

---

---

**Vplivi električnega toka na ljudi in živali – 1. del: Splošno**

Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

SIST IEC 60479-1:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7dbe8e98-5a68-4db6-bb55-d229a42ae5e3/sist-iec-60479-1-2020>



---

ICS 13.200; 29.020

Referenčna oznaka  
SIST IEC 60479-1:2020 (sl)

Nadaljevanje na straneh od 2 do 70

## **NACIONALNI UVOD**

Standard SIST IEC 60479-1 (sl), Vplivi električnega toka na ljudi in živali – 1. del: Splošno, 2020, ima status slovenskega standarda in je istoveten mednarodnemu standardu IEC 60479-1 (en), Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects, 2018.

## **NACIONALNI PREDGOVOR**

Mednarodni standard IEC 60479-1:2018 je pripravil tehnični odbor IEC/TC 64 Električne inštalacije in zaščita pred električnim šokom.

Slovenski standard SIST IEC 60479-1:2020 je prevod mednarodnega standarda IEC 60479-1:2018. V primeru spora glede besedila slovenskega prevoda v tem standardu je odločilen izvorni mednarodni standard v angleškem jeziku. Slovensko izdajo standarda je potrdil tehnični odbor SIST/TC ELI Nizkonapetostne in komunikacijske električne inštalacije.

Odločitev za privzem tega standarda je junija 2020 sprejel tehnični odbor SIST/TC ELI Nizkonapetostne in komunikacijske električne inštalacije.

## **OSNOVA ZA IZDAJO STANDARDARDA**

- privzem standarda IEC 60479-1:2018

## **OPOMBI**

- Povsod, kjer se v besedilu standarda uporablja izraz “mednarodni standard”, v SIST IEC 60479-1:2020 to pomeni “slovenski standard”.
- Nacionalni uvod in nacionalni predgovor nista sestavna dela standarda.

[SIST IEC 60479-1:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7dbe8e98-5a68-4db6-bb55-d229a42ae5e3/sist-iec-60479-1-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7dbe8e98-5a68-4db6-bb55-d229a42ae5e3/sist-iec-60479-1-2020>

<b>VSEBINA</b>	<b>Stran</b>
Predgovor .....	7
Uvod .....	9
1 Področje uporabe .....	10
2 Zveze s standardi .....	10
3 Izrazi in definicije .....	11
3.1 Splošne definicije.....	11
3.2 Učinki sinusnega izmeničnega toka v območju 15 Hz do 100 Hz.....	12
3.3 Učinki enosmernega toka .....	13
4 Električna impedanca telesa človeka in živali .....	13
4.1 Splošno.....	13
4.2 Notranja impedanca človeškega telesa ( $Z_i$ ) .....	13
4.3 Impedanca kože ( $Z_s$ ) .....	14
4.4 Celotna impedanca človeškega telesa ( $Z_T$ ) .....	14
4.5 Dejavniki, ki vplivajo na začetno upornost človeškega telesa ( $R_0$ ) .....	14
4.6 Vrednosti celotne impedance človeškega telesa ( $Z_T$ ) .....	14
4.6.1 Odvisnost celotne impedance za velike, srednje in majhne stične površine .....	14
4.6.2 Sinusni izmenični tok, 50/60 Hz, za velike stične površine .....	15
4.6.3 Sinusni izmenični tok, 50/60 Hz, za srednje in majhne stične površine .....	17
4.6.4 Sinusni izmenični tok s frekvencami do 20 kHz in več.....	20
4.6.5 Enosmerni tok.....	21
4.7 Vrednost začetne upornosti človeškega telesa ( $R_0$ ).....	21
4.8 Karakteristika impedance telesa živali .....	22
5 Učinki sinusnega izmeničnega toka v območju 15 Hz do 150 Hz.....	22
5.1 Splošno.....	22
5.2 Prag zaznavanja.....	22
5.3 Prag odziva.....	22
5.4 Otrpnjenje .....	22
5.5 Prag sprostitve.....	22
5.6 Prag ventrikularne fibrilacije .....	23
5.7 Drugi učinki v povezavi z električnimi udari.....	23
5.8 Učinek toka na kožo .....	24
5.9 Opis con čas/tok (glej sliko 20) .....	24
5.10 Uporaba faktorja toka skozi srce ( $F$ ) .....	24
6 Učinki enosmernega toka .....	25
6.1 Splošno.....	25
6.2 Prag zaznavanja in prag odziva .....	25
6.3 Prag otrpnjenja in prag sprostitve.....	26
6.4 Prag ventrikularne fibrilacije .....	26
6.5 Drugi učinki toka .....	26

