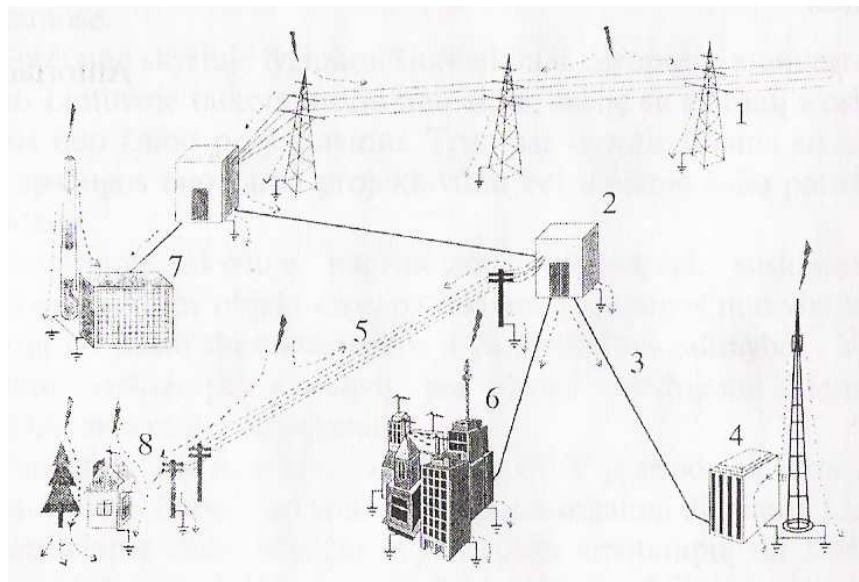


Įvadas

Žaibai sukelia neigiamų padarinių: padega ir sugriauna neapsaugotus gyvenamuosius namus, įvairios paskirties statinius, elektros ir ryšių tinkluose sukelia viršįtampius, sugadina instaliaciją ir sukelia įvairius trikdžius, sugadina daug kompiuterinės technikos ir elektroninės aparatūros. Žaibas taip pat suskaldo medžius ir sužaloja žmones. Lietuvoje kasmet dėl žaibų patiriama šimtai tūkstančių litų nuostolių.

Žaibas į objektus pataiko tiesiogiai arba daro jiems netiesioginę įtaką. Pagrindiniai žaibo keliai, kuriais veikiami įvairūs objektai, parodyti 1 paveiksle.



1 pav. Pagrindiniai viršįtampių susidarymo dėl žaibo poveikio keliai: 1-Aukštos įtampios oro linijos; 2-Transformatorinės pastotės; 3-Kabelinės linijos; 4-Ryšių objektai; 5-Oro linijos; 6-Daugiaaukščiai pastatai; 7-Pramonės objektai; 8-Atskirai stovintys pastatai

Taip pat nustatyta, kad didelę poveikį žaibai turi šiuo metu plačiai naudojamoms globalinio padėties nustatymo sistemos (GPS - Global Positioning System) darbui. GPS - tai didelio tikslumo palydovinė radionavigacinė sistema, suteikianti informaciją apie mobiliųjų objektų padėtį erdvėje, jų judėjimo greitį, kryptį ir įveiktą atstumą, atstumus iki pasirinktų taškų, apie tikslų vietos laiką tam tikru momentu, geografinius pasirinktos vietovės saulėtekio ir saulėlydžio laiką, mėnulio fazes. GPS veikia nepriklausomai nuo oro sąlygų, paros ar metų laiko, vienodai bet kurioje pasaulio vietoje. Žaibų poveikis šiai

sistamai pasireiškia įvairiais būdais. Pats didžiausias poveikis būna tuomet, kai žaibo išlydis įvyksta visai greta. Tuomet galimas visiškas GPS imtuvo sugadinimas. Fiksuotų, stacionarių įrengtų, pvz., laivuose, imtuvų apsaugai rekomenduotina įrengti gerus žaibų iškroviklius. Kitas poveikis pasireiškia dideliais žaibų elektromagnetinių bangų sukeltais trikdžiais, kurie labai apsunkina GPS signalų priėmimą. Šiems trikdžiams sumažinti naudojamos mažatriukšmės „magnetinės kilpos“ tipo priėmimo antenos. Tačiau nenustatyta, kad žaibų išlydžiai turėtų didelio poveikio signalų priėmimui iš GPS.

Gamtoje žaibas yra natūralus žemės planetos būdas elektrinei pusiausvyrai tarp jos paviršiaus ir atmosferos išsaugoti. Žaibavimo metu gamtoje vyksta cheminės reakcijos. Įvykus galingam išlydžiui tarp įelektrintų debesų, ore esantys azotas ir deguonis suskyla į atomus, kurie susijungdami sudaro azoto viendeginį (NO), o prisijungus papildomam deguonies atomui susidaro azoto dvideginis (NO₂). Pastarajam jungiantis su vandeniu (H₂O), susidaro silpna azoto rūgštis NHO₃ (naudojama parako gamyboje, dažų pramonėje ir kitur). Azoto rūgštis, įsigėrusi į žemę, tirpdo uolienas, susidedančias iš K, Ca, Mg, Na ir kt. medžiagų, sudarydama druskas. Augalų šaknys pasisavina ištirpintas druskas. Tokiu būdu skatinamas augalų augimas natūraliu būdu gamtoje. Po žaibavimo visuomet geriau auga žolė ir kiti augalai.

Ši natūrali žemės tręšimo technologija yra visiškai ekologiška, palyginti su dabar naudojama trąšų gaminimo iš gamtinių dujų technologija (Haberio ciklas). Pasaulyje brangstant dujoms, Haberio ciklas taps neekonomiškas ir bus grįžtama prie primiršto natūralaus ekologinio gamtos ciklo, įgyvendinamo plazmocheminės technologijos būdu, reikalaujančiu nemažai elektros energijos. Pirmas pramoninis plazmocheminis azoto rūgšties gamybos bandymas atliktas JAV 1904 m. (pastačius hidroelektrinę ant Niagaros krioklio). Tačiau dėl tuometinės mažos trąšų paklausos ir gamtinių dujų bei Čilėje esančių salietros klodų pigumo plazminis metodas buvo primirštas ir iš naujo juo susidomėta tik XX a. antroje pusėje - Novosibirsko moksliniame centre, Minsko šilumos ir masės mainų institute bei Lietuvos energetikos institute (buvusiame Fizikinių-techninių energetikos problemų institute). Pastarajame buvo įsteigta unikali 2 MW galios plazmocheminių tyrimų laboratorija.

Šiuo metu yra sukurti karinių ginklų, pagrįstų dirbtinių elektromagnetinių bangų poveikiu. Tai dirbtiniai „žaibai“, integruoti į sparnuotąsias raketas. Šis ginklas vienintelis

gali sugadinti pačius įmantriausius kompiuterius ir elektroninę įrangą. Galingi elektromagnetiniai impulsai pasiekia giliai žemėje esančias slėptuves, valdymo punktus. Tačiau kitaip nei įprasti sprogmenys šios bangos nepaskleidžia mirtinai pavojingų medžiagų į orą. Žaibiška šių ginklų elektros iškrova siekia 2 mlrd. vatų. Todėl karo specialistai turi gerai suvokti stiprių elektromagnetinių bangų prigimtį, galimybes jas panaudoti ir nuo jų apsisaugoti.

Virš žemės rutulio kiekvieną akimirką įvyksta apie 1000 žaibo išlydžių. Daugiausia žaibų išlydžių susidaro tarp debesų ir žemės. Tačiau nemažai jų susidaro tarp gretimų debesų arba pačiame debesyje. Po išlydžio pasirodo šviesos blyksniai (žaibas) ir garsas (griaustinis). Laiko tarpas tarp blyksnio ir girdimo garso priklauso nuo žaibo atstumo. Žaibavimo metu garsas girdimas iki 20 km atstumu.

Žaibai sukelia terminį, griaujamąjį (mechaninį) ir elektromagnetinį poveikį. Žmonėms ir gyvūnams yra pavojingas tiek tiesioginis žaibo smūgis, tiek netiesioginis jo poveikis.

Labai dažnai žaibo išlydžio vietai turi įtakos požeminės vandens srovės, statiniai, stovintys atvirose vietose ar aukštumose, ir medžiai. Nustatyta, kad žaibas ne visuomet trenkia į aukščiausią vietą arba į aukščiausią objektą. Klaidingai manoma, kad arti pastatų esantys aukšti medžiai apsaugo pastatus kaip žaibolaidžiai.

Per metus Lietuvoje žaibas vidutiniškai kerta 1-2 kartus į 1 km² plotą. Perkūnijos trukmė teritorijoje apibūdinama vidutiniu žaibavimo valandų skaičiumi per metus. Lietuvoje šis skaičius per metus svyruoja nuo 24 iki 45 valandų [2].

Apsisaugoti nuo žaibo padeda įvairių tipų žaibolaidžiai, iškrovikliai ir kita įranga. Netinkamai įrengta apsauga nuo žaibo tik padidina pavojų (ypač aktyvieji žaibolaidžiai).

Lietuvoje nuo seno statinių apsaugai naudojama pasyvi apsaugos nuo žaibo sistema su tradiciniais vadinamaisiais Franklino žaibolaidžiais. Nuo 2003 m. siūlomi aktyvieji žaibolaidžiai, kurie palyginti su Franklino žaibolaidžiais estetiškesni, daug brangesni ir užima mažiau vietos ant stogo.

1970 m. amerikiečių mokslininkams gimė idėja sukurti lazerinį žaibolaidį, tačiau tai dar iki šiol yra tik kūrimo stadijoje.

Mūsų šalyje tik neseniai susirūpinta įvairios elektroninės aparatūros apsauga nuo žaibo padarinių. Nėra išleista pakankamai lietuviškos techninės literatūros apie

modernios apsaugos nuo žaibo įrangą tiek statinių išorei, tiek aparatams ir įvairiems įtaisams apsaugoti pastatų viduje. Tiek Europos Sąjungos, tiek kitose išsivysčiusiose šalyse pagal galiojančius standartus būtina įrengti objektuose, namuose ir biuruose nuo žaibo viršįtampių apsaugančią specialią įrangą. Dažniausiai naudojama daugiapakopė apsaugos nuo viršįtampių sistema. Tokia įranga montuojama tiesiog pastatų elektros skirstomo-siose lentose ant kreipiamųjų tinklo lizdų, tinklo atšakų ir t.t.

Lietuvos gyventojai per mažai informuojami apie žaibo pavojų ir per mažai apmokomi, kaip reikia apsisaugoti nuo tokių gamtos reiškinių. Reikia žinoti, kad perkūnijos metu negalima stovėti aukštose vietose, po medžiais, arti vandens, t.y. nebūti taikiniu. Labai pavojinga slėptis po aukšta stogine, statinių arba kalvos viršūnėje, būti šalia metalinio aptvaro, oro elektros perdavimo linijos, dirbti žemės ūkio darbus atvirame lauke arba su statybinėmis ir žemės ūkio mašinomis, bėgti. Palūkėti, kol praeis perkūnija, geriausia būtų nedidelėje lomoje (įduboje), giraitėje arba stataus šlaito papėdėje. Lygioje vietoje patartina pritūpti.

Kartais nelaimingi atsitikimai įvyksta arti vandens, atviruose baseinuose. Žaibui pataikius į medį, žaibo srovė sukelia didelį įtampos kryptį jo šaknų įžeminimo varžoje, ir galimas atvirkščias išlydis nuo medžio į po juo esančius žmones ir gyvulius. Be to, po medžiu žemės paviršiuje atsiranda dideli potencialių skirtumai. Visi šie veiksniai gali sukelti žmonių arba gyvūnų traumas ir net žūtį.

Todėl visais atvejais, slepiantis po medžiu, atstumas tarp medžio kamieno ir žmogaus turi būti ne mažesnis kaip 3 m, dar geriau - 8-10 m. Negalima slėptis po aukštais atskirai stovinčiais medžiais lygioje vietoje arba pamiškėje. Žmonės, perkūnijos metu esantys automobilyje arba traktoriuje, pataikius žaibui paprastai smarkiai nenukenčia. Tačiau apsvaigintas vairuotojas laikinai gali prarasti gebėjimą valdyti techniką. Todėl perkūnijos metu reikia sustoti.

Žmogus, kuris perkūnijos metu būna pastate, turi prisiminti, kad negalima naudotis elektriniais prietaisais, telefonu, liesti vandentiekio čiaupus, būti šalia dūmtraukių, krosnių arba didelių metalinių daiktų. Ypač tai svarbu, kada pastatai neapsaugoti žaibolaidžių. Pataikius žaibui į pastatą, galimi išlydžiai pastato viduje nuo pastato sienų ir stogo. Kad kamuolinis žaibas nepatektų į pastato vidų, siūloma uždaryti langus, duris, dūmtraukius, kad patalpose nebūtų skersvėjų. Ventiliacijos angas būtina iš anksto padengti įžeminta

metaline 2-2,5 mm skersmens gardele su 3-4 cm² akutėmis.

Lietuvoje yra per mažai techninės ir mokslinės literatūros, apibendrinančios kitų šalių ir Lietuvoje sukaupią patirtį apsaugant nuo žaibo įvairios paskirties statinius, ypač labai svarbius Lietuvai strateginius, turinčius savo specifiką energetikos objektus.

Šio darbo metu sieksime išnagrinėti žaibolaidžių ir įžeminimo sistemų (ypač neseniai Lietuvoje naudojamo aktyvaus žaibolaidžio) galimybes ir atlikti vieno taško įžeminimo sistemos bandymus.

1. Analitinė – metodinė dalis

1.1 Atmosferos elektra

Troposferoje visi debesys ir krituliai, rūkas, dulkės turi elektros krūvį. Net "švarioje" atmosferoje nuolat egzistuoja elektrinis laukas, t. y. kiekvienas jos taškas turi vieną ar kitą potencialo reikšmę. Pagrindinė šio lauko charakteristika yra atmosferos elektrinio lauko įtampa (E) -jėga, veikianti elektros krūvį atmosferoje. Kai nėra debesų, ji yra nukreipta iš viršaus į apačią ir išreiškiama lauko potencialo pokyčiu ilgio vienetui (V/m). Tyrimų duomenimis, vidutinė E reikšmė prie Žemės paviršiaus siekia 100-130 V/m. Žemė turi neigiamą, o atmosfera - teigiamą krūvį. Tačiau kritulių (ypač perkūnijos), pūgų ir t.t. metu lauko įtampos kryptis ir dydis gali keistis ir pasiekti net 1000 V/m. Didėjant aukščiui, E reikšmė mažėja ir 10 km aukštyje siekia vos 5 V/m. Jonosferoje E lygi 0, kadangi čia atmosferos laidumas yra pakankamas atmosferos elektrinio lauko potencialų skirtumui išlyginti [15].

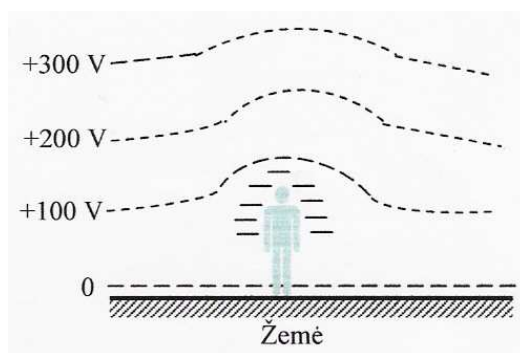
Elektrinę atmosferos būseną nusako jos elektrinis laidumas, kurį sukuria ore esantys jonai. Elektrinis laidumas priklauso nuo jonų skaičiaus tūrio vienetu ir jų judrumo. Elektrinis laidumas auga didėjant aukščiui: 30 km aukštyje jis 150 kartų didesnis nei prie Žemės paviršiaus. Ypač staigiai elektrinis laidumas padidėja jonosferoje, į kurią prasiskverbia jonizuojančioji Saulės spinduliuotė. Jonosferoje elektrinis laidumas 10^{12} karto didesnis nei prie Žemės paviršiaus. Pagrindiniai atmosferos jonizatoriai yra:

- 1) kosminiai spinduliai, veikiantys visą atmosferos storį;
- 2) radioaktyviųjų medžiagų, esančių Žemėje ir ore, spinduliuotė;
- 3) ultravioletinė ir dalelinė Saulės spinduliuotė (kurios jonizuojantis poveikis jaučiamas tik didesniame nei 50-60 km aukštyje).

Jonosferoje yra keletas sluoksnių, kuriuose jonų koncentracija yra padidėjusi. Jie turi didelę reikšmę radijo ryšiui. Aukštutinių atmosferos sluoksnių tyrimai, atlikti naudojant palydovus, parodė, kad apie Žemę yra dvi sritys, turinčios didelį kiekį elektrigųjų dalelių, kurių energija daug kartų viršija išorinės jonosferos dalelių energiją. Šios sritys vadinamos radiacinėmis Žemės juostomis.

Įvairūs meteorologiniai reiškiniai - rūkai, krituliai ir kt. - sukelia didelius elektrinio lauko pokyčius. Debesų ir rūkų lašeliai, taip pat kieti jų elementai dažniau yra įelektrinti nei neutralūs. Rūko ir debesų smulkių lašelių elektros krūvio dydis kinta nuo dešimčių iki tūkstančių elementariųjų krūvių (elektrono krūvių). Lašeliai dažniausiai yra vienodo ženklo, nors apie 25 % atvejų krūviai yra skirtingi.

Kamuolinių lietaus debesų lašeliai daug didesni, todėl ir jų elektros krūvis didesnis (siekia keliasdešimt milijonų elementariųjų krūvių). Kieti debesų ir kritulių elementai turi panašų ar dar stipresnį krūvį. Lietus dažniausiai įelektrintas teigiamai (apie sniego elektros krūvio ženklą vienodos nuomonės nėra).



2 pav. Žemę gaubiantis elektrinis laukas

Žemę visą laiką gaubia elektrinis laukas. Lygesnėse vietovėse elektrinio lauko jėgų linijos eina stačiai žemyn. Paprastą dieną virš lygumos dykumoje ar virš jūros paviršiaus elektrinio lauko stipris

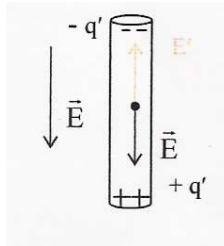
$$E = 100 \frac{V}{m}. \quad (1)$$

Tai reiškia, kad lauke žmogaus viršugalvio lygyje potencialas yra apie 185 V aukštesnis negu kojų lygyje. Kodėl žmogus to nejaučia? Kodėl nedega lemputė, prijungta laidu, tarp kurio galų yra 100 V potencialų skirtumas? Žmogus nejaučia žemės atmosferos elektrinio lauko, nes jis yra, kaip ir Žemė, laidininkas ir yra ekvipotencialus su žeme. Kai Žemės paviršius yra lygus ir gulsčias, ekvipotencialiniai paviršiai - lygiagretės plokštumos, o žmogus elektrinį lauką iškraipo (2 pav.). Laidininke, esančiame išoriniame E stiprio lauke, indukuojasi krūviai, kurių lauko stipris E' kompensuoja išorinio lauko stiprį $E' + E = 0$ (3 pav.). Laidininkas ir lemputės kaitinimo siūlelis yra

ekvipotencialus. Kadangi E nukreiptas į Žemę, tai jos krūvis yra neigiamas. Jo tankis randamas iš formulės

$$\sigma = \frac{E}{4\pi k} . \quad (2)$$

Tankį galima nustatyti eksperimentu. Jeigu tarsime, kad $E = 100 \text{ V/m}$ pastovus viso Žemės rutulio



3 pav. Lempute veikiantys el. lauko stipriai

paviršiuje, tai visas Žemės neigiamas krūvis yra

$$\rho = \sigma 4\pi R_2 = \frac{ER^2}{k} .$$

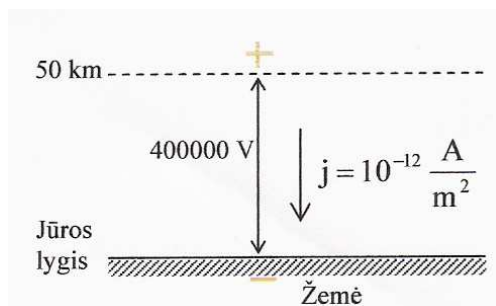
Čia $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. R - Žemės spindulys $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$. Tada $\rho = 5 \cdot 10^5 \text{ C}$.

Išmatuotas elektros srovės tankis ties žemės paviršiumi $j = 10^{-12} \text{ A/m}^2$ [16].

Jis yra mažas, tačiau į visą Žemės rutulį tekančios srovės stipris $I \sim 1800 \text{ A}$. Ši srovė - tai jonų srautas. Iš kur jonai atmosferoje? Pradžioje buvo manoma, kad atmosferos dujas jonizuoja radioaktyvioji Žemės spinduliuotė. Tačiau, kylant aukštynei, atmosferos laidumas didėja. Šis atradimas pradėjo naują fizikos mokslo sritį - kosminių spindulių fiziką. Taigi atmosferos orą daugiausiai jonizuoja kosminiai spinduliai (elementariųjų dalelių, daugiausiai protonų srautas iš Saulės ir už Saulės sistemos esančios kosminės erdvės). Be to, atmosferoje yra įelektrintų Žemės uolienų dulkelių, NaCl kristalėlių virš jūros paviršiaus, žmogaus veiklos sukeltų teršalų ir kt. $I = 1800 \text{ A}$ stiprio srovė neša į Žemę teigiamą krūvį. Užtektų pusvalandžio, kad Žemė išsielektrintų. Kodėl Žemė neišsielektrina? Kas palaiko atmosferoje elektrinį lauką? Jeigu Žemę laikysime vienu neigiamu elektrodu, kur yra teigiamas elektrodas?

Antrasis elektrodas yra 50 km aukštyje, kur atmosferos laidumas toks didelis, kad orą galima laikyti geru laidininku. Tarp šio laidininko ir Žemės paviršiaus yra potencialų

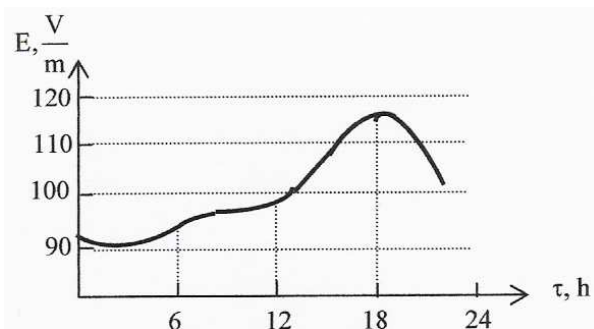
skirtumas $U = 400 \text{ kV}$ (4 pav.).



4 pav. Potencialų skirtumai žemės paviršiuje

Kas palaiko šio "kondensatoriaus" įtampą? Kodėl jis neišsielektrina? Koks įtampos šaltinis palaiko pastovų potencialų skirtumą $U = 400 \text{ kV}$?

Pasirodo, kad U nėra pastovus visą parą. Buvo matuojamas ištisą parą vidutinis srovės tankis Atlanto, Ramiojo vandenyno, Ledjūrio atmosferoje. Gautus rezultatus išreiškia kreivė $E = f(h)$ (5 pav.). Čia h - Grinvičo laikas valandomis. Matome, kad visur pasaulyje srovės tankis yra didžiausias 19 h Grinvičo laiku, o mažiausias 4 h ryto.



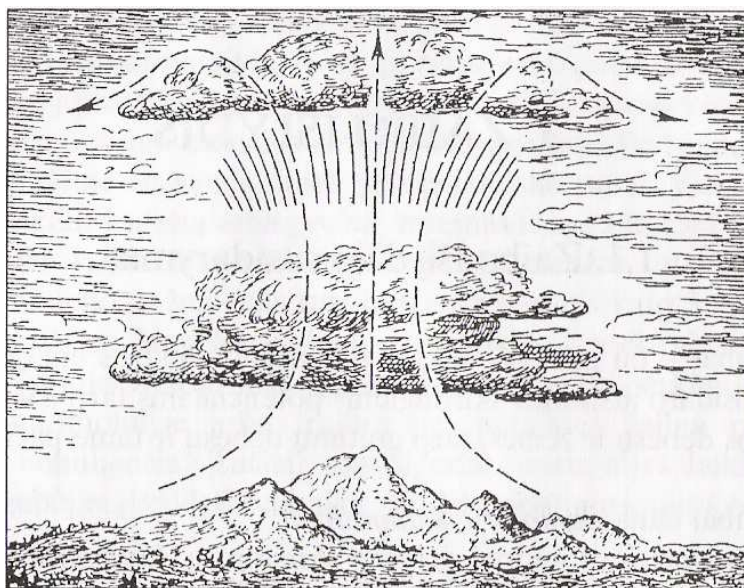
5 pav. Srovės tankio priklausomybė per 24 val.

Ši srovės tankio priklausomybė ($j \sim E$) yra ne vietinė, o globali. Mokslininkai apskaičiavo, kad 19 h Londono laiku daugiausiai žaibų trenkia į Žemę, o 4 h žaibų yra mažiausiai. Žaibas - kibirkštinis atmosferos išlydis. Žaibas trenkia kelias šimtas, netgi dešimtas sekundes dalis ir perneša į žemę neigiamą krūvį, neviršijanti 20 C . Kiekvieną sekundę mūsų planetoje vidutiniškai blykčioja 100 žaibų [15].

1.2 Žaibo išlydžio susidarymas

Žaibas - tai galingas aukšto potencialo elektros energijos išlydis. Jis susidaro atsiradus skirtingiems potencialams tarp įsielektrinusią audros debesų ir žemės, tarp gretimų debesų ir tame pačiame debesyje. Žaibai būna linijiniai ir kamuoliniai. Pagal prigimtą audros debesys skirstomi į šiluminius ir frontinius.

Šiluminiai debesys (6 pav.) susidaro Saulei įkaitinus žemę. Pastarosios paviršiuje susidarę drėgmės garai kartu su įkaitusiu oru kyla į viršų ir 2 km aukštyje kondensuojasi, sudarydami šiluminius audros debesis iš labai smulkių, įelektrintų sušalusio vandens lašelių. Vėjo srautai gali pakelti šiltas, drėgnas oro mases į viršų - kartais net iki 15 km. Tokie debesys susidaro karštu vasaros metu ir dažniausiai antroje dienos pusėje.



