

Účinky napětí a proudů

Problematiku účinků napětí a proudů rozdělíme do několika pohledů:

- účinky napětí a proudů na látky, materiály a lidský organismus
- odpor lidského těla
- rozdíl mezi účinky stejnosměrného a střídavého proudu.

Účinky napětí a proudů na látky, materiály a lidský organismus

Účinky napětí a proudů na látky a materiály

Účinky napětí i proudů se projevují především na izolantech (nebo dielektriku). Čím je napětí přiložené na izolaci vyšší, tím větší je pravděpodobnost, že dojde k jejímu elektrickému průrazu. Přitom průrazné napětí je hodnota, při které dojde k elektrickému průrazu izolace. Velikost tohoto napětí však není konstantní po celou dobu života elektrického předmětu, tedy i izolace. Izolace stárne, a tak se mění i velikost průrazného napětí. Rychlost stárnutí závisí především na teplotě izolace, ale také na napětí, popř. i přepětí, kterému byla izolace před průrazem vystavena. Z tohoto hlediska je nebezpečné její tepelné namáhání způsobované především elektrickým proudem protékajícím vodičem nebo jinými vodivými částmi izolovaných elektrických předmětů. Rozlišujeme elektrický průraz izolantu a jeho tepelný průraz.

Kromě uvedených vlivů napětí a proudů působí na izolaci i chemické vlivy a různá záření (tepelná, ultrafialová apod.), která mohou, zejména izolaci z plastů, rozkládat. Mechanické vlivy poškozují křehkou izolaci z anorganických (keramických) materiálů.

Elektrický proud způsobuje ohřívání vodičů, kterými prochází. Kromě toho, že jejich oteplení škodlivě působí na izolaci, způsobuje zvýšená teplota potíže ve spojích. Zejména u hliníkových vodičů malých průřezů způsobuje střídající se oteplení při zatížení a ochlazení v klidovém stavu uvolnění spojů. Proto je stanoveno spoje hliníkových vodičů pravidelně kontrolovat nebo je provádět tak, aby na vodiče ve svorkách byl vyvočován trvalý tlak, pokud možno nezávislý na tepelné změně jejich objemu. Proto je v nových instalacích zakázáno používat hliníkové vodiče s průřezy nižšími než 10 mm².

Dle ČSN 33 2000-5-54 se nedoporučuje používat měděné zemniče. Přes jejich velmi dobré vlastnosti jsou nebezpečné tím, že způsobují nejen úbytek ocelových zemničů, které jsou v jejich blízkosti, ale i ocelových potrubí a též ocelové výztuže základů budov. Proto, aby bludné proudy, resp. proudy vedené zemí, byly co nejmenší, je třeba, aby i odběry v trojfázové distribuční síti byly rozděleny na jednotlivé fáze co nejrovnoměrněji. Je to proto, aby pracovní proud vodičem PEN, jehož určitá malá část je vedená zemí, byl co nejmenší.

Co je důsledkem uvedeného působení napětí, proudů a ostatních vlivů? Je pravda, že vysoké přepětí způsobí okamžitý elektrický průraz izolace, čímž dojde ke zkratu. Ten by měl být včas odpojen jistícím prvkem. Velké nadproudy (zejména zkratové proudy) by měly být odpojeny okamžitě, a proto by neměly způsobovat větší škody. Nemůžeme však podceňovat stárnutí izolace, které se projevuje zhoršením izolačního stavu. Toto zhoršení totiž není v celé izolaci rovnoměrně rozloženo, ale v některých místech nebo na jejím povrchu se vytvářejí vodivé cesty, které jsou zdrojem zvýšené teploty a způsobují další znehodnocování okolní izolace. Stejným způsobem dochází ke zhoršování kontaktů ve spojích vodičů. Proto je důležité nejen pravidelně ověřovat izolační stav i stav vodivosti obvodů (např. měřením impedance smyčky), ale ještě důležitější je, hlavně v prostředích, kde porucha může mít vážné důsledky, zjištěné závady a odchylky od normálního stavu co nejdříve odstraňovat.

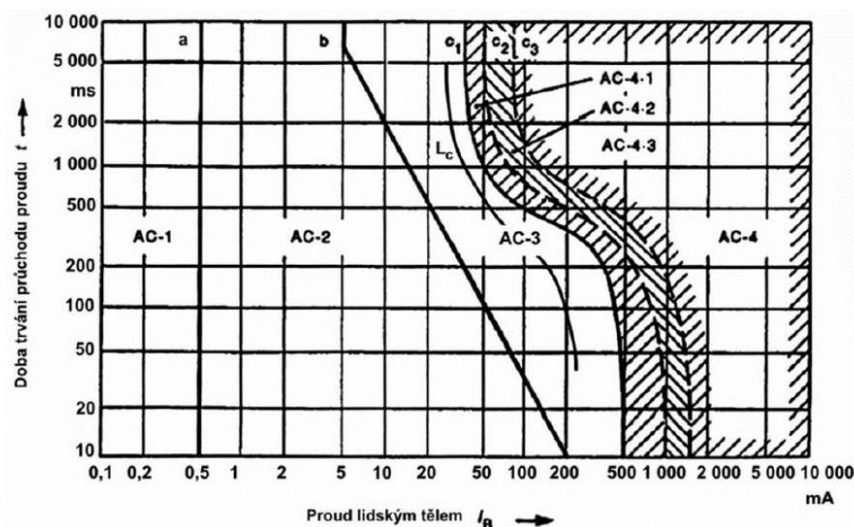
Účinky elektrického proudu na lidský organismus

