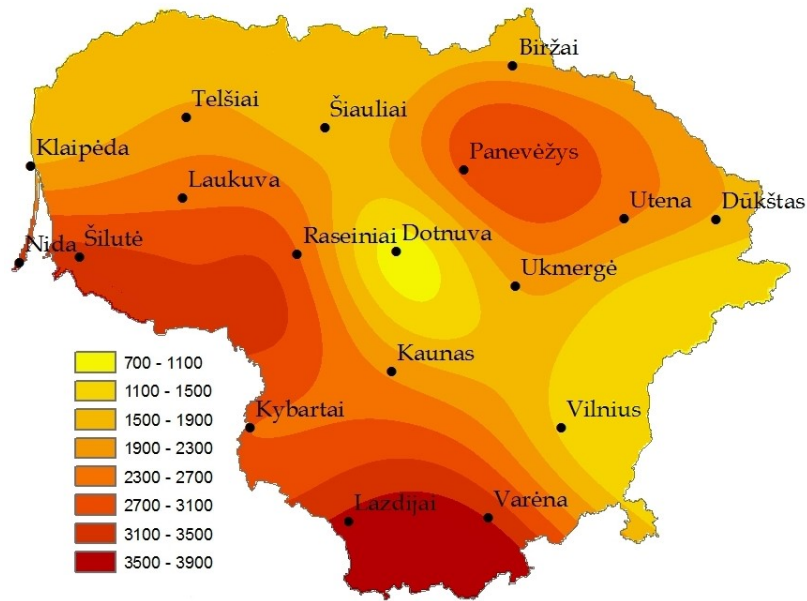
Čia L – ilgis (m);
 W – plotis (m);
 H – aukštis (m).



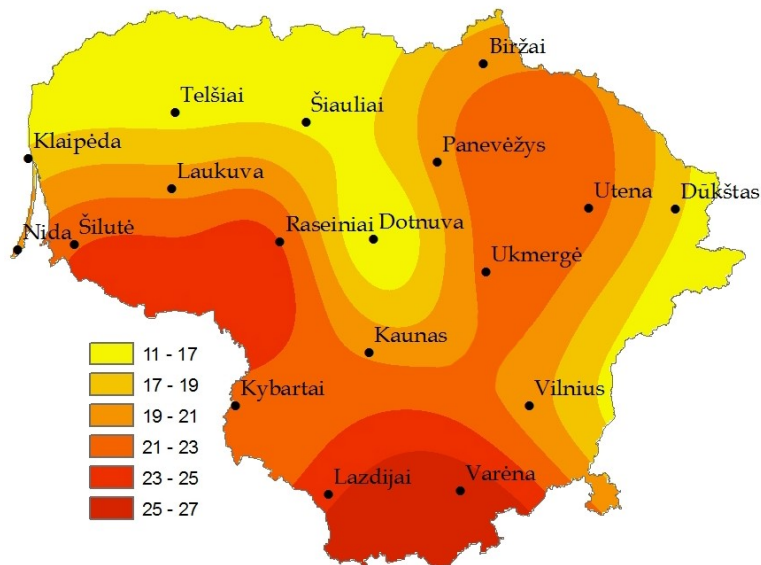
7.1 pav. Apsaugos erdvės skaičiavimas Td stačiakampiams statiniams.

Statinius, kurie yra sudėtingesni ar ne stačiakampiai, reikia patikrinti IEC 62305-2, A.2.1.1.

Perkūnijos intensyvumas Td – antžeminė žaibų aptikimo sistema registruoja žaibų sukeltas žemo dažnio elektromagnetines (radijo) bangas ir, remiantis trianguliacijos principu, nustato žaibo išlydžio vietą ir laiką. Lietuvoje (Biržų, Šilutės ir Varėnos meteorologijos stotyse) įrengti žaibų detektoriai fiksuoja žaibų išlydžius dangus – žemė (išlydžiai vykstantys tarp debesų nefiksuojami). Žaibų detektoriai 350km spinduliu aptinka daugiau kaip 90% visų žaibų išlydžių. Sistema veikia realiu laiku [13].



7.2. pav. Vidutinė perkūnijos trukmė Lietuvoje (min.) 1961-2010 metų laikotarpiu [13].



7.3 pav. Vidutinis dienų su perkūnija skaičius Lietuvoje 1961-2010 metų laikotarpiu [13].

Žaibavimo intensyvumas N_g – tai dydis, nurodantis žaibo išlydžių intensyvumą į pasirinktą skaičiuojamą rajoną: kuo yra didesnis vidutinis dienų su perkūnija skaičius, tuo žaibo intensyvumas yra didesnis. Intensyvumas yra vertinamas pagal tai, kiek tenka žaibo išlydžių tam regionui į kvadratinį kilometrą (km^2). Žaibo intensyvumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$N_g \approx 0,1 * T_d$$

Grėsmė žmogui h – šis koeficientas rodo žmogaus panikos lygį, kai jis yra statinyje/objekte žaibavimo metu. Statiniai būna įvairių rūšių ir kategorijų, todėl koeficientas suskirstytas į kelis lygius:

7.2 lentelė. Grėsmės žmogui koeficientų lentelė

h	Lygis
1	Jokios grėsmės
2	Mažas panikos lygis (≤ 2 aukštai, < 100 žmonių)
5	Vidutinė panikos rizika (< 1000 žmonių)
5	Sunkiai apskaičiuojama (daug žmonių, ligoninės)
10	Aukšta panikos rizika (> 1000 žmonių)
20	Grėsmė aplinkai
50	Užterštumas aplinkai

Vertė h gali būti nustatoma pagal santykinį aukų skaičių:

$$h = \left(\frac{n_p}{n_t}\right) * \left(\frac{t_p}{8760}\right)$$

Čia n_p – galimų aukų skaičius;

n_t – numatomas žmonių skaičius statinyje;

t_p – kiek valandų per metus žmogus praleidžia laiko pavojingoje aplinkoje: lauke, prie statinio ar statinio viduje.

Gaisro nuostolių koeficientas (Lf1) – žmonių evakavimosi koeficientas, laiko tarpas per kurį žmogus ar žmonės evakuojasi iš statinio. Pagal statinio tipą koeficientai skirstomi į keletą sričių:

7.3 lentelė. Gaisro nuostolių koeficientų lentelė

Lf1	Statinio rūšis
0,01	Kiti statiniai
0,02	Bažnyčia, muziejus, pramogų pastatai, laikini statiniai
0,05	Komercinės/pramonės paskirties statiniai, mokyklos, ofisai
0,1	Ligoninės, viešbučiai, viešos paskirties statiniai

Statinio vieta (Cd) – statinio buvimo vieta gali sumažinti arba padidinti riziką tenkančiam statiniui: rizikos lygis priklauso nuo to, kokioje aplinkoje ir vietovėje jis yra, kokie kiti statiniai ar objektai supa, todėl atitinkamai koeficientas skirstomas į keletą sričių:

7.4 lentelė. Statinio buvimo vietos koeficientų lentelė

Cd	Vietovė
0,25	Statinyje apsuptas didesnių objektų ar medžių
0,5	Statinyje apsuptas panašaus aukščio ar mažesnių objektų
1	Izoliuotas statinys - nėra jokių kitų objektų esančių šalia
2	Izoliuotas statinys - kalno viršuje ar ant piliakalnio

Gaisro tikimybė (rf) – tai rizikos sumažinimo faktorius, kuris priklauso nuo to, kokio degumo medžiagos yra statinyje/instaliacijoje. Pagal tai skirstoma į pavojingumo lygius:

7.5 lentelė. Gaisro tikimybė pagal medžiagų degumą

rf	Lygis
1	Sprogimas
0,1	Aukštas
0,01	Vidutinis
0,001	Žemas

Gaisro tikimybės vertė galima apskaičiuoti, vertinant žaibavimą ir būvimą sprogoje aplinkoje, tuo atveju r_f būtų:

$$r_f = \frac{t_{ex}}{8760}$$

čia t_{ex} – laiko tarpas, kai statinys ar zona yra sprogoje aplinkoje

Statinio komunikacijos (Lf2) – rizikos sumažinimo faktorius atsižvelgiant su kokiomis komunikacijomis yra sujungtas statinys:

7.6 lentelė. Koeficientas pagal turimas statinio komunikacijas

Lf2	Komunikacijos rūšys
0	Nėra
0,1	Dujos, vanduo
0,01	Televizija, internetas, elektra, radijas

Galimų nuostolių statinio komunikacijoms skaičiavimo formulė:

$$L_{f2} = \frac{n_p}{n_t} * \frac{t}{8760}$$

Čia: n_p – asmenų, esančių rizikos zonoje, skaičiaus vidurkis;

n_t – yra suminis asmenų skaičius;

t – kiek laiko per metus neveikė komunikacijos (valandomis).

Elektros linijos (Ai) – žaibo pataikymo tikimybė priklauso nuo to, su kokia elektros linija yra sujungtas statinys :

7.7 lentelė. Elektros linija sujungta su statiniu

Ai	El. linijos rūšis
14400	Nėra
6600	Oro
0	Požeminės

Žaibo smūgio tikimybę į elektros liniją, kuri yra sujungta su statiniu, galima apskaičiuoti taip:

$$\text{Tiesioginis smūgis} - N_L = N_g * A_I * C_e * 10^{-6}$$

$$\text{Netiesioginis smūgis} - N_i = N_g * A_I * C_e * 10^{-6}$$

Čia C_e – aplinkos koeficientas (kaimo vietovėse C_e yra 1).

A_I yra funkcija priklausomai nuo linijos tipo (oro ar požeminė linija) ir linijos ilgio L_c . Jeigu yra požeminė linija, tuo atveju yra funkcijoje vertinama žemės varža ρ ; o oro linijos priklauso nuo aukščio H virš žemės lygio.

7.8 lentelė. Oro ir kabelinės linijos išraiškos

	Oro linija	Požeminė kabelinė linija
A_I	$[L_c - 3 * (H_a + H_b)] * 6 * H_c$	$[L_c - 3 * (H_a + H_b)] * \sqrt{\rho}$
A_i	$1000 * L_c$	$25 * L_c * \sqrt{\rho}$

Čia A_I – plotas į kurį tenka žaibo smūgis į linija (m^2);

A_i – plotas į kuri tenka žaibo smūgis į žeme netoli linijos (m^2);

H_c – linijos aukštis nuo žemės (m);

L_c – linijos ilgis nuo statinio įvadinio paskirstymo skydo iki sekančio mazgo (m), maksimali vertė $L_c = 1000m$ turėtų būti laikoma;

H_a – objekto, kuris yra sujungtas su „a“ service pabaiga, aukštis (angl. is the height of the structure connected at end “a” of service (m);

H_b – objekto, kuris yra sujungtas su „b“ service pabaiga, aukštis. (angl. is the height of the structure connected at end “b” of service (m);

ρ – žemės varža (Ωm) arba varža kokioje yra požeminė kabelinė linija, kurios maksimali reikšmė $\rho = 500 \Omega m$.

Apsaugos nuo žaibo kategorija (Pd) – apsaugos nuo žaibo kategorijos apibrėžia žaibo kiloampero kA dydis, kuris lemia apsaugos nuo žaibo sistemos minimalius atstumus tarp žaibolaidžio laidininkų, apsauginio tinklo dydį ir žaibolaidžio ėmiklio apsaugos kampą:

7.9 lentelė. Apsaugos nuo statinio kategorija

Pd	Kategorija
1	Nėra
0,2	Apsaugos kategorija IV
0,1	Apsaugos kategorija III
0,05	Apsaugos kategorija II
0,02	Apsaugos kategorija I

Viršįtampių ribotuvai (Pi) – įrenginiai, kurie apsaugo ir neleidžia viršįtampiams patekti į statinio elektros tinklą. Normaliai viršįtampio ribotuvai montuojami įvadinėje paskirstymo spintoje prie ateinančių įvadinių elektros maitinimo kabelių.