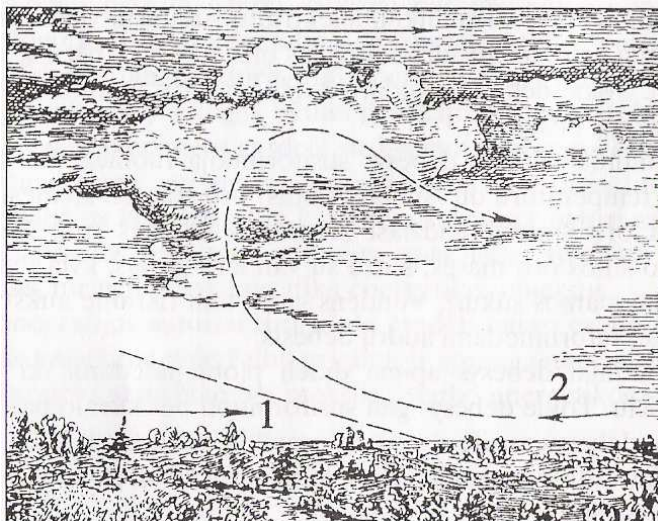
6 pav. Šiluminių debesų formavimasis

Frontiniai audros debesys susiformuoja tuomet, kai susitinka skirtingų temperatūrų du (šiltas ir šaltas) oro srautai. Žemesnės temperatūros oro srautas leidžiasi žemyn, artėdamas prie žemės paviršiaus, o šiltos oro masės kartu su vandens garais kyla į viršų (7 pav.) sudarydamos sūkurį. Vandens garai tam tikrame aukštyje kondensuojasi, suformuodami audrų debesis [1].

Frontiniai debesys apima didelį plotą judėdami iki 100-150 km/h greičiu. Tokie debesys

gali susiformuoti bet kuriuo paros metu. Pradžioje debesys susiformuoja iš smulkių vandens lašelių, kuriuos tam tikrame aukštyje palaiko oras, kildamas į viršų. Po to lašai didėja, sunkėja ir krenta žemyn į žemę (lyja).

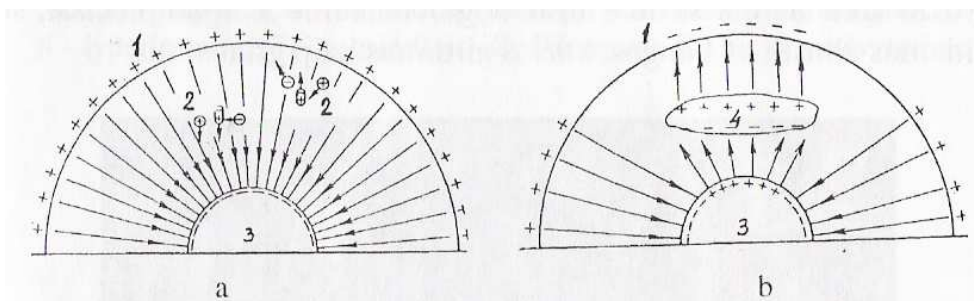
Vieną iš žaibo susidarymo teorijų pateiksime žemiau.



7 pav. Frontinių audros debesų formavimasis (1- šaltas oras, 2- šiltas oras)

Visi debesyse atšalę vandens lašai įsielektrina dviem priešingais elektros krūviais (poliarizuoja) nuo oro, kuris žemės paviršiuje yra nuolatos įelektrintas. Antai 1 cm^3 oro turi sukaupęs apie 600 įsielektrinusių porų (teigiamaisiais ir neigiamaisiais krūviais). Nustatyta, kad žemės paviršiuje yra apie 100 V/m elektrinis laukas. Kylant aukštyn nuo žemės paviršiaus, elektringųjų oro dalelių tankis didėja. Žemės paviršiuje elektrinis oro laidumas yra labai mažas.

Taigi žemę kartu su 80 km aukštyje esančiu laidžiu sluoksniu galima įsivaizduoti kaip didelį rutulinį „kondensatorių“.



8 pav. Krūvių pasiskirstymas debesyse: a-lietaus lašų poliarizacija; b-debesies elektrinis

laukas su atskirais krūviais. (1-jonosferos laidusis sluoksnis; 2-vandens lašai; 3-žemė; 4-debesis)

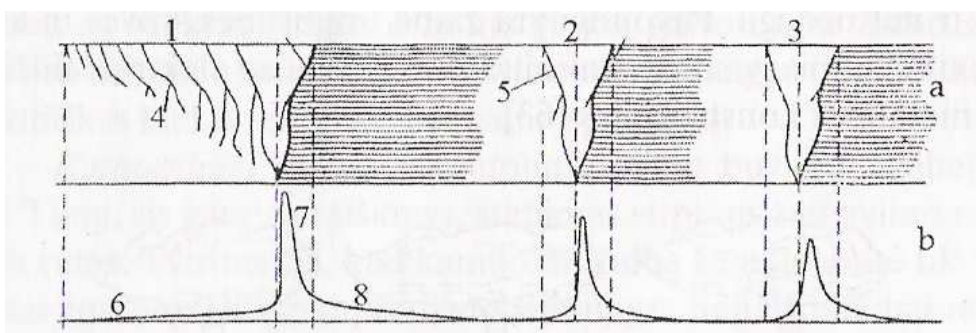
„Kondensatoriaus“ elektriniame lauke 1-8 km aukštyje nuo žemės paviršiaus esantys atšalę vandens lašeliai įsielektrina (poliarizuoja): apatinėje zonos dalyje dažniausiai susikaupia teigiamieji krūviai, o viršutinėje - neigiamieji (8 pav.). Bandymai, atlikti naudojantis radarais ir lėktuvais, patvirtino, kad elektros krūvių susidarymas debesyse tiesiogiai susijęs su ledo kristalų ir šaltų vandens lašų judėjimu. Nustatyta, kad krušos dalelės turi neigiamą potencialą, o atskiri didesni ledo kristalai - teigiamą. Lengvi ledo kristalai kartu su kylančiais vėjo srautais pasikelia į viršutinius debesies sluoksnius, o Stambesni pakliūna į debesies centrinės dalis (8 pav., a). Tokio proceso metu debesyse formuojasi priešingų polių krūviai. Viršutinė debesies dalis tampa teigiamai įelektrinta, o apatinė - neigiamai (8 pav., b). Krūviai debesyje pasiskirsto netolygiai. Kai susikaupę krūviai sukuria kritinį elektrinį lauką 25-30 kV/cm, prasideda išlydis, sklindantis žemyn. Tačiau, kaip parodė elektrinio lauko matavimai žaibavimo metu, elektrinio lauko stipris siekia tik 2-3 kV/cm. Priežastis, kodėl prasideda žaibo išlydis esant tokiam silpnam elektriniam stipriui, nenustatyta iki šiol. Pasiekęs žemės paviršių, išlydis nušvinta, nes sudaro uždarą elektrinę grandinę, kuria teka stipri žaibo impulsinė elektros srovė, įkaitindama išlydžio kanalą iki 20000-30000°C [15].



9 pav. Linijinis žaibas

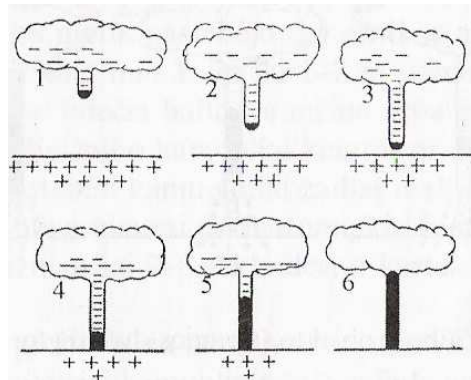
Dėl tokios aukštos temperatūros įvyksta daugybė cheminių reakcijų gamtoje. Taip susidaro linijiniai žaibai. Žaibo išlydžio kanalo ilgis siekia nuo kelių šimtų metrų iki kelių kilometrų. Įkaitęs išlydžio kanalas dėl susidariusio slėgių skirtumo staigiai plečiasi, sukeldamas akustines bangas, kurios girdimas kaip griaustinis.

Žaibo išlydis vyksta keletu atskirų impulsų. Kiekvienas impulsas turi dvi stadijas: pirminę, vadinamą lyderiu, ir antrinę, vadinamą pagrindiniu išlydžiu.



10 pav. Linijinio žaibo susidarymo išsklotinė: a-optinis vaizdas; b-impulsinės srovės pokytis (1,2,3-impulsai; 4-laipčiuotas lyderis; 5-strėlinis staigus lyderis; 6-lyderio srovė; 7-pagrindinio išlydžio srovė; 8-srovė po švytėjimo.)

Lyderio bei pagrindinio išlydžio susidarymo stadijos parodytos (10 pav.). Pradžioje lyderis būna labai trumpas, o po kurio laiko palaipsniui didėja iki pagrindinio lyderio, pasiekiančio žemę ir pradedančio švytėti (11 pav.). Pagrindinio lyderio išlydis tęsiasi 50-100 μ s. Kai tik pagrindinio lyderio švytėjimas pasiekia debesis, jis išsikrauna ir švytėjimas sumažėja.

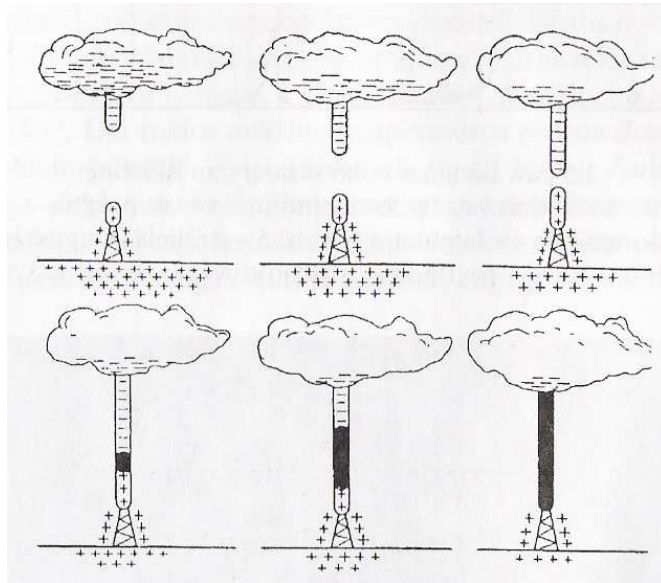


11 pav. Žaibo lyderio formavimasis: 1,2,3- pagrindinėje stadijoje (lyderiui leidžiantis link žemės); 4,5,6-žaibui pasiekus žemę (žaibavimas vyksta nuo žemės aukštyn)

Debesyse susiformuoja keletas viena nuo kitos izoliuotų krūvių sancaupų, sukuriančių kritinį elektrinį lauką, todėl žaibavimo metu susidaro keletas žaibo impulsų. Po pagrindinio einantys vėlesni išlydžių impulsai paprastai susidaro po 0,03-0,05 s, jau turintys staiga susiformavusius lyderius. Pa- kartotinių išlydžio impulsų per 1 sekundę būna nuo 2-3 iki 10, labai retai daugiau [1].

Žaibo impulsinė srovė, tekėdama koku nors objektu, ji sudaužo ir net uždega. Pavojingi yra žaibo impulsinės srovės indukuoti aukšti viršįtampiai visuose statiniuose, turinčiuose elektrai laidžias arba tik metalines konstrukcijas.

Jeigu žaibo išlydis pasiekia ne žemę, o koki nors objektą, esantį ant žemės paviršiaus (12 pav.), tai lyderis pasirenka trumpiausią kelią, kurį dar sutrumpina virš objekto susidaręs teigiamųjų krūvių (žemės potencialo) lyderis. Kuo objektas smalesnis, tuo plonesnis, bet ilgesnis susidaro nuo objekto sklindantis lyderis. Abu lyderiai susijungdami sudaro žaibo išlydžio kanalą.



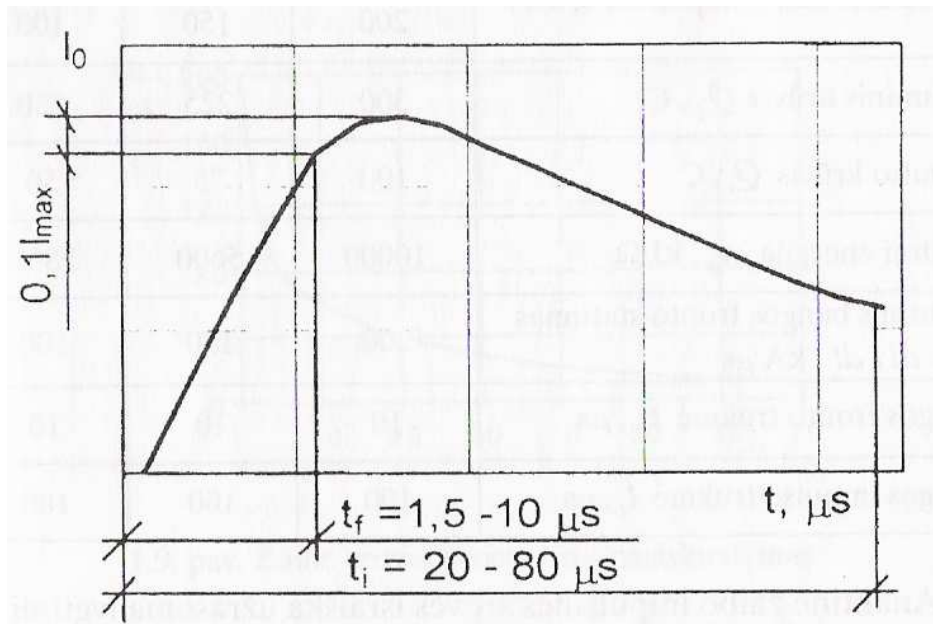
12 pav. Žaibo ir objekto (atamos) lyderių formavimasis

Žaibas dažniausiai pataiko į tą objektą, kuris būna geriau įžemintas, t.y. kurio įžeminimo varža būna mažiausia. Taip pat nustatyta, kad 10 proc. žaibų išlydžių iš debesies į žemę perduoda teigiamąjį elektros krūvį, susikaupusį debesies viršuje. Tai vadinamasis teigiamasis išlydis.

Neseniai JAV mokslininkai iš Floridos atrado mistišką žaibų savybę, kuri fizikus iš naujo verčia galvoti apie žaibo susidarymą. Jie nustatė, kad, žaibui nušviečiant padangę, išspinduliuojamas milžiniškas kiekis rentgeno bei gama spindulių.

1.3. Žaibo parametrai ir charakteristikos

Standartinė žaibo impulsinės srovės forma parodyta 13 pav.



13 pav. Žaibo impulsinės bangos parametrai:

t_f - bangos fronto trukmė; t_i - impulso trukmė

Pagrindiniai žaibo parametrai yra srovės impulso amplitudė $I_{0 \max}$, siekianti nuo 10 kA iki 200 kA, srovės bangos fronto trukmė $t_f = 1,5-10 \mu s$; viso srovės impulso trukmė dažniausiai būna $t_i = 20-100 \mu s$.

Susidarantiems nuo žaibo mechaniniams bei terminiams procesams nagrinėti reikia žinoti visą žaibo krūvį Q_z , vieno impulso krūvį Q_i ir savitąją energiją w_s .

Nustatyta, kad indukinių viršįtampių susidarymą lemia impulsinės srovės bangos fronto statusas α .

1 lentelėje pateikti žaibo parametrai, naudojami skaičiavimuose.

1 lentelė. Žaibo parametrai

Žaibo parametrai	Statinių apsaugos nuo žaibo klasės		
	I	II	III, IV
Didžiausia impulsinė žaibo srovė, kA	200	150	100
Visuminis krūvis Q_z , C	300	225	150
Impulso krūvis Q_i , C	100	75	50
Savitoji energija w_s , kJ/Ω	10000	5600	2500
Vidutinis bangos fronto statumas $a = di/dt$, kA/μs	200	150	100
Bangos fronto trukmė t_f , μs	10	10	10
Bangos impulso trukmė t_i , μs	100	100	100

Analitinė žaibo impulsinės srovės išraiška užrašoma lygtimi

$$i(t) = [I_{0m} \cdot (t/\tau_1)^{10} \cdot \exp(-t/\tau_2)] / k \cdot [1 + (t/\tau_1)^{10}]. \quad (3)$$

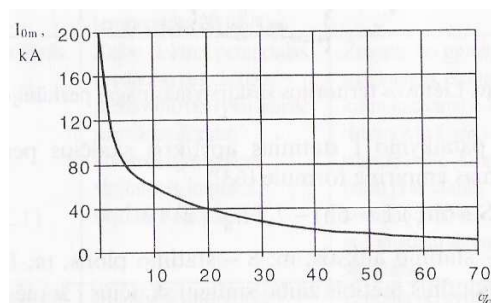
Čia I_{0m} - didžiausia žaibo impulsinė srovė, kA;

k - koreguojantis srovės maksimumo reikšmę koeficientas (pirmam žaibo impulsui $k = 0,93$, o kitam žaibo impulsui $k = 0,993$);

t - laikas, μs;

τ_1 - žaibo impulsinės bangos fronto laiko pastovioji (pirmam žaibo impulsui $T = 19,0 \mu s$, o kitam žaibo impulsui $T = 0,454 \mu s$);

τ_2 - žaibo impulsinės bangos srovės mažėjimo laiko pastovioji (pirmam žaibo impulsui $\tau_1 = 485 \mu s$, o kitam žaibo impulsui $\tau_2 = 143 \mu s$).



14 pav. Žaibo srovių procentinis pasiskirstymas

Nustatyta, kad didesnių kaip 200 kA srovių žaibo išlydžiai būna labai retai. 100 kA srovių būna tik 2 %, o 150 kA ir daugiau - tik 0,5 %, palyginti su visų impulsinių srovių kiekiu. Dažniausiai (iki 40 %) pasitaiko 20-30 kA srovės.

Svarbi žaibavimo charakteristika yra tankis (intensyvumas), kuris matuojamas išlydžių kiekiu, tenkančiu 1 km² per metus: $n = 6,7 \cdot T_d / 100$,

čia T_d - vidutinis žaibavimo valandų skaičius per metus (Lietuvoje - nuo 24 iki 45 valandų).

Lietuvos teritorija pagal administracinius rajonus suskirstyta į dvi žaibavimo trukmės grupes: iki 40 valandų ir daugiau kaip 40 valandų (15 pav.).



15 pav. Lietuvos teritorijos suskirstymas pagal žaibavimo trukmę

Žaibo pataikymo į statinius apytikris skaičius per metus N apskaičiuojamas empirine formule :

$$N = [(S + 6h_s)(L + 6h) - 7,7h_s^2] n \cdot 10^{-6}. \quad (4)$$

Čia h_s - statinio aukštis, m; S - statinio plotis, m; L - statinio ilgis, m; n - vidutinis metinis žaibo smūgių skaičius i žemės paviršiaus 1 km² toje vietoje, kur yra statinys.

1.4. Žaibo padariniai

Atmosferos išlydžiai (žaibai) sukelia daug neigiamų padarinių gamtai ir žmogaus veiklai. Tiesioginio žaibo pataikymas į daugiau kaip 1000 V įtampos elektros tinklus iš esmės skiriasi nuo pataikymo į iki 1000 V įtampos linijas ir kitus arti esančius objektus. Skirtumas tas, kad iki 1000 V įtampos linijos jungia daugumą statinių. Tad žaibui tiesiogiai pataikius į juos yra pavojus elektros krūviams pažeisti tiek pačius statinius, tiek įrenginius, žmones ar gyvulius, esančius statiniuose. Žaibo išlydis greta statinių ar išlydis į daugiau kaip 1000 V įtampos linijas yra mažiau pavojingas žmogui. Žaibo išlydžio metu krūvis yra perduodamas žemėje esančių laidininkų (galvaninėmis linijomis). Tolimo žaibo išlydžio padariniai yra padidėjusi galimybė kilti gaisrai pastatų viduje ir pažeisti namuose esančius įrenginius. Pažeidimų veiksniai bei galimi padariniai 1 lentelėje.

2 lentelė. Pažeidimų veiksniai

Žaibavimo forma	Pažeidimų veiksniai	Galimi padariniai
Tiesioginis žaibo išlydis į statinius	Išlydžio srovė daugiau kaip 200 kA, įtampos potencialas iki 1000 kV, temperatūra $30 \cdot 10^3$ °C.	Žmonių, gyvulių sužalojimas, statinių sugriovimas, gaisrai.
Tolimas žaibo išlydis (>5 km)	Žaibo elektros potencialas, perduodamas per elektros perdavimo bei ryšių linijas, metalines išorines konstrukcijas (galimi viršįtampių impulsai, siekiantys šimtus kV).	Žmonių bei gyvulių sužalojimas, elektros bei komunikacinių ryšių sistemos izoliacijos sugadinimas, duomenų bazių praradimas kompiuteriuose, automatinių sistemų darbo sutrikimas.
Artimas žaibo išlydis (iki 0,5km nuo statinio).	Indukuoti viršįtampių impulsai statinių elektrai laidžioje konstrukcijose ir elektros tiekimo bei ryšių sistemose.	Žmonių bei gyvulių sužalojimas, elektros bei komunikacinių ryšių sistemos izoliacijos sugadinimas, automatinių sistemų darbo sutrikimas.

Trumpieji jungimai iki 1000V įtampos elektros tinkluose ir ryšių linijose.	Viršįtampių impulsas – iki 4kV.	Įrenginių sugadinimas, duomenų bazių praradimas kompiuteriuose, automatinų sistemų darbo sutrikimas.
--	---------------------------------	--

Kaip matyti iš 1 lentelės, pati pavojingiausia žaibavimo forma - tiesioginis žaibo smūgis, t.y. tiesioginis žaibo kanalo kontaktas su statiniais, esančiais žemėje. Tačiau žaibas yra labai pavojingas ir kitomis savo formomis. Žaibo išlydžiai debesyse taip pat gali indukuoti elektros įrenginiuose viršįtampius elektrai laidžiose metalinėse konstrukcijose bei įrengimuose ir sukelti jų kibirkščiavimą ar turėti kitų neigiamų padarinių.



16 pav. Pastato nuotrauka po tiesioginio žaibo smūgio (pastate nebuvo sumontuota žaibosauga)

1.5 Kamuolinis žaibas

Kamuolinių žaibų buvimu neabejoja niekas. Šis gamtos reiškinys, stebimas stipraus žaibavimo metu, yra labai retas. Tvirtinama, kad kamuolinį žaibą žemėje matė tik 1-5 procentai žmonių. Dėl tokių retų stebėjimų yra nepakankamai mokslinių duomenų, tad kamuolinio žaibo prigimtis ir šiandien nėra iki galo aiški.

Dažniausiai kamuolinis žaibas susiformuoja linijinio žaibo išlydžio vietoje. Kartais kamuoliniai žaibai keliauja iš debesies link žemės, kaip linijiniai žaibai.

Šiuos švytinčius, ore plevenančius kamuolius, netikėtai atsirandančius perkūnijos metu, pastebėjo dar antikos mokslininkai. Įvairių formų kamuoliai būna nuo 1 cm iki 1-2 m skersmens, dažniausiai - apie 15-20 cm. Jie šviečia balta, oranžine arba geltona spalva. Taip pat sakoma, kad šie žaibo kamuoliai kiaurai prasiskverbia per sienas ar langus. Yra pastebėti kamuoliniai žaibai ir skrendant lėktuvu. Kai kurie kamuoliai būna kiaurai permatomi, kiti būna tuščiaviduriai. Jie būna matomi dažniausiai 7-8 sekundes, o kartais tai trunka ir kelias minutes [19].

Kamuolio greitis būna labai įvairus: nuo visai nejudančio iki labai didelio. Dažniausiai kamuolinis žaibas juda apie 5 m/s greičiu. Jis gali pulsuoti, keisti savo formą. Taip pat yra pastebėta, kad didelis kamuolys suyra ir susidaro keletas mažų kamuoliukų.

Pasirodžius kamuoliniam žaibui, dažniausiai nebūna jokio garso, o kartais girdimi traškesiai, spragsėjimai ir šnypštimas.

Dažniausiai kamuoliniai žaibai apibūdinami kaip šalti. Tačiau pastebėta atvejų, kai nuo jų užvirė ir išgaravo vanduo, įkaito metaliniai daiktai, taip pat kas nors užsidegė.

Kamuoliniai žaibai šviečia kaip kaitrinės elektros lemputės ir nesunkiai pastebimi dienos šviesoje. Tvirtinama, kad kamuoliniai žaibai skleidžia nemalonų degėsių ar sieros kvapą. Kamuolinis žaibas labai retai pasirodo, todėl iki šiol nėra jokių patikimų nuotraukų arba vaizdajuosčių, kuriose jis būtų nufilmuotas.

Tačiau vis tik yra keletas kamuolinį žaibą aiškinančių teorijų. Viena iš pirmųjų dar 1955 m. pasiūlė žymus rusų fizikas Piotras Kapica. Jis priskyrė šį reiškinį aukštojo dažnio elektromagnetinio lauko iškrovai. Tačiau P. Kapica nepaaiškino, iš kur šis aukštojo dažnio laukas atsiranda. Kiti mokslininkai bandė paaiškinti, kad aukšto dažnio bangas spinduliuoja pats audros debesis, tam tikromis sąlygomis virstąs gamtiniu mazeriu,

panašiu į lazerį, tik spinduliuojančiu ne šviesą, bet mikrobangas. Šių teorijų nepavyko patvirtinti eksperimentais. 1991 m. dviem japonų mokslininkams pavyko laboratorijoje sukurti rutulius iš plazmos. Tie rutuliai net pereidavo per medines lentas, jų nepažeisdami. Tačiau tvirtinti, kad sukūrė kamuolinį žaibą, jie nesiryžo, nes eksperimento sąlygos labai skyrėsi nuo to, kas vyksta žaibavimo metu.

Mokslininkai Johnas Abrahamsonas ir Jamesas Dinnis mano, kad kamuolinio žaibo prigimtis visai ne fizikinė, o cheminė. Jie teigia, kad trenkus žaibui į žemėje esantį smėlį šio grūdėliai skyla ir atsiranda mažos silicio dalelės, o silicio dioksido buvęs deguonis susijungia su dirvoje esančia anglimi, virsdamas anglies dvideginiu (CO_2). Silicio dalelės, kurių skersmuo yra mažesnis už šimtą nanometrų, viena su kita sukimba sudarydamos ilgas grandines, iš kurių po kiek laiko susidaro lengvi, pūkiniai rutulio formos vėriniai, kuriuos oro srovė pakelia nuo žemės paviršiaus. Minėti mokslininkai stebėjo tokius vėrinius elektroniniu mikroskopu po to, kai sukūrė aukštosios įtampos elektros išlydį.

