

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJA KATEDRA

TVIRTINU:

Katedros vedėjas

doc. Teodoras Šimkevičius

2006 06

Apsaugos nuo elektros ir elektros įrenginių normatyvų suderinamumo tyrimas

Magistro darbas

Vadovas

doc. Leonardas Buivis

2006 06

Recenzentas

ŠU Technologijos fakulteto
stud.
elektros inžinerijos katedros
Drazdovas

Atliko

EM-4 gr.

Modestas

2006 06 01

ŠIAULIAI, 2006

Summary

TURINYS

ĮVADAS	5
1. ELEKTROS SUKELIAMOS TRAUMOS IR JŲ PRIEŽASTYS	6
2. ŽMOGAUS KŪNAS ELEKTROS GRANDINĖJE	8
2.1. Žmogaus varža.....	8
2.1.1. Žmogaus varžos prigimtis	8
2.1.2. Žmogaus varžos instrumentinis tyrimas	12
2.1.3. Žmogaus kūno varžos modeliavimas	19
2.2. Žmogus elektros grandinėje.....	23
2.2.1. Eksperimentiniai bandymai	23
2.2.2. Elektros srovės veikimo mechanizmas.....	24
2.3. Elektros pavojingumo kriterijai	27
2.3.1. Įtampa	27
2.3.2. Srovė.....	28
2.3.3. Trukmė	29
3. ŠIUOLAIKINĖ KONCEPCIJA UŽTIKRINANTI SAUGĄ ELEKTROS ĮRENGINIUOSE	32
3.1. Pagrindinė apsauga	34
3.2. Apsauga nuo pažaidos	34
3.3. Papildomoji apsauga.....	36
4. SAUGOS NORMATYVAI.....	37
4.1. Leistinosios liesties įtampos	37
4.2. Elektros srovės poveikis.	42
IŠVADOS	49
LITERATŪROS SĄRAŠAS	50

IVADAS

Ši tema visada buvo labai aktuali, kadangi žmogaus sauga susijusi su sveikata, kuri yra viena iš pagrindinių žmogaus gyvenimo vertybių. Remiantis statistikos duomenimis, nelaimingi atsitikimai įvairiose pasaulio šalyse dėl elektros srovės poveikio sudaro tik apie 1% visų nelaimingų atsitikimų, tačiau mirtinų atvejų tarp jų gana daug.

Pramoninis traumatizmas šalyje dėl elektros srovės poveikio priklauso nuo technikos ir technologijos išsivystymo lygio, t.y. nuo to, ar tinkamai įrengti elektros tinklai ir įtaisai, tačiau labiausiai nuo žmonių išsilavinimo, mokėjimo įvertinti elektros srovės keliamą pavojų, nuo tinkamo įrenginių eksploatavimo.

Lietuvoje, skaičiuojant 1 milijonui gyventojų, nuo elektros srovės kasmet žūdavo 3-17 kartų daugiau žmonių negu kitose valstybėse. Vidutiniškai kiekvienais metais mūsų šalyje žūsta apie 30 žmonių, iš jų 15% - elektrotechnikos darbuotojai, apmokyti ir turintys teisę dirbti su elektros įrenginiais, 25% - elektrotechnikos darbuotojai, neturintys atitinkamo išsilavinimo, bet instrukuoti, kaip aptarnauti elektros įrenginius, 60% - gyventojai.

Norint apsaugoti žmogų nuo kenksmingo elektros poveikio yra nustatomi ir priimami elektros įrenginių įrengimo normatyvai. Tačiau dirbant šioje srityje pastebima, kad ne visada priimti dokumentai derinasi su realybe.

Šio darbo **tikslas** yra išnagrinėti Lietuvoje galiojančius normatyvus, lyginti juos su kitų šalių, t.y. ES šalių, Rusijos norminiais dokumentais ir nustatyti jų suderinamumą su realia apsauga nuo elektros.

Darbe naudojami analizės, lyginimo ir apibendrinimo metodai.

1. ELEKTROS SUKELIAMOS TRAUMOS IR JŲ PRIEŽASTYS

Tikslios statistikos apie elektros traumatizmą iki 1996 metų Lietuvos Energetikos valstybinė inspekcija (EVI) neturi. Nuodugniau nelaimingus atsitikimus tirti pradėta po „Saugos taisyklių eksploatuojant elektros įrenginius“ įsigaliojimo 1996 metais. Tačiau negalima tvirtinti, kad visi elektros traumų atvejai yra ištiriami. Nėra nusistovėjusios buitinių traumų tyrimų tvarkos, todėl dalis nelaimingų atsitikimų buityje ir kitais atvejais, nesusijusiais su darbine veikla, lieka neištirti, nes niekas apie juos inspekcijos neinformuoja. Dažnai apie nelaimingus atsitikimus sužinoma iš spaudos arba atsitiktinių šaltinių. Todėl inspekcijos turima statistika apie traumatizmą nėra pilna ir kol kas neatspindi realios padėties.

Nuo 1995 metų rugpjūčio mėn. EVI darbuotojai tyrė 71 nelaimingą atsitikimą, įvykusį aptarnaujant elektros įrenginius arba kitais atvejais patyrus elektros traumas. Iš ištirtų atvejų – 44 mirtini, 28 – sunkūs nelaimingi atsitikimai (1.1. lentelė).

1.1. lentelė

Elektros traumų statistiniai duomenys [5]

Metai	mirtini	sunkūs
1995 m. per 5 mėn.	2	3
1996 m.	13	7
1997 m.	14	11
1998 m. per 7 mėn.	15	7

Darbinėje veikloje, t.y. vykdant darbo sutartimi apibrėžtą veiklą, įvykusių mirtinų nelaimingų atsitikimų tirta 12. Visais šiais atvejais nelaimės įvyko nesilaikant saugos taisyklių reikalavimų, pilnai ar dalinai nevykdant organizacinių ir techninių priemonių, užtikrinančių saugų darbą.

10 mirtinų nelaimingų atsitikimų įvyko pašaliniams asmenims savavališkai pakliuvus į elektros įrenginių patalpas ar teritorijas ir prisilietus prie įtampas turinčių dalių. Pažymėtina, kad tokiais aplinkybėmis žuvo 4 vaikai.

12 mirtinų atsitikimų įvyko dėl netvarkingos elektros įrenginių izoliacijos, dėl to įtampa pakliuvo į elektros įrenginių korpusus, o taip pat nutrūkus oro linijų laidams. Tokiomis aplinkybėmis taip pat žuvo 4 vaikai.

Atsitiktinai prisilietus prie įtampą turunčių srovinių dalių 7 atvejai baigėsi mirtimi. Tokiomis aplinkybėmis žuvo 1 vaikas.

3 mirtini atvejai įvyko savavališkai bandant prisijungti prie elektros tinklo. Kartą bandyta prisijungti prie 10kV linijos laidų.

Nustatant nelaimingų atsitikimų kaltininkus, beveik visais atvejais daugiau ar mažiau kalti patys nukentėjusieji; tikrai labai maža dalis nelaimių įvyksta dėl kitų prižasčių. Dažnai nukentėjusieji būna nepakankamai atsargūs, neįvertina elektros poveikio pavojingumo, nežino arba tiesiog nepaiso saugos taisyklių.

2. ŽMOGAUS KŪNAS ELEKTROS GRANDINĖJE

2.1. Žmogaus varža

2.1.1. Žmogaus varžos prigimtis

Kiekvienas gyvas organizmas yra laidus elektros srovei. Elektros keliamą žalą nusako tekančios srovės stipris, kuris priklauso nuo prijungtos įtampos ir visos grandinės varžos. Įtampos dydį lemia naudojamo prietaiso maitinimo įtampa, o grandinės varžą – žmogaus kūno prisilietimo tarp dviejų elektrodų varža.

Žmogaus kūno varža yra netiesinis dydis, ir jis priklauso nuo daugybės faktorių: liesties įtampos, dažnio, srovės tekėjimo laiko, aplinkos temperatūros, prisilietimo ploto, odos būklės, srovės tekėjimo per žmogų krypties, taip pat nuo biofizikinių, biocheminių, fizikinių ir fiziologinių reiškinių.

Daug įvairių sričių mokslininkų tyrinėjo žmogaus kūno varžą. Savo vertės neprarado net daugiau kaip prieš šimtmetį atlikti rusų mokslininko A.R.Tiškovo ir XXa. ketvirtame dešimtmetyje atlikti vokiečių mokslininko H.Fraibergerio [17] tyrimai. Jie savo darbuose pateikė monografijas apie žmogaus kūno varžą veikiant kintamai ir nuolatinei srovei. G.Kertisas ir V.Kervranas savo darbuose nustatė, kad žmogaus kūno varža stipriai sumažėja atliekant fizinius pratimus.

Todėl galima teigti, kad žmogaus kūno varža yra sąlygojama ne tik fizinių-cheminių reiškinių būdingų negyviems daiktams, bet ir biofizikinių ir biocheminių reiškinių pasireiškiančių molekuliniam lygyje.

Gyvo organizmo audinių pralaidumo tyrimai įvairiose šalyse yra tęsiami. Bet jau dabar teigiama, kad, atsidūrusios elektros grandinėje, audinio molekulės susižadina: tai sutrikdo apsikeitimą medžiagomis ir pakeičia audinio elektrines charakteristikas. Todėl gyvo audinio elektrinė varža pirmiausia pagrįsta ne šiluminiu ir elektrocheminiu procesu, o sudėtingais biocheminiais ir biofizikiniais reiškiniais. Šių reiškinių svarbi savybė yra ta, kad jie gali atsirasti tiesiogiai veikiant srovei, o taip pat ir per nervų sistemą. Į tai dėmesį dar 1935m. atkreipė austrų mokslininkas S.Jelinekas [17], nustatęs, kad gyvo audinio elektrofizinės charakteristikos yra dviejų komponentų veikimo rezultatas – dinaminis (sukelia elektra) ir psichogeninis (sukelia susijaudinimas).

Žmogaus kūno elektrinė varža tuo ir skiriasi nuo negyvo audinio elektrinės varžos, kad ji pasižymi kintamais parametrais, kurie keičiasi ne tik nuo objekto savybių, bet ir nuo jo būklės.

Pasak rusų mokslininko V.E.Manoilovo [17], tyrėjai L.P.Podolskis, M.Gildelmeisteris ir H.Fraibergeris klydo tirdami žmogaus kūno varžą nekreipdami dėmesio į biologinius reiškinius. Kitaip tariant, tyrė ne biofiziką, o tikrai fizikinius reiškinius. V.E.Manoilovas taip pat atkreipė dėmesį, kad fiziologai ir patofiziologai, pvz., N.A.Vigdorčikas, darė kitokio pobūdžio klaidas, neįvertino tokių sudėtingų fizikinių reiškinių kaip elektros grandinės per žmogų elementų parametrų netiesiškumas.

Tik praeito amžiaus trečiojo dešimtmečio pabaigoje pradėjo atsirasti tyrimai, kuriuose bandyta žmogaus kūno varžą vertinti kaip daugiareikšmį – biofizikinių, biocheminių, fizikinių ir fiziologinių reiškinių kompleksą.

Netgi nekreipiant dėmesio į biofizinius reiškinius, žmogaus kūną reikia laikyti sudėtingiausiu laidininku. Žmogui patekus į elektros grandinę ir tapus jos dalimi, pasirodo laidininko, puslaidininkio ir dielektriko savybės. Todėl klysta tie, kurie žmogaus kūno varžą laiko tiesiniu dydžiu.

XXa. penktajame dešimtmetyje K.Alvenslebenas [17] apskaičiavo, kad, priklausomai nuo įtampos, žmogaus kūno elektrinė varža kinta daugiau nei dvidešimt kartų. Deja tikslių duomenų, pagal kuriuos būtų galima išskaičiuoti garandinę, jis negavo.

Žmogaus kūno varžos netiesiškumas taip pat skirtingai pasireiškia elektros srovei tekant per įvairius kūno audinius ir organus.

Žmogaus kūno elektrinės varžos tyrimai smarkiai pasistūmėjo į priekį, kai buvo pradėti atlikti matavimai aukštu dažniu. Bandymai parodė, kad vidiniuose organuose labiausiai pasireiškia aktyvinė varža, o odoje – reaktyvinė, talpinio pobūdžio varža. Pasireiškus fiziniams dirgikliams talpinė varža, sudaranti gyvo organizmo pilnutinę varžą, kinta skirtingai nei aktyvinė, sudaranti tą pačią pilnutinę varžą. Veikiant kai kuriems dirgikliams talpinė varža mažėja, o aktyvinė varža didėja.

Esant aukštiesiems dažniams pradinių fazių kampo pasikeitimas tarp srovės ir įtampos tampa labai akivaizdus. Matoma, kiek daug faktorių lemia gyvo organizmo varžą. Ši varža skiriasi nuo visų tiesinių ir netiesinių negyvosios gamtos elektrinių varžų.

Dar XIXa. pabaigoje buvo pradėti bandymai nustatant tikslią žmogaus kūno varžą. I.P.Tiškovas [17] nurodė, kad elektrinė mirusio žmogaus kūno varža yra $20\text{M}\Omega$ - $100\text{M}\Omega$. Pašalinus epidermį ji krinta keletą kartų. A.Hitingas atlikdamas analogiškus bandymus su gyvu žmogumi nustatė, kad žmogaus varža sumažėja nuo $100\text{k}\Omega$ iki $60\text{k}\Omega$. Odos įtrinimas pavirintos druskos tirpalu, pasak S.Jelineko [17], žmogaus kūno varžą sumažina daugiau nei tris kartus.

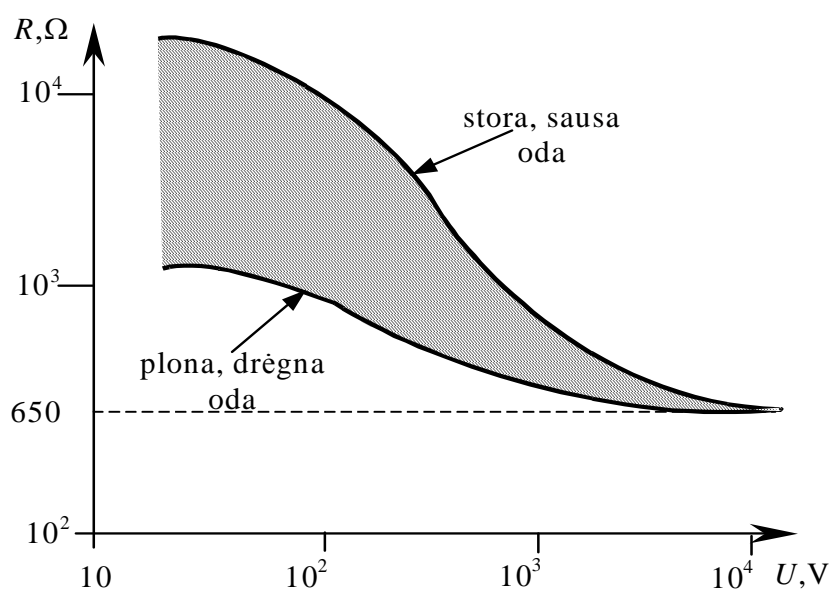
Amerikiečių normose žmogaus kūno varža įvertinama 1000Ω . Yra ir kitų nuomonių. H.Burtonas [17] rekomenduoja žmogaus kūno varžą laikyti 500Ω . Rusijoje A.P.Kiseliovas 1000Ω

nurodė kaip minimalią žmogaus kūno varžą esant 50Hz dažniui, prisilietimo plotui esant 15-20cm² ribose.

Žmogaus kūno elektrinės varžos matavimai dažnai buvo atliekami bendrai. Nurodoma varža omais, bet nenurodomas elektrodų prisilietimo plotas, jėga, kuria jie spaudžiami prie odos. Jei nurodomas prisilietimo būdas, pvz., ranka – ranka, tai nepatikslinkama, kuria rankos puse įvyko kontaktas.