6.6	Opis con čas/tok (glej sliko 22)	26
6.7	Faktor srca	27
6.8	Učinki anodnih enosmernih tokov proti katodnim	45
	Dodatek A (normativni): Meritve celotnih impedanc telesa $Z_T$ , izvedene na živih ljudeh in truplih, ter statistična analiza rezultatov	47
	Dodatek B (normativni): Vpliv frekvence na celotno impedanco telesa ( $Z_T$ )	50
	Dodatek C (normativni): Celotna upornost telesa ( $R_T$ ) za enosmerni tok	51
	Dodatek D (informativni): Primeri izračunov $Z_T$	52
	Dodatek E (informativni): Teorije ventrikularne fibrilacije	55
	Dodatek F (informativni): Veličine za zgornjo mejo ranljivosti (ULV) in spodnjo mejo ranljivosti (LLV)	56
	Dodatek G (informativni) Metode simulacije tokokrogov pri oceni električnega udara	57
	Dodatek H (normativni) Učinki tokov, ki tečejo skozi telo živali	60
H.1	Splošno	60
H.2	Glavni dejavnik tveganja ventrikularne fibrilacije za živali	60
H.3	Karakteristika impedance telesa živali	61
H.4	Notranja impedanca živali ( $Z_i$ )	61
H.5	Impedanca dlakave in gole kože ( $Z_p$ )	62
H.6	Impedanca (upornost) kopit/parkljev ( $Z_h, R_h$ )	62
H.7	Celotna impedanca telesa ( $Z_T$ )	62
H.8	Začetna upornost telesa ( $R_0$ )	62
H.9	Vrednosti celotne impedance telesa ( $Z_T$ )	63
H.10	Vrednosti začetne upornosti telesa ( $R_0$ )	64
H.11	Učinki sinusnega izmeničnega toka v območju od 15 Hz do 100 Hz na živali	64
H.11.1	Splošno	64
H.11.2	Prag odziva	64
H.11.3	Prag ventrikularne fibrilacije	64
	Literatura	67
	Slika 1: Impedance človeškega telesa	27
	Slika 2: Notranje delne impedance $Z_p$ človeškega telesa	28
	Slika 3: Poenostavljena shema notranjih impedanc človeškega telesa	29
	Slika 4: Celotna impedanca telesa $Z_T$ (50 %) za pot toka roka-roka za velike suhe, mokre in slano-mokre stične površine za 50 % populacije za napetosti dotika $U_T = 25$ V do 700 V, izmenični tok, 50/60 Hz	30
	Slika 5: Odvisnost celotne impedance $Z_T$ ene žive osebe od suhe stične površine in pri napetosti dotika (50 Hz)	31
	Slika 6: Odvisnost celotne impedance telesa $Z_T$ od napetosti dotika $U_T$ za pot toka od konice desnega kazalca do konice levega kazalca v primerjavi z velikimi suhimi stičnimi površinami pri poti toka od leve roke do desne roke, merjeno na eni živi osebi, napetost dotika v območju $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50 Hz, trajanje toka največ 25 ms	32
	Slika 7: Odvisnost celotne impedance telesa $Z_T$ za 50-odstotkovni nivo populacije živih ljudi za velike, srednje in majhne suhe stične površine (red velikosti 10 000 mm <sup>2</sup> , 1 000 mm <sup>2</sup> oziroma 100 mm <sup>2</sup> ) pri napetostih dotika $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50/60 Hz	33

Slika 8: Odvisnost celotne impedance telesa $Z_T$ za 50-odstotkovni nivo populacije živih ljudi za velike, srednje in majhne mokre stične površine (red velikosti 10 000 mm <sup>2</sup> , 1 000 mm <sup>2</sup> oziroma 100 mm <sup>2</sup> ) pri napetostih dotika $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50/60 Hz .....	34
Slika 9: Odvisnost celotne impedance telesa $Z_T$ za 50-odstotkovni nivo populacije živih ljudi za velike, srednje in majhne slano-mokre stične površine (red velikosti 10 000 mm <sup>2</sup> , 1 000 mm <sup>2</sup> in 100 mm <sup>2</sup> ) pri napetostih dotika $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50/60 Hz.....	35
Slika 10: Vrednosti celotne impedance telesa $Z_T$ , merjeno na 10 živih ljudeh s potjo toka roka-roka in velikimi suhimi stičnimi površinami pri napetosti dotika 10 V in frekvencah od 25 Hz do 20 kHz .....	36
Slika 11: Vrednosti celotne impedance telesa $Z_T$ , merjeno na enem živem človeku s potjo toka roka-roka in velikimi suhimi stičnimi površinami ter pri napetosti dotika 25 V in frekvencah od 25 Hz do 2 kHz .....	36
Slika 12: Frekvenčna odvisnost celotne impedance telesa $Z_T$ za 50-odstotkovni nivo populacije pri napetostih dotika od 10 V do 1 000 V in frekvenčnem območju od 50 Hz do 150 kHz za pot toka roka-roka ali roka-stopalo, za velike suhe stične površine.....	37
Slika 13: Statistična vrednost celotne impedance telesa $Z_T$ in upornosti telesa $R_T$ za 50-odstotkovni nivo populacije živih ljudi za pot toka roka-roka, velike suhe stične površine, pri napetostih dotika do vključno 700 V, za izmenični tok, 50/60 Hz, in enosmerni tok .....	37
Slika 14: Odvisnost spreminjanja stanja človeške kože od gostote toka $i_T$ in trajanja toka .....	38
Slika 15: Elektrode, uporabljene za meritev odvisnosti impedance človeškega telesa $Z_T$ od stične površine .....	39
Slika 16: Oscilogrami napetosti $U_T$ in tokov dotika $I_T$ za izmenični tok, pot toka roka-roka, velike suhe stične površine, dobljeno z meritvami .....	40
Slika 17: Pojav obdobja ranljivosti prekatov v srčnem ciklu.....	41
Slika 18: Proženje ventrikularne fibrilacije v obdobju ranljivosti – učinki na elektrokardiogramu (EKG) in krvnem tlaku.....	41
Slika 19: Podatki fibrilacije za pse, prašiče in ovce iz poskusov in za osebe, izračunani iz statistik nesreč z elektriko s tokom v prečni smeri roka-roka in napetostma dotika $U_T = 220$ V in 380 V izmenično z impedancami telesa $Z_T$ (5 %).....	42
Slika 20: Splošno sprejete cone čas/tok za učinke izmeničnih tokov (15 Hz do 100 Hz) na osebe za pot toka, ki ustreza poti leva roka-stopala (glej preglednico 11).....	43
Slika 21: Oscilogram napetosti dotika $U_T$ in toka dotika $I_T$ za enosmerni tok, pot toka roka-roka, velike suhe stične površine .....	43
Slika 22: Splošno sprejete cone čas/tok za učinke enosmernih tokov na osebe za vzdolžno pot toka navzgor (glej preglednico 13).....	44
Slika 23: Toki sprostitve za sinusni tok, 60 Hz .....	44
Slika 24: Učinki anodnih enosmernih tokov proti katodnim.....	45
Slika 25: Stimulacija udarov enosmernega toka posameznih srčnih celic.....	46
Slika G.1: Električni udar v električnem modelu po Hartu [33], vključno z učinkom odziva na strah .....	58
Slika H.1: Potek toka in impedanc ustreznih delov telesa krave za pot toka od gobca do nog .....	61
Slika H.2: Shemi za žival, za pot toka od gobca do štirih nog (pot A) in od sprednjih nog do zadnjih (pot B).....	61
Slika H.3: Shema celotne impedance telesa goveda za 5 % populacije .....	63
Slika H.4: Ventrikularna fibrilacija pri ovcah .....	65
Slika H.5: Najmanjši tok fibrilacije pri ovcah kot funkcija mase za trajanje udara 3 s [55].....	66
Slika H.6: Najmanjši toki fibrilacije (povprečja) različnih vrst živali kot funkcija mase za čas trajanja udara 3 s [53].....	66