Silicio dalelės, ore reaguodamos su deguonimi, lėtai degdamos skleidžia šviesą. Silicio oksidavimosi procesai yra naudojami puslaidininkų pramonėje jau seniai. Mokslininkai teoriškai apskaičiavo, jog degant silicio vėriniams turėtų atsirasti šviesos ryškis, panašus į kamuolinių žaibų ryškį. Atsižvelgiant į pradines sąlygas, silicio dalelės gali įkaisti nuo 1200 iki 1700 °C temperatūros. Jeigu temperatūra viršytų silicio lydymosi tašką (1412 °C), likęs silicis oksiduotųsi labai greitai ir kamuolinis žaibas sprogtų. Mokslininkai aiškina ir tai, kaip kamuoliniai žaibai sugeba pereiti per sienas ir langus. Tai atsitinka todėl, teigia mokslininkai, kad miniatiūrinės silicio dalelės gali būti su oro srove įtraukiamos į mažiausius plyšelius, o kitoje pusėje vėl turėtų sulipti į rutulį.

Šiai kamuolinio žaibo teorijai patvirtinti trūksta tik vieno, paties svarbiausio įrodymo - iki šiol dar niekam nepavyko sukurti kamuolinio žaibo laboratorijoje.

1.6 Dirbtiniai žaibai

Sisteminis mokslinis tyrinėjimas apunkina tai, kad neįmanoma tiksliai iš anksto numatyti, kur ir kada kirs žaibas. 1967 m. M.Njumenas (M.Newman) su bendradarbiais pasiūlė „iškrauti“ elektringus audros debesis, paleidžiant nedidele raketa, įžemintą per išsivyniojantį laidą (17 pav.). Galima sakyti, kad tai yra moderni Franklino aitvaro versija. Kad raketa sukeltų elektros išlydį, jos greitis turi viršyti bent 200 m/s.(apie 720 km/h) Kitaip tariant, laidus kanalas (šiuo atveju raketos įžeminimo laidas) tarp priešingo ženklo potencialų turi atsirasti labai greitai, priešingu atveju krūvis bus ekranuojamas ir išlydis neįvyks [18].



17 pav. Nedidele raketa sukeltas elektros išlydis- dirbtinis žaibas (Floridos universiteto nuotr.)

Pavyzdžiui, yra gerai žinoma, kad žaibas niekada netrenkia į aukštai pakilusius įžemintus oro balionus, naudojamus meteorologiniams tyrimams. Galimybė sukurti dirbtinį žaibą, kurio atsiradimo laikas ir vieta yra tiksliai žinomi, yra neįkainojama moksliniu požiūriu. Sudėtinga aparatūra gali nuosekliai fiksuoti įvairius parametrus (elektrinio lauko bei srovės stiprio kilimą, oro jonizaciją, chemines reakcijas ir pan.) Ir taip atkurti visą žaibo vystimosi dinamiką. Tai savo ruožtu įgalina kurti ir tobulinti fizikinius žaibo radimosi modelius, atskleisti naujus, nepastebėtus dėsningumus. Nedidele raketa sukelti „dirbtinį“ žaibą pavyksta 6 atvejais iš 10. Šis metodas yra sėkmingai taikomas ne tik moksliniams žaibų tyrimams, bet ir JAV kosmodromuose bei kituose strateginės svarbos objektuose, siekiant apsaugoti juos nuo žaibo smūgių.

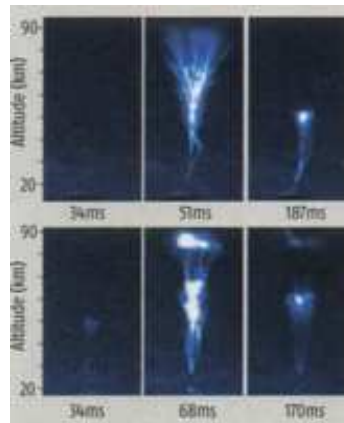
1.7 Milžiniški žaibų srautai

Taivanie mokslininkai nufilmavo penkis milžiniškus žaibus, kuriuos jie vadina "gigantiškais srautais", pasiekiančius net 90 km aukštį. Atrodo, kad šiems srautams tenka reikšmingas vaidmuo išsklaidant elektros krūvį, kurį audros debesys perneša į aukštutinius atmosferos sluoksnius.

Jau keli dešimtmečiai lakūnai pasakoja apie virš debesų matytą keistą švytėjimą, šokančius raudonus gniutulus su daugybe ataugų ar vandens fontanus primenančius mėlynus srautus. Pradžioje visi šie pasakojimai buvo laikomi vaizduotės vaisiumi, bet per pastarąjį dešimtmetį kameros užfiksavo dvi pagrindines šių reiškinių kategorijas: dideliuose aukščiuose stebimus raudonus gniutulus ir siaurus mėlynus srautus, kurie nuo debesų viršaus trykšta aukštyn.

Neseniai Han-Tzong Su iš Taivanie Nacionalinio universiteto pamatė dar vieną kategoriją - milžiniškus srautus. 2002 metų liepos 22 d. jo vadovaujama grupė planavo nuo kalno viršūnės stebėti raudonuosius gniutulus. Jie tikėjosi pastebėti už 400 km, virš Pietų Kinijos jūros vykstančios audros žaibų blykstelėjimus. Bet mokslininkų laukė netikėtas reginys: penki milžiniški srautai, nusitęsę nuo debesų viršaus iki jonosferos, iki 90 km aukščio.

Srautai, švytėję kelis šimtus milisekundžių, panėšėjo į gniutulo ir mėlynojo srauto derinį - liekna jų apatinė dalis viršuje išsiskleisdavo. Užregistruotieji vaizdai buvo monochrominiai, apatinė dalis buvo mėlyna, o viršus raudonas, kaip srautuose ir gniutuluose.



18 pav. Milžiniškas žaibas, užfiksuotas atskirais laiko momentais

2001 m. rugsėjo mėnesį Victoras Pasko iš Pensilvanijos valstijos universiteto pastebėjo panašų hibridą vandenyno prie Puerto Rico danguje. Japonijoje ir Antarktidoje imtuvai taip pat užregistravo itin žemo dažnio radijo bangas, kurias skleidžia panašūs srautai - tikras požymis to, jog elektros iškrova vyksta tarp jonosferos ir debesų [24].

Amerikiečių nuo 1992 m. uoliniuose kalnuose vykdomos programos metu buvo užregistruota beveik 10 000 gniutulų, bet nei vieno milžiniško srauto. Manoma, kad milžiniški srautai gali įsižiebtį tik dėl didelio tropikų vandenyno druskingumo, dėl to jie nebuvo užfiksuoti kalnuose.

1.8 Viršįtampiai

1.8.1 Bendroji viršįtampių charakteristika

Elektros tinkle dėl įvairių komutacijų ar išorinio poveikio įtampa pereinamojo proceso metu gali viršyti didžiausią leistiną darbo įtampą. Toks įtampos padidėjimas (viršįtampis) yra pavojingas įrenginių izoliacijai. Viršįtampių lygis priklauso nuo juos sukeliančių priežasčių. Viršįtampių kitimo procesas gali kilti atjungiant transformatoriaus tuščiąją veiką, įjungiant liniją, susidarius tinkle rezonansui ar feromagnetiniam rezonansui bei dėl žaibo išlydžio į apsauginę trosą, atramą ar greta jų.

Viršįtampių dydis priklauso nuo žaibo išlydžio parametrų, elektros linijų ilgio, konfigūracijos, jų konstrukcijų, apkrovos ir įtampos lygio elektros tinkle. Pavojingiausi viršįtampiai susiformuoja komutuojant linijas, kai tinkle yra liekamasis krūvis po automatinio kartotinio jungimo (AKJ) pauzės ar jungtuvo fazių nevienalaikio įsijungimo, atjungiant transformatorių tuščiąją veiką, kai jungtuvo per anksti gesinamas elektrinis lankas. Taip pat viršįtampiai susiformuoja žaibo išlydžių metu.

Viršįtampių tyrimai elektroenergetikos sistemoje yra svarbus ir gana sudėtingas uždavinys. Pereinamieji procesai gali turėti įtakos daugeliui elektroenergetikos sistemos sudedamųjų dalių. Analizuojant pereinamuosius procesus, turi būti tinkamai modeliuojamas elektros tinklas. Elektros tinklas yra sutelktųjų ir paskirstytųjų talpų, laidžių, varžų bei induktyvumų junginys, turintis virpesių kontūro savybių. Normalaus darbo metu šios tinklo savybės nepasireiškia. Įtampa neviršija didžiausios leistinos darbo įtampos amplitudės U_{md} . Atsiradus kokiam nors parametrų pokyčiui (linijos ar kito elektros sistemos elemento įjungimas ar atjungimas, trumpasis jungimas ir pan.), staigiai pakinta tinklo struktūra ir dėl tinklo elementuose sukauptos elektrinės ir magnetinės energijos persiskirstymo atsiranda virpamieji procesai. Šių pereinamųjų procesų atsiradimas lemia įtampos padidėjimą virš U_{md} . Įtampos padidėjimas virš U_{md} vadinamas viršįtampiu. Viršįtampiai pagal poveikio vietą skirstomi į: fazinius - veikiančius izoliaciją tarp fazės ir žemės, tarpfazinius - veikiančius tarpfazine izoliaciją, tarpvijinius - veikiančius vijų izoliaciją ir tarpkontaktinius - veikiančius atjungtų ar atjungiančių aparatų izoliacinį tarpą tarp kontaktų.

Viršįtampiai apibūdinami - didžiausia amplitudė U_{max} arba amplitudės koeficientu k_s ,

poveikio izoliacijai trukme, pereinamojo proceso kreivės forma ir veikimo zona. Amplitudės koeficientas apskaičiuojamas taip:

$$k_s = \frac{U_{\max}}{U_{md}} \quad (5)$$

Čia: $U_{\max}$ - didžiausia viršįtampių amplitudė;

U_{md} - didžiausia leidžiamoji darbo įtampos amplitudė.

Viršįtampių lygis apibūdinamas santykiniais vienetais. Viršįtampių lygis įvertina, kiek kartų viršįtampių amplitudė viršija didžiausią leistiną darbo įtampos amplitudę. Pereinamieji procesai elektros tiekimo sistemose gali atsirasti dėl daugelio atsitiktinių veiksnių. Viršįtampių parametrus atestuoti galima sudaryti įvairius skaitmeninius modelius, kurie gali imituoti komutacinius, rezonansinius, feromagnetinio rezonanso, elektrinio lanko, susidariusio izoliuotosios neutralės tinkle, atmosferinius ir kt. pereinamuosius procesus. Tiriant viršįtarnpius elektros tiekimo sistemose yra sudaromos skaičiuojamosios schemos matematinis modelis bei parenkami lygčių sprendimo metodai. Pereinamųjų procesų apskaičiavimui, analizei ir jų lygio prognozei gali būti naudojami specializuoti skaitmeniniai viršįtampių analizatoriai. Viršįtampių analizatorius, įvertinantis elektros sistemos struktūrą bei įvairius darančius įtaką veiksnius, gali pakankamai tiksliai ir greitai nustatyti viršįtampių funkcines ar statistines charakteristikas, įvertinti įrenginių izoliacijos ir apsaugos nuo viršįtampių priemonių darbo sąlygas, prognozuoti izoliacijos išteklius.

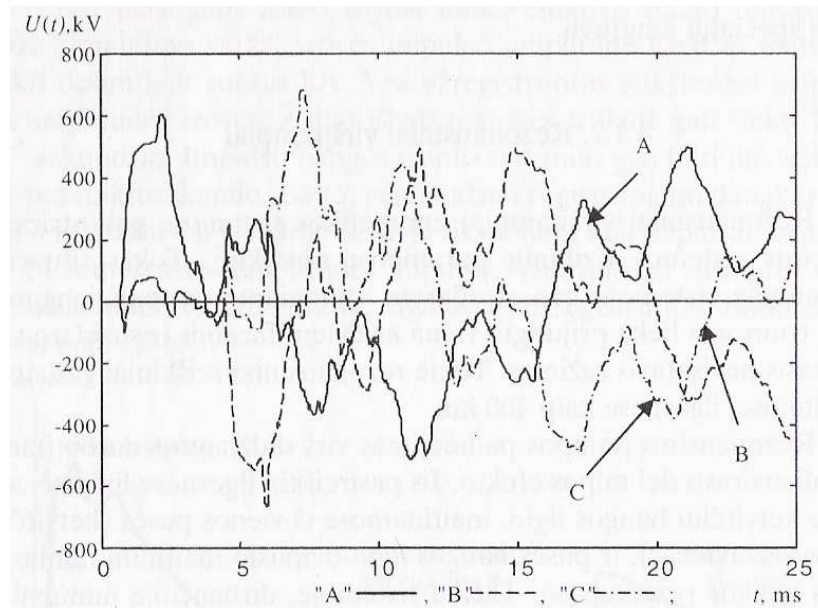
1.8.2. Komutaciniai viršįtampiai

Elektros tinkle dėl įvairių komutacijų ar išorinio poveikio įtampa pereinamojo proceso metu gali viršyti didžiausią leistiną darbo įtampą. Toks įtampos padidėjimas (viršįtampiai) yra pavojingas įrenginių izoliacijos patikimumui. Viršįtampių lygis priklauso nuo juos sukeliančių priežasčių. Elektros tinkle pereinamasis procesas gali kilti dėl tinklo elementų įjungimo ar atjungimo, dėl trumpojo jungimo režimo tinkle atjungimo. Pereinamasis procesas ne vienu laiku įjungiant 330 kV liniją parodytas pav.

Viršįtampių dydis priklauso nuo elektros linijų ilgio, konfigūracijos, jų

konstrukcijų, apkrautumo ir įtampos lygio elektros tinkle. Didžiausių viršįtampių lygis nustatomas eksperimentiškai, registruojant specialiais registratoriais ar specialiais skaičiavimais modeliuojant pereinamuosius procesus įvairiems tinklo režimams. Komutacinių viršįtampių lygis įvairiems elektros tinklo režimams santykiniais vienetais gali būti toks [7]:

- 1,0-1,5 s.v. - atjungus linijos arba kabelio aktyviąją ir reaktyviąją apkrovą, transformatorių, veikiantį tuščiąją veiką, kondensatorių baterijas. Šio švytuojamojo viršįtampio dažnis artimas tinklo dažniui;
- 1,5-2,0 s.v. - atjungus tinklą trumpojo jungimo metu, įjungus transformatorių, prijungus oro linijas arba kabelį per induktyviąją varžą. Analogiškos, bet sudėtingesnės formos bangos gaunamos, kai prijungiama linija arba kabelis kartu su transformatoriumi žemos įtampos pusėje;
- 2,0-2,5 s.v. - įjungus liniją. Viršįtampių dydis nutolusiame atvirame gale priklauso nuo jungtuvų polių susijungimo vienaikiškumo;
- 2,5-3,0 s.v. - atjungus reaktorių arba transformatorių, veikiančius tuščiąją veiką. Viršįtampių dydis priklauso nuo jungtuvų nutrauktos srovės dydžio, kai lankas jungtuve gesinamas anksčiau, nei tuščiosios veikos srovė keičia ženklą. Viršįtampiai susidaro dėl liekamosios srovės induktyviosiose grandinėse, taip pat kartotinio linijos arba kabelio jungimo prie induktyviosios varžos. Didžiausi viršįtampiai susi daro tada, kai jungiamos fazės įtampa bus priešingo poringumo nei liekamasis krūvis atjungtoje schemos dalyje. Kartotinis lanko užsidegimas tarp jungtuvo kontaktų atjungiant liniją arba kabelį;
- 3,0 s.v. ir daugiau - kartotinis linijos arba kabelio prijungimas. Įtampa nutolusiame atvirame gale išauga dėl likusio krūvio, išlikusio po veikiančios linijos atjungimo.



19 pav. Komutacinių viršįtampių pereinamasis procesas ne vienu laiku įjungiant fazes:

Įjungimo kampas A fazė- 71° ; B fazė po t_b - 4 ms; C fazė po t_c - 5 ms; $U_{\max}$ - 693 Kv

Įrenginių izoliacijos lygis apibūdinamas 1 minutės bandomąja įtampa, impulsine visos bangos ir trumposios bangos bandomąja įtampa. Viršįtampių lygis 110 kV ir aukštesnės įtampos elektros tinkle gali būti aukštesnis už bandomąsias įtampas. Parenkant apsaugos priemonės nuo viršįtampių ar nustatant izoliacijos lygį aukštosios įtampos (daugiau kaip 110 kV) elektros perdavimo linijose didele įtaką turi komutaciniai viršįtampiai. Dažniausiai sutinkama linijos komutacija yra linijos įjungimas be apkrovos ar linijos įjungimas po (AKJ) pauzės.

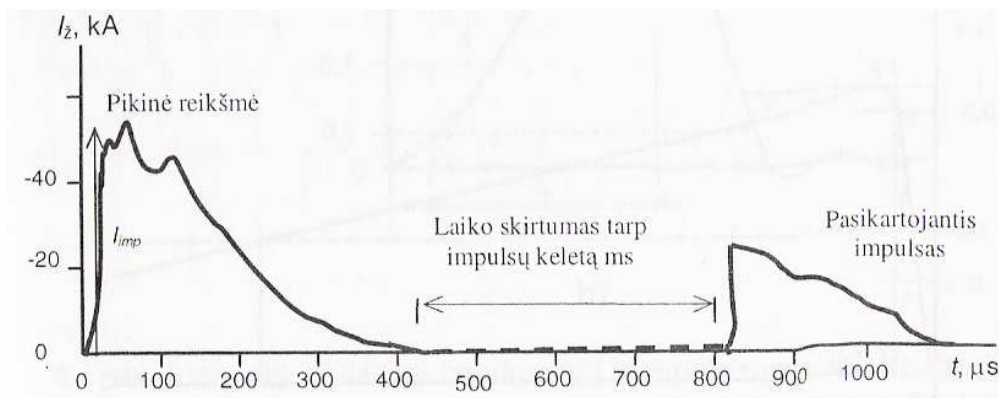
Komutacinių viršįtampių lygiui sumažinti naudojamos įvairios apsaugos priemonės. Pagrindinės komutacinių viršįtampių lygio sumažinimo priemonės yra ventiliniai iškrovikliai, netiesiniai ribotuvai, be to, dar yra naudojami jungtuvai su šunto varža bei valdomu fazių įjungimo momentu. Papildomos priemonės, mažinančios viršįtampių lygį, yra šimtiniai reaktoriai, jungiami tiesiog į liniją ar per kibirkštinį tarpelį specialiu jungtuvu.

1.8.3 Atmosferiniai viršitampiai

Žaibo išlydžio sukelti atmosferiniai viršitampiai gali susiformuoti oro linijose arba netoli jų. Žaibo išlydžiai yra gana dažni. Vidutiniškai per metus gali įvykti nuo 10 iki 30 išlydžių šimtui km oro linijos [1].

Jeigu žaibo išlydis paveikia elektros energetikos sistemos elementą, tai laiduose susiformuoja papildomas elektrinis krūvis, kuris sukuria atmosferinių viršitampių bangą. Žaibo išlydžio srovės registracija parodyta 20 pav.

Kai tiesioginis žaibo išlydis tenka elektros tinklo objektui su maža įžeminimo varža, srovės impulso amplitudė išlydžio metu gali siekti dešimtis ir šimtus kA. Yra užregistruotos aukštesnės kaip 200 kA amplitudės srovės. Žaibo išlydžio srovės trukmė gali siekti 10^{-4} - 10^{-5} sekundžių. Impulso bangos fronto statumas gali būti iki dešimčių kA per mikrosekundę. Be to, gana dažnai registruojami daugkartiniai žaibo išlydžiai, kai viename išlydyje fiksuojami keli impulsai. Gali būti iki 20 žemėjančios amplitudės impulsų. Vidutiniškai susidaro 4-6 impulsai vieno išlydžio metu. Ilgiausias užregistruotas žaibo išlydis tesėsi apie 1,8 s.



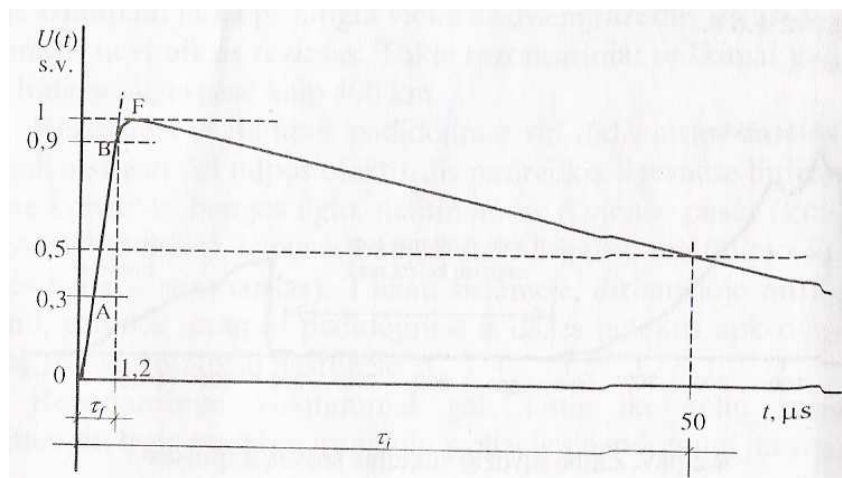
20 pav. Žaibo išlydžio sukeltas srovės impulsas

Kai žaibo išlydis pataiko į šalia linijos esančius objektus ar į žemę, linijos laiduose gali susiformuoti indukuoti viršitampiai. Šių amplitudė priklauso nuo žaibo išlydžio atstumo iki linijos.

Kuo išlydis įvyksta arčiau linijos, tuo sukeltų viršitampių amplitudė aukštesnė. Indukuotų viršitampių amplitudė gali būti iki kelių šimtų kV. Šie viršitampiai gali būti ypač pavojingi įrenginių iki 35 kV izoliacijai.

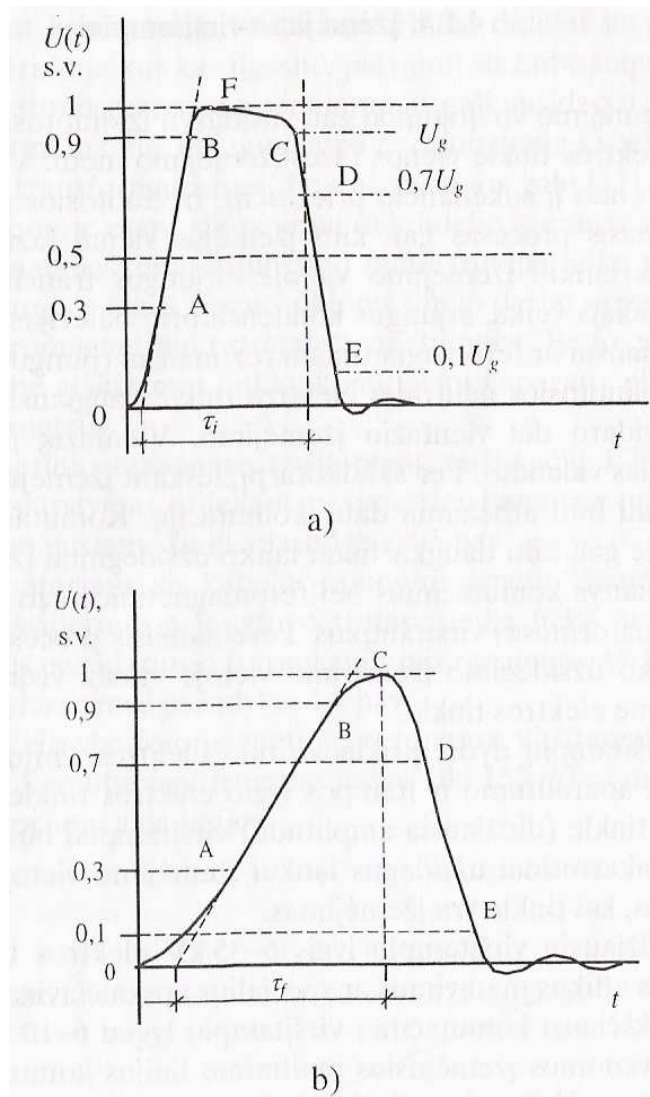
Elektros tinkle neturint specialių apsaugos priemonių nuo viršįtampių, sukeltų tiesioginio žaibo išlydžio, gadinama elektros įrenginių izoliacija, o ypač daug žalos gali būti padaryta tarpvijinei izoliacijai.

Elektros įrenginių izoliacijos atsparumas yra bandomas impulsais, imituojančiais žaibo išlydžio sukeltus viršįtampius. Elektros įrenginiai bandomi visos bangos 1,2/50 (impulso fronto trukmė 1,2 μ s, o impulso trukmė gėstančioje dalyje iki 0,5 didžiausios amplitudės lygio - 50 μ s) ir trumposios bangos 1,2/2 (1,2 - fronto trukmė μ s, 2 - impulso trukmė μ s) impulsine įtampa. Visos bangos impulso forma parodyta 21 pav.



21 pav. Elektros įrenginių izoliacijos bandomasis įtampos impulsas 1,2/50: Impulso frontas yra 1,67 karto ilgesnis už laiko tarpą tarp 0,3 ir 0,9 įtampos didžiausios amplitudės verčių (taškai A ir B); $\tau_f - 1,2 \pm 0,36 \mu s$, $\tau_i - 50 \pm 10 \mu s$

Trumpoji išlydžio banga gali susidaryti dviem būdais - kai išlydis įvyksta žemėjant įtampai, t.y. impulso gėstančioje dalyje, arba fronte. Trumposios bangos standartizuoti bandomieji impulsai parodyti 22 pav.



22 pav. Įrenginių izoliacijos bandomasis įtampos trumpasis impulsas 1,2/2 :

a) išlydis impulso gėstančioje dalyje; b) išlydis fronte $\tau_i - 2 \div 5 \mu s$;

(A,B,C,D,E –standartizuoti taškai)

1.8.4 Viršįtampių iki 1000V įtampos tinkle charakteristika

Tobulėjant duomenų perdavimo, matavimo, valdymo bei kontrolės sistemoms, taip pat įvairiose srityse pradėjus naudoti mikroprocesorinę techniką dažnai susiduriama su įrenginių apsaugos nuo viršįtampių problemomis. Nustatyta, kad viršįtampiai sukelia apie 16 % visų sutrikimų elektros maitinimo grandinėse.