Ankstesni tyrimai parodė, kad bendrą varžą tarp dviejų elektrodų priliestų prie žmogaus kūno reikia dalinti į dvi dalis: odos varžą ir vidinę varžą (kraujagyslių ir nervų).

Odos varža. Skirtingų žmonių odos varža nėra vienoda. Be to nėra vienoda ir to paties žmogaus odos varža skirtingose jo kūno vietose. Odos varža taip pat priklauso nuo aplinkos parametrų bei nuo organizmo būklės.



2.1. pav. Odos varžos priklausomybė nuo įtampos

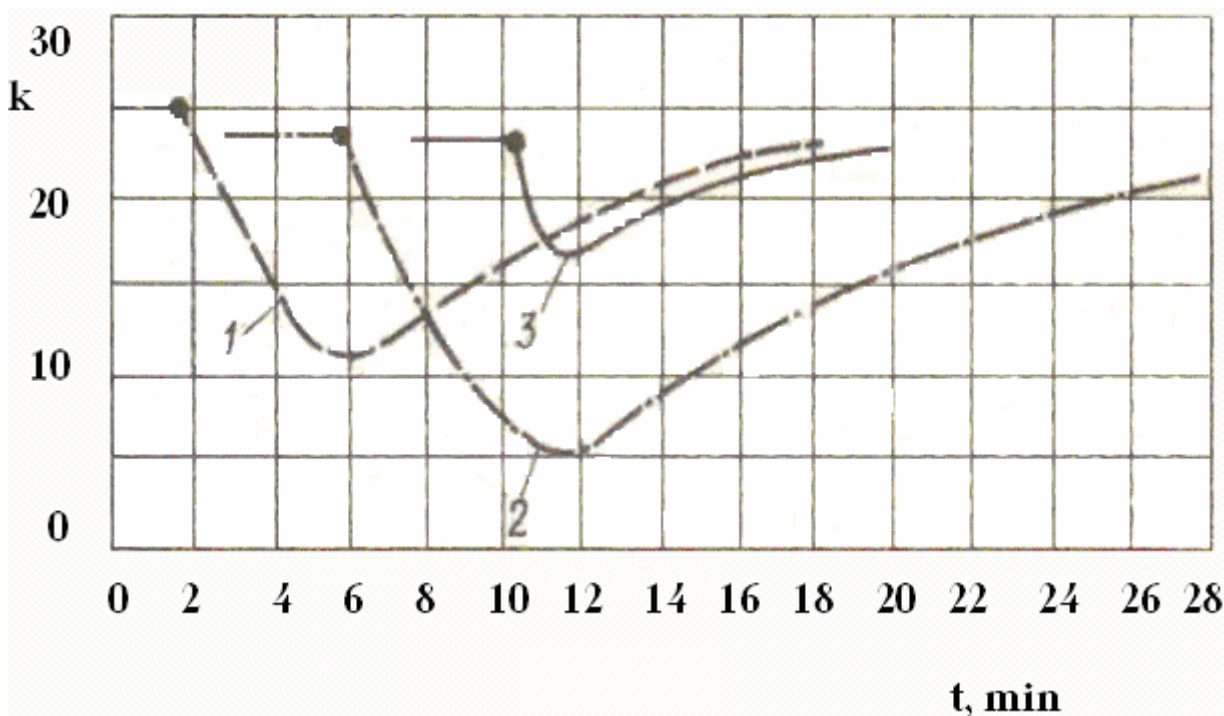
Išsiskyrus prakaitui, kuris drėkina odą, smarkiais sumažėja jos varža. V.Vagneris [17] nustatė, kad žmonių, kurie turi įgimtus prakaito liaukų sutrikimus, varža nesikeičia net ir esant šiltoms oro sąlygoms. Ankščiau buvo atliekami bandymai su šunimis, ir gauti rezultatai prilyginami žmonėms, nors šunys ir neturi prakaito liaukų. Literatūroje vienareikšmiškai nurodoma, kad odos varža yra didesnė už vidaus organų varžą. Oda yra vienas pagrindinių žmogaus organų. Per ją į organizmą patenka informacija apie supančią aplinką, taip pat vykdoma autotermoreguliacija, kvėpavimas. Ant odos paviršiaus yra milijonai mikroorganizmų, kurie parodo žmogaus ryšį su

aplinka. Elektrosaugos literatūroje apie tai nutylima, nors tai turi didelę reikšmę tiriant nelaimingus atsitikimus ir modeliuojant elektrotraumas eksperimentuose su gyvūnais.

Vidinė varža. V.A.Šedrikovas [17] savo daktarinėje disertacijoje „Apie organizmo morfologinius pasikeitimus ištikus mirčiai nuo kintamos srovės mažos įtampos“ dar 1940m. nurodė, kad nukentėjusio nuo elektros srovės žmogaus odoje deformuojasi nervinės galūnės, taip pat ir esant mažoms įtampoms.

Tai įrodo, kad nervai tarnauja kaip srovės keliai žmogaus kūne. Be to elektros srovė sukelia didesnius pažeidimus nervų sistemoje, nei visuose kituose kūno audiniuose. Tiriant nelaimingus atsitikimus ir elektros srovės poveikį buvo nustatyta, kad dažniausiai elektros trauma įvykdavo dėl nervų sistemos pažeidimų.

2.2. paveiksle išryškėja, kaip keičiasi žmogaus kūno varža veikiant įvairiems dirgikliams. Iš pradžių, po bet kokio sudirginimo, žmogaus kūno varža gana staigiai sumažėja ir tik praėjus apie 20 minučių, ji sugrįžta į pradinę padėtį.



2.2. pav. Kūno varžos priklausomybė nuo įvairių dirgiklių laikui bėgant [17] (Taškais pažymėti sudirginimo momentai: 1-dūris adata; 2-netikėtas garsas; 3-lengvas smūgis į ranką).

B.Metjusas [17] savo darbuose bandė išsiaiškinti atskiro nervo varžą. Po to tai bandė daryti V.E.Manoilovas. Voltmetro – ampermetro metodas atrodo paprastas, bet realizuojant sunkus,

todėl, kad tai susiję su mikroelektrodų panaudojimu esant labai mažoms srovėms (10^{-4} - 10^{-6}) μA . Tokiu būdu pavyko nustatyti atskiro nervo kamieno varžą. Ją sudarė apie 0,02 – 0,06 $\Omega\cdot\text{m}$. Atskiro nervo varža yra šimtą kartų mažesnė už kraujo varžą 1,5 - 2 $\Omega\cdot\text{m}$ ir apie dešimt tūkstančių kartų mažesnė už žmogaus kūno varžą 150 – 200 $\Omega\cdot\text{m}$. Mažiausia savitąja varža išsiskiria tie žmogaus kūno audiniai, kuriuose daugiau elektrolitų ir mažiau pertvarų. Įvairių audinių savitosios varžos pateiktos 2.1. lentelėje.

2.1. lentelė

Įvairių audinių savitosios varžos

Žmogaus audiniai	Savitoji varža, $\Omega\cdot\text{m}$
Nervas	0,02-0,06
Nugaros smegenys	0,55
Kraujas	1,5-2
Raumenys	2
Nervinis audinys	14
Riebalinis audinys	33
Sausa oda	10^5
Kaulas	10^7

Iš šios lentelės matyti, kad nugaros smegenų skystis, kurį galima laikyti nervų analogu, turi 0,55 $\Omega\cdot\text{m}$ varžą ir tai yra mažiau už kraujo varžą. Todėl vertėtų persvarstyti apie srovės kanalus gyvam organizme. Dažniausiai tokiu kanalu laikoma kraujotakos sistema ir raumenys. Bet tyrimai rodo, kad taip nėra. Žinoma, nervinis audinys turi didesnę varžą nei kraujas, bet atskiri nervai, turintys mažesnes varžas, verčia pamąstyti, kad galbūt jie labiausiai lemia srovės tekėjimo kryptį gyvame organizme, o taip pat ir elektros traumas, bei jų pobūdį.

Yra pagrindo teigti, kad srovės „įėjimo“, „tekėjimo“ ir „išėjimo“ tyrimai padės atskleisti biofizikinį veikimo mechanizmą ir taip pat praplės supratimą apie elektroaugos pagrindus.

2.1.2 Žmogaus varžos instrumentinis tyrimas

1990 metais austrų atliktuose tyrimuose [7] buvo nustatyta, kaip keičiasi žmogaus kūno varža esant skirtingiems prisilietimo plotams, abiem rankomis laikant elektrodus, kai rankos buvo sausos, drėgnos ir įtrintos druska. Rezultatai buvo gauti esant skirtingoms žmogaus kūno varžoms tikimybėms.

2.2. lentelė

Rankos sausos, prisilietimo plotas 10000mm²

Liesties įtampa, V	Žmogaus kūno varža, Ω		
	5%	50%	95%
25	1750	3250	6100
50	1375	2500	4600
75	1125	2000	3600
100	990	1725	3125
125	900	1550	2675
150	840	1400	2350
175	825	1325	2175
200	800	1275	2050
225	775	1225	1900
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050

2.3. lentelė

Rankos drėgnos, prisilietimo plotas 10000mm²

Liesties įtampa, V	Žmogaus kūno varža, Ω		
	5%	50%	95%
25	1175	2175	4100
50	1100	2000	3675
75	1025	1825	3275
100	975	1675	2950
125	900	1550	2675
150	850	1400	2350
175	825	1325	2175
200	800	1275	2050
225	775	1225	1900
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050

2.4. lentelē

Rankos iĥrintos druska, prisilietimo plotas 10000mm²

Liesties iĥtampa, V	Źmogaus kũno varŹa, Ω		
	5%	50%	95%
25	960	1300	1755
50	945	1275	1720
75	925	1250	1685
100	905	1225	1655
125	890	1200	1620
150	875	1180	1590
175	855	1155	1560
200	840	1135	1530
225	825	1115	1505
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050

2.5. lentelē

Rankos sausas, prisilietimo plotas 1000mm²

Liesties iĥtampa, V	Źmogaus kũno varŹa, Ω		
	5%	50%	95%
25	11125	20600	38725
50	7150	13000	23925
75	4625	8200	14750
100	3000	5200	9150
125	2350	4000	6875
150	1800	3000	5050
175	1550	2500	4125
200	1375	2200	3525

2.6. lentelė

Rankos drėgnos, prisilietimo plotas 1000mm²

Liesties įtampa, V	Žmogaus kūno varža, Ω		
	5%	50%	95%
25	5050	9350	17575
50	4100	7450	13700
75	3400	6000	10800
100	2800	4850	8525
125	2350	4000	6875
150	1800	3000	5050
175	1550	2500	4125
200	1375	2200	3525

2.7. lentelė

Rankos įtrintos druska, prisilietimo plotas 1000mm²

Liesties įtampa, V	Žmogaus kūno varža, Ω		
	5%	50%	95%
25	1795	2425	3275
50	1765	2390	3225
75	1740	2350	3175
100	1715	2315	3125
125	1685	2280	3075
150	1660	2245	3030
175	1635	2210	2985
200	1610	2175	2935

2.8. lentelė

Rankos sausos, prisilietimo plotas 100mm²

Liesties įtampa, V	Žmogaus kūno varža, Ω		
	5%	50%	95%
25	91250	169000	317725
50	74800	136000	250250
75	42550	74000	133200
100	23000	40000	70400
125	12875	22000	37850
150	7200	12000	20225
175	4000	6500	10725
200	3375	5400	8650

2.9. lentelė

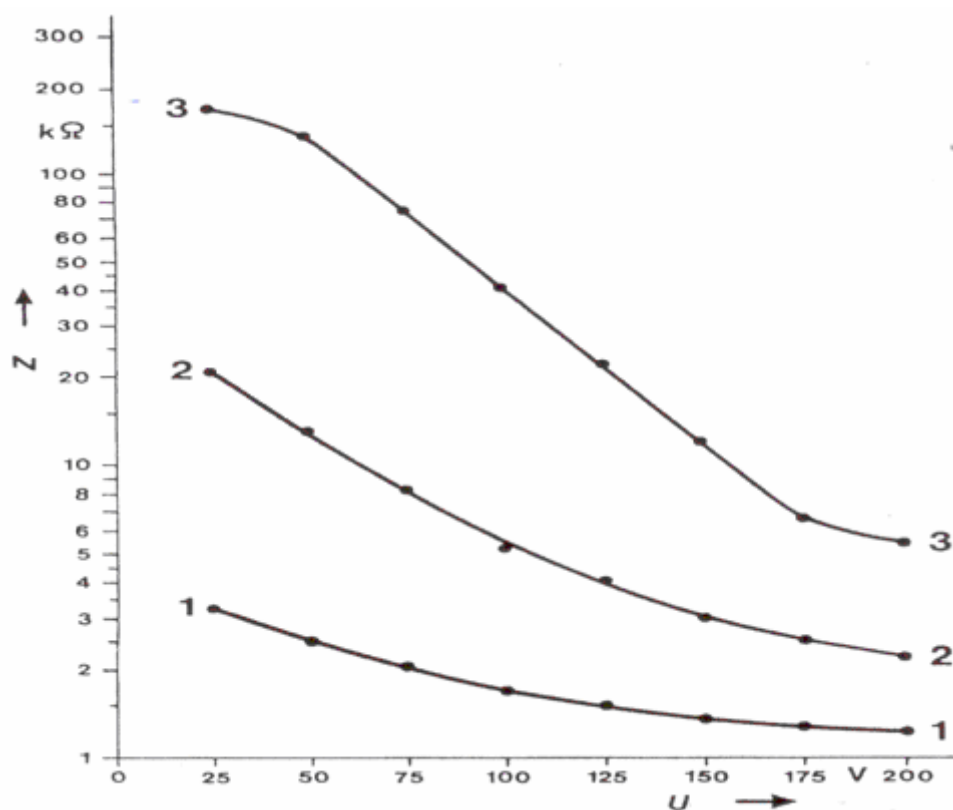
Rankos drėgnos, prisilietimo plotas 100mm²

Liesties įtampa, V	Žmogaus kūno varža, Ω		
	5%	50%	95%
25	39700	73500	138175
50	29800	54200	99725
75	22600	40000	72000
100	17250	30000	52800
125	12875	22000	37850
150	7200	12000	20225
175	4000	6500	10725
200	3375	5400	8650

Rankos įtrintos druska, prisilietimo plotas 100mm²

Liesties įtampa, V	Žmogaus kūno varža, Ω		
	5%	50%	95%
25	5400	7300	9855
50	5105	6900	9315
75	4845	6550	8840
100	4590	6200	8370
125	4330	5850	7900
150	4105	5550	7490
175	3885	5250	7085
200	3700	5000	6750

Iš gautų rezultatų sudaromi grafikai.