Preglednica 1: Celotne impedance telesa $Z_T$ za pot toka roka–roka, izmenični tok, 50/60 Hz, za velike suhe stične površine .....	15
Preglednica 2: Celotne impedance telesa $Z_T$ za pot toka roka–roka, izmenični tok, 50/60 Hz, za velike mokre stične površine .....	16
Preglednica 3: Celotne impedance telesa $Z_T$ za pot toka roka–roka, izmenični tok, 50/60 Hz, za velike slano-mokre stične površine .....	17
Preglednica 4: Celotne impedance telesa $Z_T$ za pot toka roka–roka za srednje suhe stične površine pri napetostih dotika $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50/60 Hz (vrednosti so zaokrožene na 25 $\Omega$ ) .....	18
Preglednica 5: Celotne impedance telesa $Z_T$ za pot toka roka–roka za srednje mokre stične površine pri napetostih dotika $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50/60 Hz (vrednosti so zaokrožene na 25 $\Omega$ ) .....	19
Preglednica 6: Celotne impedance telesa $Z_T$ za pot toka roka–roka za srednje slano-mokre stične površine pri napetostih dotika $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50/60 Hz (vrednosti so zaokrožene na 5 $\Omega$ ) .....	19
Preglednica 7: Celotne impedance telesa $Z_T$ za pot toka roka–roka za majhne suhe stične površine pri napetostih dotika $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50/60 Hz (vrednosti so zaokrožene na 25 $\Omega$ ) .....	19
Preglednica 8: Celotne impedance telesa $Z_T$ za pot toka roka–roka za majhne mokre stične površine pri napetostih dotika $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50/60 Hz (vrednosti so zaokrožene na 25 $\Omega$ ) .....	20
Preglednica 9: Celotne impedance telesa $Z_T$ za pot toka roka–roka za majhne slano-mokre stične površine pri napetostih dotika $U_T = 25$ V do 200 V, izmenični tok, 50/60 Hz (vrednosti so zaokrožene na 5 $\Omega$ ) .....	20
Preglednica 10: Celotne upornosti telesa $R_T$ za pot toka roka–roka, enosmerni tok, za velike suhe stične površine .....	21
Preglednica 11: Cone čas/tok za izmenični tok, 15 Hz do 100 Hz, za pot roka–stopala – povzetek con s slike 20 .....	24
Preglednica 12: Faktor toka skozi srce $F$ za različne poti toka .....	25
Preglednica 13: Cone čas/tok za enosmerni tok za pot roka–stopala – povzetek con s slike 22 .....	27
Preglednica A.1: Celotne impedance telesa $Z_T$ , elektrode tipa A za suhe pogoje in faktorja odstopanja $F_D$ (5 % in 95 %) .....	47
Preglednica A.2: Celotna impedanca telesa $Z_T$ , elektrode tipa B za suhe, mokre in slano-mokre pogoje ter faktorja odstopanja $F_D$ (5 % in 95 %) .....	47
Preglednica A.3: Celotne impedance telesa $Z_T$ za suhe, mokre in slano-mokre pogoje ter faktorja odstopanja $F_D$ (5 % in 95 %) .....	48
Preglednica A.4: Faktorja odstopanja $F_T$ (5 %) in $F_D$ (95 %) pri napetostih dotika v območju $U_T = 25$ V do vključno 400 V za velike, srednje in majhne suhe in mokre stične površin .....	49
Preglednica D.1: 50-odstotkovne vrednosti za celotno impedanco telesa za pot toka roke–stopala, srednja suha stična površina za roke, velika suha stična površina za stopala, faktor znižanja 0,8, toki dotika $I_T$ in elektrofiziološki učinki .....	53
Preglednica G.1: Primeri impedance telesa (nekompenzirani) .....	58
Preglednica H.1: Impedanca (upornost) parkljev govedu ( $Z_h$ , $R_h$ ) za izmenične napetosti do vključno 230 V, 50/60 Hz .....	62
Preglednica H.2: Celotne impedance telesa $Z_T$ za izmenični tok, 50/60 Hz, za govedo pri napetostih dotika do vključno 230 V .....	63
Preglednica H.3: Začetna upornost telesa $R_0$ za govedo .....	64
Preglednica H.4: Prag ventrikularne fibrilacije pri izmeničnem toku, 50/60 Hz [53] [54], za različne vrste živali in trajanje udara 3 s .....	65