Bet kuri įranga, tokia kaip kompiuteris, mechatronikos sistemos, įvairios technologinių procesų valdymo, ryšių sistemos ir t. t., gali būti pažeista ar sugadinta viršįtampių, perduodamų per maitinimo ar duomenų perdavimo linijas. Viršįtampiai gali sutrikdyti ir programinės įrangos darbą.

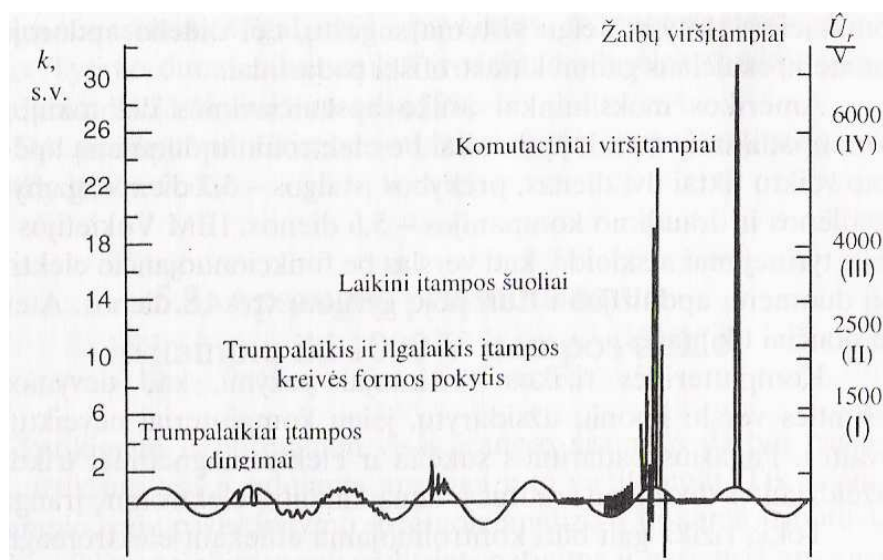
Viršįtampis - tai laikinas elektromagnetinio lauko energijos perteklius elektrinės grandinės dalyje. Lietuvos standarte LST EN 50160 viršįtampiai, atsirandantys iki 1 kV įtampos tinkle, skirstomi į laikinuosius pramoninio dažnio (santykinai ilgos trukmės) ir pereinamuosius (trumpalaikius švytuojančius arba nešvytuojančius). Apibūdinant viršįtampius, pagrindas yra duomenų registravimas ir jų analizė. Vakarų Europos šalyse pereinamiesiems viršįtampiams registruoti naudojami įvairūs registratoriai arba automatizuotos matavimo sistemos (AMS). Pavyzdžiui, kai kurios komutacinių impulsinių įtampų AMS geba užrašyti nuo 100 iki 3000 V amplitudės (aukštesnės amplitudės viršįtampiai tik fiksuojami) viršįtampių procesus. Užrašomų viršįtampių vyksmo trukmė - nuo 10 ns iki 20 μs (pavieniai impulsai) ir nuo 1 μs iki 2 ms (ilgalaikis procesas). Be to, AMS apskaičiuoja viršįtampių parametrus, užrašo jų atsiradimo laiką, archyvuoja duomenis. Naudojant vieną tokių sistemų keturiasdešimtyje įvairios paskirties objektų (pramoninių, komercijos, buitinių), buvo išanalizuota 27811 pereinamųjų procesų, kurių bendra trukmė- 3428 valandos. Pereinamųjų procesų, kurių amplitudė - per 3000V, buvo 91, nuo 1000 iki 3000 V - 112, nuo 500 iki 1000 V - 163, nuo 300 iki 500 V - 418. Didelės amplitudės viršįtampių poveikio rezultatas - sugadinta elektroninė ir elektrotechninė įranga, izoliacijos užsidegimas ir gaisro kilimo galimybė, Jautrūs viršįtampiems yra serveriai, modemai, telekomunikacijų, relinės apsaugos, automatikos įranga. Didelį pavojų kelia atmosferiniai viršįtampiai. Būtina pabrėžti, kad net esant išorinei apsaugai nuo žaibo yra didelė tikimybė pastatų instaliacijoje susidaryti viršįtampiems. Jų atsiradimo galimybė būna tuomet, kai šiurkščiai pažeidžiamos apsaugos nuo žaibo projektavimo normos bei nesilaikoma standartų .

Impulsinių viršįtampių vertei turi įtaką tinklo pobūdis ir jo charakteristikos, atstumas tarp žaibo pataikymo vietos ir saugomos įrangos, įžeminimo tipas ir jo varža, vidaus tinklo šakotumas, maitinimo šaltinių parametrai. Apibendrinti rodikliai, apibūdinantys viršįtampius iki 1000 V įtampos tinkle, pateikti 1 lentelėje.

3 lentelė. Viršįtampius iki 1000V įtampos tinkle apibūdinantys rodikliai

Viršįtampiai	Atsiradimo priežastys	Parametrai	Komentarai
Laikinieji pramoninio dažnio	Gedimai 10/0,4kV galios transformatoriaus aukštos įtampos pusėje	Iki 8,2 kV (pirmuoju momentu) įžeminimo įrenginiuose ir iki 1,5kV vertės, kol teka srovė	LSTEN 50160
Pereinamieji perjungimų metu	Perjungimai elektros tiekimo sistemoje, arti pastatų elektros įrenginių, rezonanso reiškiniai dėl tiristorių darbo	Trukmė iki 1000 μ s amplitudė iki 4,5-6 kV (gali būti ir aukštesnė)	LSTEN 50160
Pereinamieji sukelti žaibo	Tiesioginiai žaibo išlydžiai išoriniame elektros tinkle, indukuoti dėl žaibo išlydžio į artimus tinklui objektus	Trukmė iki 50 μ s. Galimas potencialo padidėjimas įžeminimo sistemoje iki 100 kV, oro linijose iki 40 kV, oro kabeliuose iki 10 kV, požeminiuose kabeliuose iki 6 kV. Indukuoti viršįtampiai galimi 0,5-2 kV ribose.	Žaibo srovė 30-40kA, didžiausia iki 300 kA, dažnio spektras 250-300kHz, energija nuo 0,1 iki 100 kJ

Viršįtampių žemosios įtampos tinkle priežastys ir lygiai parodyti 23 pav.



23 pav. Viršįtampių priežastys ir lygiai 0,4 kV elektros tinkle

1.8.5. Žaibo išlydžio ir jo sukeltų viršįtampių žala iki 1000 V įtampos įrenginiams

Šiuolaikinis verslas, pramonė ir visuomeninės institucijos priklauso nuo elektroninės informacijos įrangos darbo patikimumo ir nepertraukiamumo. Elektroninių duomenų apdorojimo procesų, matavimų ir kontrolės sistemos, visa technologija yra moderniausia pramonės dalis. Duomenų įrašymo įrenginiai yra tiesiogiai sujungti su biurų terminalais ir kompiuteriais per informacinius tinklus, susiejančius tarpusavyje pastatus, kartu sukuriant bendrą kompiuterinę informacinę sistemą. Dažnai atvirieji tinklai, kur skirtingi kompiuteriai, skirtingos operacinės sistemos, sujungti tarpusavyje ir yra pagrindinė kompiuterinė sistema. Visa tai glaudžiai susiję ir priklauso vienas nuo kito..

Pavyzdžiui, vietinių bankų kompiuteriai yra sujungti su kompiuteriniu centru centriniame banke. Tačiau ši sistema, su augančiais informacijos srautais, nuolat kenčia nuo išorinio įsikišimo. Taip pažeidžiamos perdavimo sistemos telefono ir duomenų tinkluose, komutacijos stotyse. Jeigu sistema sugestų, dėl didelio apdorojamų duomenų skaičiaus galimi katastrofiški padariniai.

Amerikos mokslininkai atliko apskaičiavimus dėl tokių problemų padarinių. Pasak jų, bankai be elektroninio duomenų apdorojimo veiktų tikrai dvi dienas, prekybos

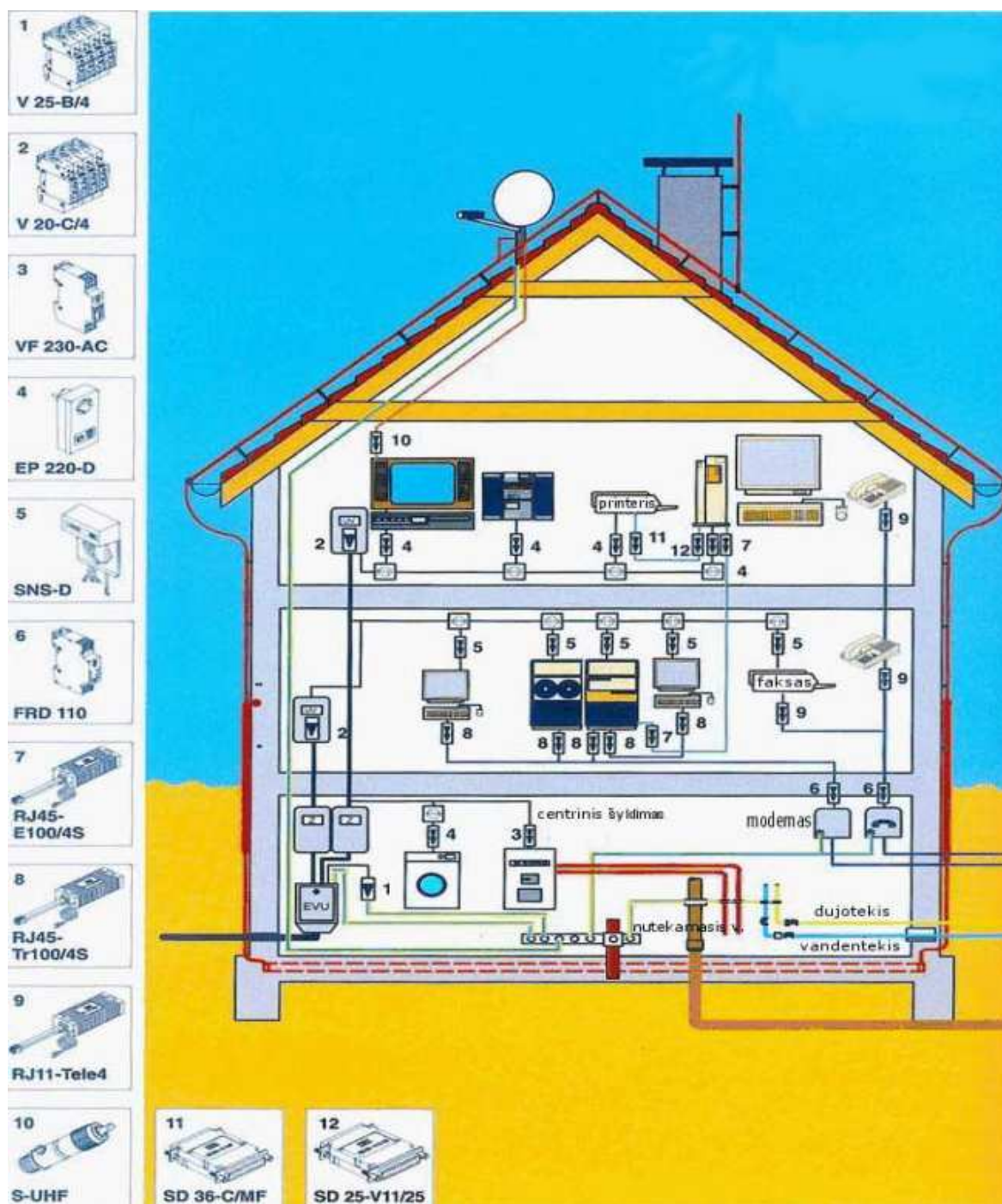
įstaigos - 3,3 dienos, gamyba - 4,9 dienos ir draudimo kompanijos - 5,6 dienos. IBM Vokietijos skyriaus tyrinėjimai atskleidė, kad verslas be funkcionuojančio elektroninio duomenų apdorojimo Europoje gyvuotų vos 4,8 dienos. Ateityje šie skaičiai tik mažės.

Kompiuterinės rizikos vertintojai pažymi, kad devynios iš dešimties verslo įmonių užsidarytų, jeigu kompiuteriai neveiktų dvi savaites. Panašius padarinius sukelia ir elektromagnetiniai trikdžiai, pažeidžiantys duomenų srautus ir sunaikinantys elektroninę įrangą.

Tokia rizika gali būti kontroliuojama atliekant elektromagnetinio suderinamumo įvertinimą. Tai turi tiksliai apibrėžti sąlygas, kurioms esant bet kokio tipo elektros įranga ir išoriniai elektromagnetiniai reiškiniai, tokie kaip žaibo išlydis, netrikdytų kitų sistemų.

Žaibo išlydžio ir viršįtampių padaryta žala didėja dėl šių veiksnių:

- vis daugiau naudojama elektroninės įrangos ir sistemų;
- naudojami žemesni signalų lygiai;
- plečiasi duomenų perdavimo tinklų, užimančių vis didesnes teritorijas, naudojimas.



24 pav. Apsauga nuo viršįtampių (išdėstymas name)

Dažnai padaryta žala nėra vien sugadinta įranga, tai ir nutraukti gamybiniai procesai, sunaikintos duomenų bazės ir t.t. Tokia žala yra kur kas didesnė nei fizinė žala įrangai.

Viena įtakinga Vokietijos draudimo kompanija parengė ataskaitą apie savo išmokėtas kompensacijas dėl įvairių atsitikimų. Nuostolių dėl elektromagnetinių trikdžių lygis per dešimtmetį išaugo. 1984 metais nuostoliai siekė 8,5 % visų nuostolių, 1993 metais - net 34,6%. Tai akivaizdus nuostolių, kuriuos padarė žaibo išlydžiai bei kiti viršįtampiai, padidėjimas.

Šiuo metu tarptautinėmis normomis priimta, kad pavojingas tiesioginio žaibo išlydis veikia 2 kilometrų spinduliu. Šioje teritorijoje elektroninės sistemos gali būti paveiktos ir netiesioginio žaibo smūgio. Tyrimo duomenimis žaibai ir viršįtampiai elektronikos įrangai padaro apie 31 % visų nuostolių.

Dėl to iškyla poreikis saugotis tiesioginio ir ypač netiesioginio žaibo išlydžio poveikio.

1.8.6 Apsaugos priemonės nuo viršįtampių iki 1000 V įtampos tinkle

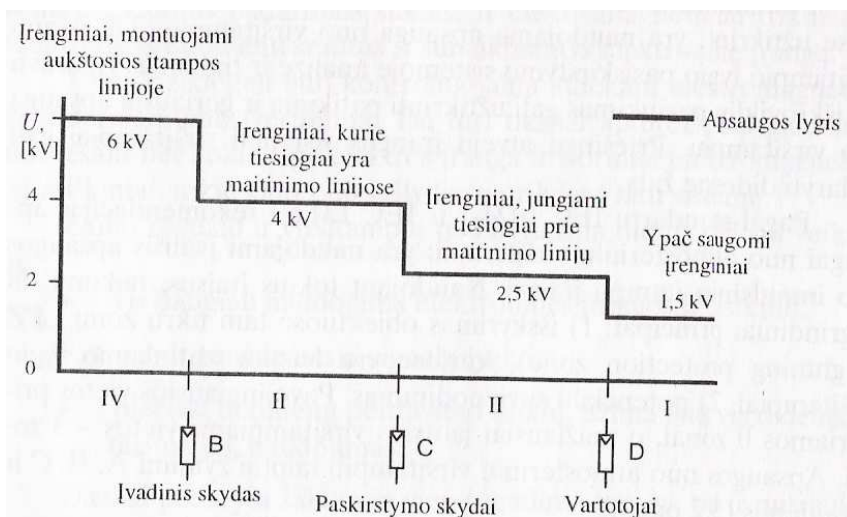
Patikimam ir normaliam visos įrangos sistemai darbui pastatuose užtikrinti yra naudojama apsauga nuo viršįtampių. Tik išsami viršįtampio lygio pasiskirstymo sistemoje analizė ir tinkamas ribotuvų bei iškroviklių parinkimas gali užtikrinti patikimą ir geriausią apsaugą nuo viršįtampių. Priešingu atveju įrangos sistemai viršįtampiai gali padaryti didesnę žalą [1].

Pagal standartų IEC 1024-1 ir IEC 1312-1 rekomendacijas apsaugai nuo atmosferinių viršįtampių yra naudojami įvairūs apsaugos nuo impulsinių įtampų įtaisai. Naudojant tokius įtaisus, taikomi du pagrindiniai principai: 1) išskyrimas objektuose tam tikrų zonų LPZ (Lightning protection zone), kuriose yra leistini atitinkamo lygio viršįtampiai; 2) potencialų suvienodinimas. Pavojingiausios vietos priskiriamos 0 zonai, o mažiausiai jautrios viršįtampių vietos - 3 zonai. Apsaugos nuo atmosferinių viršįtampių laiptai žymimi A, B, C ir D raidėmis (25 pav.).

Zona LPZ_{0A}- tai tokia zona, kur yra tiesioginio žaibo išlydžio pavojus, LPZ_{0B} - zona, kurioje yra netiesioginio žaibo išlydžio pavojus, į LPZ₁ zoną patenka elementai, kuriems nėra pavojaus dėl tiesioginio žaibo išlydžio ir kur srovės ant visų laidžių dalių yra mažesnės nei zonoje LPZ_{0B}. Pastarojoje zonoje elektromagnetinis laukas gali būti sumažėjęs ir dėl ekranuojančių įrenginių. LPZ₂ - papildoma zona, kuri gali būti

pasirinkta projektuojant vidinę apsaugą nuo žaibo, jeigu yra keliama atskiri reikalavimai (25 pav.).

Apsaugos priemonės zonose turi būti suderintos tarpusavyje taip, kad žemesnio laipto apsaugos nepažeistų neleistinai didelė viršįtampių energija. A klasės apsaugos įtaisai yra išorinė apsauga nuo žaibo, kuri apsaugo pastatą ir jame esančią elektros įrangą nuo tiesioginio žaibo išlydžio. B klasės apsaugos įtaisai įrengiami įvadiniame skyde ir riboja viršįtampį, kurį sukelia žaibo impulsinė srovė nuo 35 iki 70 kA. Čia naudojami iškrovikliai, kadangi jie gali slopinti didesnes išlydžio sroves, atsiradusias po žaibo išlydžio, nei ribotuvai. C klasės viršįtampių ribotuvai įrengiami skirstymo skydeliuose po B klasės ribotuvų ir dažniausiai yra galinis apsaugos nuo viršįtampių laiptas. D klasės ribotuvai įrengiami tiesiogiai prie imtuvo ir turi apriboti viršįtampį, kurį sukelia iki 3 kA žaibo impulso srovė. Šios klasės ribotuvai apriboja viršįtampį iki 275 V.



25 pav. Reikalavimai įrenginiams pagal apsaugos lygius

Tam, kad C klasės ribotuvai nesuveiktų anksčiau nei B klasės, tarp šių klasių ribotuvų turi būti išlaikytas 7-15 m atstumas maitinimo traseje arba įrengtas dirbtinis uždelsimas, panaudojant droselį, kurio induktyvumas $L > 5\mu\text{H}$. Tai užtikrina nuoseklų ribotuvų veikimą. Priešingu atveju didelė išlydžio srovė pažeistų žemesnės pakopos ribotuvą. Kai kurie viršįtampių ribotuvų gamintojai siūlo B klasės ribotuvus su žemu įtampos apsaugos lygiu. Tada tarp B ir C klasių ribotuvų nereikia naudoti papildomos

induktyviosios varžos ar ilgo laidininko.

Kad būtų užtikrinta elektroninės ir informacinių technologijų (IT) įrangos veikimas netgi tiesioginio žaibo išlydžio atveju, reikalingi apsaugos nuo viršįtampių skaičiavimai numatant reikiamas objekto apsaugos nuo žaibo priemones. Labai svarbu įtraukti visus galimus variantus. Minėtosios apsaugos zonų koncepcijos dalis yra ir išorinė apsauga nuo žaibo panaudojant oro vėdinimo sistemas, srovės nuvediklius, objekto įžeminimą, potencialų išlyginimą.

Atsižvelgiant į reikalavimus ir įvairius įrangos duomenis, apsaugos yra skirstomos į žaibo impulso srovės ribotuvus ir viršįtampių, atsirandančių dėl perjungimo operacijų, ribotuvus, taip pat į kombinuotuosius.

Aukščiausi reikalavimai keliama žaibo impulsinės srovės ir kombinuotiesiems ribotuvams, kurie naudojami visose apsaugos zonose, nuo $LPZ0_A$ iki $LPZ2$.

Šie ribotuvai turi veikti greitai ir keletą kartų iš karto, nesuirdami dėl pasikartojančių dalinių žaibo išlydžio srovių. Tokiu būdu išvengiama žaibo srovės prasiskverbimo į pastato elektros instaliaciją. Keliama reikalavimai viršįtampių ribotuvams priklauso nuo apsaugos zonos. Projektuojant apsaugą nuo viršįtampių, reikia parinkti apsaugos elementus taip, kad energija būtų absorbuojama palaipsniui žingsnis po žingsnio: pirmiausia sumažinama įeinanti žaibo išlydžio impulsinė srovė (ji gali būti pasiskirsčiusi dalimis), o po to - viduje indukuoti viršįtampiai, susidariusieji dėl perjungimų.

Parenkant elementą, saugantį įrangą nuo elektromagnetinių trikdžių, reikia žinoti pačios įrangos parametrus ir jos darbo režimą. Taigi nominalus ribotuvo išėjimo parametrai ir saugomos įrangos įėjimo parametrai turi sutapti arba atitikti leistinas ribas. Parenkant B ir C klasių ribotuvus, turi būti atsižvelgiama į tai, kad pirma turi suveikti B klasės ribotuvai, slopinantis 10/350 μ s formos bangą, o po to C klasės ribotuvai, slopinantis 8/20 μ s formos bangas. Priešingu atveju C klasės ribotuvai būtų perkrautas ir sudegtų. Tokiu būdu suderinamas laiko skirtumas, per kurį suveikia B klasės ribotuvai, slopinantis 10/350 μ s formos bangą, o lieka 8/20 μ s formos banga, kurią slopina C klasės ribotuvai. Be induktyviojo elemento C klasės ribotuvai suveiktų pirmiau, nes jo suveikimo įtampa yra 1,5 kV. Tokia įtampa yra nepakankama, kad suveiktų B klasės ribotuvai. Kabelio induktyvumas priklauso nuo to, koku būdu sumontuotas apsauginis (PE) laidininkas. Jeigu šis yra viename kabelyje kartu su L1, L2, L3 ir nuliniu laidais

(kaip NYM-J tipo kabeliuose), reikalingas bent jau 15 metrų atstumas tarp B ir C klasių elementų. Jei apsauginis PE laidininkas yra atskirai nuo fazinių ir nulinio laidų 1 metro atstumu, pakanka 5 metrų tarp B ir C klasių ribotuvų. Jeigu šių atstumų nepavyksta išlaikyti, naudojamas induktyvusis elementas. Tokiu atveju B ir C klasių ribotuvus galima įrengti vienoje plokštėje.

Skaičiuojant induktyviųjų elementų parametrus, galima pasirinkti induktyvumo dydį kiek įmanoma mažesnį, atsižvelgiant į apsaugos ribotuvų parametrus. Taip galima padidinti grandinės saugumą. Padidinus induktyvumą keletu μH , didesnės įtakos normaliam ribotuvų veikimui nebus. Tačiau daugiau padidinus induktyvumą C klasės ribotuvus gali būti perkrautas ir sugesti pirma laiko. Normaliam suderinamumui tarp B ir C klasių ribotuvų užtikrinti pakanka induktyvumo 10 μH . Tada garantuojamas patikimumas ir ilgesnis ribotuvų tarnavimo laikas.

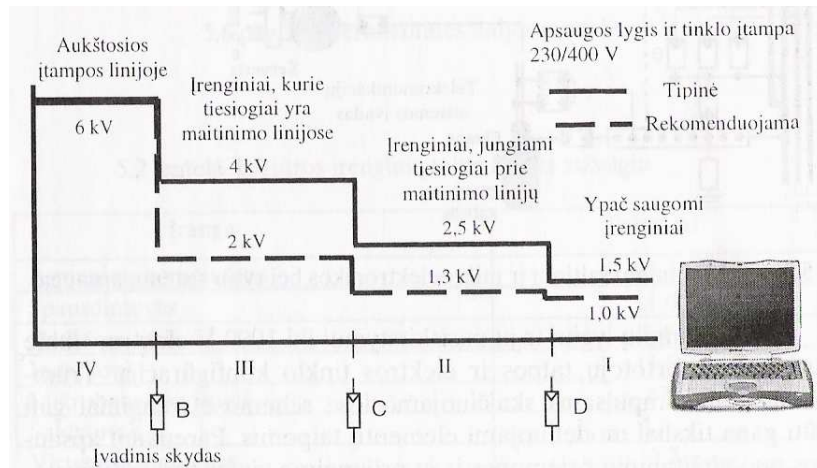
Dėl skirtingų C ir D klasės ribotuvų parinkčių reikalingas suderinamumas ir tarp šių klasių ribotuvų. NYM-J tipo kabeliuose saugus veikimas bus užtikrintas, išlaikant tarp C ir D klasių ribotuvų ne trumpesnę kaip 5 metrų atstumą.