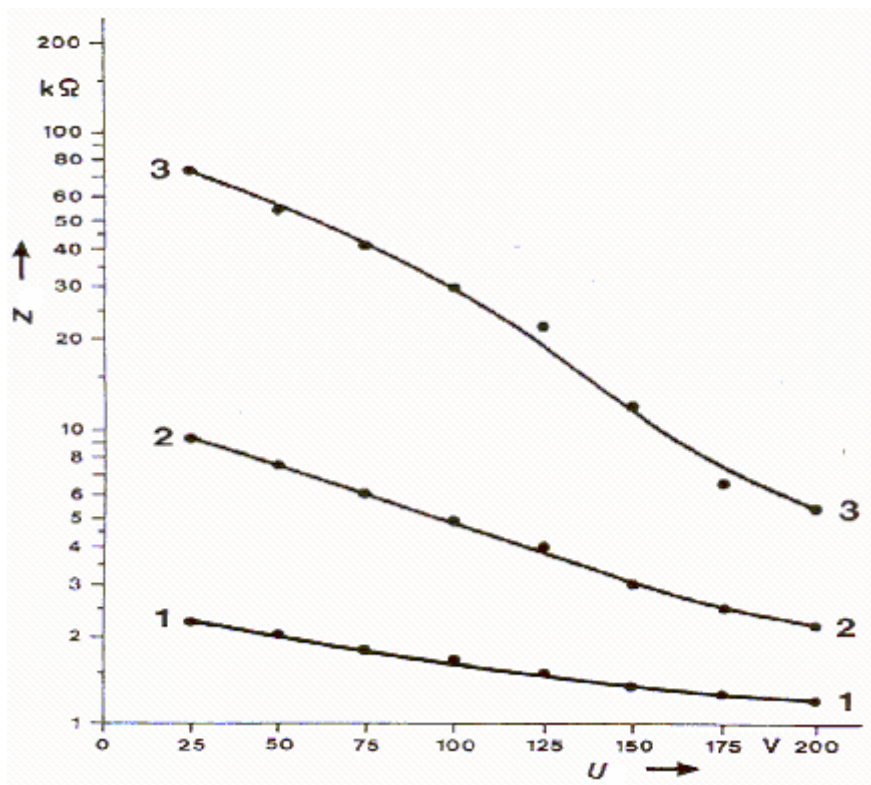


2.3. pav. Žmogaus kūno varžos priklausomybė nuo liesties įtampos esant sausoms rankoms (tikimybė 50%) ir skirtingiems prisilietimo plotams:

1 – 10000 mm² (2.2. lentelė)

2 – 1000 mm² (2.5. lentelė)

3 – 100 mm² (2.8. lentelė)



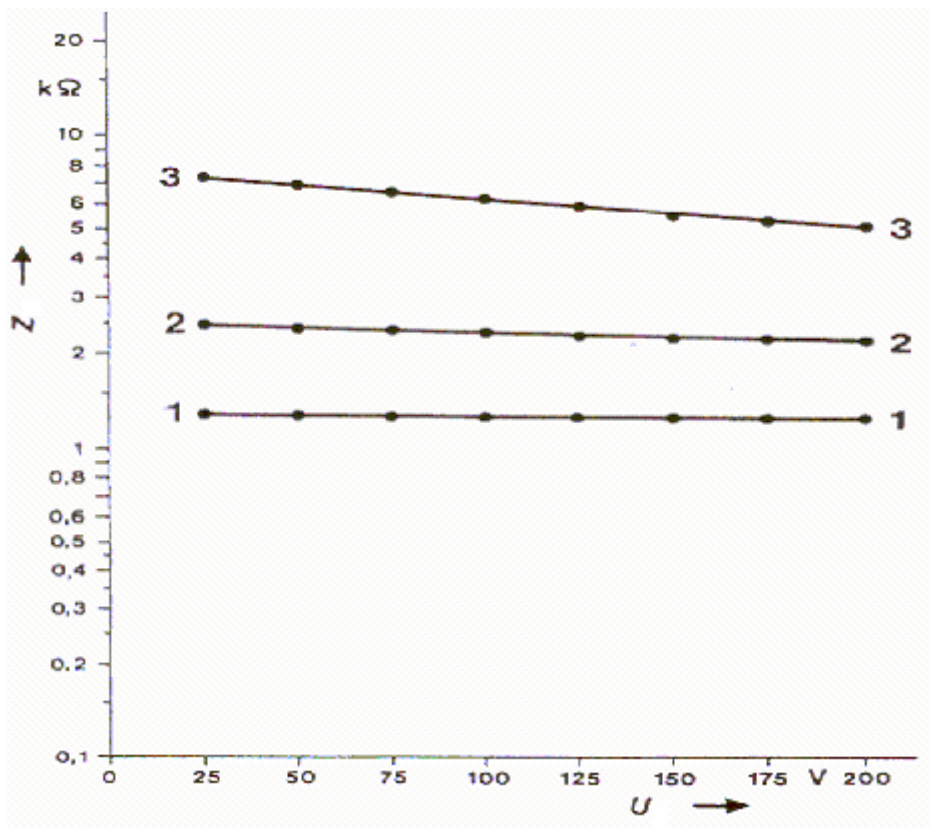
2.4. pav. Žmogaus kūno varžos priklausomybė nuo liesties įtampos esant drėgnoms rankoms (tikimybė 50%) ir skirtingiems prisilietimo plotams:

1 – 10000 mm² (2.3. lentelė)

2 – 1000 mm² (2.6. lentelė)

3 – 100 mm² (2.9. lentelė).

Pagal rusų mokslininką R.N.Kariakiną [11], prisilietimo plotas nebeturi reikšmės esant liesties įtampai apie 200V. Iš 2.3., 2.4. paveikslų akivaizdžiai matoma, kad taip prie 200V nėra, bet tendencija vis dėlto yra. Kuo labiau didėja liesties įtampa, tuo labiau varžos vienodėja esant skirtingiems plotams. Tik esant tam pačiam prisilietimo plotui, bet skirtingoms žmogaus odos būklėms, t.y. sausoms ar drėgnoms rankoms, žmogaus varža praktiškai vienoda, liesties įtampai esant 125V.



2.5. pav. Žmogaus kūno varžos priklausomybė nuo lieties įtampos esant įtrintoms druska rankoms (tikimybė 50%) ir skirtingiems prisilietimo plotams:

- 1 – 10000 mm² (2.4. lentelė)
- 2 – 1000 mm² (2.7. lentelė)
- 3 – 100 mm² (2.10. lentelė).

Kaip matoma iš 2.5. pav., žmogaus varža praktiškai nepriklauso nuo įtampos dydžio. Tai galima paaiškinti galbūt tuo, kad įtrynus rankas druska, ji įsigeria į odą, ir odos varža smarkiai sumažėja. Druska tarnauja kaip kanalas elektros srovei tekant per odą.

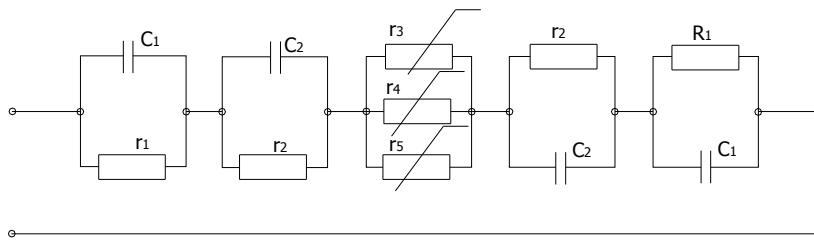
2.1.3. Žmogaus kūno varžos modeliavimas

Žmogaus kūno varžos modeliavimo privalumai:

1. Modelis leidžia įvertinti žmogaus organų ypatumus;
2. Turint varžos modelį galima patikrinti saugos parametrus įvairiose situacijose;

3. Galima gauti daug duomenų neatliekant gausių bandymų su žmonėmis ir gyvūnais;
4. Galima nustatyti prisilietimo parametrus tiriant nelaimingus atsitikimus;
5. Galima patikrinti atestuojamų elektros įrenginių saugos laipsnį.

Jau daug metų bandoma tiksliai apskaičiuoti žmogaus kūno varžą. Sudaryta daugybė skirtingų žmogaus kūno varžos modelių. Vienas pirmųjų ją sudarė Dž. Frikė.[16], vėliau, 1928 metais, D.L.Rubenšteinas sudarė schemas bet kokiam gyvam audiniui. Apie 1960m.V.E.Manoilovas pasiūlė vertą dėmesio schemą žmogaus pilnajai varžai nustatyti:

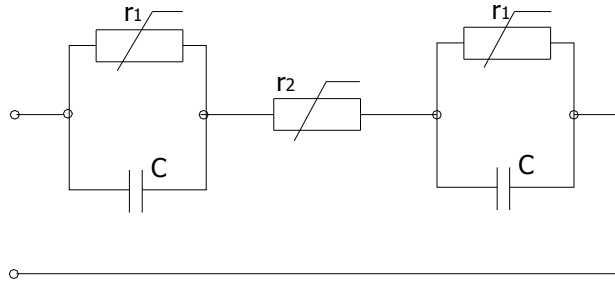


2.6 pav. Pilnosios žmogaus kūno varžos ekvivalentinė schema [16]

Ši schema pasižymi tuo, kad joje pavaizduotos 3 lygiagrečiai sujungtos netiesiškos varžos vaizduojančios vidinių organų varžas (raumenys, kraujotaka ir nervai).

Didžiausią reikšmę šioje schemoje turi epidermio parametrai r_1 ir C_1 , kurie labiausiai priklauso nuo drėgmės, temperatūros ir kitų aplinkos parametrų, o taip pat ir nuo žmogaus būklės. Varžos r_2 kitimas pasireiškia dėl odos galvaninio efekto, o parametrai C_2 įtakos turi dėmesio faktorius.

Kadangi yra labai sunku kiekvienu atveju nustatyti atskirų organų varžas, tai žmogaus pilnąją varžą galima nustatyti pagal supaprastintą modelį (2.7. pav.):



2.7. pav. Supaprastinta V.E.Manoilovo žmogaus kūno varžos schema [16]

čia: r_1 - aktyvinė odos varža;

r_2 - vidaus organų varža;

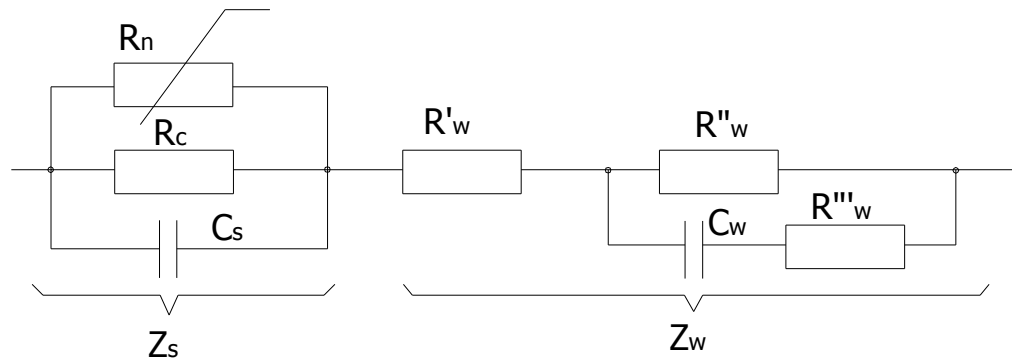
C - odos talpis.

Pilnoji žmogaus kūno varža išreiškiama:

$$Z_{\xi} = \sqrt{4R_1(R_1 + R_2) / [1 + (2\pi f C R_1)^2] + R_2^2}; \quad (2.1)$$

čia: f- dažnis.

Tai tik keletas schemų variantų, kurie buvo sudaryti prieš daugelį dešimtmečių. Dabartinais laikais siūloma ir daugiau schemų. Viena iš jų sudaryta išanalizavus daugelio specialistų, tarp kurių yra V.I.Cuckis, G.Bigelmėjeris, Z. Teriasiakas, G. Fraibergeris, P. Osipka ir kiti, rezultatus[13]. Tokia schema pavaizduota 2.8.pav.



2.8. pav. Pilnosios žmogaus kūno varžos schema

Z_s – pilnoji odos varža;

Z_w – pilnoji vidinių organų varža.

Pilnąją odos varžą Z_s sudaro du dydžiai: netiesinė R_n ir tiesinė R_c varžos. R_n priklauso nuo srovės tekėjimo laiko ir nuo prisilietimo įtampos, o R_c – nuo aplinkos temperatūros, drėgmės ir nuo prisilietimo ploto (ekvivalentinio), kuris randamas pagal formulę:

$$S = S_1 \cdot S_2 / (S_1 + S_2). \quad (2.2.).$$

Odos talpis C_s priklauso nuo odos raginio sluoksnio ir tiesiškai proporcingas nuo ekvivalentinio prisilietimo ploto. Pilnąją vidinių organų varžą sudaro R'_w, R''_w, R'''_w , kurie priklauso nuo srovės tekėjimo kelio. C_w – vidinių organų talpis.

Pilnoji žmogaus kūno varža gali būti aprašoma šiomis priklausomybėmis:

$$Z_z = \sqrt{\frac{[R_{zm}(S, T, \omega, t) \sigma_{\ln R_z}]^2 + [X_{zm}(\omega) \sigma_{\ln X_z}]^2}{[Z_{zm}(S, T, U, \omega, t)]^2}} \quad (2.3.).$$

2.2. Žmogus elektros grandinėje

2.2.1. Eksperimentiniai bandymai

XXa. pradžioje, siekiant bent apytiksliai nustatyti žmogaus kūno varžą, buvo atliekama daugybė elektros srovės veikimo gyvūnams tyrimų. Pakankamai įtikinamai buvo įrodyta, kad 100mA srovė yra mirtina gyvūnams. Tokia išvada buvo padaryta Amerikoje atlikus tyrimus dar 1930m. Jų autoriai L.Feris ir kt. eksperimentavo su keletu tūkstančių gyvūnų (pelės, triušiai, katės, šunys, avys ir kt.) [16].

Iš karto po to, kai mokslininkai kategoriškai pareiškė, kad mirtina srovė yra 100mA, spaudoje pasirodė nauji pranešimai. Jų autoriai, tirdami mirtinus įvykius nuo elektros srovės, nustatė, kad vieni žmonės išgyvena esant žymiai didesnei srovei, o kiti miršta prie žymiai mažesnių srovės reikšmių. Įdomiai skamba austrų mokslininko S.Jelineko žodžiai „Ne bet kokia srovė užmuša, tačiau bet kokia srovė gali užmušti“. Būtent jis vienas pirmųjų bandė tirti elektros srovės poveikį žmogui. Išanalizavęs daugybę atvejų, jis padarė išvadą, kad elektros traumos sunkumą lemia nervinės sistemos būklė prisilietimo metu. Jis nustatė, kad žmogaus kūno varža skiriasi nuo metalų, elektrolitų, kaip vėliau buvo įrodyta, ir nuo puslaidininkių varžų.

Žmogaus kūnas turi sudėtingą kompleksinę sistemą su visų tipų elektriniais laidumais, kurie laikui bėgant nuolat kinta.

S.Jelinekas [16], o vėliau ir kiti mokslininkai, tarp kurių verti dėmesio vokiečių mokslininkai S.Kepenas ir P.Osipka, Tarybų Sąjungos atstovai G.L.Frenkelis ir K.A.Ažibajevs, įrodė, kaip sunku bandymuose su gyvūnais gautus rezultatus prilyginti žmogui. Galima vertinti vieną ar kelis parametrus, kurie pavojingi žmogaus gyvybei, bet negalima prilyginti visą kompleksą parametrų, kurie lemia elektros traumos pavojingumą.

Bandymai su gyvūnais buvo atliekami gyvūnus surišant arba kitaip pritvirtinant įtvaruose. Tokie bandymai buvo labai žiaurūs. Taip elgėsi ir L.Feris ir S.Jelinekas. Gyvūnai, pvz., katės, bandydavo išsilaisvinti, tuo metu buvo įjungtama įtampa ir palengva keliami. Katės žūdavo prie 220V įtampos ir tai tik po 15-20 min. nuo bandymo pradžios. Kitais atvejais gyvūnų nepritvirtindavo, leisdavo jiems laisvai judėti ir įjungdavo įtampą, kuri siekdavo 30-40V. Gyvūnai žūdavo iškart.

Šitokiais bandymais su gyvūnais S.Jelinekas nustatė dėmesio faktorių. Pvz., tie gyvūnai, kurie buvo ramios būsenos ir nelaukė grėšiančios bėdos, mirdavo nuo mažos įtampos, o tie, kuriuos erzino pagaliu, o po to įjungdavo 220V įtampą, elektros srovės smūgį priimdavo kaip smūgį pagaliu.

Šis bandymas buvo daug kartų atliktas ir patikrintas. S.Jelineko žodžiais tariant, atsitiktinai mirti nuo elektros srovės lengva, specialiai užmušti žmogų sunku.