## MEDNARODNA ELEKTROTEHNIŠKA KOMISIJA

## VPLIVI TOKA NA LJUDI IN ŽIVALI –

## 1. del: Splošni vidiki

## Predgovor

1. Mednarodna elektrotehniška komisija (IEC) je svetovna organizacija za standardizacijo, ki združuje vse nacionalne elektrotehnične komiteje (nacionalni komiteji IEC). Cilj IEC je pospeševati mednarodno sodelovanje v vseh vprašanih standardizacije s področja elektrotehnike in elektronike. V ta namen poleg drugih aktivnosti izdaja mednarodne standarde, tehnične specifikacije, tehnična poročila, javno dostopne specifikacije (PAS) in vodila (v nadaljevanju: publikacije IEC). Za njihovo pripravo so odgovorni tehnični odbori; vsak nacionalni komite IEC, ki ga zanima obravnavana tema, lahko sodeluje v tem pripravljalnem delu. Prav tako lahko v pripravi sodelujejo mednarodne organizacije ter vladne in nevladne ustanove, ki so povezane z IEC. IEC deluje v tesni povezavi z mednarodno organizacijo za standardizacijo ISO skladno s pogoji, določenimi v soglasju med obema organizacijama.
2. Uradne odločitve ali sporazumi IEC o tehničnih vprašanih, pripravljeni v tehničnih odborih, kjer so prisotni vsi nacionalni komiteji, ki jih tema zanima, izražajo, kolikor je mogoče, mednarodno soglasje o obravnavani temi.
3. Publikacije IEC imajo obliko priporočil za mednarodno uporabo ter jih kot takšne sprejmejo nacionalni komiteji IEC. Čeprav IEC skuša zagotavljati natančnost tehničnih vsebin v publikacijah IEC, IEC ni odgovoren za način uporabe ali za možne napačne interpretacije končnih uporabnikov.
4. Da bi se pospeševalo mednarodno poenotenje, so nacionalni komiteji IEC v svojih nacionalnih in regionalnih standardih dolžni čim pregledneje uporabljati mednarodne standarde. Vsako odstopanje med standardom IEC in ustreznim nacionalnim ali regionalnim standardom je treba v slednjem jasno označiti.
5. IEC sam ne izvaja potrjevanja skladnosti. Storitve ugotavljanja skladnosti in na nekaterih območjih tudi dostop do znakov skladnosti IEC izvajajo neodvisni certifikacijski organi. IEC ni določil nobenega postopka v zvezi z označevanjem kot znakom strinjanja in ne prevzema nikakršne odgovornosti za storitve, ki jih izvajajo neodvisni certifikacijski organi.
6. Vsi uporabniki naj bi si zagotovili zadnjo izdajo teh publikacij.
7. IEC ali njegovi direktorji, zaposleni, uslužbenci ali agenti, vključno s samostojnimi strokovnjaki ter člani tehničnih odborov in nacionalnih komitejev IEC, ne prevzemajo nobene odgovornosti za kakršnokoli osebno poškodbo, škodo na premoženju ali katerokoli drugo škodo kakršnekoli vrste, bodisi posredne ali neposredne, ali za stroške (vključno z zakonitim lastništvom) in izdatke, povezane s publikacijo, njeno uporabo ali zanašanjem na to publikacijo IEC ali katerokoli drugo publikacijo IEC.
8. Posebno pozornost je treba posvetiti normativnim virom, na katere se sklicuje ta publikacija. Uporaba navedenih publikacij je nujna za pravilno uporabo te publikacije.
9. Opozoriti je treba na možnost, da bi lahko bil kateri od elementov tega mednarodnega standarda predmet patentnih pravic. IEC ne odgovarja za identifikacijo nobene od teh patentnih pravic.

Mednarodni standard IEC 60479-1 je pripravil tehnični odbor IEC/TC 64 Električne inštalacije in zaščita pred električnim udarom.

Ta prva izdaja razveljavlja in nadomešča IEC/TS 60479-1:2005, Dopolnilo 1:2016 in IEC/TR 60479-3:1998. Ta izdaja predstavlja tehnično spremembo.

Ta izdaja vključuje naslednje pomembne tehnične spremembe glede na IEC/TS 60479-1 in IEC/TR 60479-3:

- vsebina IEC/TR 60479-3 v zvezi z vidiki, ki so edinstveni glede učinkov toka skozi telesa živali, je vključena v novi dodatek H (normativni).

Dokument ima status osnovne varnostne publikacije v skladu z IEC Vodilom 104.