1.8.7. Viršįtampių ribotuvų parinkimas iki 1000V įtampos sistemose

Pastarųjų dešimties metų publikacijų analizė rodo, kad objekto, esančio vidutinio žaibavimo zonoje (perkūnijų vidutinė metinė trukmė 40-60 val.) ir veikiamo tiek vidinių, tiek atmosferinių pereinamųjų viršįtampių, maitinimo linijoje gali atsirasti :

- per valandą 5-10 įtampos impulsų, kurių amplitudė iki 0,5 kV;
- per parą 2-3 įtampos impulsai, kurių amplitudė iki 1,0 kV;
- per savaitę 2-3 įtampos impulsai, kurių amplitudė iki 2,0 kV;
- per metus 1 įtampos impulsas, kurio amplitudė iki 5,0 kV;
- per 10 metų 1 įtampos impulsas, kurio amplitudė iki 10,0 kV

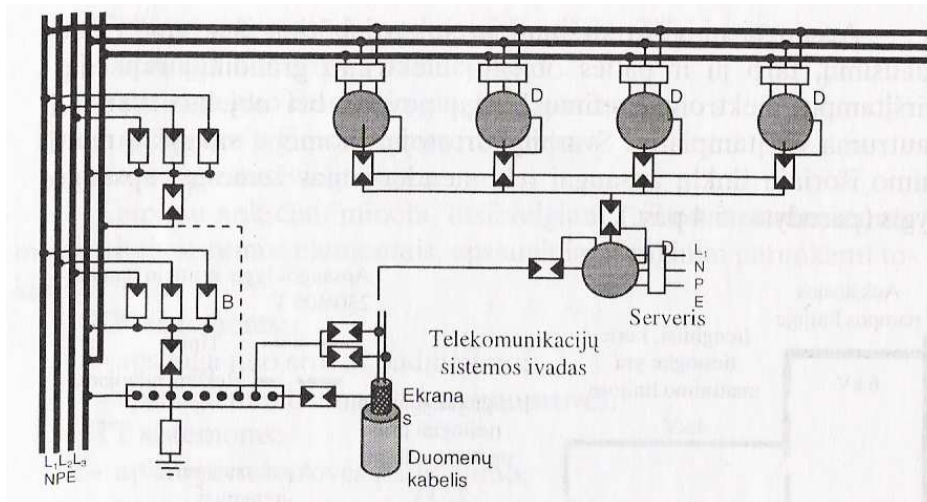
Apsaugai nuo šių viršįtampių sukurti būtina išnagrinėti daug klausimų, tarp jų ir paties objekto elektrinių grandinių reakciją į viršįtampių elektromagnetinių bangų poveikį bei objekto svarbą ir jautrumą viršįtampiams. Svarbių vartotojų duomenų saugyklų maitinimo išorinių tinklų apsaugai rekomenduojamas žemesnis apsaugos lygis (26 pav.).



26 pav. Elektronikos įrenginių apsaugos lygiai, rekomenduojami padidinto patikimumo objektams

Kompleksinė ryšių kanalų, maitinimo šaltinių ir kitokių elektronikos įrenginių apsaugos schema parodyta 27 pav.

Viršįtampių lygiui ir jų pasiskirstymui iki 1000 V elektros tinkle turi įtakos vartotojų talpos ir elektros tinklo konfigūracija. Trumpiems žaibo impulsams skaičiuojamosiose schemose įrenginiai gali būti gana tiksliai modeliuojami elementų talpomis.



27 pav. Maitinimo šaltinių ir mikroelektronikos bei ryšių sistemų apsauga

Parenkant apsaugos nuo viršįtampių priemonės ir jų prijungimo vietas turi būti nustatytas viršįtampių pasiskirstymas elektros tinkle. Skaičiuojant viršįtampių

pasiskirstymą, būtina įvertinti prijungtų vartotojų talpas.

Dalies įrenginių, kurie gali būti prijungti prie tinklo, talpos pa teiktos 4 lentelėje.

Viršįtampių lygis priklauso nuo elektros tinklo ir impulso parametru.

Viršįtampių lygiui žemosios įtampos tinkle turi įtakos tinklo atšakos ir vartotojų talpos. Išsišakojusiame tinkle viršįtampių lygis registruojamas apie 10-15 proc. žemesnis, o įrenginių talpa viršįtampių lygį pažemina dar iki 20 proc.

4 lentelė. Elektros įrenginių talpa žemės atžvilgiu

Įranga	Talpa, nF
Asmeninis kompiuteris	23,3
Spausdintuvas	11,0
Skalbimo mašina	5,4
Indaplovė	11,5
Mikrobangų krosnelė	17
Šaldytuvas	1,6
Virtuvės kombainas	10,7
Vienfazis 180W variklis	
Darbo apvija	1,63
Paleidimo apvija	0,53
Žeminamasis transformatorius	0,07-0,1
Automatinis jungiklis	0,04
Magnetinis paleidiklis	0,03-0,07

1.9 Įžeminimo ir žaibosaugos sistemos

1.9.1. Įžeminimas

Apsaugos nuo žaibo sistemų, apsaugančių statinius nuo tiesioginių žaibų, įžeminimas įrengiamas pagal Elektros įrenginių įrengimo taisykles (EIT) ir kitus galiojančius normatyvus. Pastatų bei įvairių statinių metalinės ir gelžbetoninės

konstrukcijos turi būti sujungtos ir įžemintos tarpusavyje:

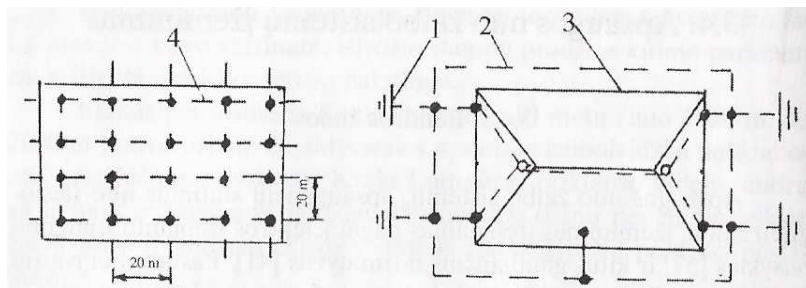
Metaliniai elementai (pvz., stogvamzdžių sistema, metaliniai vamzdžiai, konstrukcijos);

Metalinis pastato „skeletas“;

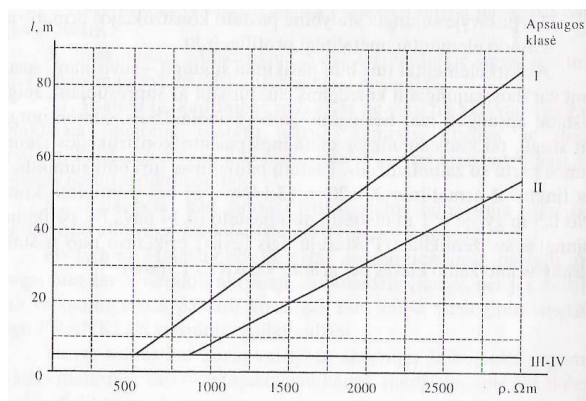
Tarpusavyje sujungta statybinė pastato konstrukcijos armatūra;

Fasado elementai, metaliniai profiliai ir kt.

Atskiri elementai turi būti patikimai sujungti - suvirinant, susukant varžtais, sujungiant kniedėmis, sulituojant ar supresuojant. Jeigu pastatai apsaugoti nuo tiesioginio žaibo žaibolaidžiais, sumontuotais ant stogų, tai visos sujungtos metalinės pastato konstrukcijos įžeminamos kartu su žaibolaidžiais. Pastatų pamatuose turi būti sumontuotas tinklas iš armatūros 20x20 m (28 pav., a) bei įžeminimo kontūras 0,5 m gylyje ir 1 m atstumu nuo pastato (28 pav., b), patikimai sujungtas su įžemikliais. Pastarųjų ilgis (gylis) priklauso nuo pastatų apsaugos nuo žaibo klasės bei grunto varžos (29 pav.).



28 pav. Pastatų įžeminimo sistema : a- pastato pamatas kaip įžemiklis; b- pastato įžeminimo kontūras (1-įžemikliai; 2-įžeminimo kontūras; 3- pastato stogas; 4- armatūra pastato pamate)



29 pav. Minimalūs įžemiklių ilgiai l : I,II,III,IV – žaibosaugos klasės;
ρ- grunto savitoji varža, Ωm

Atskirai stovinčių žaibolaidžių žaibosaugos įžeminimo įrenginiams taip pat galima naudoti visus elektros įrenginių įžemiklius. Įžeminimui gali būti naudojami natūralūs ir dirbtiniai įžemikliai.

Natūralūs įžemikliai gali būti:

- vandentiekio ir kiti vamzdynai, pakloti žemėje, išskyrus degių skysčių, dujų ir sprogiųjų medžiagų vamzdynus;
- apsauginiai gręžinių vamzdynai;
- metalinės hidrotechninių statinių ir įrenginių konstrukcijos.

Dirbtiniai įžemikliai gali būti plieniniai, variniai arba galima panaudoti gelžbetonines konstrukcijas. Plieniniai įžemikliai gali būti padengti arba nepadengti laidžia antikorozine danga. Esant korozijos pavojui, įrenginiams įžeminti naudojami atsparūs korozijai laidininkai.

Įžeminimo įrenginiai klojami toliau nuo grunto džiovinančių šilumos vamzdynų ar kitų šilumos šaltinių.

Norint žaibo impulsinę srovę patikimai nukreipti į žemę nesukeliant viršįtampių ir kitų neigiamų padarinių, įžeminimo sistemos matmenys, forma ir teisingas sumontavimas yra svarbesni už įžeminimo varžų dydį.

1.9.2. įžeminimo varža

Įžemikliai apibūdinami elektros varža, kurią sudaro apie įžemiklį esantis gruntas. Ši varža taip pat priklauso ir nuo įžemiklių geometrinių dydžių. IEC standartuose nurodoma, kad įžeminimo varža turi būti ne didesnė kaip 10Ω . visiems žaibolaidžiams.

Žaibolaidžio įžeminimo varža skaičiuojama :

vertikalaus vamzdžio arba strypo

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left[\frac{4l(2t+l)}{d(4t+l)} \right], \quad (6)$$

horizontalios juostos

$$R_z = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{1.5l}{\sqrt{bt}}, \quad (7)$$

gelžbetoninio pamato

$$R_z = 1.7 \frac{\rho}{2\pi} \ln \frac{4t}{b}, \quad (8)$$

Čia l -vamzdžio arba juostos ilgis, m;

t – plieninės juostos, vertikalaus įžemiklio arba pamato viršutinės dalies įgilinimas į gruntą, m;

b - plieninės juostos arba pamato plotis, m;

d - vamzdžio arba strypo skersmuo, m;

p – grunto savitoji varža, Ωm .

Tekant per įžemiklius žaibo impulsinei srovei, aplink elektrodus susidaro kibirkščiavimo zona, kuri padidina įžemiklių efektyvumą. Tačiau įžemiklio induktyvumas šiek tiek padidina varžą žaibo impulsinei srovei.

Veikiant minėtiems veiksniams, įžeminimo varža tekant žaibo impulsinei srovei skiriasi nuo įžeminimo varžos R_z kintamai 50 Hz dažnio elektros srovei, išmatuotai arba apskaičiuotai pagal aukščiau pateiktas formules. Tokia varža vadinama išlydžio varža I_r .

Išlydžio (I_r) ir įžeminimo varžos R_z santykis vadinamas išlydžio koeficientu. Šis koeficientas priklauso nuo žaibo srovės dydžio, grunto savitosios varžos ir įžemiklių konstrukcijos:

$$a_i = \frac{R_i}{R_z}. \quad (9)$$

Jeigu įžemiklis sudarytas iš keleto vamzdžių arba juostų n , tai jo išlydžio varža R_{in} apskaičiuojama pagal formulę

$$R_{in} = \frac{R_i}{n} \frac{l}{\eta}, \quad (10)$$

čia η - įžemiklio išlydžio koeficientas, įvertinantis tarpusavio įžemiklių (elektrodų) ekranavimą.

Kai kurių konstrukcijų įžemiklių išlydžio a_1 ir η koeficientų reikšmės pateiktos 5 lentelėje.

5 lentelė. A_1 ir η koeficientų reikšmės

Įžemikliai	α_1 , kai $\rho = \Omega m$				η
	100	200	500	1000	
Vertikalūs strypai, sujungti juosta (2-4 strypai)	0,5	0,45	0,3	-	0,75
8 strypai	0,7	0,55	0,4	0,3	0,75
15 strypų	0,8	0,7	0,55	0,4	0,75
Dvi 5m ilgio horizontalios juostos, nukreiptos į priešingas puses nuo sujungimo vietos	0,65	0,55	0,45	0,4	1,0
Trys 5m ilgio juostos, išdėstytos simetriškai nuo sujungimo vietos	0,7	0,6	0,5	0,45	0,75

įžeminimo kontūro, sudaryto iš vertikalių įžemiklių, sujungtų horizontaliomis juostomis, varža apskaičiuojama iš formulės

$$R_z = \rho \left(\frac{A}{\sqrt{S}} \frac{l}{L + n * l} \right). \quad (11)$$

Čia L - visų horizontalių juostų bendras ilgis, m;

n - vertikalių įžemiklių (elektrodų) skaičius;

l - vertikalaus įžemiklio ilgis, m;

S - įžeminimo kontūro plotas, m^2 ;

A - koeficiento reikšmės, pateiktos lentelėje.

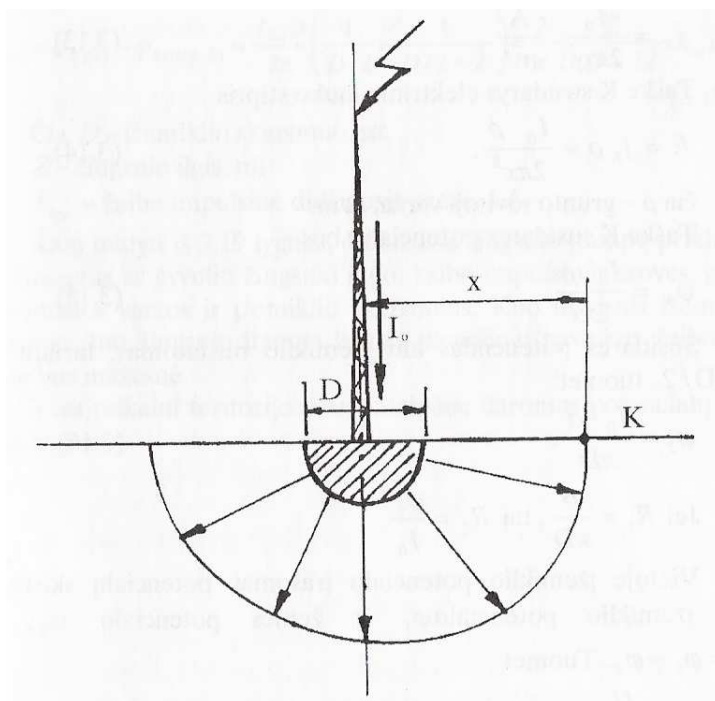
6 lentelė. Koeficiento A reikšmės

$\frac{l}{\sqrt{S}}$	0	0,05	0,1	0,2	0,5
A	0,44	0,4	0,37	0,33	0,26

1.9.3. Pavojinga įtampa, susidariusi žemėje tiesiogiai pataikius žaibui į žaibolaidį

Kaip buvo minėta, pataikius žaibui į statinį, aplink jį 15-20 m spinduliu susidaro pavojinga žmonėms ir gyvuliams zona.

Nagrinėjant potencialų pasiskirstymą ir nustatant jų reikšmes pavojingoje zonoje aplink pastatų įžeminimo kontūrus, skaičiavimo supaprastinimui priimama, kad įžeminimo kontūro įžemiklis yra pusiausferės formos, ir jo skersmuo yra D (30 pav.).



30 pav. Žaibo impulsinės srovės įtekėjimas į žemę per įžemiklio (įžemiklio kontūro) varžą: D -įžemiklio skersmuo; x -kibirkštinės zonos spindulys, m; I_0 - žaibo impulsinė srovė, kA

Tekant žaibo impulsinei srovei I_0 per įžemiklį, įžemiklio (kontūro) paviršiuje srovės tankis bus :

$$j_j = \frac{I_0}{\pi D^2 / 2} = \frac{2I_0}{\pi D^2}. \quad (12)$$

Žaibo impulsinė srovė I_0 nuo įžemiklio įteka į žemę ir pasiskirsto į visas puses,

sudarydama pusiausferę kibirkštinę zoną iki taško K atstumu x . Srovės tankis taške K bus:

$$j_K = \frac{I_0}{2\pi x^2}, \frac{A}{m^2} \quad (13)$$

Taške K susidarys elektrinio lauko stipris

$$E = j_K \rho = \frac{I_0 \rho}{2\pi x^2}, \quad (14)$$

čia ρ – grunto savitoji varža, Ωm .

Taške K susidaręs potencialas bus

$$\varphi_K = \frac{I_0 \rho}{2\pi x}. \quad (15)$$

Susidaręs potencialas ant įžemiklio nustatomas, tariant kad $x=D/2$, tuomet :

$$\varphi_{\check{z}} = \frac{I_0 \rho}{\pi D} \quad (16)$$

$$\text{Jei } R_{\check{z}} = \frac{\rho}{\pi D} \text{ tai } R_{\check{z}} = \frac{\varphi_{\check{z}}}{I_0}.$$

Vietoj įžemiklio potencialo įrašomas potencialų skirtumas tarp įžemiklio potencialo $\varphi_{\check{z}}$ ir žemės potencialo φ_0 , t.y. $U_{\check{z}} = \varphi_{\check{z}} - \varphi_0$. Tuomet

$$R_{\check{z}} = \frac{U_{\check{z}}}{I_0}. \quad (17)$$

čia $U_{\check{z}}$ – įžeminimo įrenginio įtampa, V;

I_0 – žaibo impulsinė srovė, A.

Pavojinga žingsnio įtampa apskaičiuojama kaip potencialų skirtumas tarp dviejų taškų, esančių vienas nuo kito per atstumą $\check{Z}$:

$$U_{\check{z}.g} = \varphi_3 - \varphi_4 = \frac{I_0 \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x + \check{Z}} \right) = \frac{I_0 \rho}{2\pi} \frac{\check{Z}}{x(x + \check{Z})}. \quad (18)$$

Didžiausia žingsnio įtampa susidaro šalia įžemiklio, pratekant didžiausiai žaibo impulsinei srovei :

$$U_{\check{z}.max} = \varphi_{\check{z}D/2} - \varphi_{\check{z}(D/2+\check{Z})} = \frac{I_{0m} \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{D/2} - \frac{1}{D/2 + \check{Z}} \right) = \frac{2}{\pi} \frac{\check{Z}}{D(D + 2\check{Z})} I_{0m} \rho. \quad (19)$$

Čia D – įžemiklio skersmuo, m;

$\check{Z}$ – žingsnio ilgis, m;

I_{0m} - žaibo impulsinė didžiausia srovė, kA.

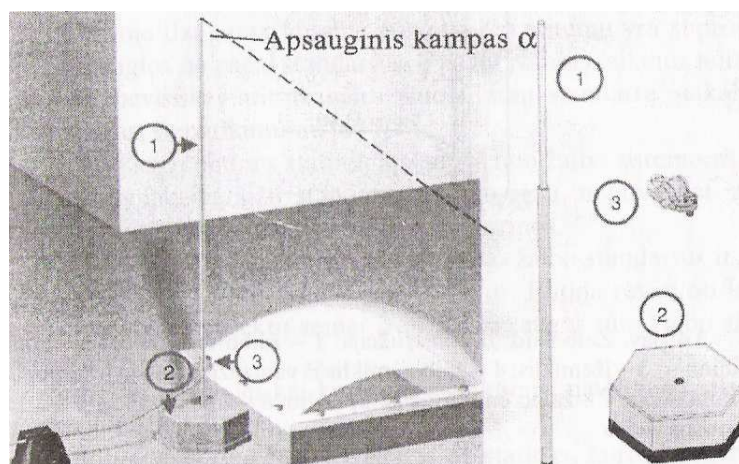
Kaip matyti iš šios lygties, didžiausia žingsnio įtampa priklauso nuo žmogaus ar gyvulio žingsnio ilgio, žaibo impulsinės srovės, grunto savitosios varžos ir įžemiklio skersmens. Kuo didesnis įžemiklio skersmuo, tuo žingsnio įtampa žemės paviršiuje paveikus žaibo impulsui bus mažesnė.

Tam reikalui teritorijoje ar patalpose daromas potencialų išlyginimas.

1.9.4 Franklino tipo žaibolaidžiai

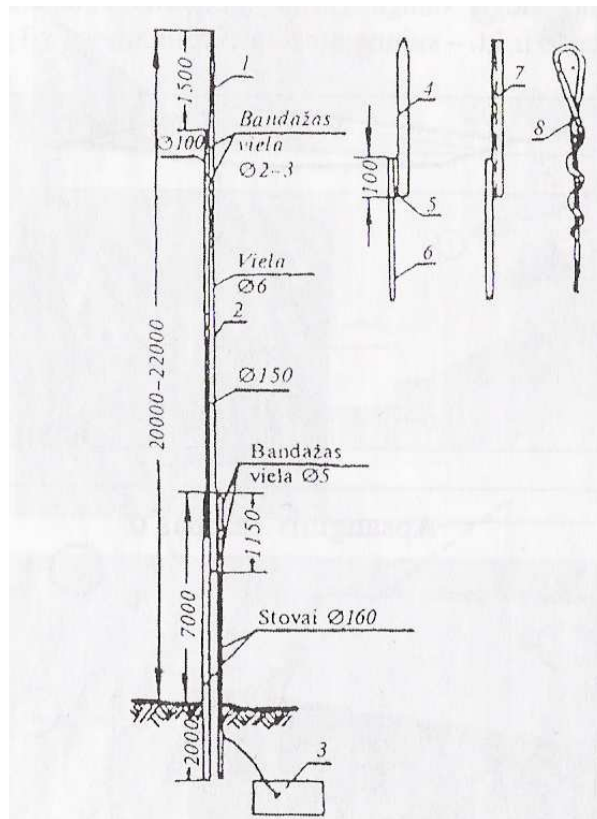
Statinių apsaugai nuo žaibo įrengiami žaibolaidžiai, t.y. įrenginiai, priimančys žaibo smūgį ir nukreipiantys jo energiją į žemę.

Apsaugai ant šlaitinio stogo kraigo prie kiekvieno nemetalinio kamino ar išsikišimo tvirtinami nedideli 0,15 m aukščio strypai, kurie specialia viela sujungiami su žemėje esančiu įžeminimo įrenginiu. Kai pastato stogas plokščias, visos metalinės dalys – metalinė stogo danga (arba metalinis tinklas), metalinės kopėčios, antenos ir kt. – sujungiamos ir įžeminamos (31 pav.).



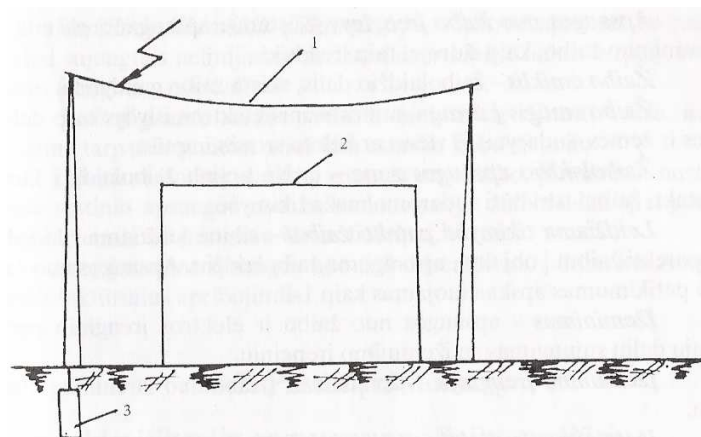
31 pav. Plokščio stogo apsauga nuo žaibo

Labai dažnai naudojami atskirai nuo pastatų stovintys strypiniai (Franklino) ir aktyvieji žaibolaidžiai (perkūnsargiai), sudaryti iš trijų dalių: žaibo ėmiklio, įžeminimo laidininko ir įžemiklio (32 pav.).



32 pav. Žaibolaidžio konstrukcija: 1- žaibo ėmiklis; 2- įžeminimo laidininkas; 3- įžemiklis; 4- žaibo ėmiklis iš vamzdžio; 5- suvirinimo vieta; 6- žaibolaidis; 7- žaibo ėmiklis iš kampuočio; 8- žaibo ėmiklis iš 6-10 mm skersmens vielos

Ilgų statinių bei elektros perdavimo linijų apsaugai naudojami trosiniai žaibolaidžiai su horizontaliu žaibo ėmikliu (33 pav.).



33 pav. Trosinio žaibolaidžio schema: 1-trosas; 2- apsaugomas objektas; 3- įžemiklis

Lietuvoje dauguma apsaugos nuo žaibo sistemų yra suprojektuotos ir įrengtos ne pagal standartus, o pagal įvairius laikinus normatyvus, nevysiškai atitinkančius šiuolaikinių standartų reikalavimus, susijusius su patikimumu .

Anksčiau įrengtoms statinių apsaugos nuo žaibo sistemoms nebuvo keliami labai griežti standartų reikalavimai, nebuvo net standartų, o buvo tik įvairios nuolat keičiamos normos.

Lietuvoje būtina sudaryti apsaugos nuo žaibo standartus ir įgyvendinti juos pagal šiuolaikinius reikalavimus. Būtina reviduoti labai svarbių gamybinių objektų seniai įrengtas apsaugos nuo žaibo sistemas.

Pateiksime kai kurias sąvokas, naudojamas apsaugos nuo žaibo srityje:

Apsaugomas objektas - pastatas ar statinys, kuris apsaugotas nuo žaibo.

Apsaugos įrenginiai nuo tiesioginio žaibo (žaibolaidžiai) - kompleksas, sudarytas iš žaibo ėmiklio, srovės nutekėjimo laido ir įžeminimo įrenginio.

Apsaugos nuo žaibo įrenginys - sistema, apsauganti pastatą ar statinį nuo žaibo, kaip išorėje, taip ir viduje.

Žaibo ėmiklis- žaibolaidžio dalis, skirta žaibo gaudymui.

Žaibo smūgis į žemę - atmosferinis elektros išlydis tarp debesies ir žemės, sudarytas iš vieno ar keleto srovės impulsų.

Žaibolaidžio apsaugos zona - erdvė aplink žaibolaidį, į kurią patekti žaibui turi būti sudaroma maža tikimybė.

Leidžiama tikimybė patekti žaibui - ribinė leidžiama tikimybė P patekti žaibui į objektą, apsaugomą žaibolaidžiu. Apsaugos nuo žaibo patikimumas apskaičiuojamas kaip $1-P$.

Įžeminimas - apsaugos nuo žaibo ir elektros įrenginio pasyviųjų dalių sujungimas su įžeminimo įrenginiu.

Įžeminimo įrenginys - įžemiklių ir įžeminimo laidininkų visuma.

Įžeminimo laidininkas - laidininkas, jungiantis žaibolaidį su įžeminimo įrenginiu.

Įžemiklis (įžeminimo elektrodas) - grunte esantis laidininkas, per kurį teka didžiausia žaibo impulsinės srovės dalis.

Jungiantieji laidininkai - laidininkai, jungiantys įžemiklius.

Įžeminimo varža- varža tarp įžeminimo įrenginio ir neutralios žemės.

Įžeminimo įrenginio įtampa - įtampa tarp srovės įtekėjimo į įžeminimo įrenginį vietos ir

neutralios žemės, kai įrenginiu teka srovė.