2.2.2. Elektros srovės veikimo mechanizmas

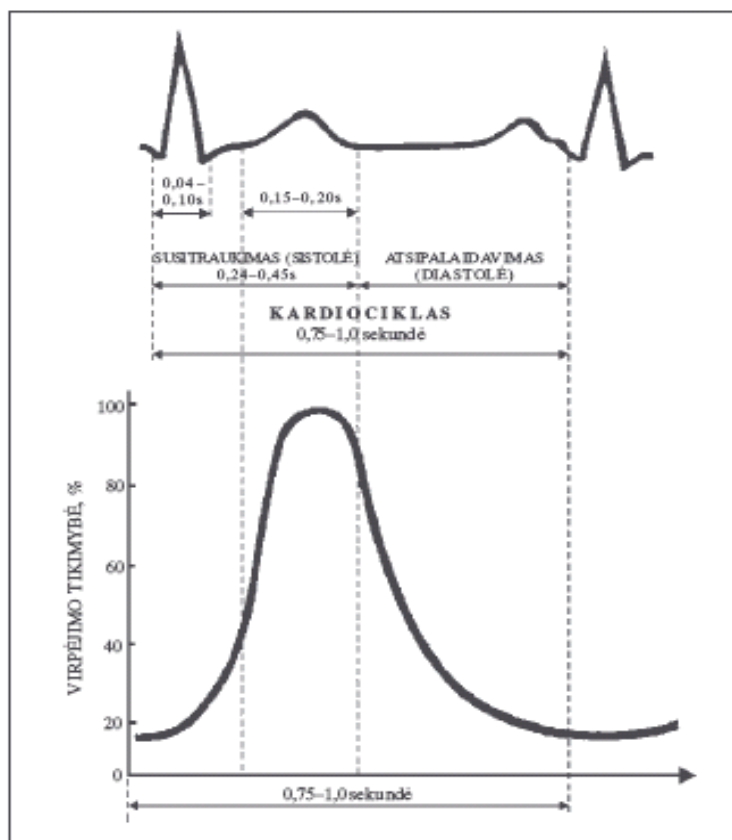
Siekiant sumažinti nukentėjusiųjų nuo elektros srovės skaičių, reikia teisingai įvertinti srovės pavojingumo kriterijus. Šia problema užsiima daugelis specialistų iš įvairių šalių, išleista šimtai darbų, bet bendro atsakymo vis dėlto nėra. Nėra vienintelio atsakymo ir apie tai, kokius gyvybiškai svarbius organus elektros srovė pirmiausiai pažeidžia.

Netikėtas žmogaus prisilietimas prie įrenginio srovinių dalių gali baigtis sunkiomis traumomis arba net mirtimi. Todėl projektuojant ir parenkant apsaugos priemones nuo elektros srovės reikia įvertinti jos leistiną reikšmę.

Srovė ir liesties įtampa sukelia įvairias organizmo reakcijas. Netikėtai prisilietus prie srovinių dalių yra juntamas skausmas prisilietimo vietoje, prarandama sąmonė, gali įvykti reflektorinis nervų sistemos pažeidimas (sustoja širdis, kraujotaka arba kvėpavimas, arba ir viena ir kita kartu). Prisilietimas abiem rankom prie srovinių dalių gali sukelti rankų mėšlungį, jas sunku atitraukti, gali įvykti širdies fibriliacija.

Po daugelio bandymų su gyvūnais įvairių šalių mokslininkai padarė išvadą, kad dažniausiai žmogaus netikėtos mirties priežastis yra širdies fibriliacija.

2.8. paveiksle pateikta elektrokardiogramos iškarpa [16] ir pavojaus širdies virpėjimui kilti priklausomybė nuo srovės tekėjimo per širdį laiko kreivė.



2.8 pav. Pavojaus širdies virpėjimui kilti priklausomybė nuo elektros srovės tekėjimo per širdį laiko

Kiekviename kardiocikle, sistolės periode (pikas QRS), skilveliai susitraukia ir išstumia kraują į arterines kraujagysles. Fazėje T baigiasi skilvelių susitraukimas, ir širdis pereina į atsipalaidavimo (diastolė) būseną. Jos metu skilveliai prisipildo kraujo.

Įrodyta, kad širdis labiausiai jautri elektros srovei kardiociklo T fazės metu. Tai yra, srovei tekant per širdį T fazės metu (0,15-0,2s) yra didžiausia tikimybė, kad įvyks širdies fibriliacija. Todėl taisyklėse yra nurodoma, kad apsaugos aparatas turi atjungti pažeistą grandinę per 0,2 sekundės siekiant sumažinti tikimybę, kad įvyks širdies fibriliacija.

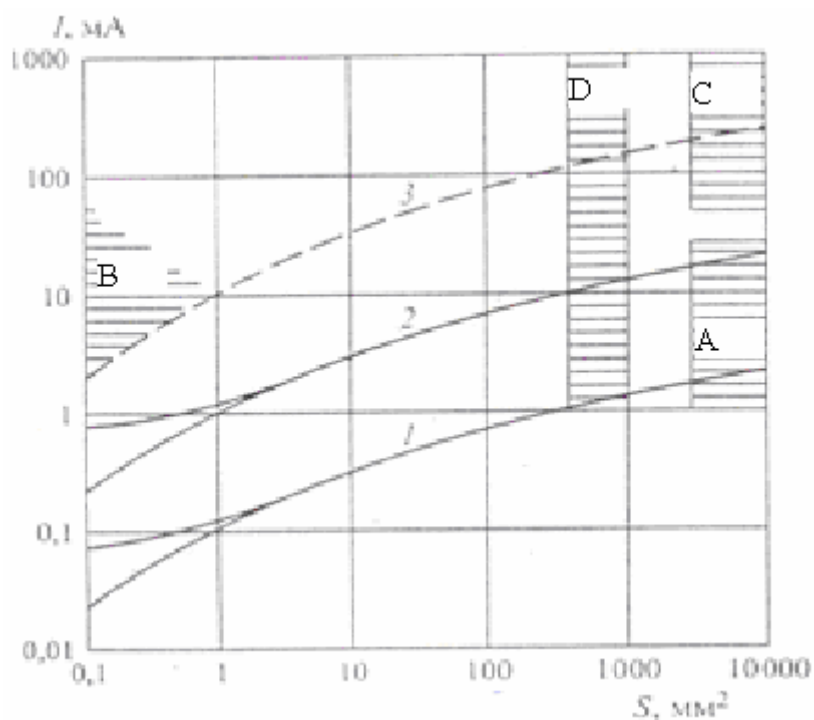
Leistina srove priimta laikyti nefibriliacinę srovę – tai tokia srovė, kuri tekėdama per žmogaus organizmą nesukelia širdies fibriliacijos.

Nejuntamos ir atleidžiančios srovės reikšmės buvo gautos bandymuose su dešimtimis tūkstančių savanorių. Buvo suformuoti pirminiai elektroaugos kriterijai, kurie buvo priimti kaip pagrindas įvairių šalių standartuose.

Pagal rusų mokslininką V.N.Kulikovą [14], suteikti pirmumą pažeidimams, veikiant fibriliaciniam mechanizmui, nėra pagrindo, todėl, kad dažniausiai mirtis nuo elektros srovės ištinka iš karto, o visos sunkios traumos atsiranda akimirksniu praradus sąmonę. Tai įrodo, kad pirmiausiai yra pažeidžiama nervų sistema, o širdies – kraujotakos sistemos arba kvėpavimo funkcionavimo sustojimas yra antrinis poveikis, nes sąmonės netekimas esant širdies fibriliacijai įvyksta po kelių sekundžių, o kvėpavimas sustoja po kelių minučių.

Širdies fibriliacija įmanoma tik retais atvejais, nes jai atsirasti 12-90V įtampos nepakanka [14], o prie 220V įtampos dažniausiai įvyksta odos pramušimas ir srovės veikimas tampa reflektorinis arba mišrus. Be to, reflektorinis pažeidimo mechanizmas plačiai nebuvo tiriamas dėl didelio pavojaus žmogui, nes, atliekant tokius bandymus, pasekmės kartais būdavo visai nelauktos. Reikia atkreipti dėmesį, kad žmogaus prisilietimas abiem rankom prie srovinių dalių gana retas įvykis, o nejuntamos ir atleidžiančios srovės reikšmės buvo gautos būtent esant tokioms sąlygomis.

2.9. paveikslėlyje parodytos nejuntamos (1), atleidžiančios (2), ir mirtinai pavojingos(3) srovės kreivės priklausomai nuo prisilietimo kontakto ploto.



2.9.pav. Neįuntamos (1), atleidžiančios (2), ir mirtinai pavojingos(3) srovės kreivių priklausomybės nuo prisilietimo kontakto ploto.

A – tradiciniai elektros srovės poveikio žmogui bandymai;

B – srovės neatlaikymo zona, kurioje įvyko didžioji dauguma mirtinų įvykių;

C – ypatingai mirtinai pavojingos elektros srovės zona prilausomai nuo veikimo trukmės;

D – tradiciniai elektros srovės bandymai su gyvūnais.

Eksperimentuose atliekant bandymus, kelių miliamperų trumpalaikiu srovės veikimu, prisilietimo vietoje su srovinėmis dalimis ant odos atsiradavo nudegimai. Tokia situacija realiomis sąlygomis esant netikėtumo faktoriui mirtinai pavojinga (B zona). Tai liudija ir V.E.Manoilovo atlikti tyrimai. Iš 100% ištirtų nelaimingų atsitikimų 18% įvyko srovei esant iki 5mA, 24% - 5-10mA, 32% - 11-20mA, 26% - srovei esant virš 21mA. Tokios elektros srovės reikšmės nesukelia širdies fibriliacijos. Kaip matyti 2.9. paveiksle, mirtinai pavojinga srovė gali būti nuo kelių iki kelių šimtų miliamperų.

Šiuo metu daugelis projektuotojų skaičiavimuose priima žmogaus kūno varžą lygią $1\text{k}\Omega$, nors nei norminiuose dokumentuose, nei taisyklėse šis dydis nenurodomas. Žmogaus kūno elektrinė varža priklausomai nuo daugelio faktorių yra plačiame diapozone – nuo dešimčių omų iki kelių šimtų megaamperų.

Rekomenduojama $1\text{k}\Omega$ varža pritaikoma retais atvejais, ir negali būti taikoma nustatant elektros grandinės per žmogų parametrus visais elektros traumų atvejais. Todėl nustatant leistinąsias poveikio sroves, liesties įtampas žmogui, neišsiaiškinus konkrečių sąlygų, dėl ko įvyko trauma, neleistina. Nes vienais atvejais 12V mirtinai pavojinga, o kitais 380V ir net 500V neįuntami. Pasak

rusų mokslininko V.N.Kulikovo, dažniausiai elektros traumos priežastimi yra reflektorinis pažeidimo mechanizmas, o fibriliacinis įmanomas tik retais atvejais. Nes srovė iki 10mA nepavojinga esant fibriliaciniam pažeidimo mechanizmui, bet mirtinai pavojinga – esant reflektoriniam.

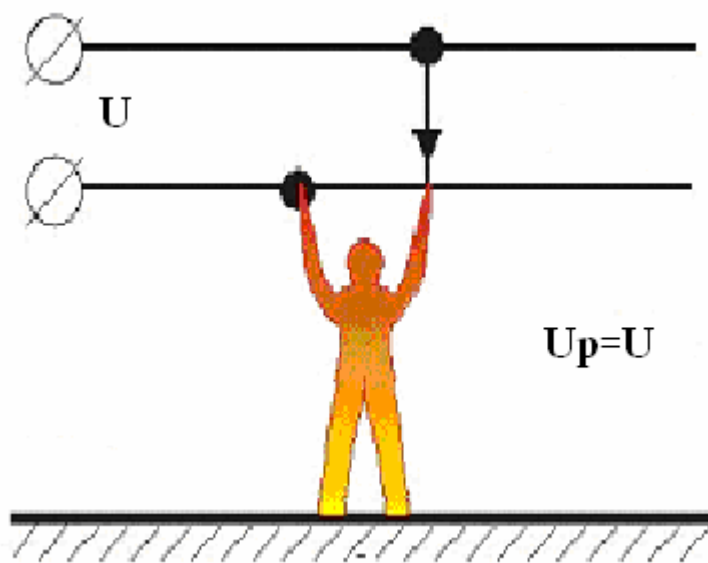
2.3. Elektros pavojingumo kriterijai

2.3.1. Įtampa

Tiriant žmogaus kūno varžą, įtampa yra pagrindinis parametras, nes būtent įtampos dydis lemia elektros traumos sudėtingumą. Be to, įtampa yra patogus parametras normuojant elektroaugos reikalavimus.

Anksčiau buvo laikoma, kad traumos pasekmės priklauso nuo tinklo įtampos: kuo didesnė tinklo įtampa, tuo sudėtingesnės traumos pasekmės. Pagal šiuos požymius buvo klasifikuojamos elektros traumos, analizuojami statistiniai duomenys ir atliekami bandymai su gyvūnais. Pagal V.E.Manoilovą, toks elektros traumų tyrimas neleidžia teisingai įvertinti įtampos pavojingumą. Pvz., 1985m. buvusioje Tarybų Sąjungoje tinkle iki 1000V įvyko 76,8%, o tinkle virš 1000V – 23,2% mirtinų traumų [16].

Nevertėtų maišyti liesties įtampos su tinklo įtampa. Tik retais atvejais esant dvipoliam prisilietimui (2.10. pav.), liesties įtampa gali būti lygi tinklo įtampai. Visais kitais atvejais ji mažesnė, o kartais ir daug mažesnė.



2.10. pav. Dvipolis žmogaus prisilietimas prie tinklo.

Remiantis V.E.Manoilovo [16] atliktais tyrimais, galima teigti, kad žmogus neatskiria kintamos įtampos nuo nuolatinės, jei elektrodai yra pritvirtinami prie pečių. Visais atvejais žmonės jausdavo aštrų skausmingą dūrį. Bet jei elektrodus įduodavo į rankas, tai žmonės lengvai atskirdavo kintamą įtampą nuo nuolatinės. Ir, kad pasiekti skausmą, jaučiamą veikiant kintamai įtampai, nuolatinę įtampą reikėjo didinti 1,5-1,8 karto.

Dar 1953m. V.E.Manoilovas [16] savo daktarinėje disertacijoje nurodė, kad veikiant kintamai įtampai žmogus reaguoja į amplitudinę įtampos reikšmę. 1956 m. tokią pat išvadą padarė ir Dalzielis.

Todėl, pasak V.E.Manoilovo, vertėtų persvarstyti apie kintamos ir nuolatinės įtampos pavojingumą. Jei elektros trauma pasireiškia veikiant reflektoriniam mechanizmui, o veikimo trukmė - sekundės dalimis, tai skirtumo tarp kintamos ir nuolatinės įtampos veikimo praktiškai nebus.

2.3.2. Srovė

1936 metais Ferisas, Kingas, Spensas ir Viljamsas [16] pirmakart atliko bandymus su gyvūnais siekiant nustatyti mirtinai pavojingos srovės reikšmes, kuri sukelia širdies fibriliaciją. Gautus rezultatus prilygino 70 kg žmogui ir gavo 260 mA srovę. Tačiau įvertinę, kad žmogus yra žymiai sudėtingesnis organizmas, padarė išvadą, kad srovę virš 100 mA reikia laikyti mirtinai pavojinga. Ši reikšmė tapo norma daugelyje pasaulio šalių. Įvairių šalių literatūroje galima rasti elektros srovės poveikio skirtingą įvertinimą 2.11.lentelėje pateiktos keleto autorių skirtingos srovės reikšmės. Iš 2.11.lentelės matoma, kad visi autoriai 100 mA laiko mirtina srove. Šią srovės reikšmę galima rasti ir techniniuose normatyvuose – taisyklėse, standartuose, instrukcijose. Kad 100 mA yra mirtina srovė žino visi tie, kurie susiduria su elektros įrenginių eksploatacija.