Besedilo tega mednarodnega standarda temelji na naslednjih dokumentih:

CDV	Poročilo o glasovanju
64/2275/CDV	64/2343/RVC

Vse informacije o glasovanju za potrditev tega mednarodnega standarda so v poročilu o glasovanju, navedenem v gornji preglednici.

Ta dokument je bil pripravljen v skladu z 2. delom Direktiv ISO/IEC.

Na spletnih straneh IEC je na voljo seznam vseh delov v skupini IEC 60479, objavljeni pod splošnim naslovom *Učinki električnega toka na ljudi in živali*.

Odbor se je odločil, da bo vsebina tega dokumenta ostala nespremenjena do datuma stabilnosti, ki je določen na spletni strani IEC "<http://webstore.iec.ch>" pri podatkih, vezanih na ta dokument. Po tem datumu bo dokument:

- ponovno potrjen,
- razveljavljen,
- zamenjan z novo izdajo ali
- dopolnjen.

Dvojezična različica te publikacije je lahko izdana pozneje.

**POMEMBNO:** Logotip "v barvah" na platnicah te publikacije opozarja, da vsebuje barve, ki so potrebne za pravilno razumevanje njene vsebine. Uporabniki naj zato tiskajo ta dokument z barvnim tiskalnikom.

[SIST IEC 60479-1:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7dbe8e98-5a68-4db6-bb55-d229a42ae5e3/sist-iec-60479-1-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7dbe8e98-5a68-4db6-bb55-d229a42ae5e3/sist-iec-60479-1-2020>

## Uvod

Da bi se izognili napačnim interpretacijam tega dokumenta, je treba poudariti, da so podatki v njem pridobljeni večinoma s poskusi na živalih in z razpoložljivimi informacijami iz kliničnih opazovanj. Le nekaj preskusov udarov s kratkotrajnimi toki je bilo izvedenih na živih ljudeh.

Na podlagi razpoložljivih dokazov, v glavnem iz raziskav na živalih, so vrednosti tako konzervativne, da velja ta dokument za osebe v normalnem fiziološkem stanju, vključno z otroki, ne glede na starost in maso.

Tu so seveda tudi drugi vidiki, ki naj bi se upoštevali, kot so verjetnost okvar, verjetnost stika z deli pod napetostjo ali okvarjenimi deli, razmerje med napetostjo dotika in okvarno napetostjo, pridobljene izkušnje, tehnične možnosti in gospodarnost. Ti parametri naj se skrbno upoštevajo pri določanju varnostnih zahtev, na primer obratovalne karakteristike zaščitnih naprav za električne inštalacije.

Oblika dokumenta, kot je bila izbrana, povzema do sedaj pridobljene rezultate, ki jih uporablja tehnični odbor IEC/TC 64 kot podlago za postavljanje zahtev za zaščito pred električnim udarom. Za te rezultate se šteje, da so dovolj pomembni za utemeljitev publikacije IEC, ki lahko služi kot vodilo drugim odborom IEC in državam, ki potrebujejo take informacije.

Ta dokument velja za prag ventrikularne fibrilacije, ki je glavni vzrok smrti zaradi električnega toka. Skupna analiza rezultatov nedavnih raziskav fiziologije srca in praga fibrilacije je omogočila boljše razumevanje vpliva glavnih fizioloških parametrov in še posebej trajanja toka.

Ta dokument vsebuje informacijo o impedanci telesa in pragih tokov skozi telo za različne fiziološke učinke. To informacijo je mogoče kombinirati z namenom, da se pridobijo ocene pragov izmenične in enosmerne napetosti dotika za določene poti toka skozi telo, pogoje vlažnosti stikov in stične površine na koži.

Ta dokument se posebej nanaša na učinke električnega toka. Pri ocenjevanju škodljivih učinkov vsakega primera, izvedenega na ljudeh in živalih, naj se upoštevajo drugi neelektrični pojavi, vključno s padci, vročino, ognjem in drugimi. Te zadeve so zunaj področja uporabe tega dokumenta, vendar so lahko same po sebi izjemno resne.

V obravnavi so nadaljnji podatki preskusov, npr. nedavno preskusno delo pri "tokovno vzburjeni fibrilaciji srca z vzburjanjem z diskretnim Fourierovim spektrom", ki je namenjeno prispevanju podatkov za frekvenčni faktor.

Karakteristike impedance telesa živali in učinki sinusnega izmeničnega toka so opisani v dodatku H.

## Učinki toka na ljudi in živali – 1. del: Splošni vidiki

### 1 Področje uporabe

Te del IEC 60479 zagotavlja osnovne napotke o učinkih udarnega toka na ljudi in živali.

Nevarnost za osebe je v glavnem odvisna od velikosti in trajanja toka za dano pot toka skozi človeško telo. Vendar cone čas/tok, ki so podane v naslednjih poglavjih, v mnogih primerih niso neposredno uporabne v praksi za zasnovane ukrepe za zaščito pred električnim udarom. Potrebno merilo je dopustna meja za napetost dotika (tj. zmnožek toka skozi telo, imenovanega tok dotika, in impedanca telesa) kot funkcije časa. Razmerje med tokom in napetostjo ni linearno, ker se impedanca človeškega telesa spreminja z napetostjo dotika, in so zato potrebni podatki o tem razmerju. Različni deli človeškega telesa (kot so koža, kri, mišice, druga tkiva in sklepi) predstavljajo električnemu toku določeno impedanco, sestavljeno iz uporovnih in kapacitivnih sestavin.