7.10 lentelė. Apsaugos nuo statinio kategorija

Pi	Viršįtampio apsauga
1	Nėra
0,03	Reikalinga - $I_{imp} \geq 12,5A$
0,02	Reikalinga - $I_{imp} \geq 75/(m \times n)$
0,01	Reikalinga - $I_{imp} \geq 100/(m \times n)$

8. ŽAIBO ĖMIKLIŲ VIDINĖS APSAUGOS ZONOS

Žaibo ėmiklių apsaugos zonas nulemia apsaugomo objekto priskirtoji kategorija. Keičiantis apsaugos nuo žaibo kategorijai nuo I-kat. iki IV-kat., saugoma zona plečiasi, nes mažėja rizikos koeficientas. Sferos metode rutulys kinta priklausomai nuo parinktos apsaugos nuo žaibo kategorijos (nuo d-20m iki d-60m) o tai lemia didesnius atstumus tarp žaibo ėmiklių.

Kai žinomas saugomo objekto aukštis, remiantis sferos metodu galima apskaičiuoti maksimalias zonos ribas, kur žaibo ėmiklių apsauginis laukas dengtų objekto erdvę. Negalima pasikliauti vien žinomu objekto aukščiu, taip pat reikia įvertinti esančius statinius ar kyšančias kitų komunikacijų dalis virš stogo. Apibrėžiamas objekto aukštis yra vertinamas nuo žemės iki aukščiausio taško kuris yra susijungtas su saugomo objekto stogu. Vis dėl to vertėtų vertinti atsarga, priskirti tam, kad kompensuotų paklaidas bei užtikrinti priskirtos kategorijos reikalavimus. Šiame darbe atsargos atstumas yra 0,5m.

Maksimalų atstumą tarp žaibo ėmiklių galima apskaičiuoti remiantis šiomis formulėmis:

1. Pirma, įvertinamas objekto ir atsargos atstumas:

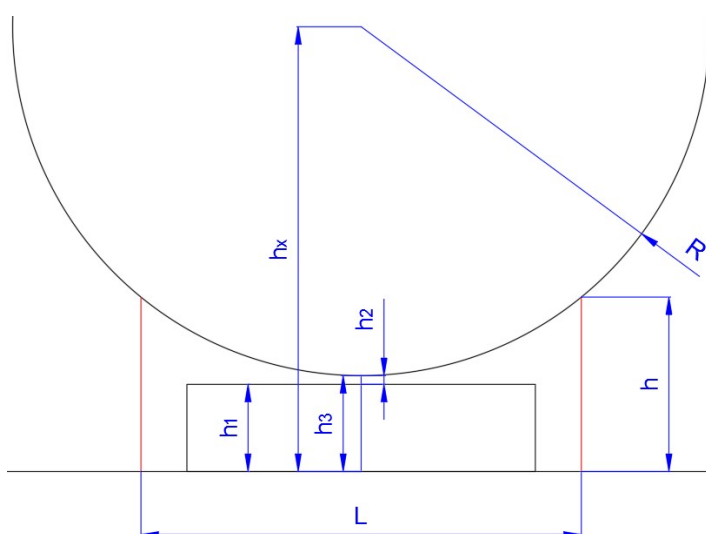
$$h_3 = h_1 + h_2$$

2. Antra, sumuojamas objekto ir atsargos atstumas su atitinkamai skaičiuojama apsaugos kategorijos sferos spinduliu:

$$h_x = h_3 + R$$

3. Galiausiai randamas maksimalus atstumas tarp žaibo ėmiklių:

$$L = 2\sqrt{R^2 - h_x^2 + 2h_x * h - h^2}$$



8.1 pav. Vidinės zonos tarp žaibo ėmiklių formulės atvaizdavimas grafiškai

Čia h – žaibo ėmiklis aukštis;

h_1 – objekto aukštis;

h_2 – atsargos atstumas tarp sferos ir žemės;

h_3 – atsargos atstumas su objekto aukščiu;

h_x – objekto su atsarga aukštis pridėtas prie sferos spindulio priklausomai pagal kategoriją;

R – sferos spindulys;

L – atstumas tarp žaibo ėmiklių.

8.1 lentelė. Vidinė apsaugos zona kai objekto aukštis h_1 – 5m

Objekto aukštis (m)	Žaibo ėmiklio aukštis (m)	Atsargos atstumas (m)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Maksimalus leistinas atstumas tarp žaibolaidžių L (m) pagal apsaugos klase			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
5	6	0,5	5,5	8,9	10,9	13,4	15,5
5	7	0,5	5,5	15,2	18,7	23,0	26,7
5	8	0,5	5,5	19,4	24,0	29,6	34,3
5	9	0,5	5,5	22,6	28,1	34,8	40,4
5	10	0,5	5,5	25,3	31,6	39,2	45,6
5	11	0,5	5,5	27,5	34,6	43,1	50,2
5	12	0,5	5,5	29,5	37,3	46,6	54,3
5	13	0,5	5,5	31,2	39,7	49,7	58,1
5	14	0,5	5,5	32,7	41,8	52,6	61,6
5	15	0,5	5,5	34,0	43,8	55,3	64,8

8.2 lentelė. Vidinė apsaugos zona kai objekto aukštis h_1 – 8m

Objekto aukštis (m)	Žaibo ėmiklio aukštis (m)	Atsargos atstumas (m)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Maksimalus leistinas atstumas tarp žaibolaidžių L (m) pagal apsaugos klase			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
8	9	0,5	8,5	8,9	10,9	13,4	15,5
8	10	0,5	8,5	15,2	18,7	23,0	26,7
8	11	0,5	8,5	19,4	24,0	29,6	34,3
8	12	0,5	8,5	22,6	28,1	34,8	40,4
8	13	0,5	8,5	25,3	31,6	39,2	45,6
8	14	0,5	8,5	27,5	34,6	43,1	50,2
8	15	0,5	8,5	29,5	37,3	46,6	54,3
8	16	0,5	8,5	31,2	39,7	49,7	58,1
8	17	0,5	8,5	32,7	41,8	52,6	61,6
8	18	0,5	8,5	34,0	43,8	55,3	64,8

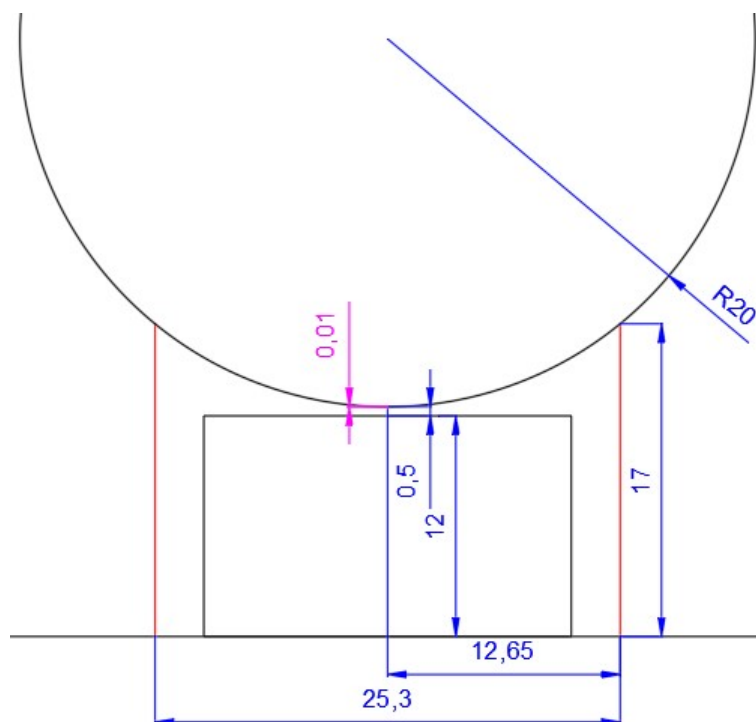
8.3 lentelė. Vidinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 = 12\text{m}$

Objekto aukštis (m)	Žaibo ėmiklio aukštis (m)	Atsargos atstumas (m)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Maksimalus leistinas atstumas tarp žaibolaidžių L (m) pagal apsaugos klase			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
12	13	0,5	12,5	8,9	10,9	13,4	15,5
12	14	0,5	12,5	15,2	18,7	23,0	26,7
12	15	0,5	12,5	19,4	24,0	29,6	34,3
12	16	0,5	12,5	22,6	28,1	34,8	40,4
12	17	0,5	12,5	25,3	31,6	39,2	45,6
12	18	0,5	12,5	27,5	34,6	43,1	50,2
12	19	0,5	12,5	29,5	37,3	46,6	54,3
12	20	0,5	12,5	31,2	39,7	49,7	58,1
12	21	0,5	12,5	32,7	41,8	52,6	61,6
12	22	0,5	12,5	34,0	43,8	55,3	64,8

8.4 lentelė. Vidinė apsaugos zona, kai objekto aukštis $h_1 = 15\text{m}$

Objekto aukštis (m)	Žaibo ėmiklio aukštis (m)	Atsargos atstumas (m)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Maksimalus leistinas atstumas tarp žaibolaidžių L (m) pagal apsaugos klase			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
15	16	0,5	15,5	8,9	10,9	13,4	15,5
15	17	0,5	15,5	15,2	18,7	23,0	26,7
15	18	0,5	15,5	19,4	24,0	29,6	34,3
15	19	0,5	15,5	22,6	28,1	34,8	40,4
15	20	0,5	15,5	25,3	31,6	39,2	45,6
15	21	0,5	15,5	27,5	34,6	43,1	50,2
15	22	0,5	15,5	29,5	37,3	46,6	54,3
15	23	0,5	15,5	31,2	39,7	49,7	58,1
15	24	0,5	15,5	32,7	41,8	52,6	61,6
15	25	0,5	15,5	34,0	43,8	55,3	64,8

Gauti rezultatai patikrinami grafiškai, imituojant apsaugos nuo žaibo situacija, kai objektas yra $h_1 = 12\text{m}$ aukščio, o žaibo ėmikliai $h = 17\text{m}$, apsaugos nuo žaibo kategorija I.



8.2 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas kai objektas h_1 – 12m aukščio o žaibo ėmikliai h – 17m aukščio

Atlikus patikrinimą, galima grafiškai matyti, kad šiuose skaičiavimuose yra 10mm paklaida, tam ir yra atidedamas atsargos atstumas, kad būtų kompensuotos paklaidos. Tačiau šiuo atveju, paklaida yra minimali, galima teigti, kad jos visiškai nėra.