Skirtingų autorių nustatytos srovės reikšmės fiziologinėms reakcijoms

Eil. Nr.	Fiziologinės reakcijos ch-kos	Srovės reikšmės, mA					
		Vėberis	Koven- chovenas	Vezen- tinas	Šveicarijos elektrikų draugija	Velase- kas	Dalzie- lis
1.	Jutimo slenkstis	0,1-1,4	1,0-2,0	-----	0,9-1,6	0,5	0,4-1,9
2.	Stipri raumenų nervinė reakcija	0,8-2,4	6-8 (moterys) 8-22 (vyrai)	6-7 (moterys) 8-9 (vyrai)	3,5-4,5	-----	-----
3.	Prasideda traukuliai, bet žmogus pats dar gali nutraukti grandinę	9-15	-----	-----	13-15	15	10-13
4.	Traukuliai, žmogus negali nutraukti grandinės	19-22	-----	15	15	30	-----
5.	Žmogus atlaiko srovę neprarasdamas sąmonės	22-50	-----	-----	-----	50	-----
6.	Širdies fibriliacija	-----	-----	100	100	100	100
7.	Fiksuoti traukuliai, privedantys prie kvėpavimo sustojimo	-----	Keletas amperų	Keletas amperų	-----	-----	-----

Bet kokios rūšies pažeidimas priklauso nuo srovės didumo ir nuo srovės tekėjimo laiko.

2.3.3. Trukmė

Pirmą kartą elektros traumos priklausomybę nuo elektros srovės poveikio laiko dar prieš porą šimtų metų nurodė A.Volta [16]. Bet jo stebėjimai liko nepastebėti. Ir tik Hurvegas eksperimentiniais bandymais įrodė, kad liesties įtampa atvirkščiai proporcinga poveikio laikui.

Nors dabar visi ir tiki, kad yra ryšys tarp elektros traumos sunkumo ir elektros srovės poveikio laiko, bet literatūroje yra labai mažai duomenų nustatant tikrąsias reikšmes. Dalzielis, analizuodamas Kolumbijos universiteto gautus duomenis, padarė išvadą, kad 92,5% žmonių gali atlaikyti elektros srovę, kuri nesukelia širdies fibriliacijos priklausomai nuo laiko:

$$I = \frac{0,165}{\sqrt{t}}; \quad (2.4.)$$

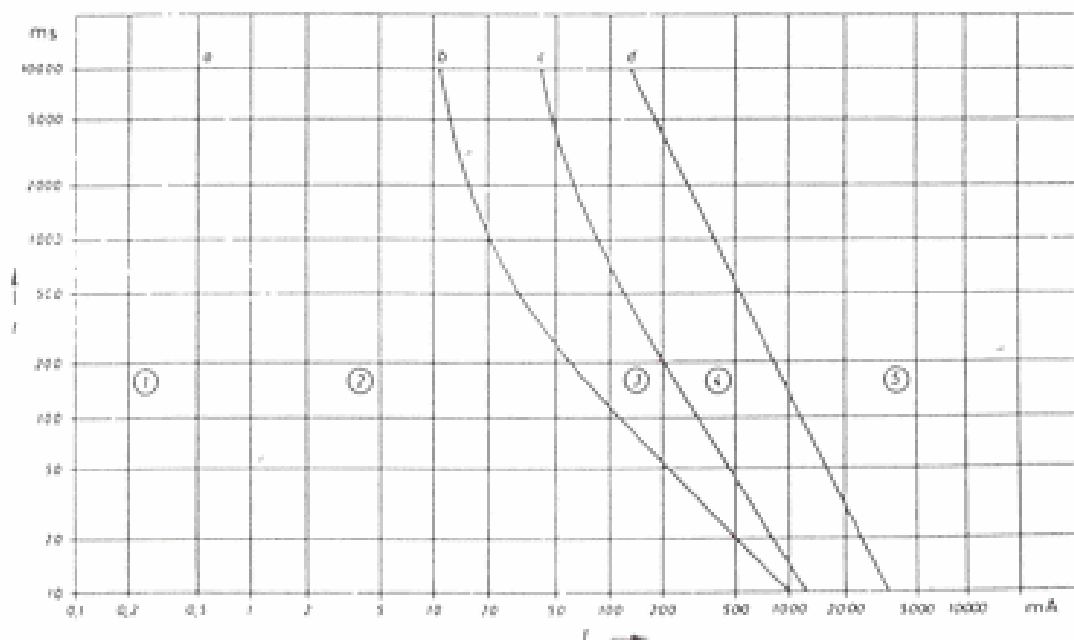
t – srovės poveikio laikas;

0,165 – bandymų keliu nustatytas pastovus koeficientas.

Pagal Dalzielį [16], ši formulė tinka laiko intervalui 0,03-3 s ir srovėms 40-50 mA. Jei žmogus elektros srovę gali atlaikyti ilgą laiką, tai ši formulė netinka.

Pagal formulę lengva paskaičiuoti, kad žmogus 100 mA gali atlaikyti net 2,7 sekundės, o per 1 sekundę net 165 mA. Pasak V.E. Manoilovo, Dalzielis klydo, nes tyrė tik fibriliacinį veikimo mechanizmą, kadangi kitokio jo sąlygomis, jis negalėjo atlikti.

1974 metais Tarptautinės elektrotechnikos komisijos standarte IEC 479 pirmą kartą pasirodė išnagrinėtas ryšys tarp srovės dydžio ir žmogaus reakcijos [8] (2.11. pav.).



2.11 pav. Srovės dydžio ir poveikio laiko ryšys pagal IEC 479

1 zona – be pasekmių;

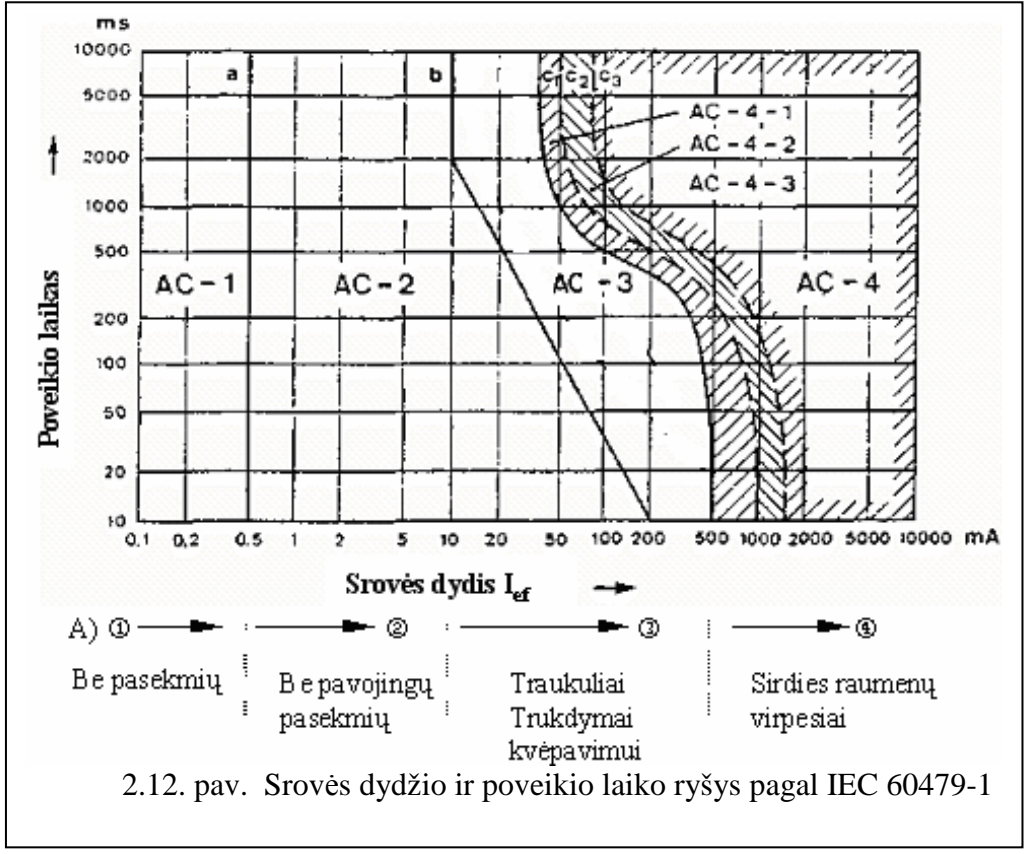
4 zona – fibriliacijos pavojus;

2 zona – be pavojingų pasekmių;

5 zona – širdies fibriliacija (50% tikimybė).

3 zona – nėra pavojaus fibriliacijai;

Sekančiame leidime 1994 metais IEC 60479-1 standarte pasirodė šiek tiek pakoreguotas ryšys tarp srovės dydžio ir žmogaus reakcijos [8] (2.12. pav.).



3. ŠIUOLAIKINĖ KONCEPCIJA UŽTIKRINANTI SAUGĄ ELEKTROS ĮRENGINIUOSE

Sudarant apsaugos nuo elektros srovės pažeidimo sistemą, reikia:

- žinoti fiziologinį elektros srovės veikimą žmogui atsidūrus elektros grandinėje;
- turėti patirties tiriant mirtinus pažeidimus;
- detaliai žinoti apie prietaisus, kurie gali būti panaudoti apsaugai nuo elektros srovės pažeidimo, taip pat lengvai pritaikomi, ekonomiškai ir atitinkantys taisykles ir normas.

Žmogaus gyvybės ir sveikatos apsauga nuo kenksmingo elektros poveikio, taip pat žmogaus turto apsauga nuo pavojingo elektros ar su ja susijusių reškinių poveikio įvairiose šalyse vertinama ir realizuojama skirtingai. Pvz. JAV ir Japonijoje, kur fazinė įtampa yra lygi 120V, nėra tokių griežtų reikalavimų kaip tinkluose, kur fazinė įtampa siekia 230V. JAV ir Japonijoje plačiai naudojami kilnojami prietaisai su „0“ klasifikacija, t.y., jie apsaugoti tik pagrindinės izoliacijos, bet neturi išžeminimo gnybto. Tokiuose tinkluose gali būti naudojami kištukai be išžeminimo kontakto.

Yra kuriamos ir praktikuojamos įvairios apsaugos koncepcijos. Daugumoje šalių, tarp jų ir Lietuvoje, galioja triguba žmonių ir jų turto apsaugos koncepcijos samprata (11.pav.). Ši triguba apsaugos koncepcija numato tris nepriklausomus apsaugos lygius:

- pagrindinė apsauga;
- apsauga nuo pažaidos;
- papildomoji apsauga.



3.1. pav. Triguba žmonių ir jų turto apsaugos koncepcijos samprata [9].

3.1. Pagrindinė apsauga

Pagrindinė apsauga reiškia apsaugą nuo tiesioginio prisilietimo prie srovinių dalių. Tai atlieka pagrindinė izoliacija, barjerai, užtvaros, atstumai, įtampos apribojimas, nusistovėjusios liesties srovės ir krūvio apribojimas:

Pagrindinė izoliacija. Patirtis rodo, kad elektros įrenginių darbo kokybė visų pirmausia priklauso nuo izoliacijos būklės. Jos pažeidimas būna nelaimingų atsitikimų priežastimi. Izoliacijos kokybė pasiekama:

- teisingai pasirinkus izoliacinę medžiagą, jos storį bei formą atitinkančius naudojamai įtampai;
- teisingai įvertinus eksploatacijos sąlygas;
- reguliariai atliekant profilaktiką.

Kai pagrindinė izoliacija yra kietasis kūnas, ji turi apsaugoti nuo sąlyčio su pavojingomis įtampą turinčiomis dalimis. O jei pagrindinė izoliacija yra oras, tai prisilietimo prie įtampą turinčių dalių turi būti išvengta naudojant kliūtis, užtvaras ar gaubtus.

Užtvaros ir gaubtai. Užtvaros ir gaubtai turi būti pakankamai mechaniškai atsparūs, stabilūs ir ilgalaikiai, kad išlaikytų nustatytą apsaugos laipsnį, atsižvelgiant į visus atitinkamus aplinkos poveikius ir gaubto viduje susidarancius procesus. Jie turi būti patikimai pritvirtinti savo vietoje.

Kliūtys. Jos yra skirtos apsaugoti kvalifikuotus ir instrukuotus asmenis, bet jos nėra skirtos apsaugoti nespecialistams. Kliūtys yra įrengiamos įrenginiams ar įrangai dirbant ypatingomis darbo ir techninės priežiūros sąlygomis. Kliūtys turi neleisti:

- kai naudojami žemosios įtampos įrenginiai, netyčia prisiliesti prie įtampą turinčių dalių,
- kai naudojami aukštosios įtampos įrenginiai, netyčia patekti į pavojingą zoną.

Nusistovėjusios liesties srovės ir krūvio apribojimas. Nusistovėjusios liesties srovės ir krūvio apribojimas turi neleisti, kad žmonės būtų paveikti pavojingų ar juntamų nusistovėjusios liesties srovės ir krūvio verčių.

3.2. Apsauga nuo pažaidos

Įvykus izoliacijos pažaidai apsauga turi suveikti per 0,2 sekundės, kad nebūtų viršyta leistina prisilietimo įtampa. Tai gali atlikti:

- automatinis pažeistų grandinės vietų atjungimas automatiniais jungikliais;
- potencialų išlyginimas;
- įnulinimas;
- apsauginis įžeminimas;

- elektrinis grandinių atskyrimas (skiriamieji transformatoriai);
- saugi įtampa.

Apsauginis atjungimas. Tai savarankiška apsaugos priemonė sauganti žmogų nuo įtampos, kuri gali atsirasti ant metalinių paviršių. Apsauginis atjungimas visų pirma turi pasireikšti greitaeigiškumu. Kuo mažesnis atjungimo laikas, tuo patikimesnė apsaugos sistema. Vienas iš apsauginio atjungimo privalumų yra tas, kad jis gali atjungti nesant pilnam trumpam jungimui, t.y. dar tik vystantis pažeidimui.

Potencialų išlyginimas. Potencialo išlyginimas gali būti naudojamas įrengiant papildomus žemės elektrodus, kuriais siekiama sumažinti liesties įtampą ir žingsnio įtampą, atsirandančias įvykus pažeidai. Potencialų išlyginimo tikslas – padaryti žmogaus gyvenimo aplinką saugią nuo potencialų skirtumo. Tai reiškia, kad visos laidžios elektrotechninių ir neelektrotechninių įrengimų, statybinių konstrukcijų dalys būtų tarpusavyje sujungtos. Dalys, kurios negali išlaikyti vienodo potencialo (negali prisijungti prie bendros potencialų išlyginimo sistemos), turi būti atskirtos nuo atskirų įrengimų tokiu būdu, kad jos nebūtų pasiekiamos bendram prisilietimui. Jeigu izoliacijos pažeidimo ar indukcijos rezultate atsiranda įtampos impulsas ant vienos pasiekiamos laidžios dalies, tai visos pasiekiamos laidžios dalys turi įgauti tą pačią įtampą, kad išvengtume potencialų skirtumo, kuris pavojingas žmogui. Tais atvejais, kai viena iš pasiekiamų dalių yra žemė, visi supantys įrengimai turi būti sujungti su žeme kuo mažesne varža. Tam neužtenka sujungti visas pasiekiamas įrengimų ir konstrukcijų dalis tarpusavyje. Didelis dėmesys turi būti atkreiptas apsaugai nuo atsitiktinių potencialų atsiradimų, kur potencialų išlyginimas negali būti laikomas adekvačia apsauga.

Įnulinimas. Iki 1000V įtampos tinkluose – pasyviųjų įrenginio dalių sujungimas su tiesiogiai žeminta trifazio maitinimo šaltinio neutrале. Tuo siekiama apsaugoti žmogų nuo įtampos, kuri gali, įvykus izoliacijos pažeidai atsirasti ant metalinių įrenginio dalių. Įnulinimas sumažina nulinio laido varžą, todėl sumažėja liesties įtampa.

Apsauginis įžeminimas. Pasyviųjų elektros įrenginio dalių įžeminimas, siekiant apsaugoti žmones nuo elektros srovės poveikio. Apsauginio įžeminimo paskirtis – užtrumpinimą į korpusą paversti faziniu trumpuoju jungimu. Tokiu atveju teka didelė trumpojo jungimo srovė, ir automatiniai jungikliai arba saugikliai užtrumpintą fazę arba visą elektrinį įrenginį atjungia nuo elektros tinklo.

Elektrinis grandinių atskyrimas. Šiuo atveju yra panaudojamas skiriamasis transformatorius, kurio antrinė apvija patikima atskirta nuo pirminės apvijos ir nuo žemės.