Vrednosti impedance telesa so odvisne od številnih dejavnikov in še posebej od poti toka, napetosti dotika, trajanja toka, frekvence, stopnje vlažnosti kože, stične površine, uporabljenega pritiska in temperature.

V tem dokumentu prikazane vrednosti impedanc izhajajo iz natančnih pregledov eksperimentalnih rezultatov, pridobljenih iz meritev, izvedenih v glavnem na truplih in nekatere na živih osebah.

Poznavanje učinkov izmeničnega toka najprej temelji na odkritjih v zvezi z učinki toka s frekvenco 50 Hz ali 60 Hz, ki sta najbolj običajni pri električnih inštalacijah. Vendar se šteje, da so dane vrednosti uporabne v frekvenčnem območju od 15 Hz do 100 Hz in da so vrednosti praga na mejah tega območja višje kot pri 50 Hz ali 60 Hz. Načelno se tveganje za ventrikularno fibrilacijo obravnava kot glavni mehanizem smrtnih nesreč pri delu z elektriko.

Nesreče z enosmernim tokom so mnogo redkejše, kot bi jih lahko pričakovali glede na število enosmernih aplikacij, in usodne nesreče z elektriko se zgodijo samo v zelo neugodnih pogojih, na primer v rudnikih. Delni razlog je dejstvo, da je pri enosmernem toku sprostitvev oprijema manj zahtevna in da je pri trajanju udara, ki je daljše od ene periode srčnega ciklusa, prag ventrikularne fibrilacije znatno višji od praga za izmenični tok.

Ta osnovna varnostna publikacija je primarno namenjena tehničnim odborom za pripravo standardov skladno z načeli, ki so podani v IEC Vodilu 104 in ISO/IEC Vodilu 51. Ni namenjena za uporabo pri proizvajalcih ali certifikacijskih organih.

Ena od odgovornosti tehničnega odbora je, kjerkoli je uporabno, zagotoviti uporabo osnovnih publikacij pri pripravi lastnih publikacij. Zahteve, preskusne metode ali preskusni pogoji te osnovne varnostne publikacije pa veljajo samo v primeru sklicevanja nanje v ustreznih publikacijah.

### 2 Zveze s standardi

Za uporabo tega standarda so, delno ali v celoti, nujno potrebni spodaj navedeni dokumenti. Pri datiranih sklicevanjih se uporablja le navedena izdaja. Pri nedatiranih sklicevanjih se uporablja zadnja izdaja publikacije (vključno z dopolnili).

IEC Vodilo 104:2010      Priprava varnostnih publikacij in uporaba osnovnih varnostnih publikacij in skupinskih varnostnih publikacij

ISO/IEC Vodilo 51:2014    Varnostni vidiki – Smernice za njihovo vključenost v standarde

### 3 Izrazi in definicije

V tem dokumentu se uporabljajo naslednji izrazi in definicije.

ISO in IEC hranita terminološke zbirke podatkov za uporabo v standardizaciji na naslednjih naslovih:

- IEC Electropedia: na voljo na spletnem mestu <http://www.electropedia.org/>
- platforma za brskanje po spletu ISO: na voljo na spletnem mestu <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1 Splošne definicije

##### 3.1.1

##### **vzdolžni tok**

tok, ki teče vzdolž trupa človeškega telesa, na primer smer roka–stopala

##### 3.1.2

##### **prečni tok**

tok, ki teče prečno skozi trup človeškega telesa, na primer roka–roka

##### 3.1.3

##### **notranja impedanca človeškega telesa**

$Z_i$

impedanca med dvema elektrodama v stiku z dvema deloma človeškega telesa, pri čemer so zanemarjene impedance kože

Opomba 1: Pri telesu živali so impedance parkljev/kopit, če so, prav tako zanemarjene.

##### 3.1.4

##### **impedanca kože**

$Z_s$

impedanca med elektrodo na koži in prevodnimi tkivi pod njo

##### 3.1.5

##### **celotna impedanca človeškega telesa**

$Z_T$

vektorska vsota notranje impedance in impedanc kože

Opomba 1: Pri telesu živali je  $Z_T$  vektorska vsota notranje impedance in impedanc dlakave in gole kože ter parkljev/kopit, če so (glej sliko H.1).

GLEJ: slika 1.

##### 3.1.6

##### **impedanca dlakave in gole kože**

$Z_p$

impedanca med elektrodo na dlakavi in/ali goli koži in prevodnimi tkivi pod njo

##### 3.1.7

##### **impedanca parkljev/kopit (v nadaljevanju: parklji)**

$Z_h$

impedanca med elektrodo pod parkljem in prevodnim tkivom nad njim

##### 3.1.8

##### **začetna upornost človeškega telesa**

$R_0$

upornost, ki omeji temensko vrednost toka v trenutku, ko se pojavi napetost dotika

Opomba 1: Pri telesu živali se zanemari upornost dlakave kože, če je, vendar pa je vključena upornost parkljev, če so.