Įžeminimo kontūras - žemėje arba jos paviršiuje aplink pastatą (statinį) esantis įžeminimo laidininkas, sudarantis uždara kilpą.

Potencialo išlyginimas - žemės paviršiuje nuo elektros srovės susidariusio potencialo keitimas (sumažinimas) srovės nuotėkio į neutralią žemę zonoje specialiais elektrodais arba išlyginamuoju metaliniu tinklu.

Įrenginys apsaugai nuo viršįtampių - įrenginys, skirtas objekto arba jo dalių apsaugai nuo viršįtampių (iškroviklis, ribotuvas ir kt.).

Viršįtampių ribotuvas - elektros aparatas su nuosekliai sujungtais nelinijiniais metalo oksido rezistoriais be kibirkštinių tarpų, saugantis elektros įrenginius nuo žaibo ir vidinių viršįtampių.

Ventilinis iškroviklis (iškroviklis) - elektros aparatas su nuosekliai sujungtais nelinijiniais rezistoriais ir kibirkštiniais tarpais, saugantis įrenginius nuo žaibo.

Savitoji grunto varža ~ vieno kubinio metro grunto varža, matuojama tarp dviejų viena prieš kitą esančių kubo sienelių.

Įrengiant išorinę statinių apsaugą nuo žaibo, pirmiausia nustatoma statinio apsaugos nuo žaibo kategorija, žaibolaidžių įrengimo vietos, įžeminimo įrenginių vietos bei tipai.

Projektuojant apsaugos nuo žaibo įrenginius, būtina atsižvelgti į architektūrinius apribojimus.

Apsaugos nuo žaibo požiūriu visi pastatai ir statiniai pagal RSN 139-92 skirstomi į tris kategorijas. Trumpai supažindinsime su šiomis kategorijomis:

I kategorijai priskiriami gamybiniai statiniai, sandėliai ir kitokios 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 sugriautų statinius arba traumotų žmones;

II kategorijai 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 kt.);

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

Visi I ir II kategorijos statiniai turėjo būti apsaugoti nuo tiesioginių žaibo smūgių, nuo žaibo viršįtampių susidarymo oro linijų laidais, požeminiais kabeliais ar vamzdžiais. I kategorijos statiniai iki 15 m aukščio nuo tiesioginių žaibo smūgių būtinai turėjo būti apsaugoti atskirtais nuo apsaugomo statinio arba įrengtais ant statinio, bet nuo pastarojo izoliuotais žaibolaidžiais, įžeminimo varža neturėjo viršyti 10 Ω . II kategorijai priskirtų statinių apsaugai nuo žaibo žaibolaidžiai statomi ant apsaugomo objekto, o laidai, jungiantys žaibo ėmiklius su įžemikliais, buvo klojami tiesiog ant statinio stogo ir sienų. Įžeminimo varža neturėjo viršyti 10 Ω . III kategorijai priskirti statiniai turėjo būti apsaugoti žaibo laidžiais, pastatytais ant pačio statinio, o laidai, sujungiantys žaibo ėmiklius su įžemikliu, nutiesiami statinio sienomis. Šios kategorijos statinius taip pat buvo galima apsaugoti atskirai stovinčiais žaibo laidžiais. Visų statinių įžeminimo varžos neturėjo viršyti 30 Ω . Tik gyvulininkystės fermų apsaugos nuo žaibo įrenginių įžeminimo varža neturėjo viršyti 10 Ω .

1.9.5 Statinių klasifikacija pagal europinius standartus

Tarptautinės elektrotechnikos komisijos standartuose (IEC-61024-1 ir IEC-61024-1-1) ir kituose norminiuose aktuose pagal apsaugą nuo žaibo statiniai skirstomi į paprastus ir specialius.

Paprasti statiniai- gyvenamieji ir administraciniai pastatai, taip pat kiti iki 60 m aukščio prekybos, gamybos bei žemės ūkio statiniai.

Specialūs statiniai:

- statiniai, keliantys grėsmę visai aplinkai;
- statiniai, keliantys grėsmę socialinei ir fizinei aplinkai (žaibo pažeisti statiniai, galintys išskirti kenksmingas biologines, chemines ir radioaktyvias medžiagas);
- visi kiti statiniai ir objektai, kuriems reikalinga įrengti specialią žaibosaugos sistemą, pavyzdžiui, statiniai, kurių aukštis siekia daugiau kaip 60 m, žaidimų aikštynai, laikini statiniai, statomi objektai ir t.t.

7 lentelėje pateikti statinių klasifikavimo pavyzdžiai apsaugos nuo žaibo požiūriu

7 lentelė. Statinių klasifikavimo pavyzdžiai

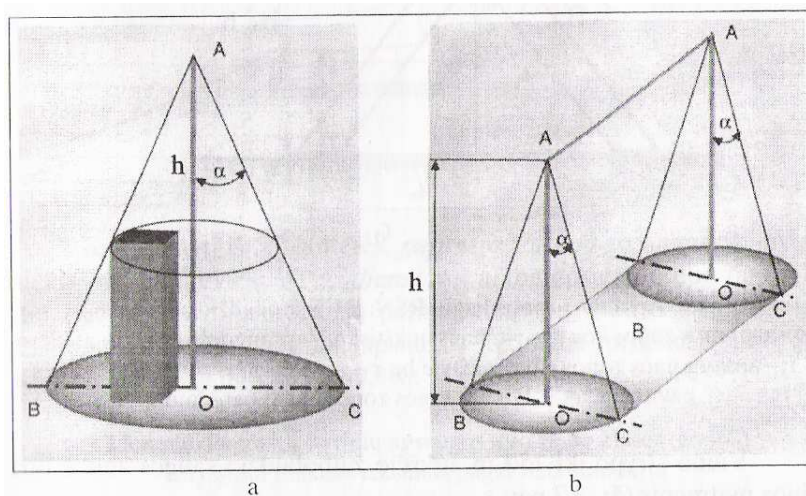
Statiniai	Statinių tipai	Galimi žaibo padariniai
Paprasti	Gyvenamieji namai	Elektros įrenginių bei ryšio priemonių sutrikimas, gaisras ir turto sugadinimas
	Fermos	Pirmiausia- gaisras ir pavojingų viršįtampių susidarymas, po to- elektros maitinimo nutrūkimai, sukeliantys riziką gyvulių gyvybei
	Teatrai, mokyklos, universalinės parduotuvės, sportui skirti statiniai	Elektros maitinimo nutrūkimai, sukeliantys žmonių paniką. Priešgaisrinės sign. sist. sutrikimai
	Bankai, draudimo bendrovės, komercinės įstaigos	Elektros maitinimo nutrūkimai, sukeliantys žmonių paniką. Ryšio ir duomenų kompiuteriuose praradimas
	Ligoninės, vaikų darželiai, senelių namai	Elektros maitinimo nutrūkimai, sukeliantys žmonių paniką.
	Gamybinės įmonės	Papildomi padariniai, priklausantys nuo gamybos sąlygų- nuo menkų ir didelių gamybos produkcijos nuostolių
	Muziejai ir archeologiniai paminklai	Kultūros vertybių sugadinimas
Specialūs – riboto pavojingumo	Ryšių priemonės, elektrinės, gaisrui nesaugi gamyba	Neleistini telekomunikacijų pažeidimai. Netiesioginis gaisro pavojus gretimiems objektams
Specialūs statiniai, keliantys pavojų greta esantiems obj.	Naftos perdirbimo įmonės, kuro užpylimo stotys, fejerverkų gamyklos	Gaisrai ir sprogimai statinių viduje ir greta jų
Specialūs statiniai, keliantys ekologinį pavojų	Chemijos gamybos, elektrinės, biochemijos fabrikai ir laboratorijos	Gaisrai ir jų įrenginių darbo sutrikimai, turintys neigiamų padarinių aplinkai

1.9.6 Statinių apsauga nuo tiesioginio žaibo poveikio

Kaip buvo minėta, įvairūs statiniai bei pastatai dažniausiai apsaugomi strypiniais arba trosiniais žaibolaidžiais (perkūnsargiais).

Į žaibolaidį žaibas trenkia todėl, kad lyderio susidarymo stadijoje gerai įžeminto žaibolaidžio viršūnėje (žaibo ėmiklyje) susikaupia žemės potencialo krūviai (lyderis) ir susidaro stiprūs elektriniai laukai tarp besivystančio debesyse lyderio ir žaibolaidžio viršūnės. Be to, besivystantis nuo žaibolaidžio priepriešinis lyderis dar labiau sustiprina elektrinį lauką, todėl žaibas trenkia į virš žaibolaidžio susidariusį lyderį. Kadangi žaibolaidis būna aukštesnis už apsaugomą objektą (statinį), tai pastarąjį ekranuoja žaibolaidis. Objektą taip pat ekranuoja sklindantis nuo žaibolaidžio priešpriešinis lyderis.

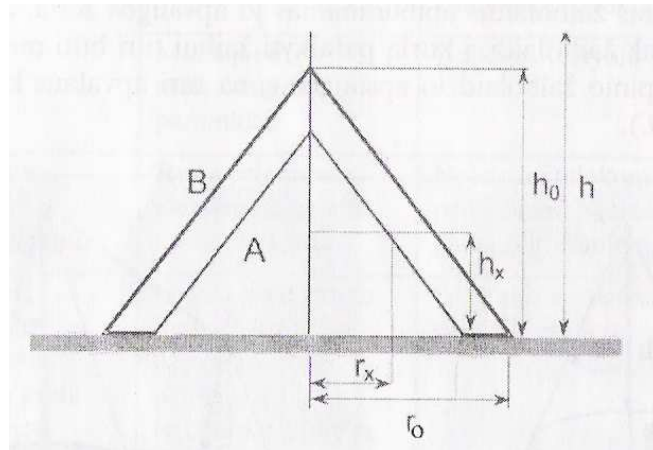
Kiekvienas žaibolaidis apibūdinamas jo apsaugos zona, t.y. tokia erdve aplink žaibolaidį, į kurią pataikyti žaibui turi būti minimali tikimybė. Strypinio žaibolaidžio apsaugos zona turi apvalaus komiso formą (34 pav.).



34 pav. Strypinių žaibolaidžių apsaugos zonos pagal IEC: a-vieno strypo; b-dviejų strypų; A-žaibolaidžio viršūnė; B-bazinė plokštuma; OC- saugomos plokštumos spindulys; h-žaibolaidžio aukštis; α -apsaugos kampas

Šiame skyriuje žaibolaidžių projektavimo ir įrengimo reikalavimai, keliami šiuolaikiniuose standartuose, palyginami su ankstesnėmis normomis, taikomomis Lietuvoje. Tam reikalui pateikiami Respublikinių statybos normų RSN 139-92 ir IEC standartų reikalavimai bei metodikos parenkant žaibolaidžius.

Pagal RSN žaibolaidžių apsaugos zonos parodytos 35 pav. [2]. Šios normos numato tik dvi pastatų apsaugos zonas: A ir B. A - apsaugos zona, projektuojama atsakingiems statiniams apsaugoti. Kaip nurodoma normose, šios zonos apsaugos patikimumas siekia 99,5%. Zonos B projektuojamos mažiau atsakingiems statiniams apsaugoti, jų patikimumas siekia 95%.



35 pav. Apsaugos zonos pagal RSN: h-žaibolaidžio aukštis; h_0 -apsaugomos zonos konuso viršūnės aukštis; h_x -apsaugomo objekto aukštis; r_x -apsaugomos zonos riba aukštyje h_x ; r_0 -apsaugomos zonos riba žemės paviršiuje; A ir B – apsaugos zonos pagal patikimumą

Vieno strypo iki 150 m aukščio žaibolaidžio saugos zonos turi šiuos matmenis (žr. 35 pav.):

Zona B: $h_0 = 0,85 h$;

$r_0 = (1,1 - 0,002h) * h$;

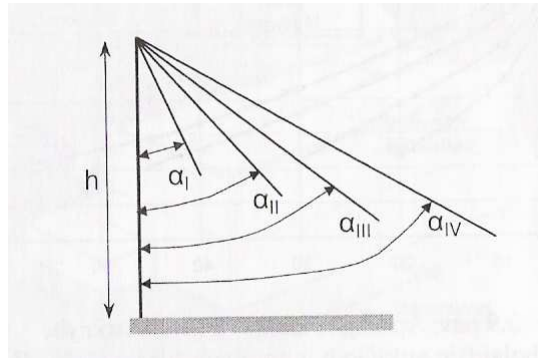
$r_x = (1,1 - 0,002h)(h - h_x / 0,85)$.

Zona A: $h_0 = 0,92 h$;

$r_0 = 1,5 h$;

$r_x = 1,5(h - h_x / 0,92)$.

IEC standartuose apsauga nuo žaibo skaičiuojama pagal keturias zonas (klases), parodytas 8 lentelėje ir 36 paveiksle. Kiekviena apsaugos zoną atitinka didžiausia impulsinė srovė ir apsaugos tikimybė.

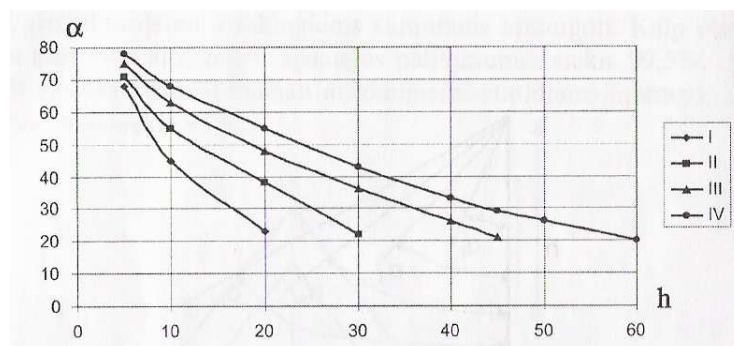


36 pav. Apsaugos zonos pagal IEC

Kaip matyti iš 8 lentelės, *paprastų statinių* apsaugos tikimybė siekia nuo 84 iki 98%. *Specialiems statiniams* apsaugoti nuo tiesioginio žaibo smūgio žaibolaidžių patikimumas turi būti daug didesnis. Laikoma, kad šių statinių apsaugos tikimybė priklauso nuo jų reikšmės ir siekia nuo 90 iki 99,9%.

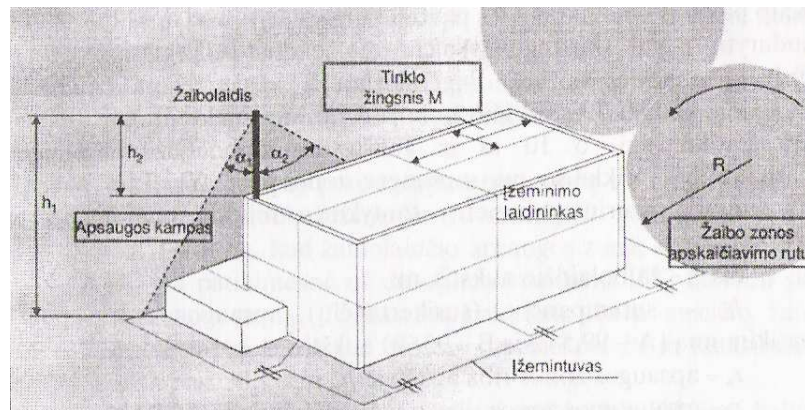
8 lentelė. Paprastų statinių apsaugos nuo žaibo klasės (zonos) ir ryšys su rizikos veiksniais pagal IEC standartą

Apsaugos klasė (zona)	Didžiausia impulsinė srovė, kA	Mažiausia impulsinė srovė, kA	Apsaugos tikimybė. %
I	200	2,9	98
II	150	5,4	97
III	100	10,1	91
IV	100	15,7	84



37 pav. Apsaugos kampo α priklausomybė nuo žaibolaidžio aukščio h ir apsaugos klasės (I, II, III ir IV)

Kiekvienai apsaugos zonai nustatyti atsižvelgiant į žaibolaidžio aukštį h yra taikomi trys būdai: pagal kampą α , nustatomą iš kreivių (37 pav.), tinkliniu ir rutuliniu būdu (38 pav.).



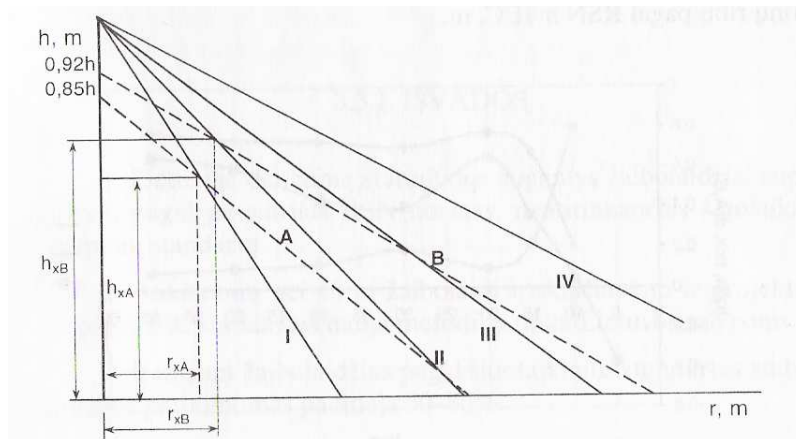
38 pav. Žaibolaidžių apsaugos zonų skaičiavimas pagal IEC

Kai $\alpha < 20^\circ$, naudotini tik rutulinis arba tinklinis būdai (9 lentelė). Remiantis anksčiau minėtais zonų skaičiavimo būdais, sudarytos apsaugos zonos įvairių aukščių (iki 60 m) žaibolaidžiams.

9 lentelė. Žaibosaugos tipo parinkimas pagal žaibosaugos klases

Apsaugos klasė	Rutuliniu būdu, Spindulys R (m)	Tinkliniu būdu (žingsnis M, m)
I	20	5x5
II	30	10x10
III	45	15x15
IV	60	20x20

Kaip pavyzdys pateiktas 39 pav., iš kurio matyti, kad apsaugos zonų, sudarytų pagal skirtingus skaičiavimo būdus, pasiskirstymas erdvėje smarkiai skiriasi, taigi skiriasi ir apsaugos patikimumas. Matome, kad iki 5 m aukščio žaibolaidžiai, suprojektuoti pagal RSN, yra patikimesni, o 10 m ir aukštesnių žaibolaidžių apsaugos patikimumas priklauso nuo apsaugos zonos ribų (r).



39 pav. Apsaugos zonos A ir B pagal RSN; I,II,III,IV- pagal IEC: h_{xA} ir h_{xB} – zonų susikirtimo aukščiai (atitinkamai A zonos su I ir B zonos su II); r_{xA} ir r_{xB} – zonų susikirtimo taškų ribos

Tam pagrįsti panaudotos įvairių parametrų santykinės reikšmės:

h_x/h , r_x/r ir $d = \Delta r/r$

čia h – žaibolaidžio aukštis, m;

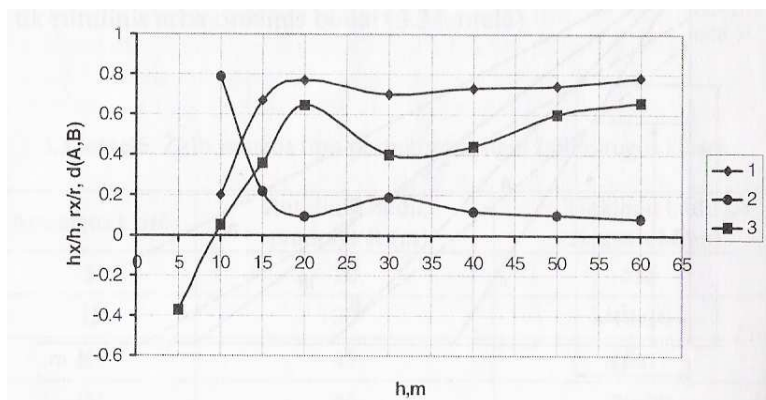
h_x – sutampančių (susikertančių) apsaugos zonų pagal patikimumą (A - 99,5 % ir B - 95 %) aukštis;

r_x – apsaugos zonos riba aukštyje h_x , m;

r – apsaugomos zonos riba žemės paviršiuje pagal RSN, m;

d – santykinė paklaida;

$\Delta r = r_A - r_1$ – absoliučioji paklaida (skirtumas tarp apsaugos zonų ribų pagal RSN ir IEC, m.)



40 pav. Santykinių dydžių kreivės: 1- $h_x/h=f(h)$; 2- $r_x/r=f(h)$; 3- $d=f(h)$

40 pav. pateiktos pasirinktų santykinų dydžių priklausomybės nuo žaibolaidžių aukščio h [1].

1 kreivė $h_x/h = f(h)$ parodo abiem metodais skaičiuotų zonų susikirtimo taškų (h_x) padėtį, priklausančią nuo žaibolaidžio aukščio h . Šių aukščių santykis staigiai didėja esant 5-20 m aukščio žaibolaidžiams, o toliau lieka pastovus.

2 kreivė $r_x/r = f(h)$ parodo apsaugos zonų ribų kitimą. Šios kreivės kitimas yra atvirkščiai proporcingas apsaugos zonų susikirtimo taškų aukščių kitimui.

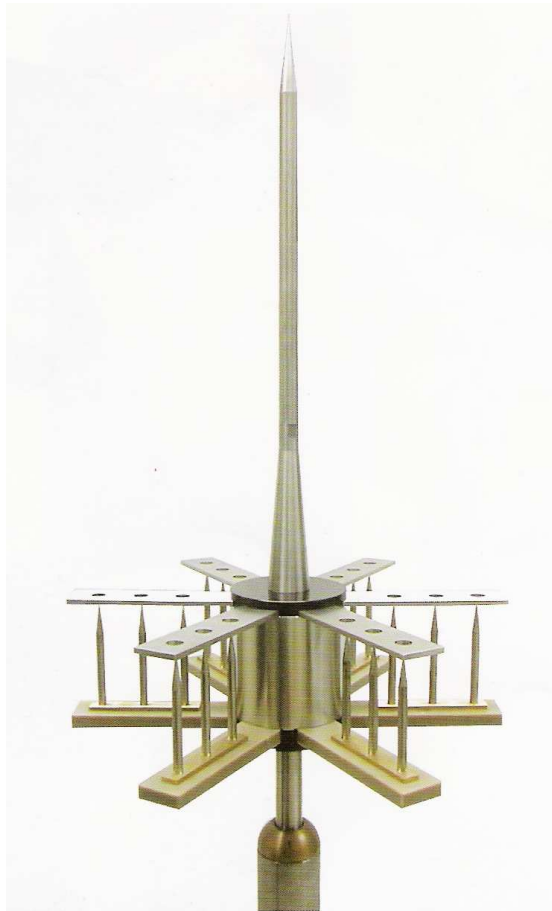
3 kreivė $d = f(h)$ parodo apsaugos zonos ribų santykinės paklaidos kitimą. Žaibolaidžiams iki 10 m aukščio paklaida d yra net neigiama. Tai rodo, kad žaibolaidžio apsaugos zona, skaičiuojant pagal RSN, yra patikimesnė už europinio standarto IEC metodu skaičiuotą apsaugos zoną. Tačiau daugiau kaip 10 m aukščio žaibolaidžiams ši paklaida staigiai didėja ir pasiekusi 20 m maksimumą, toliau lieka pastovi.

Iš kreivių matyti, kad visi nagrinėti dydžiai labai skiriasi kalbant apie žaibolaidžius nuo 5 iki 15 m aukščio. Kalbant apie 20-30 m aukščio žaibolaidžius visi dydžiai nekinta ir išlieka dideli.

1.9.7 Aktyvioji apsauga nuo žaibo

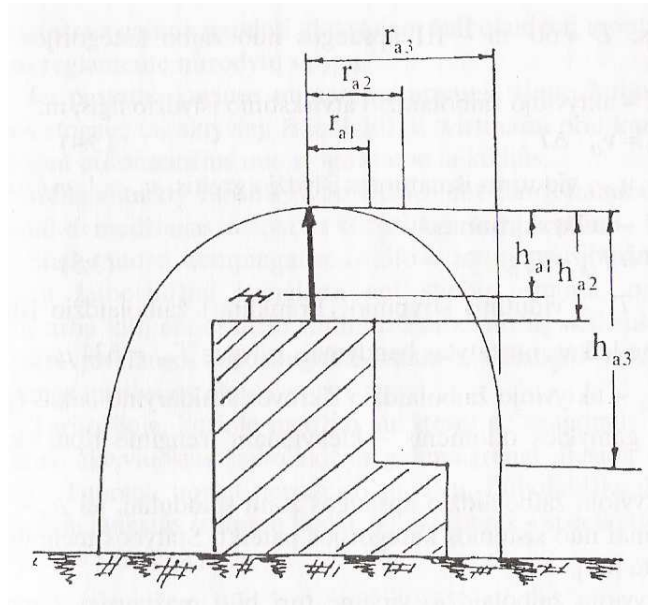
Lietuvoje kartu su tradiciniais Franklino žaibolaidžiais pradėti naudoti netradiciniai, vadinamieji *aktyvieji žaibolaidžiai*.

Aktyvusis žaibolaidis - įrenginys su įmontuota elektronine įranga, sukuriančia vainikinį išlydį, skirtas statiniams arba teritorijai nuo tiesioginių žaibo smūgių apsaugoti. Elektroninė įranga žaibavimo metu per sekundės dalis prieš susidarant žaibo išlydžiui pradeda skleisti aukštadažnius impulsus. Dėl to žaibolaidžio viršūnėje, susikūrus vainikiniam išlydžiui, susidaro jonizuotas kanalas (atvirkštinis išlydis) žaibui nukreipti į žaibolaidį. Dirbtinai jonizuotas kanalas sąlygiškai padidina žaibolaidžio aukštį ir praplečia jo apsaugos zoną. Aktyvusis žaibolaidis apibūdinamas jo atvirkštinio išlydžio sudarymo laiku, kuris nustatomas bandymais po sumontavimo.



41 pav. Ingescorod firmos aktyvusis žaibolaidis

Aktyviojo žaibolaidžio apsaugos zona apibrėžiama parabole, kurios vertikali ašis sutampa su žaibolaidžio vertikaliąja ašimi. Apsaugos zonos spindulys kinta ir priklauso nuo aukščio tarp žaibolaidžio viršūnės ir saugomo statinio aukščiausios vietos (42 pav.).