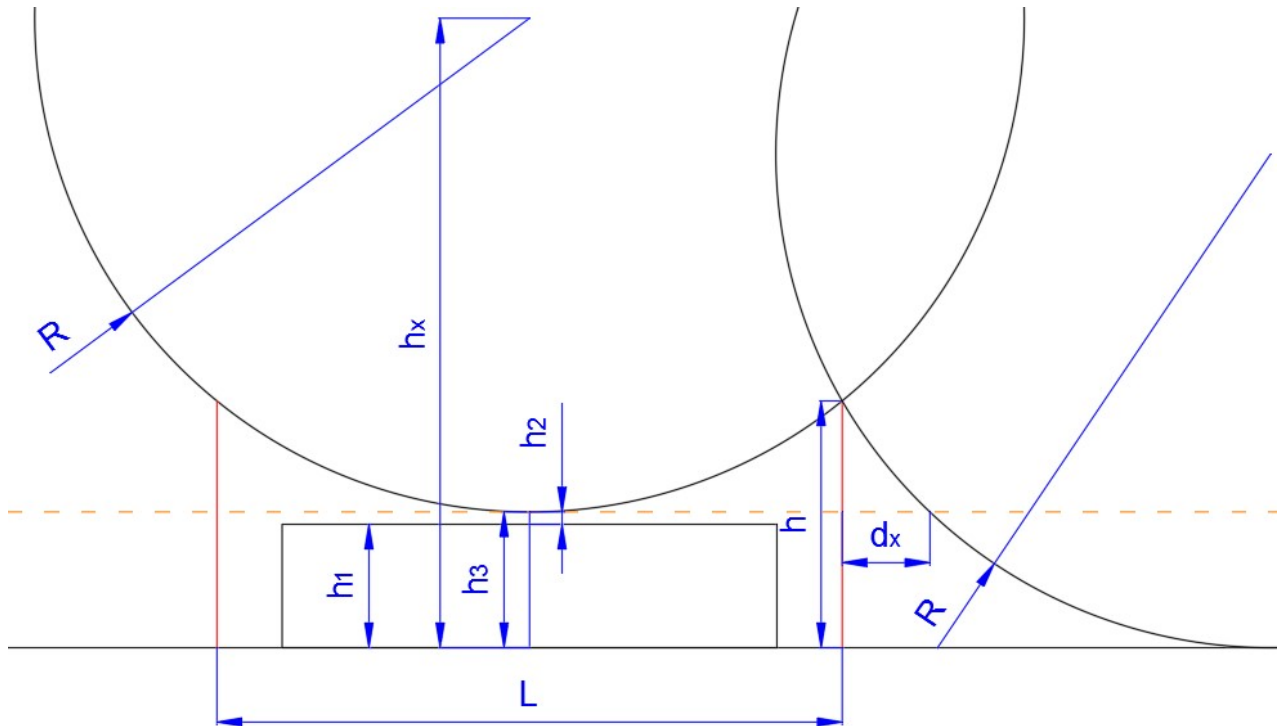
Antras kilęs pastebėjimas, kai buvo atlikti skaičiavimai: matyti, kad proporcingai didėjant objekto aukščiui ir žaibo ėmiklio aukščiui atstumai tarp žaibolaidžių nekinta, nes išlaikoma santykio proporcija.

9. ŽAIBO ĖMIKLIO IŠORINĖ APSAUGOS ZONA

Tiek vidinėje žaibolaidžio apsaugos zonoje, tiek ir išorinėje galioja tos pačios nuostatos. Sferos metodo pagalba įvertinsime, kokio dydžio apsaugos zona susidaro žaibo ėmiklio išorėje, kad būtų išlaikoma nustatyta vidinės apsaugos zonos vertė.

Išorinį apsaugos zonos atstumą galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$d_x = \sqrt{2R * h - h^2} - \sqrt{2R * h_3 - h_3^2}$$



9.1 pav. Išorinės zonos žaibo ėmiklio formulės atvaizdavimas grafiškai.

Čia d_x – Išorinė apsaugos zona

9.1 lentelė. Išorinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 = 5\text{m}$

Objekto aukštis (m)	Žaibo ėmiklio aukštis (m)	Atsargos atstumas (m)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Išorinė apsaugos zona			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
5	6	0,5	5,5	0,51	0,69	0,89	1,06
5	7	0,5	5,5	1,42	1,95	2,55	3,03
5	8	0,5	5,5	2,23	3,08	4,05	4,84
5	9	0,5	5,5	2,93	4,11	5,44	6,51
5	10	0,5	5,5	3,55	5,05	6,73	8,07
5	11	0,5	5,5	4,09	5,90	7,92	9,53
5	12	0,5	5,5	4,56	6,69	9,04	10,91
5	13	0,5	5,5	4,96	7,41	10,08	12,20
5	14	0,5	5,5	5,30	8,06	11,06	13,43
5	15	0,5	5,5	5,59	8,67	11,98	14,59

9.2 lentelė. Išorinė apsaugos zona kai objekto aukštis $h_1 = 8\text{m}$

Objekto aukštis (m)	Žaibo ėmiklio aukštis (m)	Atsargos atstumas (m)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Išorinė apsaugos zona			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
8	9	0,5	8,5	0,34	0,50	0,68	0,82
8	10	0,5	8,5	0,96	1,44	1,96	2,38
8	11	0,5	8,5	1,50	2,29	3,16	3,84
8	12	0,5	8,5	1,97	3,08	4,27	5,21
8	13	0,5	8,5	2,37	3,80	5,32	6,51
8	14	0,5	8,5	2,72	4,45	6,30	7,74
8	15	0,5	8,5	3,00	5,06	7,22	8,90
8	16	0,5	8,5	3,23	5,61	8,09	10,01
8	17	0,5	8,5	3,41	6,11	8,91	11,06
8	18	0,5	8,5	3,54	6,57	9,68	12,06

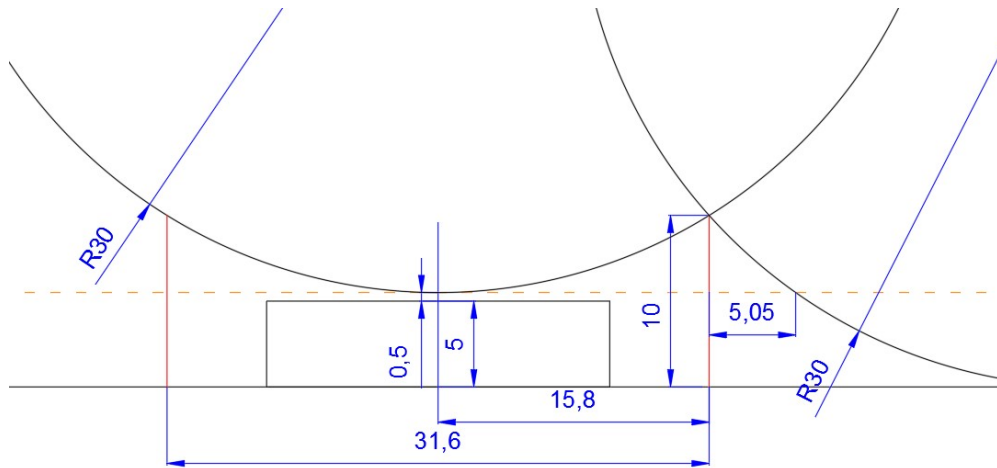
9.3 lentelė. Išorinė apsaugos zona, kai objekto aukštis $h_1 - 8m$

Objekto aukštis (m)	Žaibo ėmiklio aukštis (m)	Atsargos atstumas (m)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Išorinė apsaugos zona			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
12	13	0,5	12,5	0,19	0,35	0,51	0,64
12	14	0,5	12,5	0,54	1,01	1,49	1,87
12	15	0,5	12,5	0,82	1,61	2,42	3,03
12	16	0,5	12,5	1,06	2,17	3,28	4,13
12	17	0,5	12,5	1,23	2,67	4,10	5,19
12	18	0,5	12,5	1,36	3,13	4,88	6,19
12	19	0,5	12,5	1,43	3,54	5,60	7,15
12	20	0,5	12,5	1,46	3,92	6,29	8,06
12	21	0,5	12,5	1,43	4,25	6,94	8,94
12	22	0,5	12,5	1,36	4,55	7,55	9,78

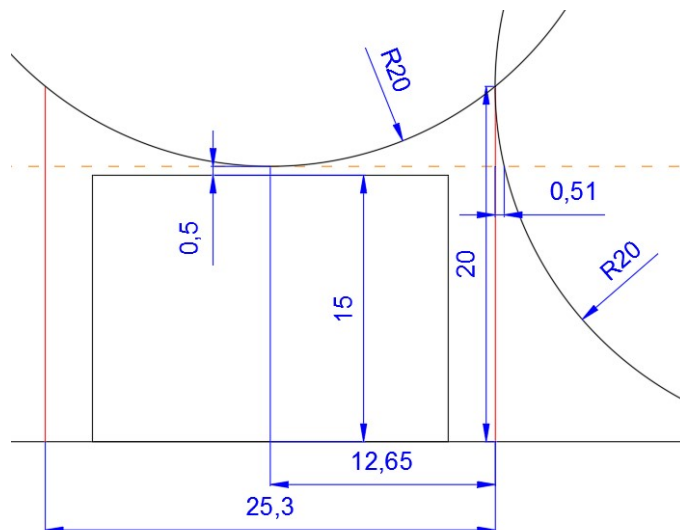
9.4 lentelė. Išorinė apsaugos zona, kai objekto aukštis $h_1 - 8m$

Objekto aukštis (m)	Žaibo ėmiklio aukštis (m)	Atsargos atstumas (m)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Išorinė apsaugos zona			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
15	16	0,5	15,5	0,11	0,27	0,43	0,55
15	17	0,5	15,5	0,29	0,77	1,25	1,60
15	18	0,5	15,5	0,41	1,23	2,02	2,60
15	19	0,5	15,5	0,49	1,65	2,75	3,56
15	20	0,5	15,5	0,51	2,02	3,43	4,48
15	21	0,5	15,5	-	2,36	4,08	5,35
15	22	0,5	15,5	-	2,65	4,70	6,19
15	23	0,5	15,5	-	2,91	5,27	6,99
15	24	0,5	15,5	-	3,13	5,82	7,75
15	25	0,5	15,5	-	3,32	6,33	8,49

Gauti rezultatai patikrinami grafiškai, imituojant apsaugos situaciją, kai objektas yra $h_1 - 5m$ aukščio o žaibo ėmikliai $h - 10m$, apsaugos nuo žaibo kategorija II ir kai objektas yra $h_1 - 15m$ aukščio o žaibo ėmikliai $h - 20m$, apsaugos nuo žaibo kategorija I. Žaibo ėmiklio atstumas parenkamas pagal maksimalų vidinės zonos atstumą.



10.2 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas, kai objektas h_1 – 5m aukščio o žaibo ėmikliai h – 10m aukščio



10.3 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas kai objektas h_1 – 15m aukščio o žaibo ėmikliai h – 20m aukščio

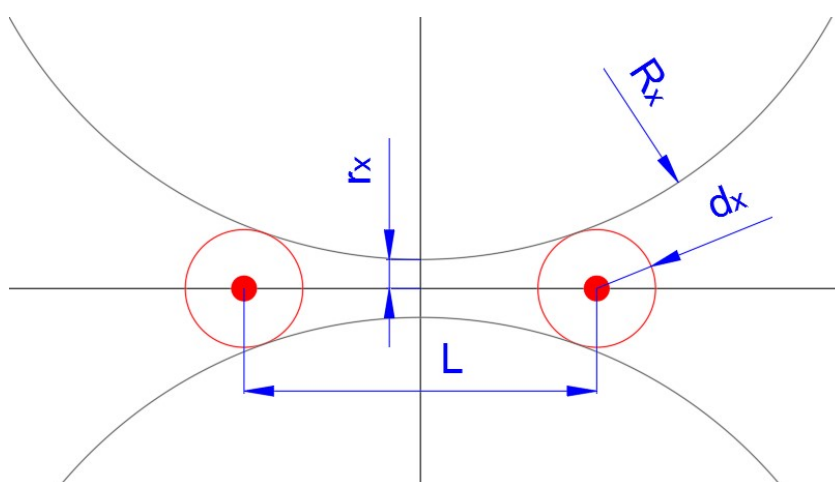
Gauti rezultatai parodo, kad skaičiavimai atlikti tinkamai, formulė yra teisinga, kita vertus proporcingai didėjant objektui ir žaibolaidžiui išorinis apsaugos ilgis trumpėja, nes aukštinamas žaibo ėmiklis artėja prie sferos vidurio.

Ši formule tinkama skaičiuoti, kai žaibolaidžio aukštis yra:

- I-kategorija iki 20m;
- II-kategorija iki 30m;
- III-kategorija iki 45m;
- IV kategorija iki 60m.

10. ŽAIBO ĖMIKLIŲ VIDINĖS APSAUGOS ZONOS ĮLENKIS

Taikant sferos metodą, rutulys turi persiridenti (žr. pav. 4.2) per objektą ir nesusiliesti nei su viena jos konstrukcijos dalimi, kad to būtų išvengta, atitinkamai išdėstomi žaibo ėmikliai ir parenkami maksimalūs atstumai tarp žaibo ėmiklių, kurie leidžia efektyviai ir ekonomiškai apsaugoti objektą (taip kaip aprašoma skyriuje: Žaibo ėmiklių vidinės apsaugos zonos). Tam, kad vidinis apsaugos plotas būtų galutinai įvertintas, reikia atkreipti dėmesį į žaibo ėmiklio zonos susiaurėjimą, nes aplink žaibo ėmiklį kuriamas apsaugos plotas yra skritulio formos, dėl šios priežasties, priartėjant sferos rutuliui iš šono gauname įlenki (sferos rutulys priartėja prie objekto).