3.3. Papildomoji apsauga

Papildomoji apsauga įvykdoma apsauginiais jungikliais FI. Siekiant, kad neįvyktų širdies fibriliacija, apsauga turi suveikti per 0,2 sekundės, tekant ne didesniai kaip 30mA srovei. Papildomosios apsaugos pagrindinis uždavinys yra apsaugoti žmogų nuo netikėto tiesioginio prisilietimo prie srovinių dalių. Ši apsauga gali būti naudojama tik esant pagrindinei apsaugai nuo tiesioginio prisilietimo.

Apsauginiai jungikliai FI gali dirbti įvairiuose tinkluose, turinčiuose N ar PE laidą, tačiau įvairiose tinklo schemose jų funkcijos gali būti vykdomos skirtingai. Būtina tvirtai žinoti, kad apsauginiai jungikliai FI, kaip papildoma apsaugos priemonė, negali atlikti savo funkcijų TN-C tinkluose dėl šių priežasčių. Visų pirma, dalis pažeidimo srovės tekančios per žmogaus kūną, jam atsitiktinai prisilietus prie įrenginio srovinių dalių, gali grįžti per apsauginį jungiklį ir pastarasis gali neskirti pažeidimo srovės nuo darbinės. Antroji priežastis yra ta, kad po šio aparato gali būti vienas ar keli įrenginiai, turintys tiesioginį ryšį su žeme. Šiuo atveju dalis pažeidimo srovės gali grįžti į maitinimo šaltinį žeme esant normaliam režimui, o apsauginis įrenginys ją vertins kaip skirtuminę nuotėkio srovę ir, jos dydžiui viršijus įrenginio jautrumo vertę, grandinė bus klaidingai atjungta. Kadangi pagal savo veikimo principą apsauginiai jungikliai FI fiksuoja į jų saugomą vartotoją faziniu laidu ateinančios srovės dydį, jį lygina su iš ten grįžtančios darbinio nulio (N) srovės dydžiu ir esant skirtumui, viršijančiam jų jautrumą (10 ar 30mA), vertina tai kaip pažeidimą ir atjungia pažeistą ruožą.

Tai labai maži dydžiai, todėl šie aparatai statomi konkrečioms linijų atkarpoms apsaugoti ir pagrindinė jų paskirtis – žmonių apsauga nuo tiesioginio prisilietimo. Aišku, jie apsaugo ir nuo nuotėkio (įžemėjimo) srovių, todėl gali būti naudojami ir apsaugai nuo gaisro.

Apsauginiai jungikliai FI turėtų būti privalomi:

- voniose ir dušuose;
- dengtuose ar atviruose baseinuose;
- drėgnose ir šlapiose patalpose, įrenginių apsaugai atvirame ore;
- fontanuose.

Apsauginiai jungikliai FI rekomenduojami šiose srityse:

- statybos aikštelėse;
- žemės ūkio ir sodo įrenginiuose;
- laivuose, jachtose, kempinguose, stovėjimo aikštelėse;
- judančiuose įrenginiuose, mašinos;
- laboratorijose, auditorijose.

4. SAUGOS NORMATYVAI

4.1. Leistinosios liesties įtampos

Nelaimingų atsitikimų analizė buvusioje Sovietų Sąjungoje rodo, kad galima išskirti 3 elektrotraumų priežasčių grupes:

1. Aplaidi elektros ūkio eksploatacija, dėl kurios sumažėja izoliacijos lygis, atsiranda didesnė ar mažesnė įtampa ant pasyviųjų ir pašalinių elektros įrenginio dalių, blogai veikia apsaugos priemonės. Ši priežasčių grupė sąlygoja iki 45% visų elektros traumų.
2. Bloga darbo vietos organizacija, nepakankamas apmokymas, darbo drausmės pažeidimai ir jų toleravimas. Tokios priežastys lemia apie 30% visų elektros traumų.
3. Netobulas elektros įrangos kontroliavimas, jos montavimo metu padarytos klaidos, kontrolės stoka priimant elektros įrenginius eksploatavimui. Dėl to įvyksta apie 25-35% elektros traumų.

Dabartiniu metu situacija yra pasikeitusi. Labai padidėjusi darbdavio atsakomybė sugriežtino reikalavimus techniniams ir organizacinėms saugos priemonėms. Santykius darbo rinkoje lemia, kad darbuotojas, bijodamas prarasti darbą arba dalį užmokesčio, stengiasi nepažeisti saugaus darbo taisyklių, geriau aprūpinamas individualiomis saugos priemonėmis, geriau paruošiamas darbui. Iš kitos pusės, noras daugiau padaryti ir gauti didesnę užmokesčių, bei būti labiau darbdavio vertinamu, skatina darbuotoją sąmoningai pažeisti saugos reikalavimus, dirbti nepilnai išjungus įtampą.

Nelaimingų atsitikimų analizės duomenimis, dabartiniu metu elektrotraumų priežasčių priskirtymas yra bene toks pats, kaip aprašyta anksčiau.

Nurodytose elektros traumų priežasčių grupėse aiškiai dominuoja (1 ir 2 grupės) priežastys susijusios su eksploatavimu ir tik apie 30% susijusios su elektros įrangos projektavimo ir montavimo problemomis. Todėl tvarkant elektros įrenginių ūkį įmonėje, pirmoje vietoje turi būti kreipiamas dėmesys į eksploatavimo techninę ir organizacinę puses. Akivaizdu, kad nereikia didelių investicijų ir laiko elektrotraumų būklei įmonėje pagerinimui.

Žymiai sudėtingiau yra pašalinti 3 grupės priežastis priklausančias nuo gamintojų, projektuotojų, bei montuotojų, kurie savo srityje remiasi normatyvais, taisyklėmis ir standartais.

Lietuvoje prie normatyvinių dokumentų susijusių su sauga nuo elektros, galima priskirti statybos tvarkomąjį reglamentą (STR), Elektros įrenginių įrengimo taisyklės ir papildus prie jų

(EIT), Saugos eksploataavimo taisyklės (SET) Elektros stočių ir tinklų eksploataavimo taisyklės (ESTET), Bandymų normos ir apimtys (BNA), standartus ir kitus dokumentus.

Šiame darbe buvo bandoma atlikti tyrimą – kaip derinasi elektros saugų reikalavimai ir EIT normatyvai. Tokį tyrimą paskatino tai, kad buvo pastebėti skirtumai, tarp ir aukščiau išvardintų dokumentų ir elektros saugos normų, bei užsienyje galiojančių normatyvų (vokiečių, rusų). Pagrindiniai su sauga susiję parametrai yra: įtampa, žmogaus kūno varža, įžeminimo įrenginių varža, apsaugos aparatų charakteristikos, fazė – nulio kilpos varža, srovės veikimo laikas, liesties įtampos ir t.t.

Dabartiniu metu, pradėjus naudoti naujos kartos apsaugos aparatus, tarp jų srovės nuotėkio reles, tapo labai svarbus liesties įtampos parametras. Galioja tarptautiniai susitarimai, nustatantys didžiausius leistinus liesties įtampų dydžius.

4.1., 4.2., 4.3. lentelėse yra pateikiamos leistinosios liesties įtampos Lietuvoje, Rusijoje bei Vokietijoje, Austrijoje normaliose patalpose.

4.1. lentelė

Leistinosios liesties įtampos Lietuvoje [2]

Poveikio trukmė, s	10	1,1	0,72	0,64	0,49	0,39	0,29	0,2	0,14	0,08	0,04
Prisilietimo įtampa, V	80	100	125	150	220	300	400	500	600	700	800

4.2. lentelė

Leistinosios liesties įtampos Rusijoje [18]

Poveikio trukmė, s	>1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2	0,1	0,08
Prisilietimo įtampa, V	20	60	70	75	85	95	105	135	160	340	550

4.3. lentelė

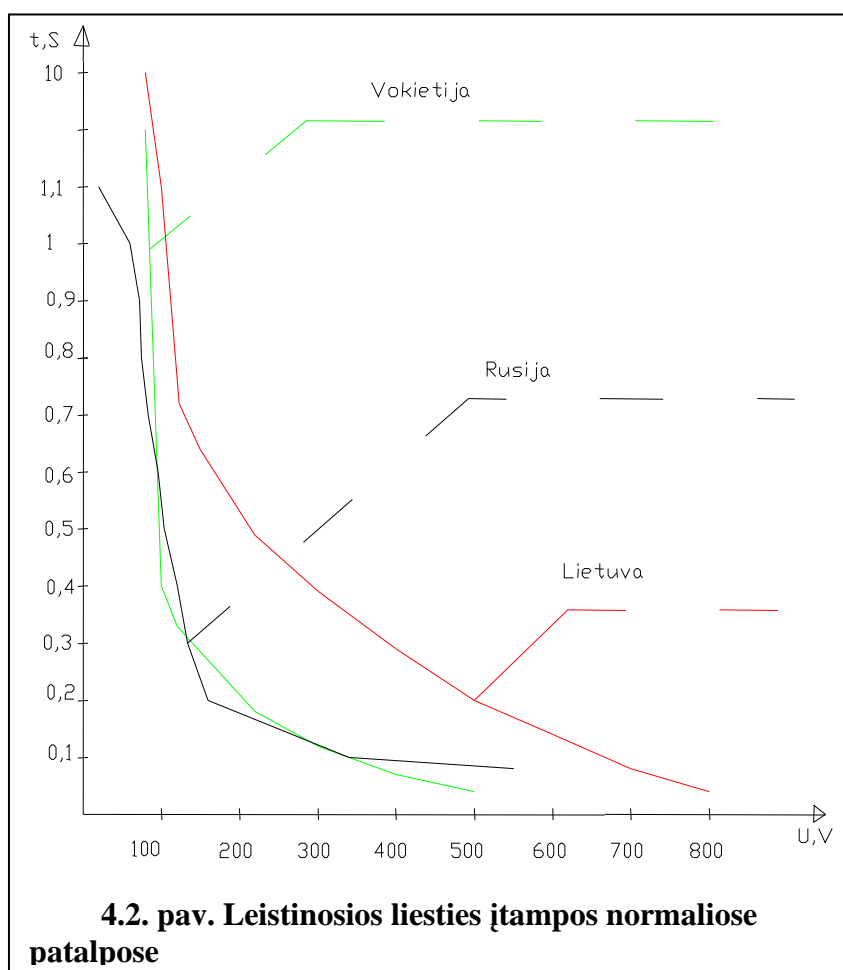
Leistinosios liesties įtampos Vokietijoje, Austrijoje [9]

Poveikio trukmė, s	:	1,6	0,4	0,33	0,18	0,12	0,07	0,04
Prisilietimo įtampa, V	<50	75	100	125	220	300	400	500

Čia ir išryškėja pagrindiniai skirtumai tarp mūsų šalyje ir kitose šalyse galiojančių taisyklių. Akivaizdžiai matoma, kad Lietuvoje galioja žymiai didesnės liesties įtampos ir ilgesnės poveikio trukmės. Kai tuo tarpu Rusijos ir Vokietijos liesties įtampos yra labai panašios. Kaip jau buvo nagrinėta anksčiau, esant tokioms liesties įtampoms Lietuvoje, žmogus atsiduria žymiai nepalankesnėse sąlygose.

Šiuo metu prioritetas teikiamas tam tikrai sutartinės liesties įtampos ribai, kaip vienam iš pagrindinių apsaugos nuo elektros pavojų kriterijui, kurios ilgalaikė vertė visais atvejais neturi viršyti 50V (normaliose patalpose) ir 25V (pavojingose patalpose). Kitas kriterijus – apsaugos suveikimo laikas. TN sistemoje esant 230V fazinei įtampai apsauginio įtaiso suveikties laikas turi būti iki 0.2s .

Rusijoje priimta, kad poveikio laikas, kuris viršija keletą sekundžių, yra ilgalaikis. Tuo tarpu Lietuvoje (4.1.lentelė) 10 s dar nėra ilgalaikis. Taip yra pateikta Elektros įrenginių įrengimo taisyklėse [2]: “Leistinoji prisilietimo įtampa eksploatuojant elektros įrenginius turi būti ne aukštesnė kaip nurodyta lentelėje, o jeigu įtampa išlieka ilgą laiką, tai ji turi būti ne aukštesnė kaip 50V AC“. Jei esant 80V liesties įtampai leistinas poveikio laikas yra 10 s, tai koks jis bus prie 50V liesties įtampos? Labai ryškūs skirtumai matomi 4.2. pav., kuriame pateiktos Lietuvoje, Rusijoje bei Vokietijoje galiojančios leistinosios liesties įtampos.



JAV normaliose patalpose leistinoji liesties įtampa normuojama pikine (prisilietimo momentu įtampa šokteli) jos reikšme, kuri sudaro 42,4V kintamos srovės (nusistovėjusi jos reikšmė siekia 30V) ir 60V nuolatinės srovės. Pavojingose patalpose įtampos reikšmės sumažėja dvigubai. JAV naudojamos leistinosios įtampos reikšmės buvo nustatytos prieš daugelį metų ir, ko gero, turi pakankamai didelias atsargas. Mažesnė tinklo įtampa (120V) leidžia naudoti žymiai mažesnes leistinasias liesties įtampas nenaudojant papildomų apsaugos priemonių.

Nesutapimų esama ir daugiau. 4.4., 4.5. lentelėse pateiktos Lietuvoje bei kitose Europos šalyse galiojančios leistinosios liesties įtampos specialiose patalpose (voniose, dušuose ir t.t.), kur saugia įtampa yra laikoma 25V AC.

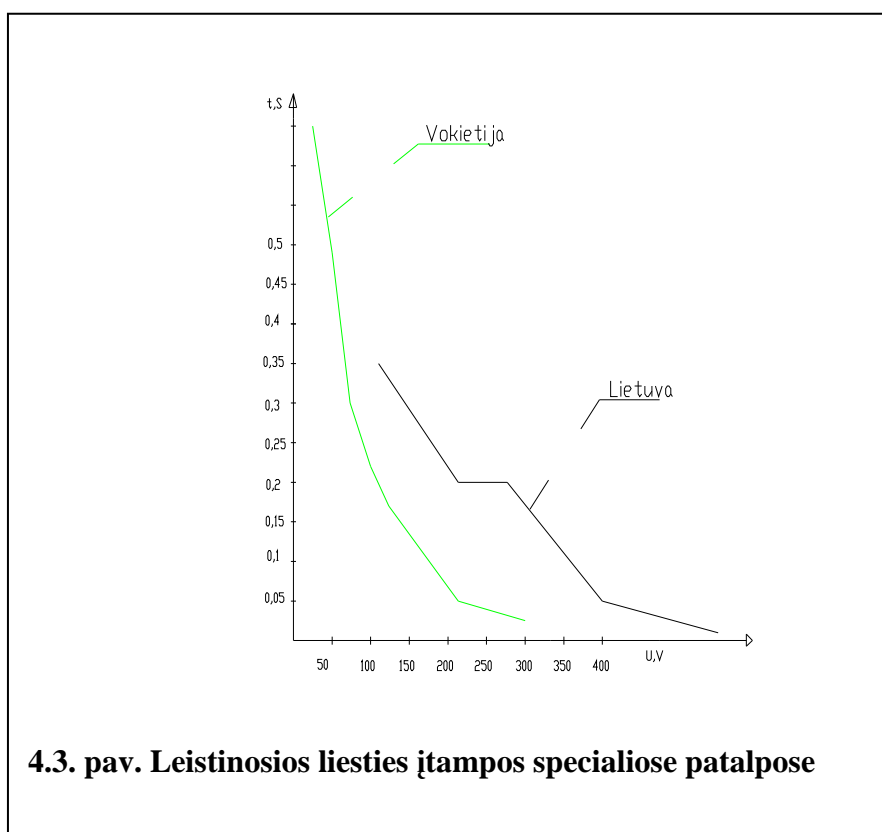
4.4. lentelė
Leistinosios liesties įtampos specialiose patalpose, Lietuvoje [6]

Poveikio trukmė, s	0,35	0,2	0,2	0,05	0,02
Prisilietimo įtampa, V	120	230	277	400-480	580

4.5. lentelė
Leistinosios liesties įtampos specialiose patalpose, Vokietijoje, Austrijoje [9]

Poveikio trukmė, s	:	0,48	0,3	0,22	0,17	0,05	0,025
Prisilietimo įtampa, V	<25	50	75	100	125	220	300

Lentelių duomenis galima pateikti grafiškai:



Kaip matoma iš 4.3. pav., Lietuvoje, kaip ir normaliose, taip ir specialiose patalpose, galioja didesnės leistinosios liesties įtampos nei Vokietijoje.