42 pav. Aktyviojo žaibolaidžio saugoma zona: h_{a1} , h_{a2} , h_{a3} – aukščiai nuo žaibolaidžio aukščiausio taško iki saugomo statinio elemento; r_{a1} , r_{a2} , r_{a3} – aktyviojo žaibolaidžio saugomos zonos spindulys atitinkamame aukštyje

Aktyviojo žaibolaidžio apsaugos zonos parametrai nustatomi taip:

Kai $h_{ax} > 5$ m, apsaugos zonos spindulys r_{ax} apskaičiuojamas pagal tokią lygtį:

$$r_{ax} = \sqrt{h_{ax}(2D - h_{ax}) + \Delta L(2D + \Delta L)} \quad (20)$$

Čia h_{ax} - aukštis nuo žaibolaidžio viršūnės iki saugomo objekto (elemento) aukščiausio taško (kiekvienai apsaugos nuo žaibo kategorijai skirtingas, žr. 42 pav.);

D - žaibo sferos spindulys ($D = 20$ m - I apsaugos nuo žaibo kategorijos statiniams, $D = 45$ m - II apsaugos nuo žaibo kategorijos statiniams, $D = 60$ m - III apsaugos nuo žaibo kategorijos statiniams);

ΔL - aktyviojo žaibolaidžio atvirkštinio išlydžio ilgis, m.

$$\Delta L = v_a * \Delta T.$$

Čia v_a -vidutinis išmatuotas išlydžio greitis, $v_a \approx 1$ m/ μ s;

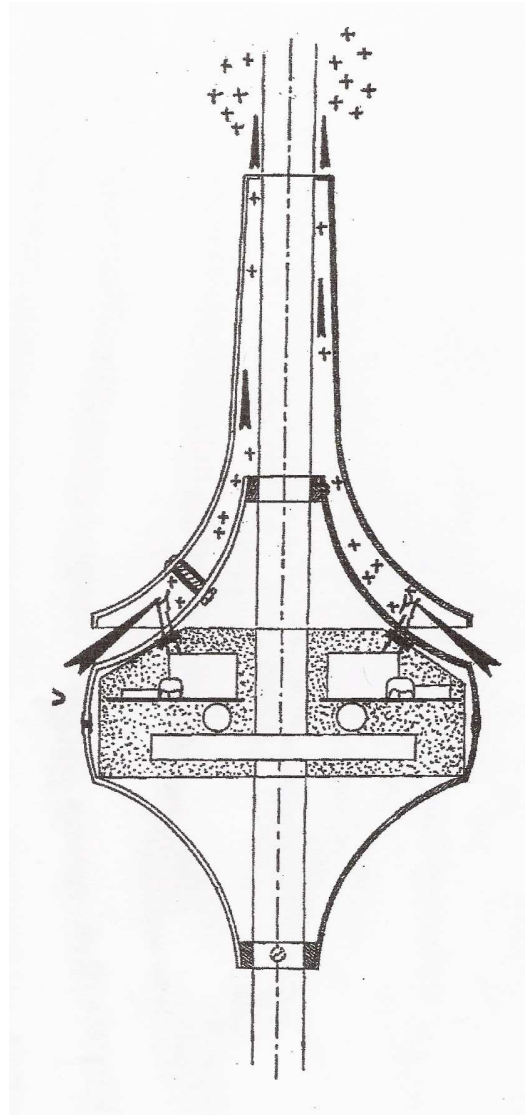
ΔT - laikų skirtumas.

$$\Delta T = T_{SR} - T_{ESE}.$$

Čia T_{SR} - vidutinis strypinio (Franklino) žaibolaidžio išlydžio susidarymo laikas, nustatytas bandymais ir lygus $T_{SR} = 631$ μ s;

T_{ESE} - aktyviojo žaibolaidžio iškvos susidarymo laikas (pagal pateiktus gamyklos duomenis - kiekvienam įrenginio tipui skirtingas).

Aktyviojo žaibolaidžio apsaugos zonų spinduliai, jei $h_{ax} < 5$ m, priklausomai nuo sistemos kategorijos pateikti Statybos techniniame reglamente.

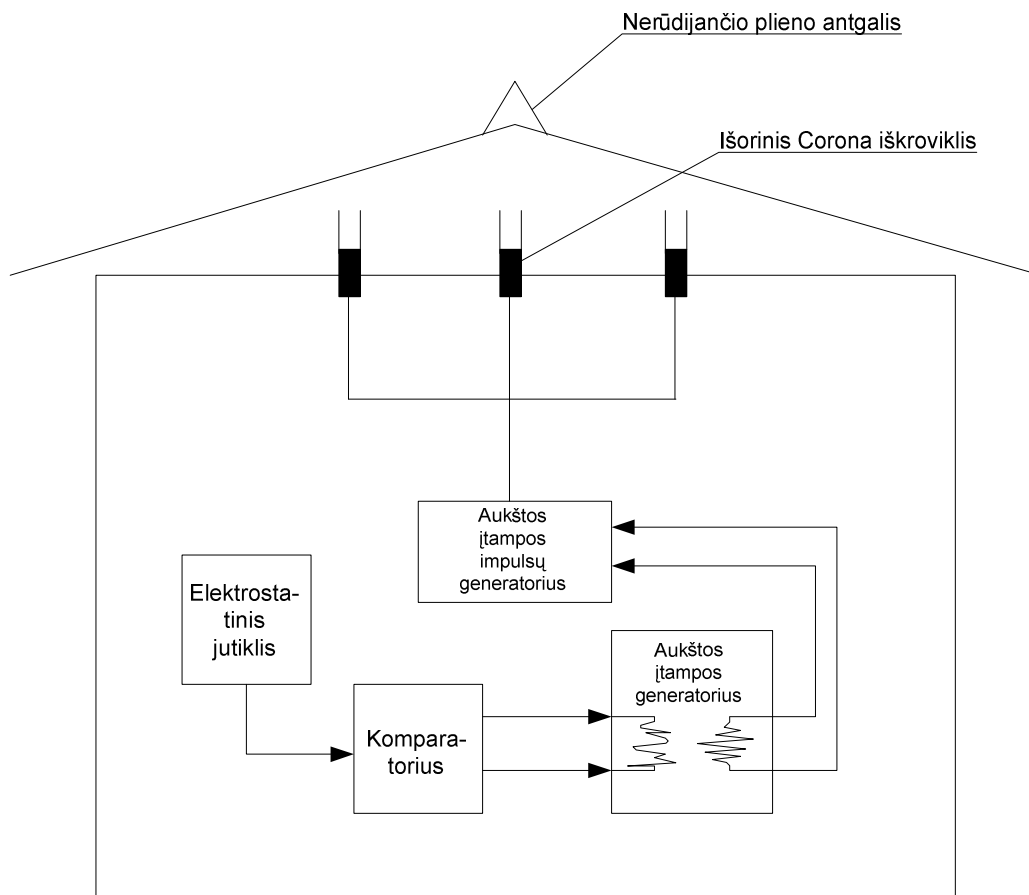


43 pav. Duval Messien firmos akt. žaibolaidžio išilginis pjūvis

Aktyviojo žaibolaidžio viršūnė turi būti mažiausiai 2 metrais aukščiau negu jo saugomas objekto paviršius, įskaitant antenas, stogus, liftų kabinas, atotampas ir kitus statinio elementus. Negalima montuoti aktyviojo žaibolaidžio atstumu, mažesniu kaip 3 metrai, nuo veikiančių elektros perdavimo linijų.

Apsaugant statinį (objektą) keliais aktyviaisiais žaibolaidžiais, kurių aukščių skirtumas mažesnis negu 1,5 m, tokie žaibolaidžiai tarpusavyje sujungiami laidininku. Jei aukščių skirtumas didesnis negu 1,5 m, žaibolaidžius sujungti nebūtina.

Jei aktyviojo žaibolaidžio stiebas pritvirtinamas atotampomis, jos prie pagrindo turi būti prijungtos prie įžeminimo įrenginio laidu, kuriuo žaibo impulsinė srovė nuo išlydžio vietos nutekėtų į žemę. Įžeminimo laidininkų skaičių ir nutiesimo sąlygas nustato reglamentas.



44 pav. Duval Messien akt. žaibolaidžio Satelit+ principinė schema

Dažniausiai statinio aukščiausios vietos, į kurias didžiausia tikimybė trenkti žaibui, būna įvairios antenos. Todėl šias antenas būtinais reikia sujungti su apsaugos nuo žaibo įrenginiais tiesiogiai. Jei draudžiama antenos stovą įžeminti aklinais, tai pastarasis įžeminamas per izoliuojančius iškroviklius. Taip pat, jei technologškai leidžiama, antenos stovą galima naudoti aktyviajam žaibolaidžiui montuoti prisilaikant reglamente

nurodytų sąlygų.

Jei pastatai, kuriuos numatoma apsaugoti nuo žaibo, būna su degiais stogais, tai aktyvieji žaibolaidžiai tvirtinami prie kaminų arba naudojant atitolinančius nuo stogo stiebo laikiklius.

Įrengiant aktyvius žaibolaidžius ant gamybinių kaminų, reikia naudoti medžiagas, atsparias korozijai ir temperatūrai.

Stadionuose, kempinguose ir kitose žmonių susibūrimo vietose aktyvieji žaibolaidžiai įrengiami ant stiebų, atramų, prožektorių bokštų arba kitų čia esančių statinių. Žaibolaidžių skaičius ir įrengimo vieta priklauso nuo saugomo statinio apsaugos kategorijos ir užimamos teritorijos ploto.

Teritorijoje, kurioje medžiai aukštesni už saugomus nuo žaibo objektus, aktyvius žaibolaidžius galima įrengti tiesiog virš paties medžio. Tuomet, norint nepažeisti medžių, žaibolaidžio įžeminimui naudojami lankstūs izoliuoti laidai, o laikikliams - specialios apkabos, juosiančios kamieną.

2. Tiriamoji dalis

2.1 Laboratorinių duomenų analizė

Norint ištirti aktyvaus žaibolaidžio efektyvumą būtina išanalizuoti laboratorijų duomenys. Kadangi Lietuvoje nėra tinkamos aukštos įtampos laboratorijos tokiems žaibolaidžių impulsų bandymams atlikti, mes naudojames kitų šalių sertifikuotų laboratorijų duomenimis:

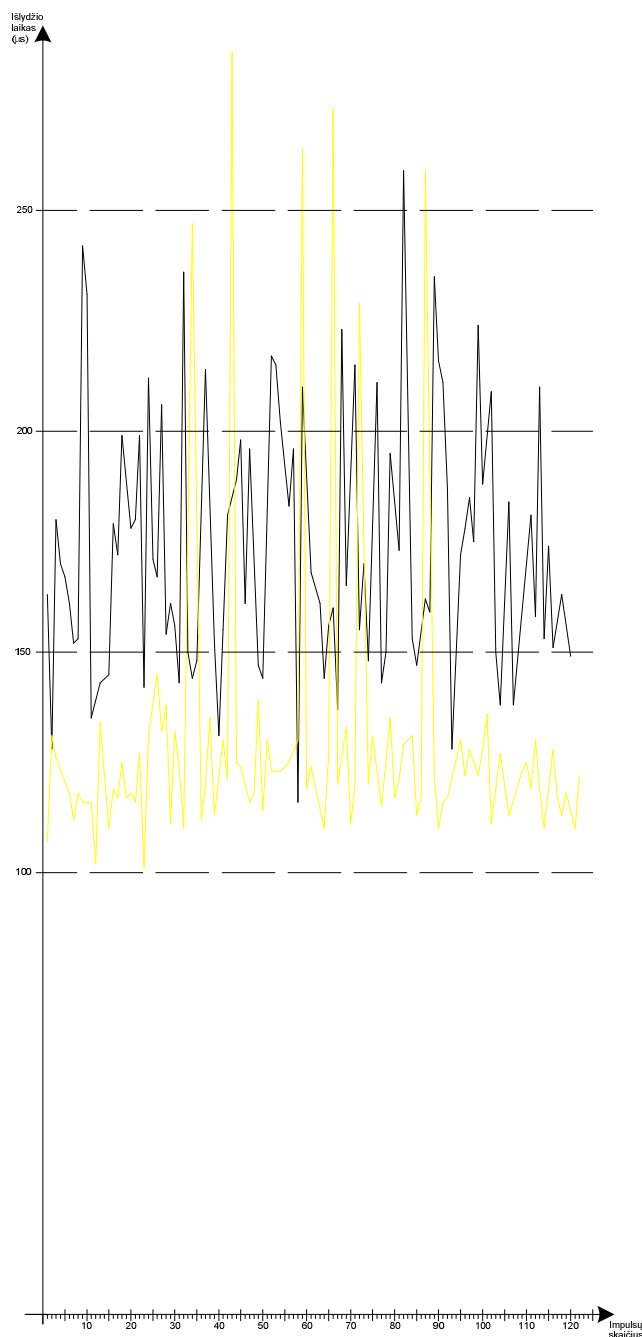
- 1) Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт “Молния“ (Ukraina);
- 2) Laboratoire haute tension de Bazet (Prancūzija);
- 3) Laboratoire Parafoudre du CERDA (Prancūzija);
- 4) Korea Electrotechnology Research Institute KERI (Korėja).

Duomenys analizuojami norint išsiaiškinti ar aktyvaus žaibolaidžio efektyvumas nenusileidžia tradiciniam Franklino tipo žaibolaidžiams. Todėl tokiomis pat laboratorinėmis sąlygomis (oro temperatūra 17 ° -19° C, drėgnumas 70-75 %, atmosferos slėgis 742-750 mm gybs. stulp.) buvo tiriami tiek Franklino tipo, tiek įvairūs (DYNASPHERE-3000, PULSAR 60, PREVECTRON 2-S6.60 bei SATELIT 3-25,3-45,3-60) aktyvieji žaibolaidžiai. Šie žaibolaidžiai laboratorijose buvo tiriami tikrinant nurodytas firmų charakteristikas. Kadangi daugiausia bandymų buvo atlikta su SATELIT 3-25,3-45,3-60 aktyviuoju žaibolaidžiu, todėl šių bandymų duomenis pasirinkome analizuoti šiame darbe.

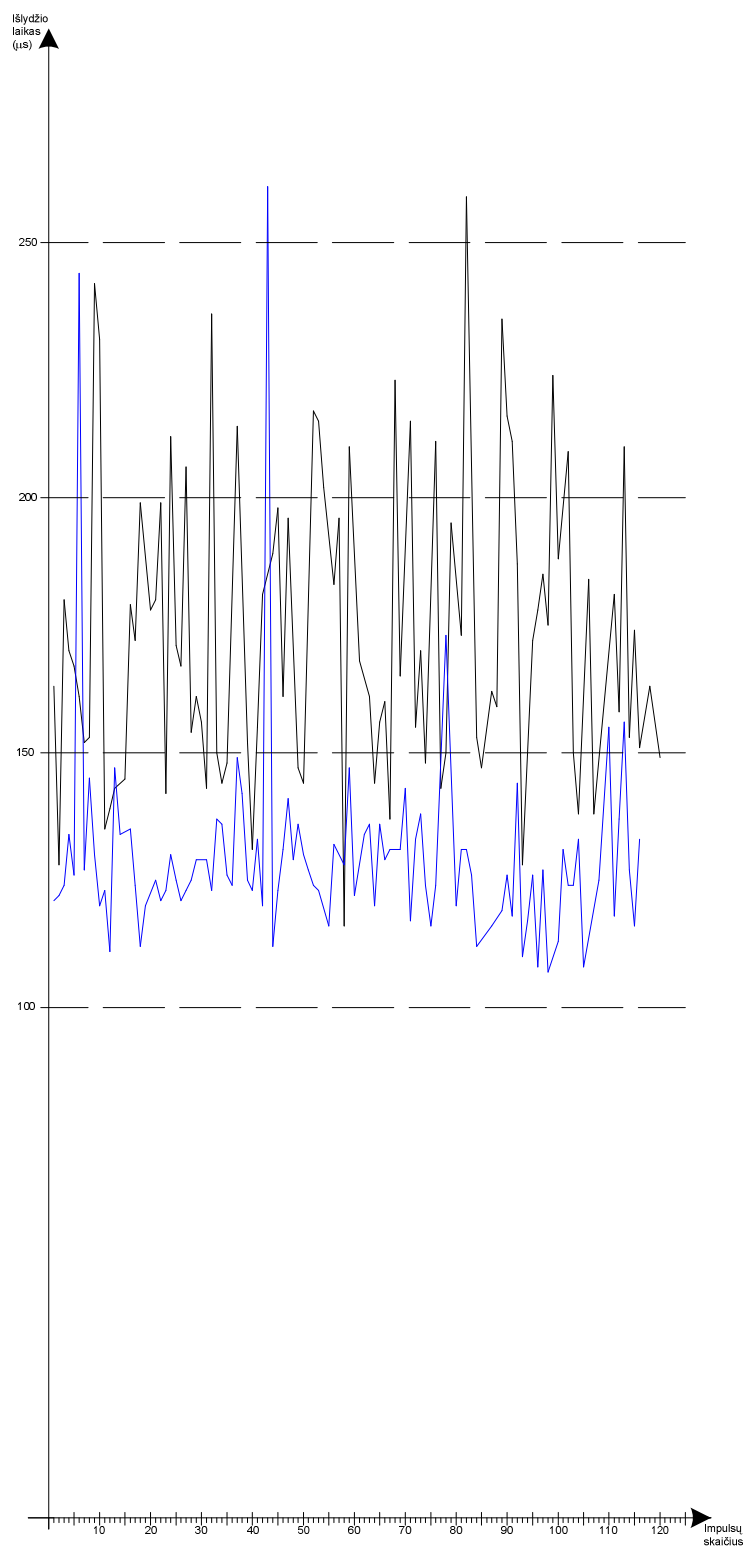
Aktyviojo žaibolaidžio efektyvumas apibendrinamas išlydžio laiku, todėl tiriant visuomet lyginsime jo ir Franklino tipo žaibolaidžio išlydžio laikus. Kadangi pagal Franklino tipo žaibolaidžio naudojimo reikalavimus, jo saugos zona visuomet turi dengti pastato išsikišimus ir saugoti pastatą net nesant žaibams (o aktyvaus žaibolaidžio saugos zona sąlyginai didėja, kaip ir sąlyginai padidėja šio žaibolaidžio aukštis pradedant žaibuoti) todėl Franklino tipo žaibolaidžio testo duomenis imsime kaip atskaitinius. Kadangi šių bandymų duomenys gauti ne realiose sąlygose ir mes neturime duomenų ar aktyvaus žaibolaidžio apsaugos zona pakankamai greitai padidėja prieš žaibo išlydį (t.y. laboratorijoje buvo matuojamas tik laikas iki išlydžio ir nebuvo atsižvelgta į saugos zonas). Mes darome prielaidą, kad jeigu aktyvaus žaibolaidžio išlydžio laikas bus

didesnis nei Franklino tipo žaibolaidžio, skaitysime, kad jo apsaugos zona padidėjo nepakankamai ir išlydis realiame gyvenime galėjo įvykti į pastato stogo kraštą.

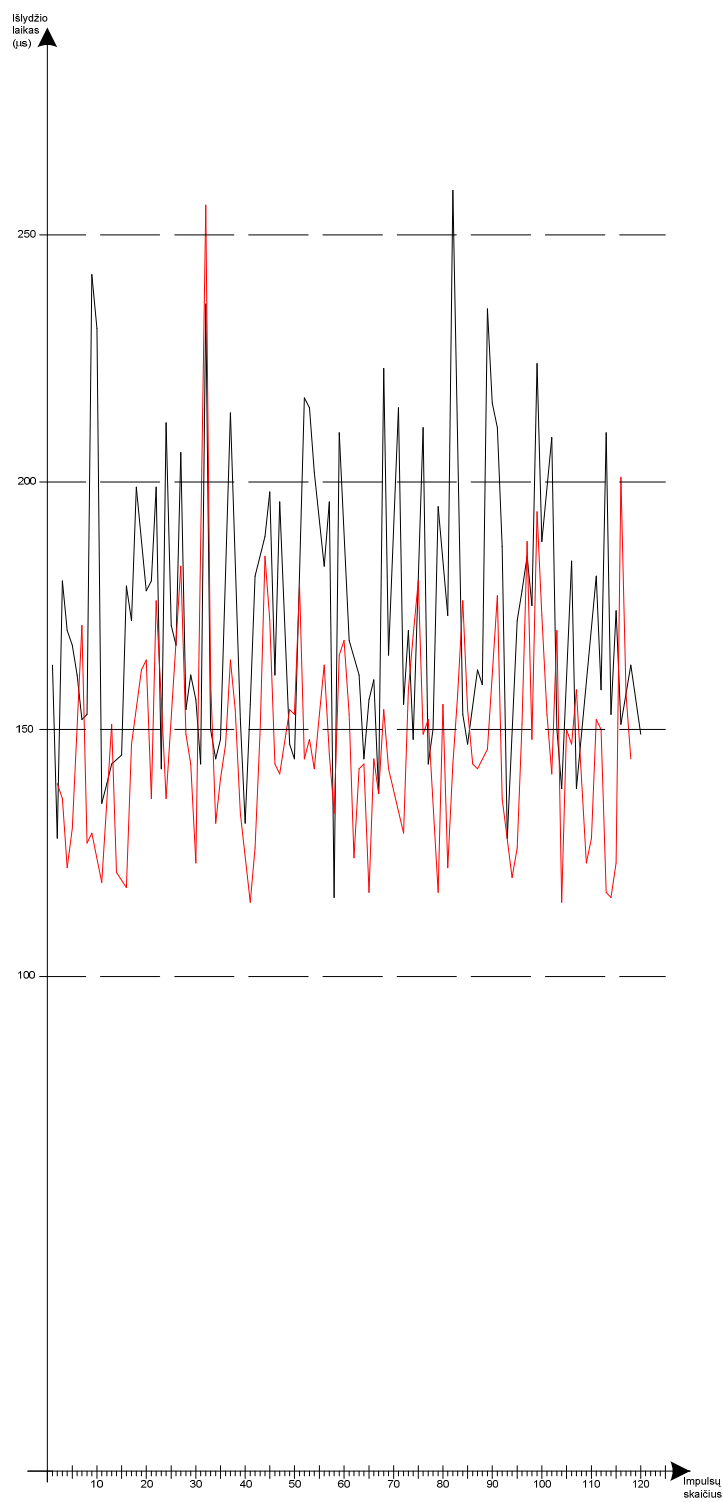
45-47 paveiksluose matome atskirų aktyviųjų žaibolaidžių laikų iki išlydžio palyginimus su Franklino tipo žaibolaidžiu.



45 pav. Žaibolaidžių SATELIT 3-60 ir Franklino tipo laikų iki išlydžio palyginimas

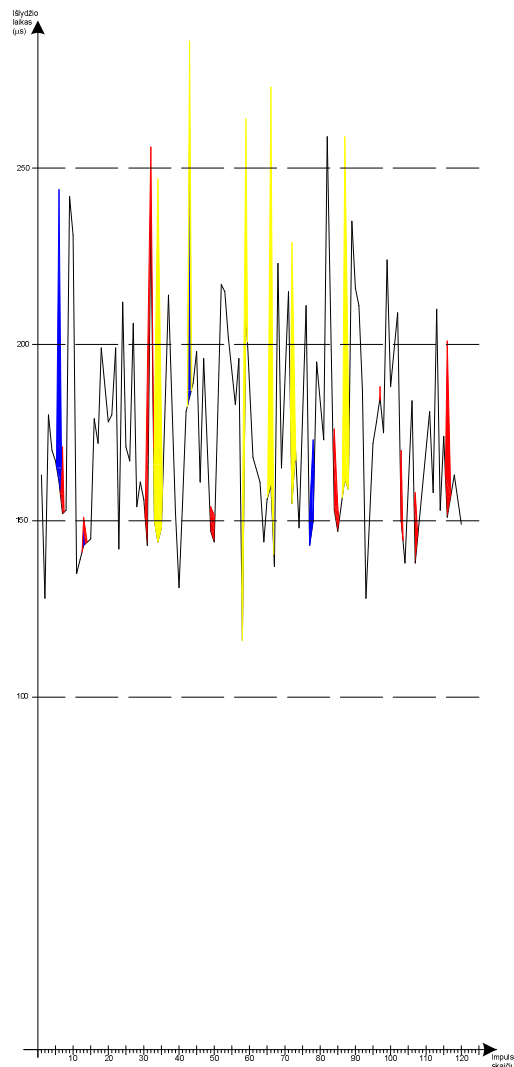


46 pav. Žaibolaidžių SATELIT 3-45 ir Franklino tipo laikų iki išlydžio palyginimas



47 pav. Žaibolaidžių SATELIT 3-25 ir Franklino tipo laikų iki išlydžio palyginimas

Aktyvieji žaibolaidžiai SATELIT 3-25, 3-45, 3-60 tarpusavyje skirstomi pagal apsaugos zonos plotį. Kuo didesnis akt. žaibolaidžio antrasis skaičius, tuo didesnė jo apsaugos zona (pvz. SATELIT 3-25 apsaugos zona yra 25 metrų spindulio apskritimas, SATELIT 3-60 – 60 metrų spindulio apskritimas). Kaip matome iš 45,46,47 paveikslų kuo didesnės apsaugos zonos aktyvusis žaibolaidis, tuo daugiau kartų jo kreivė kerta Franklino tipo žaibolaidžio kreivę (t.y. akt. žaibolaidžio išlydžio laikas tuo momentu yra ilgesnis), o tai reiškia, kad realiaame gyvenime į SATELIT 3-25 žaibolaidžio saugomą namą žaibas būtų trenkęs 1 kartą, į SATELIT 3-45 – 2 kartus, SATELIT 3-60 – 6 kartus.



48 pav. Aktyviųjų žaibolaidžių kreivės viršijančios Franklino tipo žaibolaidžio trukmės iki išlydžio kreivę

2.2 Įžeminimo sistemų tyrimas programa GEM 3.2v

Tyrinėjant ir stebint žaibo išlydžius į aktyviuosius ir Franklino tipo žaibolaidžius gamtoje, buvo pastebėta, kad į aktyviuosius žaibolaidžius žaibas trenkia 2,5 karto dažniau negu į Franklino tipo žaibolaidžius. Kadangi aktyvus žaibolaidis priima daugiau žaibo išlydžių per tam tikrą laiką negu Franklino tipo žaibolaidis, vadinasi ir aktyvaus žaibolaidžio įžeminimo sistema dirba 2,5 karto dažniau. Kaip jau žinoma, žaibui trenkus į žemę pasikeičia jos cheminė sudėtis (silicio junginiai kristalizuojasi) ir tada padidėja, tos vietos į kurią trenkė žaibas, žemės varža. Yra paskaičiuota, kad priėmusios 80 žaibo išlydžių įžeminimo sistemos varža padidėja 2 kartus (t.y. per 2 metus įžeminimo sistemos varža gali pasikeisti nuo 8 Ω iki 16 Ω , kai maksimali leistina įžeminimo varža yra tik 10 Ω). Vadinasi norint aktyvaus žaibolaidžio įžeminimo sistemą padaryt tokia pat efektyvia kaip ir Franklino tipo, reikia siekti kad jos įžeminimo varža būtų 2,5 karto mažesnė.