**3.1.9****suhi pogoji**

stanje stične površine kože glede na vlažnost žive osebe, ki miruje pri normalnih notranjih okoljskih pogojih

**3.1.10****mokri pogoji**

stanje stične površine kože, ki je bila za 1 min izpostavljena vodi iz javnega vodovoda (povprečna specifična upornost  $\rho = 3\,500\ \Omega\text{cm}$ , pH = 7 do 9)

**3.1.11****slano-mokri pogoji**

stanje stične površine kože, ki je bila za 1 min izpostavljena 3-odstotni raztopini NaCl v vodi (povprečna specifična upornost  $\rho = 30\ \Omega\text{cm}$ , pH = 7 do 9)

Opomba 1: Predpostavlja se, da slano-mokri pogoji simulirajo stanje kože prepotene osebe ali osebe po potopu v morsko vodo. Potrebne so dodatne preiskave.

**3.1.12****faktor odstopanja** $F_D$ 

celotna impedanca telesa  $Z_T$  za dani odstotkovni nivo populacije, deljena s celotno impedanco telesa  $Z_T$  za odstotkovni nivo 50 % populacije pri dani napetosti dotika

$$F_D(X\%, U_T) = \frac{Z_T(X\%, U_T)}{Z_T(50\%, U_T)}$$

**3.2 Učinki sinusnega izmeničnega toka v območju 15 Hz do 100 Hz****3.2.1****prag zaznavanja**

najmanjša vrednost toka dotika, ki ga še zazna oseba, skozi katero teče

**3.2.2****prag odziva**

najmanjša vrednost toka dotika, ki povzroči nenamerno krčenje mišic

**3.2.3****prag sprostitve**

največja vrednost toka dotika, pri kateri lahko oseba, ki drži elektrodi, še spusti ti elektrodi

**3.2.4****prag otrpnjenja**

najmanjša vrednost toka skozi telo človeka ali živali, na katero vpliva (ali skozi del človeškega telesa ali živali), ki povzroči tak odziv mišic, da se oseba ali žival ne more prosto premikati, dokler teče tok

**3.2.5****prag ventrikularne fibrilacije**

najmanjša vrednost toka dotika skozi telo človeka ali živali, ki povzroči ventrikularno fibrilacijo

**3.2.6****faktor toka skozi srce** $F$ 

faktor, ki se nanaša na električno poljsko jakost (tokovno gostoto) v srcu za dano tokovno pot glede na električno poljsko jakost (tokovno gostoto) v srcu za tok dotika enake velikosti, ki teče iz leve roke v stopala

Opomba 1: V srcu je tokovna gostota sorazmerna z električno poljsko jakostjo.

### 3.2.7

#### obdobje ranljivosti

primerljivo majhen del srčnega ciklusa, v katerem so srčna mišična vlakna v nehomogenem stanju vzdražljivosti in se pojavi ventrikularna fibrilacija, če se pojavi dovolj velik električni tok

Opomba 1: Obdobje ranljivosti ustreza prvemu delu T-vala v elektrokardiogramu, ki je približno 10 % srčnega cikla (glej slike 17 in 18).

## 3.3 Učinki enosmernega toka

### 3.3.1

#### celotna upornost telesa

$R_T$

vsota notranje upornosti človeškega telesa in upornosti kože

### 3.3.2

#### faktor ekvivalence DC/AC

$k$

razmerje enosmernega toka in ekvivalentne efektivne vrednosti izmeničnega toka, ki ima enako verjetnost povzročitve ventrikularne fibrilacije

Opomba 1: Na primer, pri trajanjih šoka, daljših od enega srčnega cikla, in pri 50-odstotni verjetnosti ventrikularne fibrilacije je faktor ekvivalence za 10 s približno:

$$k = \frac{I_{DC-fibrillation}}{I_{AC-fibrillation (RMS)}} = \frac{300 \text{ mA}}{80 \text{ mA}} = 3,75 \text{ (glej slike 20 in 22)}$$

### 3.3.3

#### tok navzgor

enosmerni tok dotika skozi človeško telo, pri katerem stopala predstavljajo pozitivni pol

### 3.3.4

#### tok navzdol

enosmerni tok dotika skozi človeško telo, pri katerem stopala predstavljajo negativni pol

## 4 Električna impedanca telesa človeka in živali

### 4.1 Splošno

Vrednost impedance telesa je odvisna od številnih dejavnikov in še posebej od poti toka, napetosti dotika, trajanja toka, frekvence, stopnje vlažnosti kože, stične površine, uporabljenega pritiska in temperature.

Načrt za impedanco človeškega telesa ja prikazan na sliki 1.

OPOMBA: Modelno vezje za človeško telo je podano v dodatku G.

### 4.2 Notranja impedanca človeškega telesa ( $Z_i$ )

Notranja impedanca človeškega telesa se lahko obravnava predvsem kot uporovna. Njena vrednost je najprej odvisna od poti toka in v manjši meri od površine.

OPOMBA 1: Meritve kažejo, da obstaja majhen kapacitivni delež (črtkane črte v sliki 1).

Slika 2 kaže notranjo impedanco za različne dele človeškega telesa, izraženo v odstotkih glede na pot toka roka–stopalo.

Pri poteh toka roka–roka ali roka–stopala so impedance v glavnem postavljene predvsem v okončine (roke in noge). Če se zanemari impedanca trupa telesa, se lahko ustvari poenostavljena shema tokokroga, ki je prikazana na sliki 3.

OPOMBA 2: Za poenostavitev sheme tokokroga je privzeto, da imajo impedance rok in nog enake vrednosti.

### 4.3 Impedanca kože ( $Z_s$ )

Impedanca kože se lahko obravnava kot omrežje upornosti in kapacitivnosti. Koža je zgrajena iz polizolirne plasti in malih prevodnih elementov (pore). Impedanca kože pada, ko se tok večja. Včasih se opazijo sledi toka (glej 4.7).