10.1 pav. Vidinės apsaugos zonos įlenkins tarp dvejų žaibo ėmiklių

Čia r_x – Apsaugos zonos įlenkins aukštyje h_3 ,

R_x – sferos spindulys aukštyje h_3 .

Vidinės apsaugos zonos įlenkis r_x randamas pagal formulę:

$$r_x = \sqrt{2R * h - h^2 - L^2/4} - \sqrt{2R * h_3 - h_3^2}$$

Saugomi statiniai, įrenginiai ir visi kiti objektai būna įvariau aukščių ir formų, kintant apsaugos zonos aukščiui keičiasi ir sferos atstumas tame aukštyje. Kad galėtume grafiškai įvertinti sferos priartėjimą iš šono reikia perskaičiuoti sferos dydį saugomo objekto aukštyje h_3 :

$$R_x = \sqrt{2R * h_3 - h_3^2}$$

Vidinės apsaugos zonos įlenkia skaičiuojami prie maksimalių atstumų tarp žaibo ėmiklių. Gautus maksimalių atstumų rezultatus žr. 10 skyriuje: Žaibo ėmiklių vidinės apsaugos zonos.

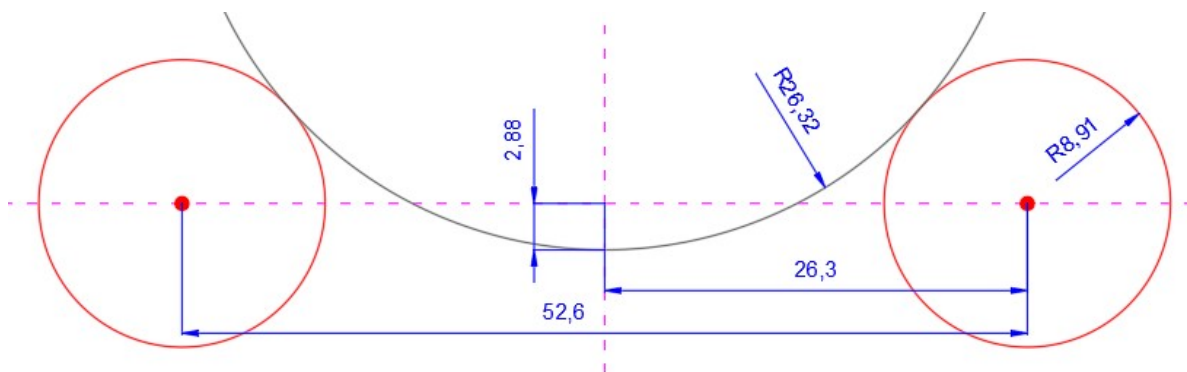
10.1 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis, kai objekto aukštis h_1 – 5 ir 8m

Objekto aukštis	Žaibo ėmiklio aukštis	Atsargos atstumas	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Dviejų žaibo ėmiklio vidinės apsaugos zonos susiaurėjimas				Sferos spindulys h_3 aukštyje (m), kai I kat.	Sferos spindulys h_3 aukštyje (m), kai II kat.	Sferos spindulys h_3 aukštyje (m), kai III kat.	Sferos spindulys h_3 aukštyje (m), kai IV kat.
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IVkat. (60m)				
5	6	0,5	5,5	-0,20	-0,16	-0,13	-0,11	13,77	17,31	21,56	25,09
5	7	0,5	5,5	-0,61	-0,48	-0,39	-0,33				
5	8	0,5	5,5	-1,04	-0,81	-0,65	-0,55				
5	9	0,5	5,5	-1,48	-1,15	-0,91	-0,78				
5	10	0,5	5,5	-1,93	-1,49	-1,18	-1,01				
5	11	0,5	5,5	-2,41	-1,85	-1,45	-1,24				
5	12	0,5	5,5	-2,90	-2,21	-1,73	-1,47				
5	13	0,5	5,5	-3,42	-2,57	-2,01	-1,70				
5	14	0,5	5,5	-3,96	-2,95	-2,29	-1,94				
5	15	0,5	5,5	-4,54	-3,34	-2,58	-2,18				
8	9	0,5	8,5	-0,26	-0,20	-0,16	-0,14	16,36	20,92	26,32	30,79
8	10	0,5	8,5	-0,80	-0,62	-0,49	-0,42				
8	11	0,5	8,5	-1,35	-1,04	-0,82	-0,70				
8	12	0,5	8,5	-1,93	-1,47	-1,16	-0,98				
8	13	0,5	8,5	-2,53	-1,92	-1,50	-1,27				
8	14	0,5	8,5	-3,16	-2,37	-1,84	-1,56				
8	15	0,5	8,5	-3,82	-2,83	-2,19	-1,85				
8	16	0,5	8,5	-4,52	-3,31	-2,55	-2,15				
8	17	0,5	8,5	-5,26	-3,80	-2,91	-2,44				
8	18	0,5	8,5	-6,06	-4,30	-3,27	-2,75				

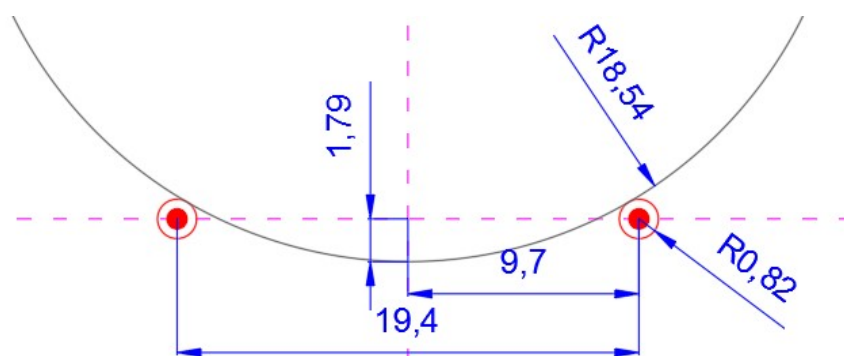
10.2 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis, kai objekto aukštis h_1 – 12 ir 15m

Objekto aukštis	Žaibo ėmiklio aukštis	Atsargos atstumas	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Dvejų žaibo ėmiklio vidinės apsaugos zonos susiaurėjimas				Sferos spindulys h_3 aukštyje (m), kai I kat.	Sferos spindulys h_3 aukštyje (m), kai II kat.	Sferos spindulys h_3 aukštyje (m), kai III kat.	Sferos spindulys h_3 aukštyje (m), kai IV kat.
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IVkat. (60m)				
12	13	0,5	12,5	-0,34	-0,26	-0,20	-0,17	18,54	24,37	31,12	36,66
12	14	0,5	12,5	-1,04	-0,78	-0,61	-0,52				
12	15	0,5	12,5	-1,77	-1,32	-1,02	-0,86				
12	16	0,5	12,5	-2,53	-1,87	-1,44	-1,21				
12	17	0,5	12,5	-3,33	-2,43	-1,86	-1,57				
12	18	0,5	12,5	-4,18	-3,01	-2,29	-1,93				
12	19	0,5	12,5	-5,08	-3,60	-2,73	-2,29				
12	20	0,5	12,5	-6,04	-4,21	-3,17	-2,65				
12	21	0,5	12,5	-7,08	-4,84	-3,62	-3,02				
12	22	0,5	12,5	-8,23	-5,49	-4,08	-3,40				
15	16	0,5	15,5	-0,40	-0,30	-0,23	-0,19	19,49	26,26	33,98	40,25
15	17	0,5	15,5	-1,23	-0,90	-0,69	-0,58				
15	18	0,5	15,5	-2,10	-1,52	-1,16	-0,97				
15	19	0,5	15,5	-3,02	-2,15	-1,64	-1,37				
15	20	0,5	15,5	-3,99	-2,81	-2,12	-1,77				
15	21	0,5	15,5	-5,02	-3,48	-2,61	-2,18				
15	22	0,5	15,5	-6,14	-4,17	-3,11	-2,59				
15	23	0,5	15,5	-7,35	-4,88	-3,61	-3,00				
15	24	0,5	15,5	-8,71	-5,62	-4,13	-3,42				
15	25	0,5	15,5	-10,25	-6,38	-4,65	-3,84				

Gauti skaičiavimo rezultatai tikrinami grafiškai, tam pasirenkami du variantai: 1) kai objektas yra $h_1 - 8\text{m}$ aukščio o žaibo ėmikliai $h - 16\text{m}$, apsaugos nuo žaibo kategorija III ir 2) kai objektas yra $h_1 - 12\text{m}$ aukščio o žaibo ėmikliai $h - 15\text{m}$, apsaugos nuo žaibo kategorija I. Žaibo ėmiklio atstumas parenkamas pagal maksimalų vidinės zonos atstumą.



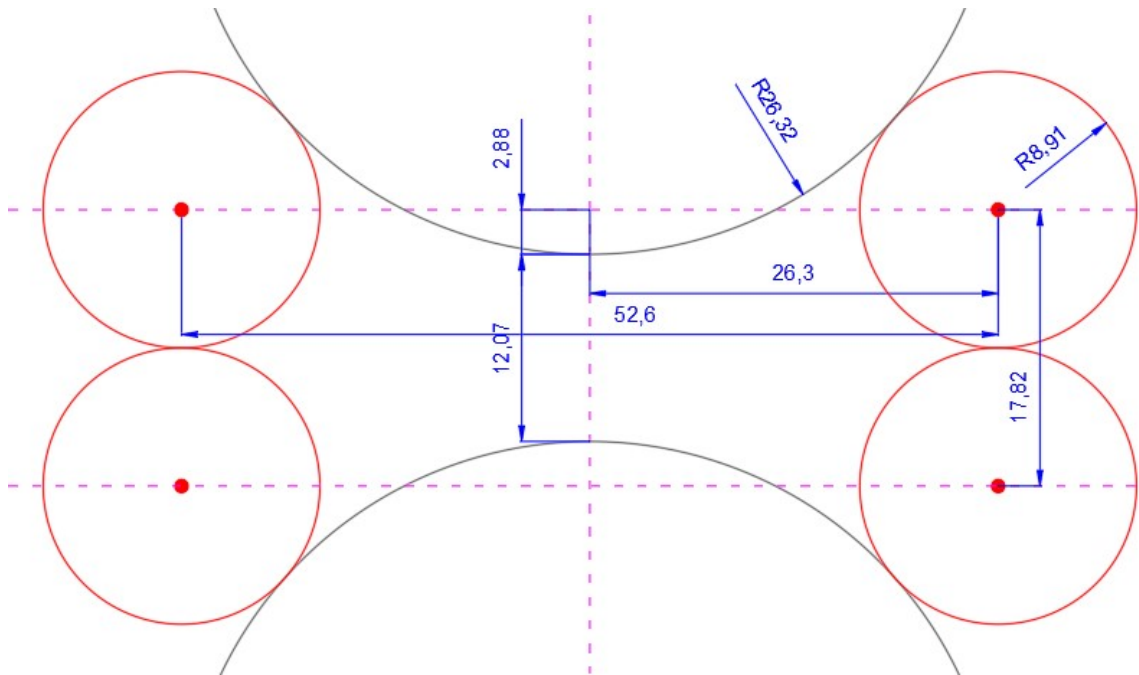
10.2 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas, kai objektas yra $h_1 - 8\text{m}$ aukščio



10.3 pav. Skaičiavimo rezultatų patikrinimas, kai objekto aukštis yra $h_1 - 12\text{m}$

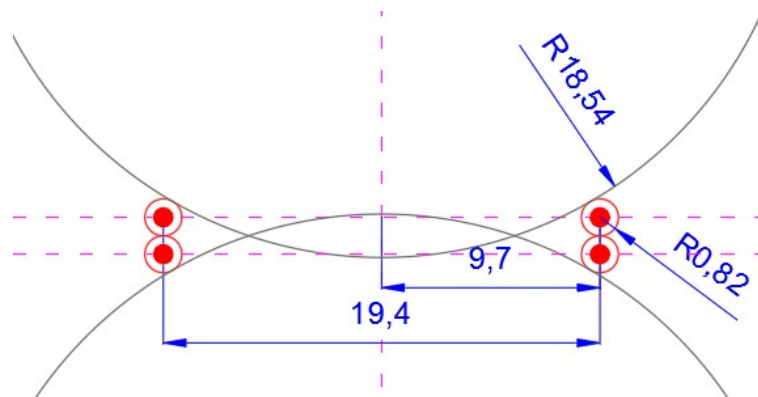
Patikrinus gautus rezultatus, grafiškai matosi, kad skaičiavimo metodu gauta pirmu atveju - 2,91m, antru atveju -1,77m o grafiniu modeliavimo metodu gauta pirmu atveju -2,88m, antru atveju -1,79m. Palyginus rezultatus, buvo gauta 2-3 cm skaičiavimo paklaidos, galima teigti, kad tokia paklaida žaibo apsaugos skaičiavime yra labai maža ir ji jokios įtakos nedaro, todėl galima daryti išvadą, kad skaičiavimai atlikti tinkamai.