4.2. Elektros srovės poveikis

Žinodami Lietuvos, Rusijos ir Vokietijos leistinąsias liesties įtampas, poveikio laiką ir spėjama žmogaus kūno varžą su tikimybėmis 5%, 50%, 95%, galime patikrinti, ar tikrai mes neperžengiame fibriliacinio slenksčio. Kadangi Lietuvos, Rusijos ir Vokietijos leistinosios prisilietimo įtampos ir poveikio laikai skiriasi, tai skaičiavimus atliksime kiekvienai šaliai atskirai. Žmogaus kūno varžos reikšmės pateiktos prisilietimo plotui esant 8000mm², rankos sausos. Įtampos ir laiko reikšmės paimtos iš tos šalies galiojančių taisyklių, žmogaus kūno varžos reikšmės pagal G. Bigelmėjerio atliktus tyrimus, o srovę paskaičiuojame žinodami prisilietimo įtampą ir varžą.

4.6. lentelė

Vokietijos leistinosios liesties įtampos, poveikio laikai ir srovės

U _p , V		<50	75	100	125	220	300	400	500
t, sek		∞	1,6	0,4	0,33	0,18	0,12	0,07	0,04
5%	Z, kΩ	1,6	1,4	1,3	1,2	1,05	1	0,95	0,9
	I, A	0,031	0,05	0,076	0,104	0,21	0,3	0,42	0,55
50%	Z, kΩ	2,7	2,3	2	1,95	1,5	1,4	1,3	1,2
	I, A	0,018	0,03	0,05	0,065	0,14	0,21	0,31	0,41
95%	Z, kΩ	4,5	3,85	3,2	2,8	2,1	2	1,6	1,5
	I, A	0,011	0,019	0,03	0,042	0,055	0,105	0,25	0,33

4.7. lentelė

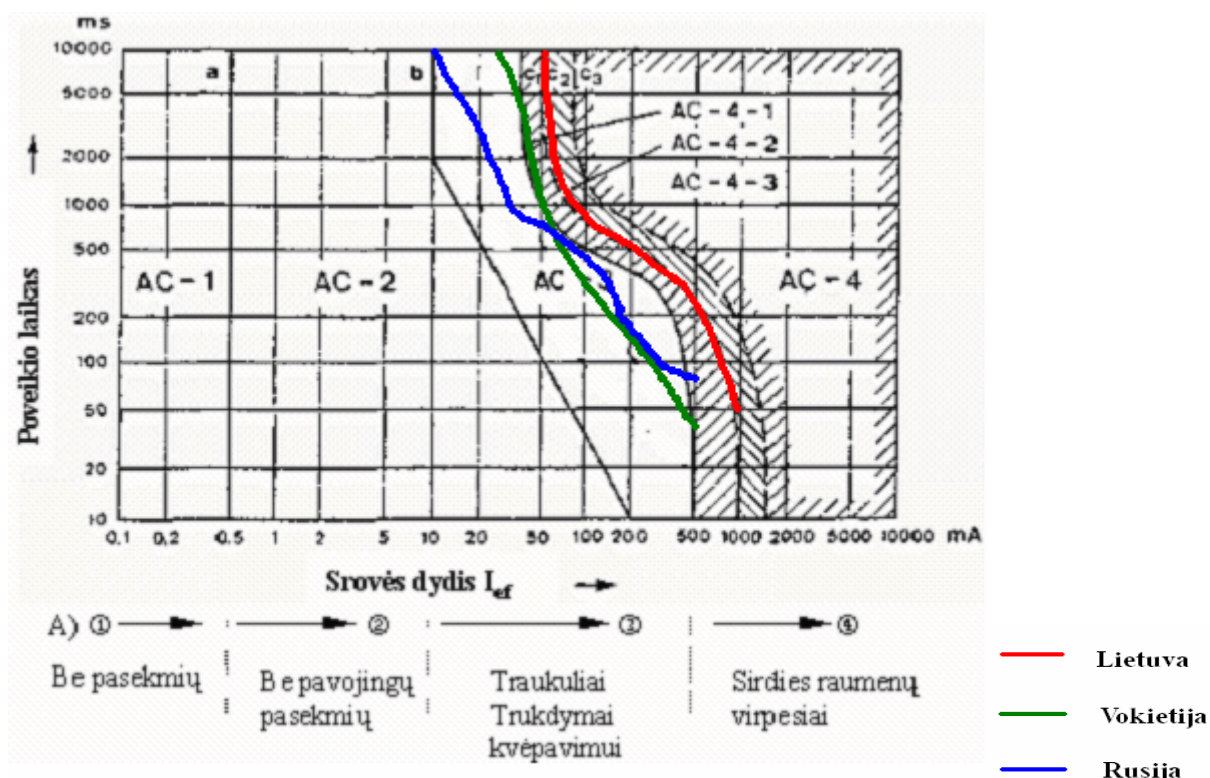
Rusijos leistinosios liesties įtampos, poveikio laikai ir srovės

U _p , V		20	60	70	75	85	95	105	135	160	340	550
t, sek		>1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2	0,1	0,08
5%	Z, kΩ	1,9	1,6	1,5	1,45	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	0,95	0,9
	I, A	0,01	0,037	0,046	0,05	0,06	0,073	0,087	0,12	0,14	0,35	0,61
50%	Z, kΩ	3,5	2,5	2,4	2,3	2,15	2,05	1,95	1,85	1,75	1,4	1,15
	I, A	0,006	0,024	0,029	0,032	0,039	0,046	0,053	0,072	0,091	0,24	0,48
95%	Z, kΩ	6,3	4,2	4	3,85	3,5	3,3	3,1	2,75	2,65	1,8	1,45
	I, A	0,003	0,014	0,017	0,019	0,024	0,028	0,034	0,05	0,06	0,19	0,38

Lietuvos leistinosios liesties įtampos, poveikio laikai ir srovės

U_p, V		80	100	125	150	220	300	400	500	600	700	800
t, sek		10	1,1	0,72	0,64	0,49	0,39	0,29	0,2	0,14	0,08	0,04
5%	$Z, k\Omega$	1,4	1,3	1,2	1,1	1,05	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
	I, A	0,057	0,076	0,104	0,136	0,21	0,3	0,42	0,55	0,7	0,87	1,06
50%	$Z, k\Omega$	2,2	2	1,9	1,8	1,5	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1
	I, A	0,036	0,05	0,065	0,083	0,14	0,21	0,31	0,41	0,52	0,63	0,8
95%	$Z, k\Omega$	3,8	3,2	3	2,7	2,1	2	1,6	1,5	1,45	1,4	1,35
	I, A	0,02	0,03	0,042	0,055	0,105	0,15	0,25	0,33	0,41	0,5	0,59

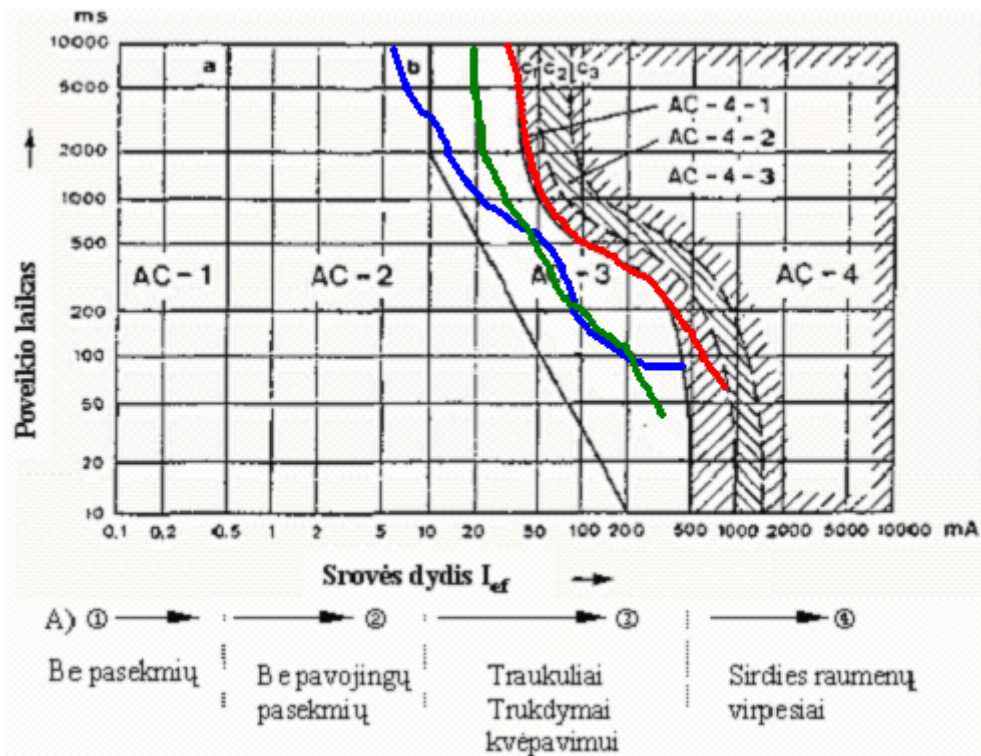
Gautas per žmogų tekančias sroves priklausomai nuo laiko prilyginame Tarptautinės elektrotechnikos komisijos skelbiamam standartui:



4.4. pav. Srovės dydžio ir poveikio laiko ryšys.

5% tikimybė, kad žmogaus varža bus mažiausia.

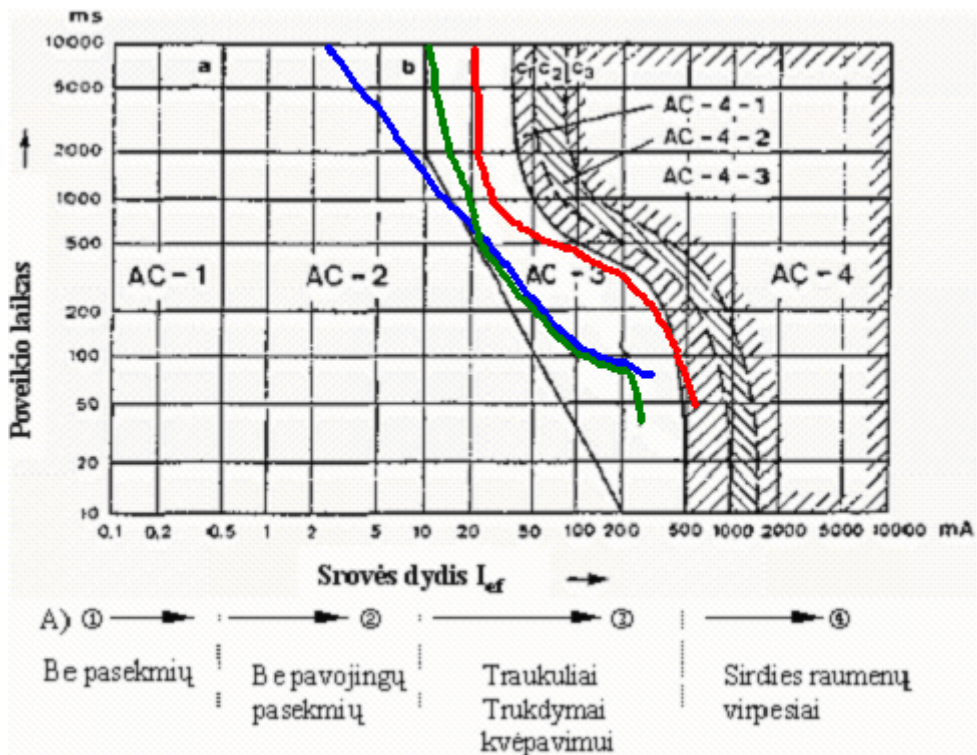
Rankos sausos, prisilietimo plotas 8000mm^2



4.5. pav. Srovės dydžio ir poveikio laiko ryšys.

50% tikimybė, kad žmogaus varža bus vidutiniška.

Rankos sausos, prisilietimo plotas 8000mm²



4.6. pav. Srovės dydžio ir poveikio laiko ryšys.

95% tikimybė, kad žmogaus varža bus didžiausia.

Rankos sausos, prisilietimo plotas 8000mm²

Kaip matoma iš 4.4., 4.5., 4.6. paveikslų, visais atvejais pagal Lietuvoje galiojančius standartus prisilietimo įtampos yra didžiausios ir poveikio laikai – ilgiausi. Pagal austrų atliktus tyrimus, kai varža gali būti mažiausia (5% tikimybė), Lietuvos žmogus visada atsидurs už fibriliacinio slėksčio. Kai varža gali būti vidutiniška (50% tikimybė), žmogus vis tiek bus ant fibriliacinio slėksčio. Net kai varža gali būti didžiausia (95% tikimybė), Lietuvos kreivė yra arčiausiai fibriliacinio slėksčio, o vienoje vietoje ją ir peržengia. Be to skaičiavimai buvo atlikti esant geroms sąlygoms, įvertinus, kad rankos sausas. Žymiai blogesni rezultatai būtų, jei sąlygos nebūtų idealios. Sekantys rezultatai pateikiami įvertinus, kai prisilietimo plotas yra 10000mm², o rankos drėgnos.