Vrednost impedance kože je odvisna od napetosti, frekvence, trajanja toka, stične površine, pritiska na stik, stopnje vlažnosti kože, temperature in vrste kože.

Pri nižjih napetostih dotika se vrednost impedance kože zelo spreminja, tudi pri eni sami osebi, s stično površino in stanjem (suho, mokro, znoj), temperaturo, naglim dihanjem itd. Pri višjih napetostih dotika se impedanca kože znatno nižja in postane zanemarljiva ob preboju kože.

Glede na vpliv frekvence se impedanca kože nižja z višanjem frekvence.

### 4.4 Celotna impedanca človeškega telesa ( $Z_T$ )

Celotno impedanco človeškega telesa sestavljajo uporovni in kapacitivni deli.

Pri nižjih napetostih dotika se impedanca kože  $Z_s$  znatno spreminja in podobno celotna impedanca človeškega telesa  $Z_T$ . Pri višjih napetostih dotika je celotna impedanca vse manj odvisna od impedance kože in se njena vrednost približuje vrednosti notranje impedance  $Z_i$ . Glej slike 4 do 9.

Glede na vpliv frekvence in z upoštevanjem frekvenčne odvisnosti impedance kože je celotna impedanca človeškega telesa višja pri enosmernem toku in se nižja z višanjem frekvence.

### 4.5 Dejavniki, ki vplivajo na začetno upornost človeškega telesa ( $R_0$ )

V trenutku, ko se pojavi napetost dotika, kapacitivnosti človeškega telesa niso napolnjene. Zato sta impedanci kože  $Z_{s1}$  in  $Z_{s2}$  zanemarljivi in je začetna upornost  $R_0$  približno enaka notranji impedanci človeškega telesa  $Z_i$  (glej sliko 1). Začetna upornost  $R_0$  je v glavnem odvisna od poti toka in v manjšem delu od stične površine.

Začetna upornost  $R_0$  omeji tokovne konice kratkih udarov (npr. udarov električnega pastirja).

### 4.6 Vrednosti celotne impedance človeškega telesa ( $Z_T$ )

#### 4.6.1 Odvisnost celotne impedance telesa za velike, srednje in majhne stične površine

Odvisnost celotne impedance telesa  $Z_T$  za 50-odstotkovno populacijo živih ljudi za velike, srednje in majhne suhe, mokre in slano-mokre stične površine (red velikosti 10 000 mm<sup>2</sup>, 1 000 mm<sup>2</sup> oziroma 100 mm<sup>2</sup>) pri napetostih dotika  $U_T = 25$  V izmenično do 200 V izmenično je prikazana na slikah 7, 8 in 9.

#### 4.6.2 Sinusni izmenični tok, 50/60 Hz, za velike stične površine

Vrednosti celotne impedance telesa v preglednicah 1, 2 in 3 veljajo za žive ljudi in pot toka roka–roka za velike suhe (preglednica 1), mokre (preglednica 2) in slano-mokre (preglednica 3) stične površine (red velikosti 10 000 mm<sup>2</sup>).

Na sliki 4 je predstavljeno območje celotne impedance za napetosti dotika do vključno 700 V za velike suhe, mokre in slano-mokre stične površine za odstotkovni nivo 50 % populacije.

Vrednosti v preglednicah 1, 2 in 3 predstavljajo najboljše poznavanje celotne impedance telesa  $Z_T$  za žive odrasle osebe. Na podlagi trenutno razpoložljivega znanja je celotna impedanca telesa  $Z_T$  otrok nekoliko višja, toda v istem redu velikosti.

**Preglednica 1: Celotne impedance telesa  $Z_T$  za pot toka roka–roka, izmenični tok, 50/60 Hz, za velike suhe stične površine**

	Vrednosti za celotno impedanco telesa $Z_T$ ( $\Omega$ ), ki niso presežene za		
	5 % populacije	50 % populacije	95 % populacije
25	1 750	3 250	6 100
50	1 375	2 500	4 600
75	1 125	2 000	3 600
100	990	1 725	3 125
125	900	1 550	2 675
150	850	1 400	2 350
175	825	1 325	2 175
200	800	1 275	2 050
225	775	1 225	1 900
400	700	950	1 275
500	625	850	1 150
700	575	775	1 050
1 000	575	775	1 050
Asimptotična vrednost = notranja impedanca	575	775	1 050
<p>OPOMBA 1: Nekatere meritve kažejo, da je celotna impedanca telesa za pot roka–stopalo nekaj nižja od poti toka roka–roka (10 % do 30 %).</p> <p>OPOMBA 2: Vrednosti <math>Z_T</math> za žive osebe ustrezajo trajanju toka okoli 0,1 s. Za daljša trajanja se vrednosti <math>Z_T</math> lahko zmanjšajo (okoli 10 % do 20 %) in po celotnem pretrganju kože <math>Z_T</math> doseže notranjo impedanco telesa <math>Z_i</math>.</p> <p>OPOMBA 3: Za standardno vrednost napetosti 230 V (omrežni sistem 3N ~ 230/400 V) se lahko pričakuje, da so vrednosti celotne impedance telesa enake kot za napetost dotika 225 V.</p> <p>OPOMBA 4: Vrednosti <math>Z_T</math> so zaokrožene na 25 <math>\Omega</math>.</p>			