Vis dėlto, nors skaičiavimai ir yra atlikti teisingai, visgi rezultatai parodo, kad priartėjanti sfera iš šono siekia objektą. Galima nustatyti, kad objektas yra apsaugotas iš viršaus ir iš galo, bet pastato šonai lieka atviri žaibo išlydžiams. Susidaręs žaibo išlydis saugomo objekto šone gali pataikyti į objektą ir įrengti žaibo ėmikliai neapsaugos šios erdvės. Norint to išvengti, yra du sprendimo būdai: didinti žaibo ėmiklio aukštį, taip pakeičiant apsaugos plotą ir tolinant įlenkį, arba statyti tokio pat aukščio keturis žaibo ėmiklius.



11.3 pav. Vidinė apsaugos zona su keturiais žaibo ėmikliai, kai objektas yra $h_1 - 8\text{m}$ aukščio

Ne visada keturi žaibo ėmikliai gali būti šios problemos sprendimas. Pavyzdžiui: jeigu žaibo ėmiklio apsaugos spindulys d_x yra labai mažas aukštyje h_3 , tuo atveju tikslingiau yra didinti žaibolaidžio aukštį.



11.3 pav. Vidinė apsaugos zona su keturiais žaibo ėmikliai, kai objektas yra $h_1 - 12\text{m}$ aukščio.

11.3 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis, kai objekto aukštis h_1 – 5m su paaukštintu žaibo ėmikliu.

Objekto aukštis	Žaibo ėmiklio aukštis	Atsargos atstumas	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Dvejų žaibo ėmiklio vidinės apsaugos zonos susiaurėjimas			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
5	8	0,5	5,5	1,60	2,34	3,17	3,82
5	10	0,5	5,5	1,79	2,99	4,27	5,27
5	12	0,5	5,5	1,79	3,48	5,22	6,56
5	14	0,5	5,5	1,60	3,81	6,03	7,71
5	16	0,5	5,5	1,20	4,00	6,71	8,73
5	18	0,5	5,5	0,59	4,05	7,27	9,64
5	20	0,5	5,5	-	3,95	7,72	10,43
5	22	0,5	5,5	-	3,72	8,06	11,13
5	24	0,5	5,5	-	3,33	8,30	11,73
5	26	0,5	5,5	-	2,79	8,43	12,24

11.4 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis kai objekto aukštis h_1 – 8m su paaukštintu žaibo ėmikliu

Objekto aukštis	Žaibo ėmiklio aukštis	Atsargos atstumas	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Dvejų žaibo ėmiklio vidinės apsaugos zonos susiaurėjimas			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
8	12	0,5	8,5	1,42	2,45	3,53	4,37
8	14	0,5	8,5	1,14	2,66	4,20	5,36
8	16	0,5	8,5	0,67	2,75	4,75	6,23
8	18	0,5	8,5	0,02	2,70	5,20	7,01
8	20	0,5	8,5	-	2,53	5,54	7,69
8	22	0,5	8,5	-	2,23	5,79	8,28
8	24	0,5	8,5	-	1,80	5,95	8,79
8	26	0,5	8,5	-	1,22	6,01	9,22
8	28	0,5	8,5	-	0,48	5,98	9,57
8	30	0,5	8,5	-	-	5,86	9,84

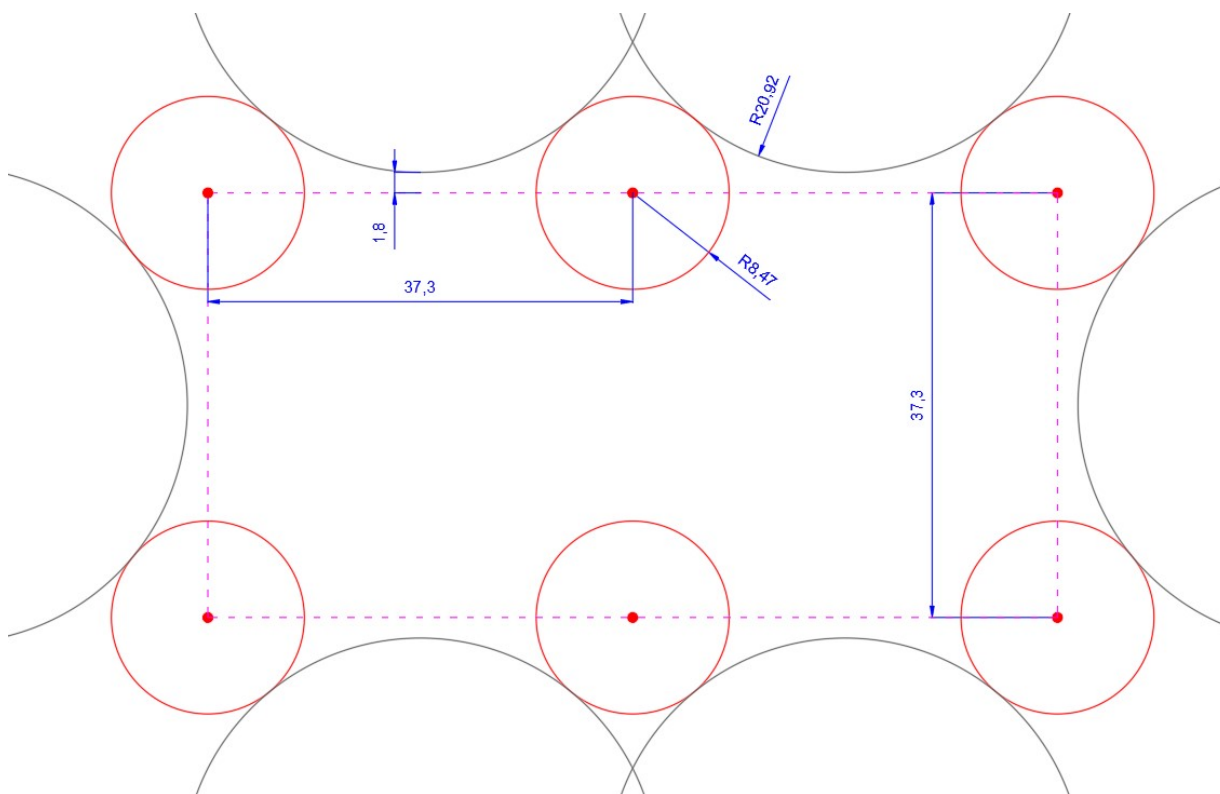
11.5 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis kai objekto aukštis $h_1 = 12\text{m}$ su paaukštintu žaibo ėmikliu

Objekto aukštis	Žaibo ėmiklio aukštis	Atsargos atstumas	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Dvejų žaibo ėmiklio vidinės apsaugos zonos susiaurėjimas			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
12	16	0,5	12,5	0,54	1,60	2,63	3,40
12	18	0,5	12,5	-	1,48	2,98	4,06
12	20	0,5	12,5	-	1,25	3,24	4,65
12	22	0,5	12,5	-	0,90	3,42	5,15
12	24	0,5	12,5	-	0,42	3,51	5,58
12	26	0,5	12,5	-	-	3,51	5,94
12	28	0,5	12,5	-	-	3,42	6,22
12	30	0,5	12,5	-	-	3,24	6,43
12	32	0,5	12,5	-	-	2,98	6,57
12	34	0,5	12,5	-	-	2,63	6,64

11.6 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkis kai objekto aukštis $h_1 = 15\text{m}$ su paaukštintu žaibo ėmikliu

Objekto aukštis	Žaibo ėmiklio aukštis	Atsargos atstumas	Statinio aukštis su atsarga h_3 (m)	Dvejų žaibo ėmiklio vidinės apsaugos zonos susiaurėjimas			
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)
15	20	0,5	15,5	-	1,49	2,83	3,80
15	22	0,5	15,5	-	1,09	2,94	4,23
15	24	0,5	15,5	-	0,57	2,97	4,59
15	26	0,5	15,5	-	-	2,91	4,88
15	28	0,5	15,5	-	-	2,78	5,10
15	30	0,5	15,5	-	-	2,56	5,25
15	32	0,5	15,5	-	-	2,26	5,34
15	34	0,5	15,5	-	-	1,87	5,36
15	36	0,5	15,5	-	-	1,39	5,32
15	38	0,5	15,5	-	-	0,82	5,21

Didinant žaibo ėmiklio aukštį įlenksi mažėja nes didėja išorinis apsaugos spindulys d_x tuo pačiu mažėja ir žaibo išlydžio pataikymo tikimybė. Įlenksi gaunamas su teigiama nedidele reikšme (reikšmė gaunama matuojant sferos kraštinės atstumą iki dvejų žaibo ėmiklio centro) bet to pakanka jei išdėstysime žaibo ėmiklius pagal atstumą L tarp jų. Tokiu būdu galime išplėsti apsaugos plotą atsižvelgiant į objektą.



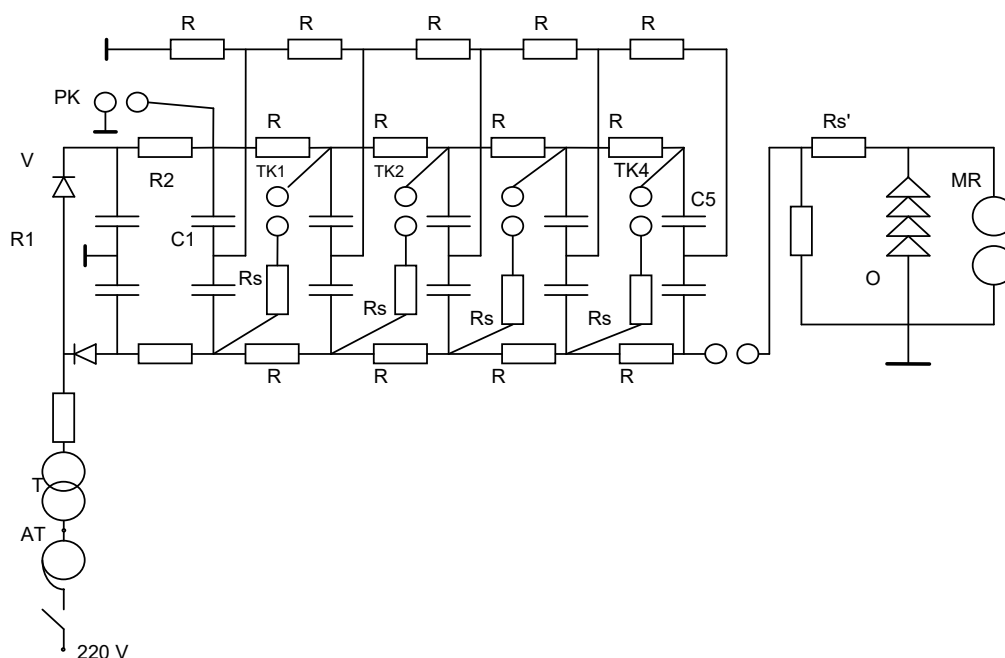
11.4 pav. Vidinė apsaugos zona su šešiais žaibo ėmikliais, kai objekto aukštis h_1 – 8m o žaibolaidžio h – 24m ir apsaugos nuo žaibo kategorija II

Skaičiavimuose žaibo ėmiklių aukščiai siekia kai kur daugiau nei 15 ar 20 metrų, jeigu žaibo ėmiklis montuojamas ant objekto tuo atveju žaibo ėmiklio stiebo aukštis sumažėja ženkliai.