4.6. lentelė

Vokietijos leistinosios liesties įtampos, poveikio laikai ir srovės

U _p , V		<50	75	100	125	220	300	400	500
t, sek		∞	1,6	0,4	0,33	0,18	0,12	0,07	0,04
5%	Z, kΩ	1,1	1,025	0,975	0,9	0,78	0,75	0,7	0,625
	I, A	0,045	0,073	0,1	0,13	0,28	0,4	0,57	0,8
50%	Z, kΩ	2	1,82	1,67	1,5	1,2	1,1	0,95	0,85
	I, A	0,025	0,041	0,059	0,083	0,18	0,27	0,42	0,58
95%	Z, kΩ	3,67	3,27	2,95	2,67	1,87	1,6	1,27	1,15
	I, A	0,01	0,02	0,03	0,046	0,12	0,18	0,31	0,43

4.7. lentelė

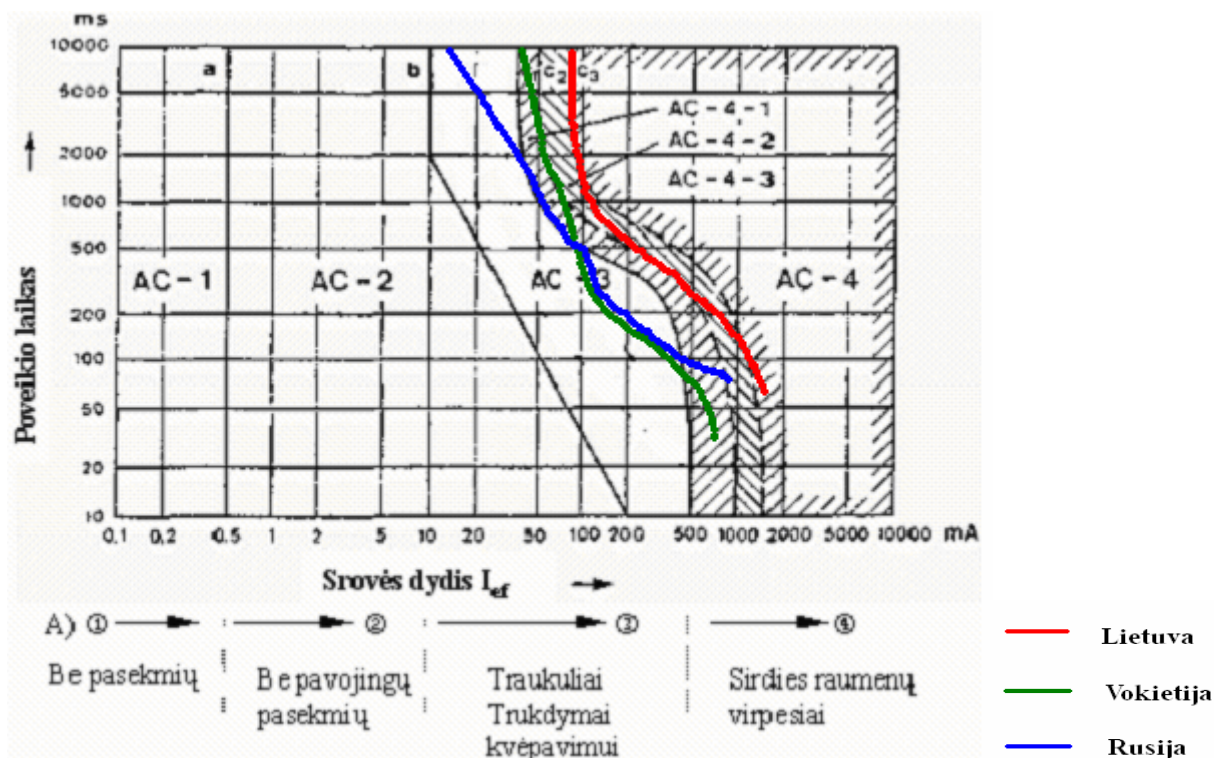
Rusijos leistinosios liesties įtampos, poveikio laikai ir srovės

U _p , V		20	60	70	75	85	95	105	135	160	340	550
t, sek		>1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2	0,1	0,08
5%	Z, kΩ	1,2	1,07	1,04	1,025	1,01	0,98	0,97	0,88	0,84	0,73	0,61
	I, A	0,016	0,056	0,067	0,073	0,084	0,096	0,1	0,15	0,19	0,46	0,9
50%	Z, kΩ	2,2	1,92	1,85	1,82	1,8	1,7	1,65	1,52	1,37	1,05	0,81
	I, A	0,01	0,03	0,04	0,041	0,047	0,05	0,063	0,089	0,012	0,032	0,67
95%	Z, kΩ	4,3	3,5	3,35	3,27	3,1	3	2,9	2,5	2,2	1,4	1,12
	I, A	0,004	0,017	0,02	0,023	0,027	0,03	0,036	0,054	0,07	0,24	0,49

Lietuvos leistinosios liesties įtampos, poveikio laikai ir srovės

U_p, V		80	100	125	150	220	300	400	500	600	700	800
t, sek		10	1,1	0,72	0,64	0,49	0,39	0,29	0,2	0,14	0,08	0,04
5%	Z, k Ω	1,01	0,97	0,9	0,85	0,78	0,75	0,7	0,62	0,6	0,57	0,57
	I, A	0,079	0,1	0,13	0,17	0,28	0,4	0,57	0,8	1	1,2	1,4
50%	Z, k Ω	1,81	1,67	1,5	1,4	1,2	1,1	0,95	0,85	0,82	0,77	0,77
	I, A	0,04	0,059	0,083	0,1	0,18	0,27	0,42	0,58	0,73	0,9	1,04
95%	Z, k Ω	3,2	2,95	2,67	2,35	1,87	1,6	1,27	1,15	1,1	1	1
	I, A	0,025	0,03	0,046	0,063	0,12	0,18	0,31	0,43	0,54	0,7	0,8

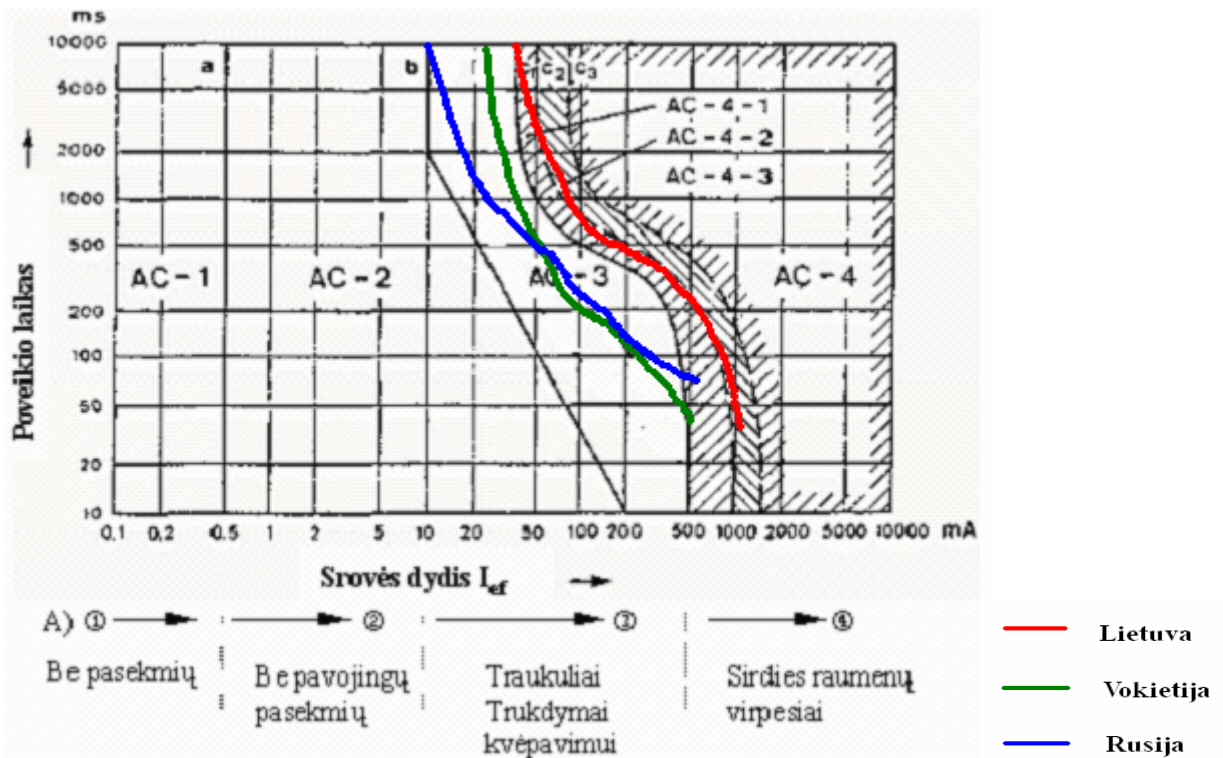
Gautas per žmogų tekančias sroves priklausomai nuo laiko prilyginame Tarptautinės elektrotechnikos komisijos skelbiamam standartui:



4.7.pav. Srovės dydžio ir poveikio laiko ryšys.

5% tikimybė, kad žmogaus varža bus mažiausia.

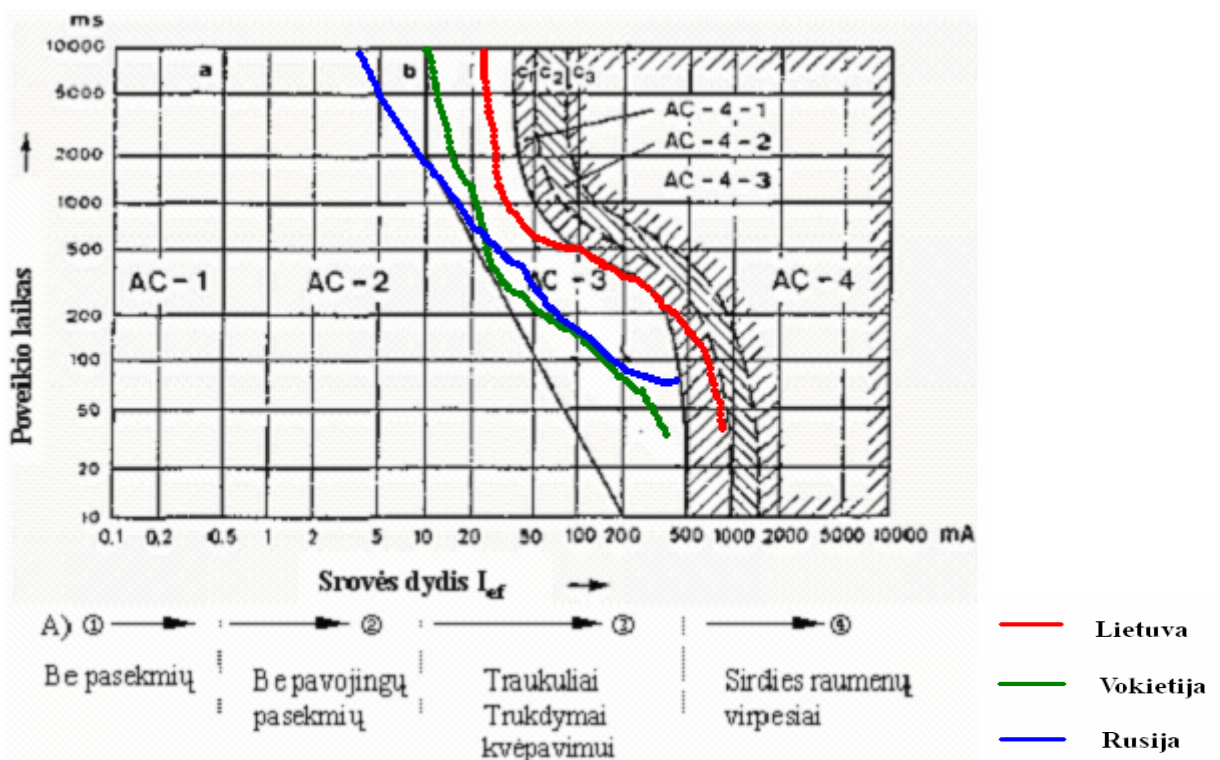
Rankos drėgnos, prisilietimo plotas 10000mm²



4.8. pav. Srovės dydžio ir poveikio laiko ryšys.

50% tikimybė, kad žmogaus varža bus vidutiniška.

Rankos drėgnos, prisilietimo plotas 10000mm²



4.9. pav. Srovės dydžio ir poveikio laiko ryšys.

95% tikimybė, kad žmogaus varža bus didžiausia.

Rankos drėgnos, prisilietimo plotas 10000mm²

Kaip matoma iš 4.7., 4.8., 4.9. pav., žmogui drėgnomis rankomis atsidūrus elektros grandinėje, pagal Lietuvoje galiojančius standartus, tikimybė, kad jį ištiktų širdies fibriliacija, būtų didžiausia. Kai tuo tarpu Rusijos ir Vokietijos kreivės panašios, ir tik 5% žmonių gali atsidurti prie fibriliacinio slenksčio.

IŠVADOS

Elektros srovės poveikio lygio nustatymui buvo pasitelkta ir išnagrinėta kituose kraštuose sukaupta elektroaugos tyrimo medžiaga ir jos pateikimo metodika. Šioje srityje daug dirbęs yra rusų mokslininkas V.E.Manoilovas. Jo darbai kartu su šiuolaikinio austrų mokslininko G.Bigelmėjerio darbais leido šiame magistriniame darbe atlikti laukiamo elektros srovės poveikio žmogui tyrimą. Tyrimai rėmėsi žmogaus kūno varžos, elektros srovės ir įtampos, bei poveikio trukmės įtakos žmogaus organizmo funkcionavimui, analize.

* Atlikus tyrimus paaiškėjo, kad Lietuvoje galiojantys normatyvai nevisada derinasi su elektros sauga, o taip pat labai skiriasi nuo kitose šalyse galiojančių normų. Leistinosios liesties įtampos Lietuvoje yra žymiai didesnės nei kitose šalyse ir jos niekaip nedera su elektros sauga.

* EIT daromos nuorodos į saugią arba leistiną liesties įtampą, tačiau Elektros įrenginių bandymų normose ir apimtyse nėra aprašoma nei metodika, nei normos tokio parametro patikrinimui arba montavimui priimant naujus objektus ir juos eksploatuojant.

* Dabartiniu metu plačiai naudojama ir EIT rekomenduojama skirtuminių srovių apsauga neturi nei bandymų, nei patikrinimų normatyvų, nei nuorodų projektavimui.

* Širdies fibriliacija yra labai pavojinga organizmo fiziologinė reakcija, elektros srovei tekant per kūną. Ji gali atsirasti esant trumpalaikiam poveikiui, ir ji negali pati pasibaigti, netgi atjungus elektros srovę. Todėl įvykus širdies fibriliacijai ir laiku nesuteikus kvalifikuotos pagalbos, žmogaus gyvybė užgęsta. Būtent todėl daugelis normų remiasi šia žmogaus organizmo fiziologine reakcija. Bet širdies fibriliacija, nėra vienintelis pažeidimo mechanizmas, yra ir kitų ne mažiau pavojingesnių (reflektorinis, mišrus), kurie gali sustabdyti kvėpavimą ar paralyžiuoti širdį, ir jų veikimo mechanizmas pasireiškia tekant srovėms, kurios yra žemiau fibriliacinio slėksčio. Srovė iki 10mA nepavojinga esant fibriliaciniam pažeidimo mechanizmui, bet mirtinai pavojinga – esant reflektoriniam. Todėl reikalingas elektros srovės pavojingumo kriterijų peržiūrėjimas.

* Iš austrų atliktų tyrimų matoma, kad žmogaus varža praktiškai vienoda ir nepriklauso nuo prisilietimo ploto, kai liesties įtampa yra 125V ir daugiau. O įtrynus rankas druska, žmogaus varža tampa nepriklausoma nuo liesties įtampos.

* Rekomenduojama 1kΩ varža pritaikoma retais atvejais, ir negali būti taikoma nustatant elektros grandinės per žmogų parametrus visais elektros traumų atvejais. Nes, kaip buvo matyti iš pateiktų duomenų, žmogaus kūno varža gali būti žymiai mažesnė nei 1kΩ. Todėl nustatant leistinas poveikio sroves, liesties įtampas žmogui, neišsiaiškinus konkrečių sąlygų, dėl ko įvyko trauma, neleistina.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Apsauga nuo elektros smūgio. Bendrieji reikalavimai, keliami įrenginiui ir įrangai. Europos standartas.- Vilnius, 2002.
2. Elektros įrenginių įrengimo taisyklės.- Vilnius, 2001.
3. Elektros įrenginių eksploatavimo saugos taisyklės.- Vilnius, 2004.
4. Isoda G. Elektros instaliacija.- Vilnius, 2004.
5. Profesinė sauga energetikoje.- Vilnius, 1998
6. Specialiųjų patalpų ir technologinių procesų elektros įrenginių įrengimo taisyklės // Valstybės žinios, 2004, Nr.84.
7. Bachl H., Biegelmeier G., Hirtler R. Gemeinnutzige Privatstiftung Elektroschutz 2. – Vienna, 2001.
8. Biegelmeier G. Liber Amicorum – Liber Inimicis – Teil 3. – Vienna, 2004.
9. Biegelmeier G., GroiB J., Hirtler R. Gemeinnutzige Privatstiftung Elektroschutz 1. – Vienna, 2001.
10. Карякин Р.Н. Концепция электробезопасности электроустановок // Промышленная энергетика, 1998, No.5.
11. Карякин Р.Н. Нормативные основы устройства электроустановок.- Москва, 1998.
12. Князевский Б.А., Долин П.А. Охрана труда.- Москва, 1978.
13. Корнилюк В. Вероятностная модель полного сопротивления тела человека // Промышленная энергетика, 1998, No.3.
14. Куликов В.Н. К вопросу о допустимых уровнях кратковременного воздействия на человека электрических токов и напряжений промышленной частоты // Промышленная энергетика, 2006, No.1.
15. Куликов В.Н. О необходимости пересмотра взглядов на критерии опасности электрического тока для организма человека // Промышленная энергетика, 2001, No.2.
16. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности.- Ленинград, 1976.
17. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности.- Ленинград, 1991.
18. Розанов В.С. Безопасность жизнедеятельности.- Москва, 1999.