Remiantis aukščiau išvardintais faktais buvo nuspręsta programa GEM 3.2v ištirti kaip priklauso įžeminimo varža nuo kiekvieno iš įžeminimo sistemos elemento.

Multiple Ground Rods in a Line (with GEM)

Resistivity of Soil (ohm-m)

Length of Ground Rods (m)

Diameter of Ground Rods (cm)

Diameter of Holes (cm)

Spacing between Rods (m)

Number of Rods

Electrode Resistance (ohms)

Bags of GEM Required

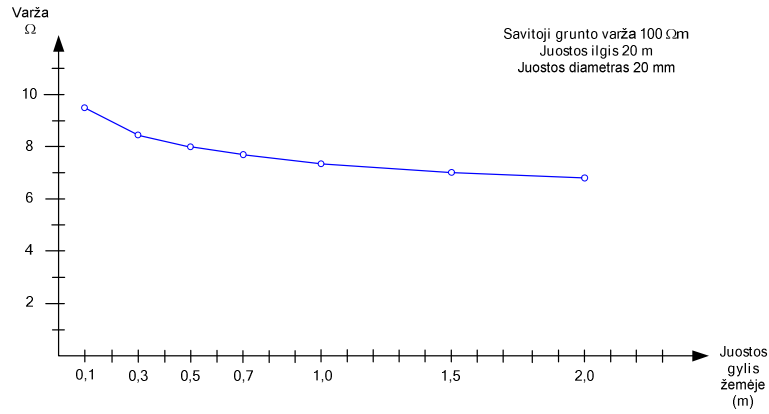
Clear Print Units Imperial Metric

Reference Menu

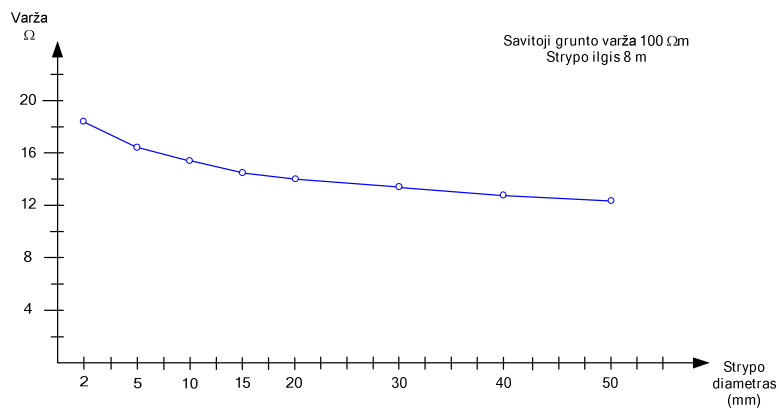
GEM

49 pav. GEM 3.2v programos langas

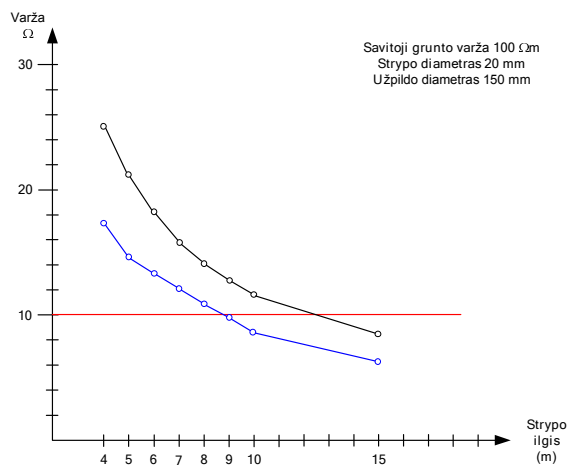
Žemiau pateiktuose 50 – 59 paveiksluose matomi tyrimo rezultatai :



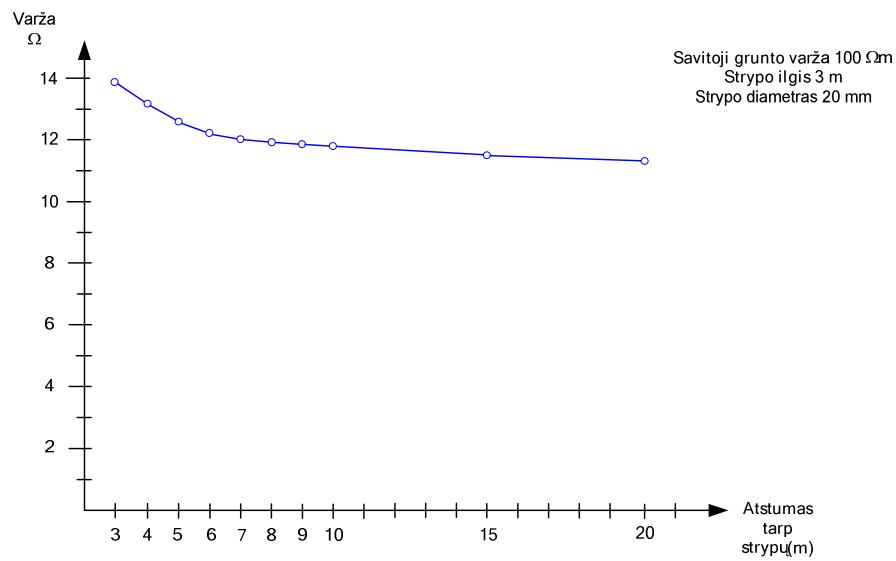
50 pav. Įžeminimo juostos įgilinimo tyrimo rezultatai



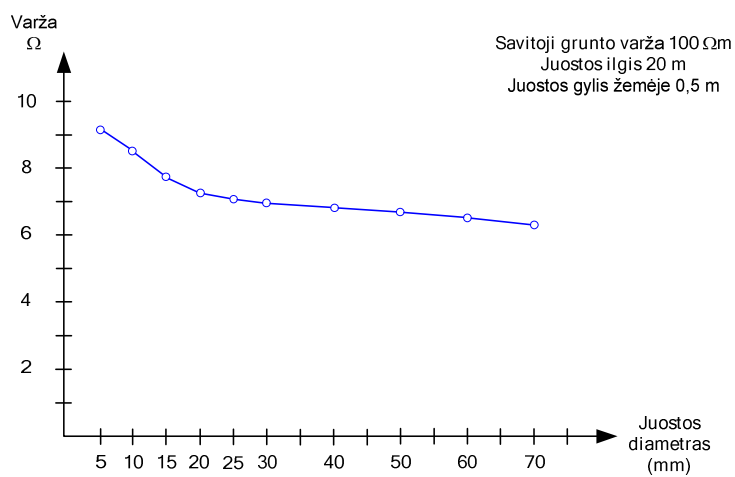
51 pav. Įžeminimo strypo diametro tyrimo rezultatai



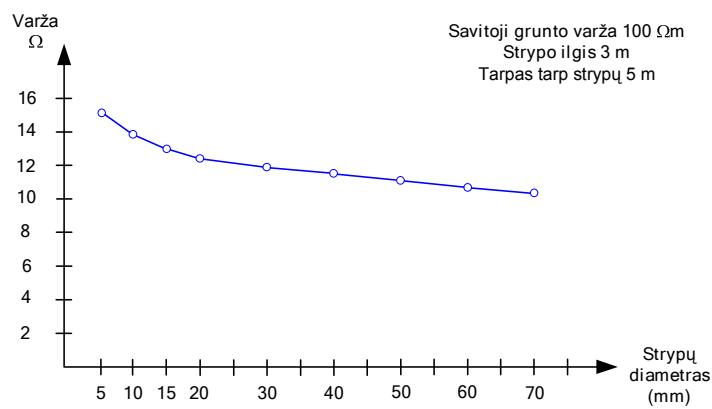
52 pav. Įžeminimo strypo ir įžeminimo strypo su užpilu palyginimo grafikas



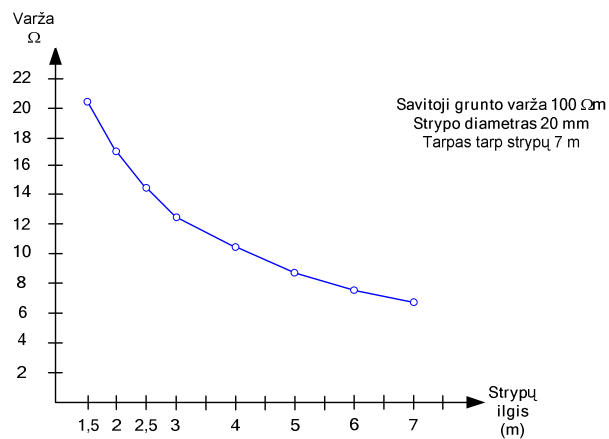
53 pav. Įžeminimo strypų atstumų tyrimo rezultatai



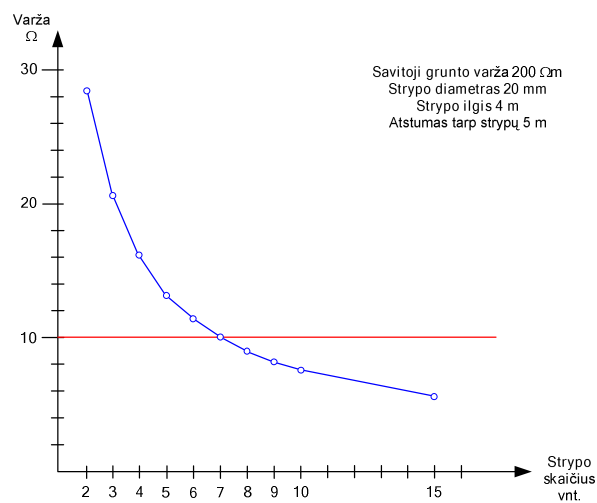
54 pav. Įžeminimo juostos diametro tyrimo rezultatai



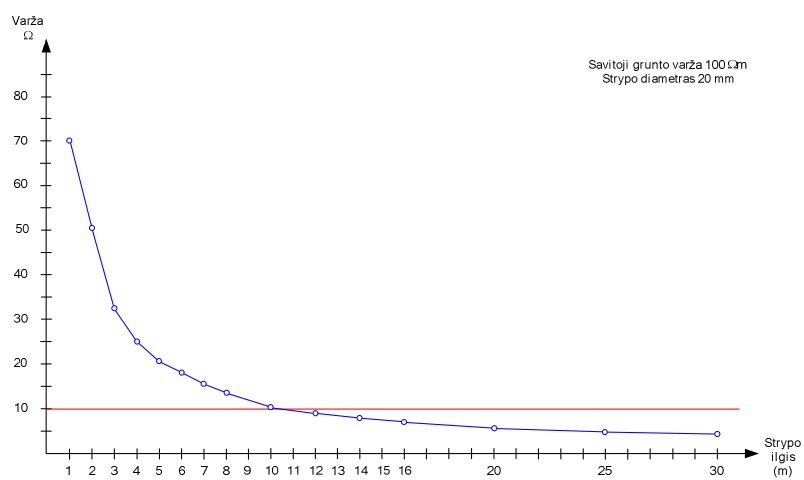
55 pav. Įžeminimo strypų diametro tyrimo rezultatai (3 strypų sist.)



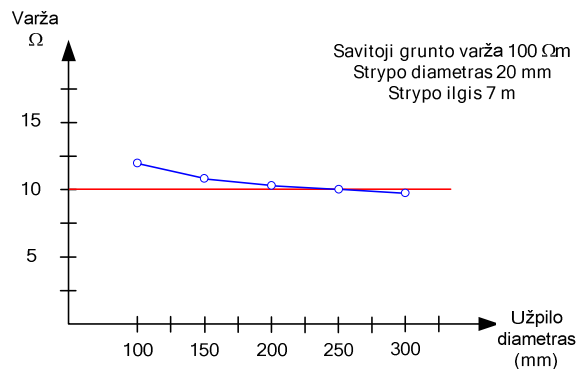
56 pav. Įžeminimo strypų ilgio tyrimo rezultatai (3 strypų sist.)



57 pav. Įžeminimo strypo skaičiaus tyrimo rezultatai



58 pav. Įžeminimo strypo ilgio tyrimo rezultatai



59 pav. Įžeminimo strypo užpilo diametro tyrimo rezultatai

Tyrimo metu stengtasi, kad visi gauti duomenys būtų artimi tiems, kuriuos gautume realiame gyvenime juos išmatavę. Taip pat stengtasi remtis jau esamais šios srities mokslo pasiekimais netirti nelogiškų ar iki šiol neįmanomų įžeminimo sistemos montavimo situacijų.

Atlikus įžeminimo sistemos tyrimą programa GEM v3.2, galima padaryti tokias išvadas :

- ✓ netikslinga įžeminimo juosta gilinti į gruntą daugiau nei 1 metras ;
- ✓ renkantis įžeminamojo strypo diametrą, iš Lietuvoje siūlomų 14 mm ir 20 mm vertėtų rinktis mažesniojo diametro, nes jų savybės skiriasi nežymiai, bet pastarasis yra pigesnis ;
- ✓ tiriant įžeminimo strypo su užpilu duomenis (52 pav.) akivaizdžiai matomas jo pranašumas prieš įžeminimo strypą be užpilo ;
- ✓ stebint įžeminimo strypų atstumų tyrimo rezultatus, darome išvadą, kad atstumus tarp strypų tolinti tikslinga tik iki tam tikros ribos (t.y. netikslinga tolinti strypus nei dvigubas sukalto strypo ilgis, 53 pav.) ;
- ✓ nors Lietuvoje naudojamos įžeminimo juostos diametras yra 40 mm, iš 10 pav. grafiko matome, kad jos vietoje galima būtų naudoti ir 20 mm ;
- ✓ iš įžeminimo strypo ilgio tyrimo rezultatų matome, kad kuo ilgesnis įžeminimo strypas tuo mažesnė įžeminimo varža, bet realiame gyvenime sudėtinga sukalti įžeminimo strypus giliau negu 11 – 12 metrų ;
- ✓ apžvelgus 52 ir 59 pav. duomenis, galima padaryti išvadą, kad ne toks svarbus užpilo diametras, kiek svarbu, kad jis būtų naudojamas.

2.3 Vieno taško įžeminimo sistemos tyrimas

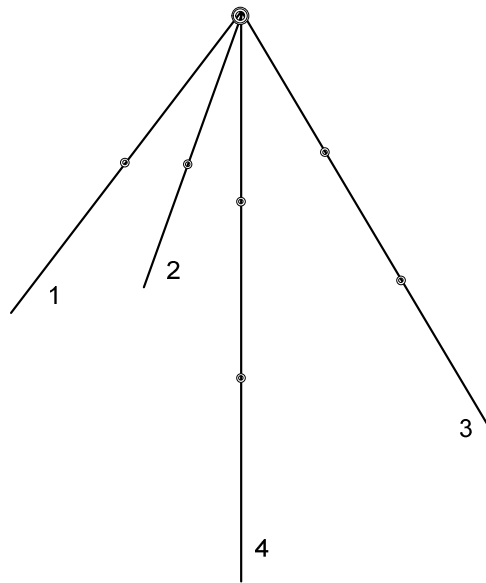
Įžeminimo sistemas tiriant programa GEM v3.2, kilo idėja ištirti vieno taško įžeminimo sistemą, nes dėl galimybės prijungt didesnį kiekį ir vėliau prireikus keisti įžeminimo strypų skaičių, ši sistema labiausiai tiktų aktyviam žaibolaidžiui įžeminti.

Kadangi kompiuterinės programos GEM v3.2 pagalba negalima ištirti šio įžeminimo sistemos būdo, nuspręsta tyrimą atlikti realiose sąlygose varžų matavimus atliekant prietaisu UNITEST 0100 Expert (BEHA).



60 pav. Įžeminimo sistemų varžų matavimo prietaisas UNITEST 0100 Expert (BEHA)

Tiriant vieno taško įžeminimo sistema, buvo numatyta sukalti 10 įžeminimo strypų keturiomis skirtingomis kryptimis iš vieno taško (kaip parodyta 61 pav.). Tokia strypų schema leis palyginti vertikalaus ir kelių skirtingų ilgių įstrižų įžeminimo strypų duomenis.



61 pav. Vieno taško įžeminimo sistemos strypų schema

Kadangi bandymas atliekamas smėlėtoje ir išalusioje žemėje (taip pat ribotos finansinės galimybės), mes nesieksime gauti statybos techniniame reglamente nurodytos mažesnės nei 10Ω įžeminimo varžos vertės. Šio bandymo tikslas nustatyti įžeminimo strypų kalimo įstrižu būdu veiksmingumą. Todėl įstrižų strypų bandymo rezultatus lyginsime su toje pačioje vietoje įkaltu statmenu įžeminimo strypu.

10 lentelė. Orientaciniai savitosios grunto varžos duomenys

Gruntas	Savitoji grunto varža $\Omega \cdot m$
Gėlas vanduo	10 – 30
Durpės	20
Juodžemis	50
Molis	60
Miškinga vieta	100
Priesmėlis	300
Smėlis	500
Uolos	1000
Ilgalaikis įšalas	Iki 100 000

11 lentelė. Vieno taško įžeminimo sistemos varžų matavimo protokolo duomenys

Matavimo data	2006 05 03
Matavimus atliko prietaisu	UNITEST 0100 Expert (BEHA)
Prietaiso metrologinės patikros data	2005 06 07 Nr.0590197
Matavimo schema	3 gnybtų
Įžemintuvų charakteristika ir išorės apžiūros rezultatai	4 Galmar tipo elektrodai (iš kurių 3 sukalti 45° kampu į gruntą, 17 pav.), sujungti 40 mm cinkuota juosta
Gruntas ir jo būklė matavimo metu	sausas, sušalęs, nenaudoti užpilai
Meteorologiniai duomenys	Tris dienas prieš matavimą buvo sausa, oro temperatūra naktimis iki -2 ° C, matavimo metu 11 ° C.
Sezono koeficientas įžemintuvo varžai perskaičiuoti	netaikytas



62 pav. 4 įžeminimo strypai, iš kurių 3 sukalti 45° kampu į gruntą

Bandymo metu prietaisu UNITEST 0100 Expert (BEHA) atlikti septyni matavimai, kai savitoji grunto varža $302 \Omega \cdot m$ (12 lentelė).

12 lentelė. Bandymo rezultatai atlikti prietaisu UNITEST 0100 Expert (BEHA)

Ižeminimo strypų nr. (61 pav.)	Ižeminimo sistemos varža (Ω)
Keturi ižem. stryp. (1,2,3,4)	28,9
Trys ižem. stryp. (1,2,3)	38,1
Du ižem. stryp. (2,3)	50,1
ižem. stryp. (1)	83,0
ižem. stryp. (2)	136,1
ižem. stryp. (4)	69,2
ižem. stryp. (3)	88,8

Atlikus vieno strypo ižeminimo sistemos tyrimą, pastebime, kad :

- ✓ įstrižo ižeminimo strypo varžų matavimo duomenys lyginant su standartiniu vertikaliuoju yra 28 % blogesni;
- ✓ ižeminimo strypo (1) matavimo duomenys (lyginant su kitais strypais) per daug geri, todėl darant išvadas jais nesiremsime;
- ✓ kelių įstrižų strypų sistema gali būti iki 80 % efektyvesnė nei standartinio vertikalaus ižeminimo strypo (nevertinant strypų skaičiaus).

Kadangi modeliuojant kompiuterine programa galime gauti daugiau šių dviejų ižeminimo sistemų palyginimų, todėl vieno taško ižeminimo sistemos bandimo rezultatus palyginsime su teoriniais programos GEM v3.2 standartinės (vertikalios) ižeminimo sistemos rezultatais. Modeliuojant, stengsimės ižeminimo varža laikyti pastoviu dydžiu ir stebėti abiejų ižeminimo sistemų sunaudotų medžiagų kiekį (13-17 lentelės).

13 lentelė. Vieno taško ir standartinės (vertikalios) įžeminimo sist. palyginimo rezultatai

Įžeminimo sist. pav. (kalimo taškai)	Sunaudotos medžiagos	Įžeminimo sist. varža (Ω)
Vieno taško (4)	10 įžem. strypų	28,9
Vertikalaus (1)	8 įžem. strypai	29,9
Vertikalus (2)	9 įžem. strypai (7 m. įžem juostos)	28,2
Vertikalus (3)	9 įžem. strypai (9 m. įžem juostos)	29,0
Vertikalus (4)	9 įžem. strypai (14 m. įžem juostos)	29,5
Vertikalus (5)	10 įžem. strypai (15 m. įžem juostos)	27,7

14 lentelė. Vieno taško ir standartinės (vertikalios) įžeminimo sist. palyginimo rezultatai

Įžeminimo sist. pav. (kalimo taškai)	Sunaudotos medžiagos	Įžeminimo sist. varža (Ω)
Vieno taško (3 įstriži)	7 įžem. strypai	38,1
Vertikalus (1)	6 įžem. strypai	38,3
Vertikalus (2)	6 įžem. strypai (5 m. įžem juostos)	39,4
Vertikalus (3)	6 įžem. strypai (8 m. įžem juostos)	39,1
Vertikalus (4)	7 įžem. strypai (8 m. įžem juostos)	38,4

15 lentelė. Vieno taško ir standartinės (vertikalios) įžeminimo sist. palyginimo rezultatai

Įžeminimo sist. pav. (kalimo taškai)	Sunaudotos medžiagos	Įžeminimo sist. varža (Ω)
Vieno taško (2 įstriži)	5 įžem. strypai	50,1
Vertikalus (1)	4 įžem. strypai	54,3
Vertikalus (2)	4 įžem. strypai (8 m. įžem juostos)	51,8
Vertikalus (3)	5 įžem. strypai (5 m. įžem juostos)	48,6

16 lentelė. Vieno taško ir standartinės (vertikalios) įžeminimo sist. palyginimo rezultatai

Įžeminimo sist. pav. (kalimo taškai)	Įžeminimo strypo ilgis (m.)	Įžeminimo sist. varža (Ω)
Vieno taško (1 įstrižas)	3	136,0
Vertikalus (1)	2,1	136,6

17 lentelė. Vieno taško ir standartinės (vertikalios) įžeminimo sist. palyginimo rezultatai

Įžeminimo sist. pav. (kalimo taškai)	Įžeminimo strypo ilgis (m.)	Įžeminimo sist. varža (Ω)
Vieno taško (1 įstrižas)	4,5	88,8
Vertikalus (1)	3,4	88,7

Atlikus įžeminimo sistemų teorinį tyrimą programa GEM v3.2, galima padaryti tokias išvadas :

- ✓ standartinės (vertikalios) sistemos medžiagų sąnaudos 1-2 įžeminimo strypais mažesnės;
- ✓ jeigu naudojama dviejų kalimo taškų (ir daugiau) standartinė įžeminimo sistema, jos sąnaudos visada bus didesnės už vieno taško sistema, nes prisideda įžeminimo juosta;
- ✓ iš lentelių 16 ir 17 pastebėta, kad įkalto įstrižo strypo pasiekto tam tikro gylio įžeminimo varža tokia pati kaip toki pat gylį pasiekusio vertikalaus įžeminimo strypo varža (t.y. čia galioja Pitagoro teorema statiesiems trikampiams). Vadinasi žinodami įkalto vertikalaus strypo varža galime apskaičiuoti norimo kalti įstrižo įžeminimo strypo busima varža.

Išvados ir pasiūlymai

1. Naudojant aktyviųjų žaibolaidžių sistemas, reikėtų kelti griežtesnius reikalavimus negu nurodyta „Statybos Techniniame Reglamente 2.01.06:2003“. Siūlyčiau aktyvius žaibolaidžius naudoti kaip pagalbinius mišrioje žaibosaugos sistemose.
2. Kadangi vieno taško įžeminimo sistemos gali būti iki 80 % efektyvesnės, nei standartinės (vertikalios), siūlyčiau jas naudoti kartu su aktyviaisiais žaibolaidžiais.
3. Projektuojant aktyviųjų žaibolaidžių įžeminimo sistemas būtina numatyti vieno taško įžeminimo sistemų paskirstymo dėžes, su galimybe perjungt įžeminimo strypus arba reikalui esant sukalti jose papildomus įstrižus strypus neardant objekto žemės gerbuvio.
4. Įstrižo įžeminimo strypo varžų matavimo duomenys lyginant su standartiniu (vertikaliuoju) yra 28 % prastesni, bet vertinant, kad jie sutaupo daugiau nei 60 % žemės darbų ploto, montuojami dvigubai greičiau ir jungiami tarpusavyje gali būti iki 70 % efektyvesni už standartinius, tai puiki įžeminimo sistema.
5. Įkalto įstrižo strypo pasiekto tam tikro gylio įžeminimo varža tokia pati, kaip tokį pat gylį pasiekusio vertikalaus įžeminimo strypo varža, t.y. čia galioja Pitagoro teorema statiems trikampiams (žinodami įkalto vertikalaus strypo varža, galime apskaičiuoti norimo kalti įžeminimo strypo busima varža). Vadinasi ne tiek svarbu kokio ilgio įžeminimo strypas įkaltas į žemę, kiek svarbus kalamo strypo kampas su žeme.
6. Atstumus tarp įkaltų atskirų strypų tolinti tikslinga tik iki dvigubo sukaltų įžeminimo strypų ilgio.
7. Renkantis įžeminimo strypo diametrą (iš Lietuvoje siūlomų 14 ir 20 mm) vertėtų pasirinkt mažesnįjį, kadangi jis yra pigesnis, o tyrimo duomenys skiriasi nežymiai.
8. Tiriant įžeminimo strypo su užpilu (molio arba druskos mišiniai) duomenis akivaizdžiai matomas jo pranašumas prieš įžeminimo strypą be užpilo, bet pats užpilo diametras nėra svarbus (minimalus 100 mm).
9. Nors Lietuvoje naudojamos įžeminimo juostos diametras yra 40 mm, siūlome naudoti 20 mm juostą, nes jų įžeminimo varžų matavimo duomenys skiriasi nežymiai, o pastaroji yra pigesnė.