11. ŽAIBO ĖMIKLIŲ VIDINĖS APSAUGOS ZONOS LABORATORINIAI BANDYMAI

Žaibo ėmiklių vidinės apsaugos zonos teorijos pagrindimui atliekami laboratoriniai bandymai, šių bandymų pagalba buvo bandoma patvirtinti arba paneigti atliktus teorinius skaičiavimus ir grafinius modeliavimus. Bandymai atliekami naudojantis Kauno technologijų universiteto: Aukštos įtampos laboratorijoje esančiu aukštos įtampos impulsiniu generatoriumi.

Aukštos įtampos impulsinio generatoriaus veikimo principas paremtas lygiagrečiai sujungtų ir užkrautų kondensatorių greitu perjungimu į nuoseklų jų jungimą. Suminės įtampos krūvis iškraunamas impulso formavimo grandinėje. Kondensatoriai užkraunami dvipusių įtampos lygintuvu bei filtru, sudarytu iš kondensatorių. Generatoriaus principinė schema parodyta 11.1 pav.



11.1 pav. Impulsinio įtampos generatoriaus principinė schema

- Čia T - aukštosios įtampos transformatorius,
R1, R2 ir R - apsauginės varžos;
C1 ... Cn - kondensatoriai;
Rs, Rs' - impulsą formuojančios varžos;
MR - matavimo rutuliai;
PK ir TK - padegantieji ir tarpiniai kibirkštikliai;
O - tyrimo objektas.

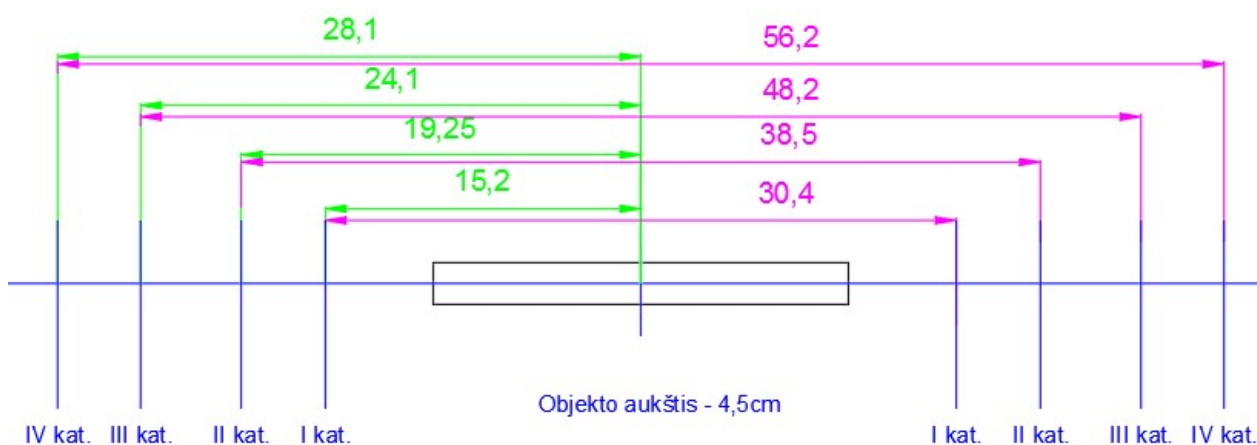
Siekiant įvertinat laboratorijos parametrus buvo perskaičiuoti tyrinėjami dydžiai, masteliai pritaikomi laboratorijai, su kokiais aukščiais galime tirti ir simuliuoti žaibo išlydi. Teoriniuose skaičiavimuose buvo pritaikyta metrine sistema, atsižvelgiant į tikrų objektų dydžius, bandymai buvo atlikti naudojant centimetro dydžio elementus.

11.1 lentelė. Vidinė apsaugos zona, kai žaibo ėmiklio aukštis $h=12\text{cm}$

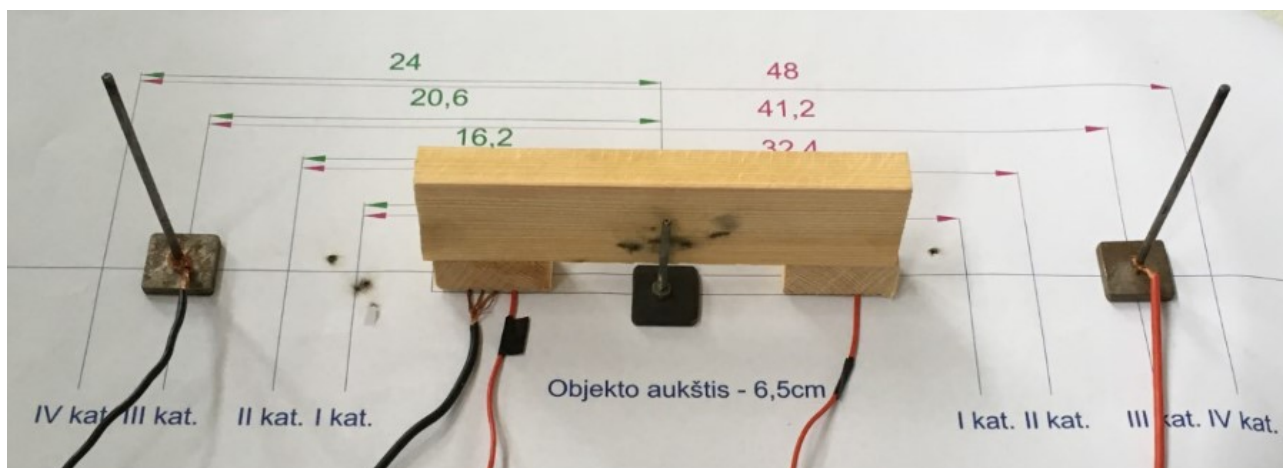
Objekto aukštis (cm)	Žaibolaidžio aukštis (cm)	Atsargos atstumas (cm)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (cm)	Maksimalus leistinas atstumas tarp žaibolaidžių L (cm) pagal apsaugos klase			
				I kat. (20cm)	II kat. (30cm)	III kat. (45cm)	IV kat. (60cm)
4,5	12	0,5	5	30,4	38,5	48,2	56,2
6,5	12	0,5	7	26,5	33,2	41,2	48,0
8,5	12	0,5	9	21,1	26,2	32,3	37,5
10,5	12	0,5	11	12,5	15,4	18,9	21,8

Pagal gautus skaičiavimo duomenys buvo nubraižyta žaibo ėmiklių išdėstymo schema, kaip turės išsidėlioti apsaugos nuo žaibos sistema. Tyrimo metu objekto imitacijai buvo pasirinktas medinis tašelįs ($20 \times 100 \times 45\text{mm}$), kuris paaukštintas kai keičiamas objekto aukštis. Keičiant objekto aukštį analogiškai braižoma schema, atitinkamai keičiant atstumus

Bandymo metu buvo atrinktos kelios situacijos kurias imituojant buvo atlikti bandymai. Bandymų rezultatai pateikti 11.1 lentelėje.



11.2 pav. Laboratorinio bandymo schema kai objekto aukštis $h_1 = 4,5\text{cm}$



11.3 pav. Laboratorinio bandymas vidinės apsaugos zonos nustatymui kai objektas $h_1 = 6,5\text{cm}$

11.2 lentelė. Vidinė apsaugos zonos laboratorinio bandymo rezultatai

Eil. Nr.:	1	2	3	4	5
Objekto aukštis (cm):	4,5	4,5	4,5	4,5	6,5
Žaibolaidžio aukštis (cm):	12	12	12	12	12
Atsargos atstumas (cm):	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Statinio aukštis su atsarga h_3 (cm):	5,0	5,0	5,0	5,0	7,0
Apsaugos nuo žaibo kategorija:	I-kat. (20)	I-kat. (20)	I-kat. (20)	I-kat. (20)	I-kat. (20)
Atstumas tarp žaibolaidžių L:	30,4	30,4	30,4	30,4	26,5
Bandymo Nr.:	1	2	3	4	1
Iš viso žaibo išlydžių:	50	50	50	50	50
Žaibo išlydžio pataikymas į objektą:	0	0	0	0	2
Patikimumas (apskaičiuotas):	1	1	1	1	0,96
Papildoma sąlyga:	-	-	Šlapias objektas	Šlapias objektas	Pamato metalinė konstrukcija

Čia Šlapias objektas – objektas (tašelis) apipurkštas vandeniu;

Pamato metalinė konstrukcija – prie objekto (tašelio) pastatytas už tašelį mažesnis strypukas.

11.3 lentelė. Vidinė apsaugos zonos laboratorinio bandymo rezultatai (tęsinys)

Eil. Nr.:	6	7	8
Objekto aukštis (cm):	4,5	4,5	6,5
Žaibolaidžio aukštis (cm):	12	12	12
Atsargos atstumas (cm):	0,5	0,5	0,5
Statinio aukštis su atsarga h3 (cm):	5,0	5,0	4,0
Apsaugos nuo žaibo kategorija:	II-kat. (30)	III-kat. (45)	III-kat. (45)
Atstumas tarp žaibolaidžių L (cm):	38,5	48,2	41,2
Bandymo Nr.:	1	1	1
Iš viso žaibo išlydžių:	50	50	50
Žaibo išlydžio pataikymas į objektą:	11	0	6
Patikimumas (apskaičiuotas):	0,78	1	0,92
Papildoma sąlyga:	Pamato metalinė konstrukcija	-	Pamato metalinė konstrukcija

Iš laboratorinių bandymo tyrimo rezultatų galime pastebėti, kad, jei saugomas objektas yra izoliuotas žemės atžvilgiu tai žaibo pataikymo tikimybė yra labai minimali dėl to, kad visais atvejais kai nebuvo jokių papildomų sąlygų žaibas į objektą nepataikė nei karto, nepriklausomai kokia buvo apsaugos nuo žaibo kategorija. Pastaciūs šalia objekto metalinį elementą kuris turi ryši su žemės potencialu iš kart matomas rezultatas, žaibo išlydis į objektą/metalinį elementą.

Jeigu objektas yra izoliuotas žemės atžvilgiu, neturi jokių metalinių konstrukcijų kurios būtų laidžios su žemės potencialu ir turi šalia didelių ar panašaus dydžio objektų, kurie turi ryši su žemės potencialu yra labai didelė tikimybė ~1.0, kad žaibo išlydžio metu nebus pataikyta į objektą. Tokio tipo objektams įrengti apsaugos nuo žaibo sistemos nėra reikalinga.

Jei objektų konstrukcijos žaibo išlydžio metu gali sukurti srovės pratekėjimo tikimybę, o aplinkui nėra jokių kitų stambių elementų/objektų, kurie tai pat galėtų praleisti žaibo išlydžio srovę, tai tokiu atveju, žaibo pataikymo tikimybė objekto atžvilgiu ženkliai išauga. Nepaisant to, kad atstumai bandymo metu buvo išdėstyti pagal keliamus statinio apsaugos nuo žaibo reikalavimus, vis dėlto pagal patikimumo rodmenis galima pamatyti, kad kai kuriais atvejais jie yra žemesni nei tai apibrėžia taisyklės.

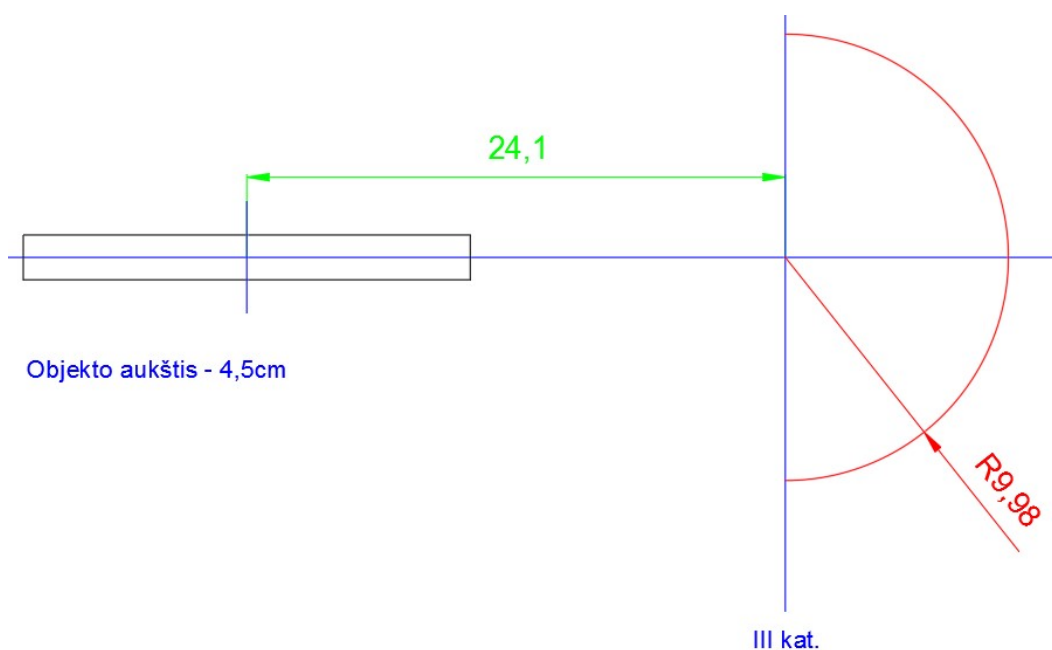
12. ŽAIBO ĖMIKLIO IŠORINĖ APSAUGOS ZONOS LABORATORINIAI TYRIMAI

Bandymai, kuriais siekta nustatyti išorinė žaibo ėmiklio zoną, buvo atlikti toje pačioje laboratorijoje ir naudota ta pati įranga. Tiek vidaus, tiek išorės zonos nustatymui reikia perskaičiuoti parametrus, atitinkamai nustačius mastelį:

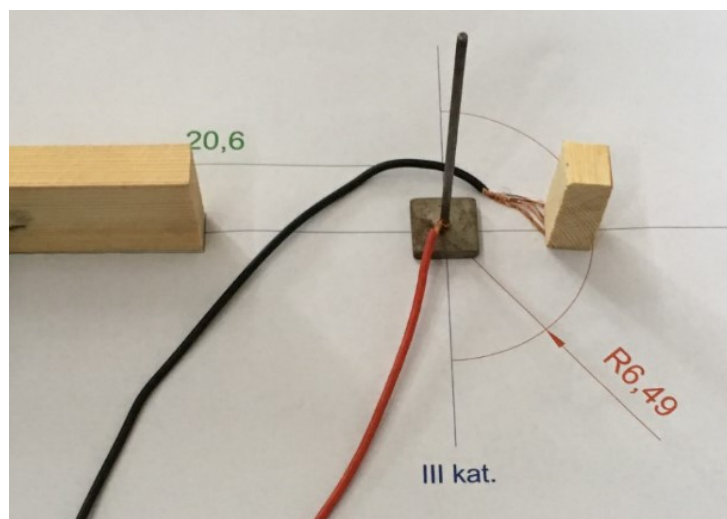
12.1 lentelė. Išorinė apsaugos zona kai žaibo ėmiklio aukštis $h=12\text{cm}$

Objekto aukštis (cm)	Žaibolaidžio aukštis (cm)	Atsargos atstumas (cm)	Statinio aukštis su atsarga h_3 (cm)	Išorinė apsaugos zona dx (cm)			
				I kat. (20cm)	II kat. (30cm)	III kat. (45cm)	IV kat. (60cm)
4,5	12	0,5	5	5,10	7,42	9,98	12,02
6,5	12	0,5	7	3,13	4,74	6,49	7,88
8,5	12	0,5	9	1,63	2,58	3,59	4,39
10,5	12	0,5	11	0,47	0,78	1,12	1,37

Pagal gautus skaičiavimo rezultatus nubraižyta tiriamoji schema:



12.1 pav. Laboratorinio bandymo schema kai objekto aukštis $h_1 = 4,5\text{cm}$



12.2 pav. Laboratorinio bandymas išorinės apsaugos zonos nustatymui kai objektas $h_1 = 4,5\text{cm}$

Visiems kitiems bandymams braižoma analogiška schema tik su kitais bandomais parametrais.

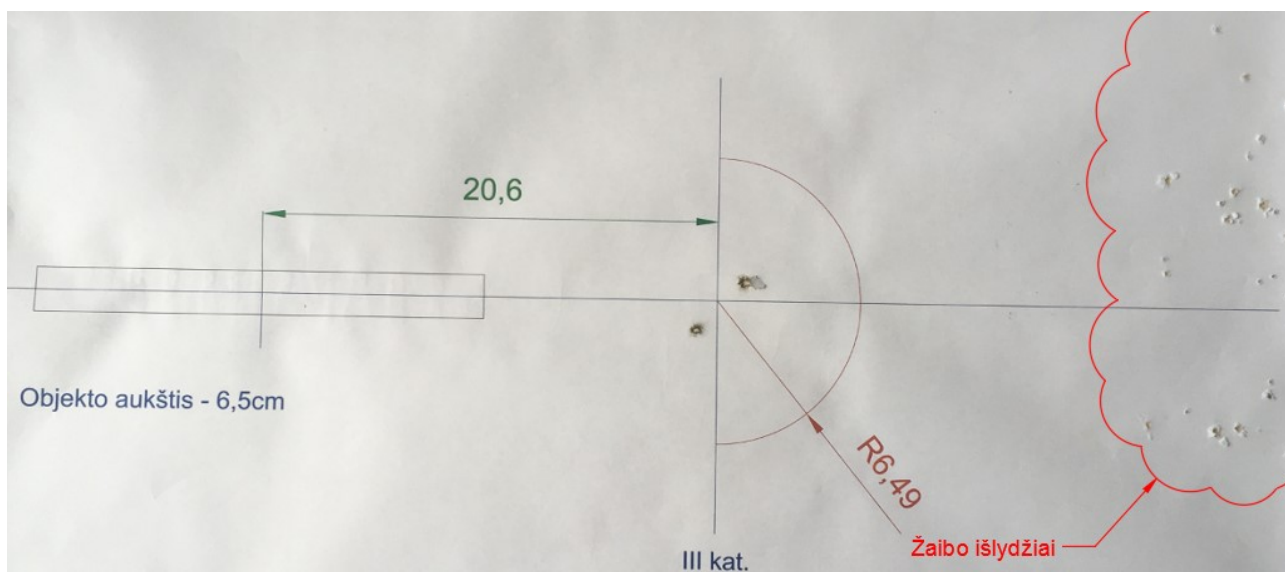
12.2 lentelė. Išorinės apsaugos zonos laboratorinio bandymo rezultatai

Eil. Nr.:	1	2	3	4	5
Objekto aukštis (cm):	8,5	8,5	6,5	6,5	6,5
Žaibolaidžio aukštis (cm):	12	12	12	12	12
Atsargos atstumas (cm):	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Statinio aukštis su atsarga h_3 (cm):	9,0	9,0	7,0	7,0	7,0
Apsaugos nuo žaibo kategorija:	I-kat. (20)	I-kat. (20)	II-kat. (30)	III-kat. (45)	III-kat. (45)
Atstumas iki žaibolaidžių L (cm):	10,55	10,55	16,2	20,6	20,6
Bandymo Nr.:	1	2	1	1	2
Iš viso žaibo išlydžių:	50	50	50	50	50
Žaibo išlydžio pataikymas į objektą:	0	0	6	0	50
Patikimumas (apskaičiuotas):	1	1	0,88	1	1
Papildoma sąlyga:	-	-	Metalinis elementas	-	Metalinis elementas
Arčiausia žaibo išlydžio vieta nuo žaibolaidžio (cm):	10,2	10,2	12,2	19,5	19,5

Čia: Metalinis elementas – Metalinis strypukas kuris yra išorinėje apsaugos zonoje.

Tyrimo rezultatai parodė, kad skaičiavimo metodika išoriniai apsaugos zonai yra teisinga, didžiąja dalį atvejų gauti rezultatai yra teigiami, patikimumas siekia 1. Po penkiasdešimt

bandymu pastebėti popieriaus lape palikti išlydžio pramušimo taškai. Kiekvienai tirtai situacijai buvo matuota koks yra artimiausias nuotolis iki žaibo išlydžio vietos, kuris kliuvo į paviršių. Iš gautu duomenų matyti, kad išorinė apsaugos zona yra daug toliau nei gautuose skaičiavimuose kuri siekia nuo 10 iki 20 cm (priklausomai nuo kategorijos). Galime vertinti, kad yra didelė atsarga bet taip yra dėl to, kad skaičiavimuose žaibo išlydžio erdvė yra sferos formos, todėl tolstant nuo žaibolaidžio palaipsniui ši apsaugos zona mažėja pagal sferos kraštinę, kol paliečia paviršių. Skaičiuojant išorinę apsaugos zona, įvertinamas objekto apsaugos zonos aukštis todėl jis yra nepalyginimai trumpesnis nei pat potencialo paviršiaus.

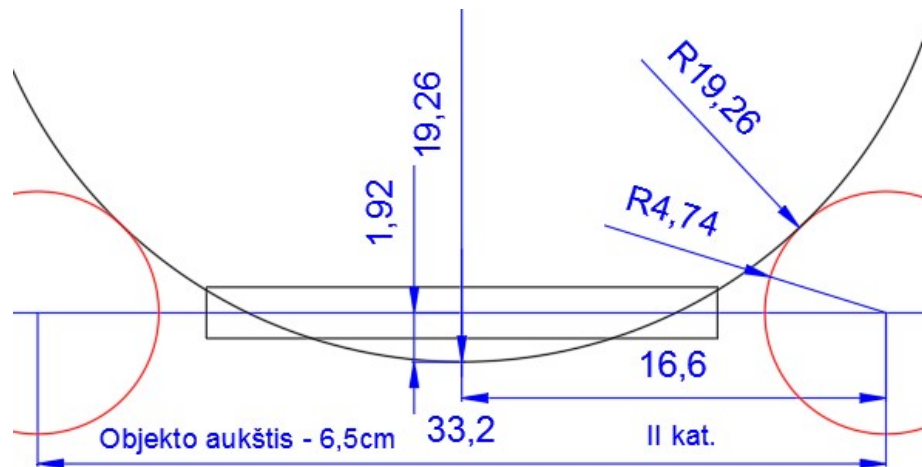


12.3 pav. Žaibo išlydžių pramušimai tyrinėjant išorine apsaugos zona.

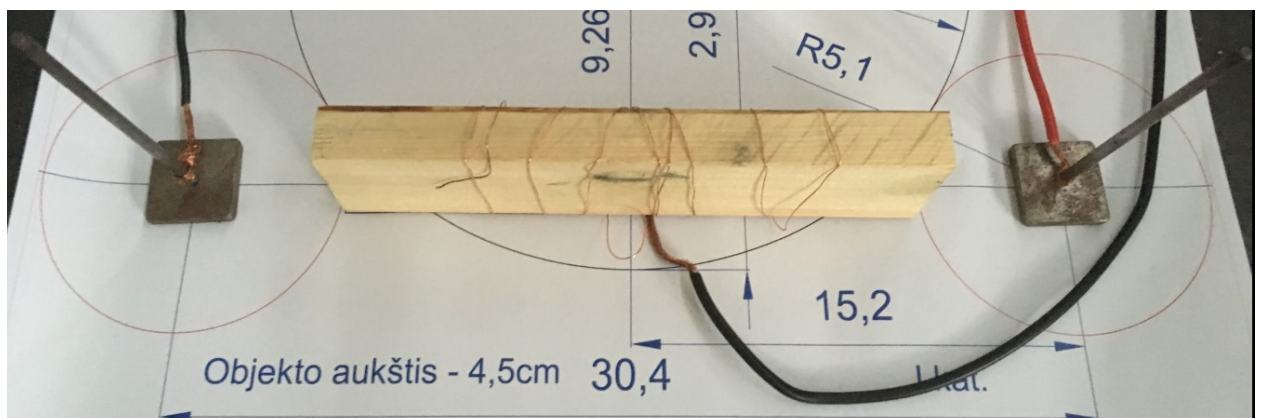
13. ŽAIBO ĖMIKLIO VIDINĖS APSAUGOS ZONOS ĮLENKIO LABORATORINIAI TYRIMAI

Vidinės apsaugos nuo žaibo teorinių skaičiavimų pagrindimui buvo atlikti laboratoriniai bandymai, kai sferos rutulys yra priartėjęs prie objekto šono su sąlyga, kad sferos apačia liečiasi su žeme. Sferos rutulys pristumiamas iki skaičiuojamos ribos tarp žaibo ėmiklių. Iš vidinės zonos įlenkiu skaičiavimų pastebėjome, kad parinkus maksimalų leistiną atstumą tarp dviejų žaibo ėmiklių (žr. 10 skyriuje: Žaibo ėmiklių vidinės apsaugos zonos) nėra apsaugota objekto šoninė (fasadinė) dalis. Tam, kad būtų įsitikinta buvo atlikti dviejų tipų bandymai.

Pirmuoju atveju buvo sumodeliuotos situacijos, kai yra maksimalus leistinas atstumas tarp žaibo ėmiklių. Skaičiavimuose visi dydžiai gaunami neigiamos reikšmės todėl patikimumo tikimybė lygi 0. Antru atveju visus skaičiavimo duomenys buvo palikti tie patys, bet buvo aukštinamas žaibo ėmiklis, tol kol buvo galima išgauti teigiamą vertę (sfera neliečia objekto).



13.1 pav. Laboratorinio bandymo schema kai objekto aukštis $h_1 = 6,5\text{cm}$



13.2 pav. Laboratorinio bandymas vidinės apsaugos zonos nustatymui

14.1 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkio laboratorinio bandymo tyrimo duomenys

Objekto aukštis	Žaibo ėmiklio aukštis	Atsargos atstumas	Statinio aukštis su atsarga h3 (m)	Dvėjų žaibo ėmiklio vidinės apsaugos zonos susiaurėjimas				Sferos spindulys h3 aukštyje (m), kai I kat.	Sferos spindulys h3 aukštyje (m), kai II kat.	Sferos spindulys h3 aukštyje (m), kai III kat.	Sferos spindulys h3 aukštyje (m), kai IV kat.
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)				
4,5	12	0,5	5	-2,98	-2,27	-1,77	-1,51	13,23	16,58	20,62	23,98
6,5	12	0,5	7	-2,51	-1,91	-1,50	-1,27	15,20	19,26	24,10	28,12
8,5	12	0,5	9	-1,70	-1,30	-1,02	-0,87	16,70	21,42	27,00	31,61
10,5	12	0,5	11	-0,63	-0,48	-0,38	-0,32	17,86	23,22	29,48	34,63

14.2 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkio laboratorinio bandymo tyrimo duomenys, kai žaibo ėmiklis paaukštintas

Objekto aukštis	Žaibo ėmiklio aukštis	Atsargos atstumas	Statinio aukštis su atsarga h3 (m)	Dvėjų žaibo ėmiklio vidinės apsaugos zonos susiaurėjimas				Sferos spindulys h3 aukštyje (m), kai I kat.	Sferos spindulys h3 aukštyje (m), kai II kat.	Sferos spindulys h3 aukštyje (m), kai III kat.	Sferos spindulys h3 aukštyje (m), kai IV kat.
				I kat. (20m)	II kat. (30m)	III kat. (45m)	IV kat. (60m)				
4,5	16	0,5	5	-0,86	1,67	3,94	5,57	13,23	16,58	20,62	23,98
6,5	16	0,5	7	-0,74	1,45	3,45	4,88	15,20	19,26	24,10	28,12
8,5	16	0,5	9	-0,18	1,66	3,38	4,63	16,70	21,42	27,00	31,61
4,5	16	0,5	5	-0,86	1,67	3,94	5,57	13,23	16,58	20,62	23,98

14.3 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkio laboratorinio bandymo rezultatai

Eil. Nr.:	1	2	3	4
Objekto aukštis (cm):	4,5	4,5	6,5	8,5
Žaibolaidžio aukštis (cm):	12	16	12	12
Atsargos atstumas (cm):	0,5	0,5	0,5	0,5
Statinio aukštis su atsarga h3 (cm):	5,0	5,0	7,0	9,0
Apsaugos nuo žaibo kategorija:	I-kat. (20)	I-kat. (20)	II-kat. (30)	III-kat. (45)
Atstumas iki žaibolaidžių L (cm):	30,4	30,4	33,2	32,3
Iš viso žaibo išlydžių:	10	10	10	10
Žaibo išlydžio pataikymas į objektą:	10	10	10	9
Patikimumas (apskaičiuotas):	0	0	0	0,1
Papildoma sąlyga:	Metalinis elementas	Metalinis elementas	Metalinis elementas	Metalinis elementas

14.4 lentelė. Vidinės apsaugos zonos įlenkio laboratorinio bandymo rezultatai (tęsinys)

Eil. Nr.:	5	6	7	8
Objekto aukštis (cm):	6,5	8,5	8,5	8,5
Žaibolaidžio aukštis (cm):	16	16	16	14
Atsargos atstumas (cm):	0,5	0,5	0,5	0,5
Statinio aukštis su atsarga h3 (cm):	7,0	9,0	9,0	9,0
Apsaugos nuo žaibo kategorija:	II-kat. (30)	III-kat. (45)	III-kat. (45)	III-kat. (45)
Atstumas iki žaibolaidžių L (cm):	33,2	32,3	32,3	32,3
Iš viso žaibo išlydžių:	10	20	20	20
Žaibo išlydžio pataikymas į objektą:	0	0	0	1
Patikimumas (apskaičiuotas):	0,9	1,0	1,0	0,95
Papildoma sąlyga:	Metalinis elementas	Metalinis elementas	Metalinis elementas	Metalinis elementas

Atlikti skaičiavimai ir bandymai patvirtina, kad suprojektuota dvejų žaibo ėmiklių apsaugos zona maksimaliam atstumui ne visada gali visiškai apsaugoti objektą. Didinant tarpą tarp dvejų žaibo ėmiklių, tuo pačiu didėjo vidinės apsaugos zonos susiaurėjimą ir visais atvejais sfera lietė objektą.

IŠVADOS

1. Vertinant žaibo ėmiklių maksimalius išsidėstymo atstumus, buvo sudarytos įvairios situacijos, kurių metu buvo atliekami skaičiavimai bei projektavimai, tikrinant gautų rezultatų tikrumą. Įvertinus, kad gauti skaičiavimo duomenys yra teisingi buvo atlikti laboratoriniai bandymai, kurie parodė skaičiavimo duomenų tikslumą. Tais atvejais, kai objektai laboratorinio bandymo metu šalia neturėjo metalinių elementų, tų objektų patikimumas siekė normos ribas, o visais kitais atvejais patikimumas sumažėjo, o kai kuriais atvejais buvo mažesnis patikimumas už keliamus reikalavimus.

2. Tyrinėjant išorinės žaibo ėmiklių apsaugos zonas, tiek skaičiavimo, projektavimo ir laboratorinių bandymo rezultatai buvo teigiami. Didžioji dalis gautu rezultatų tenkino normos ribas. Bandymo metu pastebėta, kad susidarė žaibo išlydžiai plokštumoje yra toli nuo žaibo ėmiklio apie 10-20 cm. Galime teigti, kad tolstant nuo žaibo ėmiklio galioja sferos dėsningumas: apsaugos zona žemėja pagal sferos kraštinę kol atsiranda sferos ir žemės potencialo ryšys.

3. Atliktus tyrimus su vidinės ir išorinės žaibo ėmiklių apsaugos zonomis, buvo atlikta vidinės apsaugos zonos siaurėjimo analizė (sferos priartėjimas iš šono). Visais atvejais, kai žaibo ėmikliai tarpusavyje išdėstomi maksimaliu atstumu, sfera liečia objektą. Laboratoriniai bandymai patvirtino, kad susidariusiam žaibo išlydžiui objekto šone, jo patikimumas siekia 0.

4. Apsaugos nuo žaibo sistemos eksperimentiniai tyrimai parodė, kad skaičiavimo rezultatai dauguma atveju tenkina arba būna didesni už keliamus patikimumo reikalavimus. Šiuo tyrimo metu skaičiavimuose buvo naudotas 0,5 m atsargos atstumas nuo sferos iki objekto, o laboratoriniuose bandymuose - 0,5 cm. Tam, kad būtų galima išvengti tų atvejų, kai patikimumo klasė netenkino gautų rezultatų, reikėjo didinti atsargos atstumą.

5. Apibendrinus visus tyrimo metu gautus rezultatus, galima daryti bendrą išvadą, kad apsaugos nuo žaibo sistema yra efektyvi, tik tada, kai įvertiname visas žaibo išlydžio pataikymo tikimybes.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. BUKANTIS, Arūnas. *Atmosferos reiškinių stebėjimas*. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2011. ISBN 9789955334347.
2. BUKANTIS, Arūnas. *Lietuvos klimatas*. Vilnius: Vilniaus universitetas, 1994. ISBN 9986190444
3. STR 2.01.06:2009. *Statinių apsauga nuo žaibo. Išorinė statinių apsauga nuo žaibo*. Lietuvos standartas: Statybos techninis reglamentas, 2009.
4. BETTERMANN, Ulrich, Andreas, BETTERMANN, Markus, ARENS, Jens Uwe, DROWATZKY ir Robert, GRONING. *Lightning protection guide*. Menden, 2016.
5. BAUBLYS Juozas, Saulius GUDŽIUS, Pranas JANKAUSKAS, Linas MARKEVIČIUS ir Alfonsas MORKVĖNAS. *Žaibas. Apsauga nuo žaibo: monografija*. Vilnius: Energetika, 2006.
6. IEC 62305-1. *Protection against lightning, Part 1: General principles*. Ženeva, 2010.
7. IEC 62305-2. *Protection against lightning, Part 2: Risk management*. Ženeva, 2010.
8. IEC 62305-3. *Protection against lightning, Part 3: Physical damage to structures and life hazard*. Ženeva, 2010.
9. ERICO INTERNATIONAL CORPORATION. *Lightning protection handbook. Designing to the IEC 62305 series of lightning protection standards*. 2009.
10. DRABATIUKAS, Anatolijus, Nėrijus, BAGDANAČIUS, Rimas, LUKŠYS. *Pastatų išorinė apsauga nuo žaibo: techninė priežiūra*. Punkskas, 2013.
11. LPS: *Lightning protection system* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-10-11 d.]. Prieiga per: <http://earlystreameremission.com/en/the-world-of-lightning-protection/protection-against-effects-of-lightning/>
12. KIŠKIS, Sigitas: *Kompleksinė apsauga nuo žaibo* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2016-10-11d.] Prieiga per: <http://www.staltika.lt/zaibosauga/kompleksine-apsauga-nuo-zaibo/>
13. LIETUVOS HIDROMETEOROLOGIJOS TARNYBA [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-11-08 d.]. Prieiga per: <http://old.meteo.lt/index.php>