Je známou skutečností, že čím větší je elektrický proud procházející lidským tělem, tím výrazněji se projevuje. Průchod střídavého elektrického proudu tělem začínáme vnímat při jeho hodnotě okolo 0,5 mA. Tuto hodnotu označujeme za práh vnímání. Do hodnoty 3 mA proud vyvolává v těle, a to zejména v místech vstupu do těla, nepříjemné pocity mravenčení až brnění. Tento proud při krátkém působení, není nebezpečný. Při dalším zvyšování jeho velikosti se začnou svírat svaly, zejména kolem části pod napětím, kterou člověk drží v ruce, až při hodnotě kolem 10 mA toto sevření zesílí natolik, že již je není možné uvolnit. To je velmi nebezpečný stav, kdy není možno se pustit - například elektrického nářadí s proraženou izolací.

Je zde nebezpečí dlouhodobého průchodu proudu, který může způsobit například zástavu srdeční činnosti. Hodnota 5 mA AC resp. 25 mA DC se nazývá mez uvolnění. Proud o velikosti kolem 30 mA může již mít škodlivé patofyziologické následky – vnitřní poranění, porušení tkání apod., až při velikosti proudu nad 35 mA může dojít k srdeční zástavě – u proudu nad 80 mA je srdeční zástava již téměř jistá. Aktuální konvenční hodnoty jsou uvedeny v NC. 3 tab. NC1 ČSN 33 2000-4-41 ed.2.

Všechny přibližné hodnoty, které zde byly uvedeny, platí pro střídavý proud o frekvenci 50 Hz, a to pro dlouhodobější průchod proudu kolem 5 s. Při kratších dobách průchodu proudu jsou uvedené mezní hodnoty (kromě prahu vnímání) podstatně větší. Závislost uvedených mezních hodnot na čase je znázorněna na Obr.1. Křivka označená L_c je dohodnutá křivka, znázorňující závislost doby, za kterou by měl být proud lidským tělem odpojen, na velikosti procházejícího proudu.

Obr. 1: Dohodnuté zóny účinků střídavého proudu (od 15 Hz do 100 Hz) na člověka



Obr. 2: Popis zón uvedených na Obr. 1

Označení zóny	Mezní hodnoty zóny	Typické fyziologické účinky
AC-1	Do 0,5 mA, tj. do čáry a	Obvykle bez reakce
AC-2	Od 0,5 mA až k čáře b	Obvykle bez škodlivých fyziologických účinků Neúmyslné svalové stahy
AC-3	Od čáry b až ke křivce c_1	Obvykle bez škod na organismu. Pravděpodobnost křečovitých stahů a obtíží při dýchání.
AC-4	Počínaje křivkou c_1	K účinkům v zóně AC-3 se mohou se zvyšující se velikostí proudu a prodlužující se dobou jeho průchodu přidat nebezpečné patofyziologické účinky jako zástava srdce, dechu a závažná popálení
AC-4.1	c_1 až c_2	Pravděpodobnost ventrikulárních fibrilací až u 5 % lidí zasažených elektrickým proudem
AC-4.2	c_2 až c_3	Pravděpodobnost ventrikulárních fibrilací až u 50 % lidí zasažených elektrickým proudem
AC-4.3	Za křivkou c_3	Pravděpodobnost ventrikulárních fibrilací u více než 50 % lidí zasažených elektrickým proudem

Odpor lidského těla

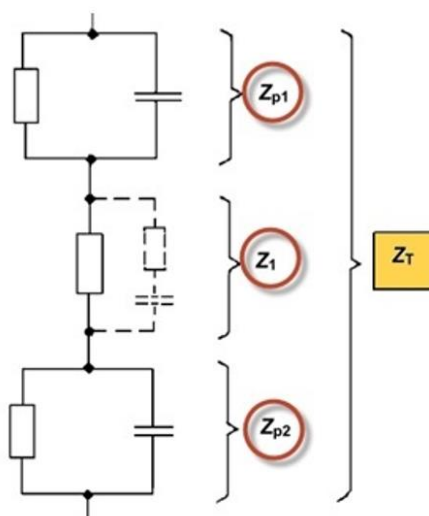
Zde se dostáváme ke vztahu mezi proudem procházejícím tělem, dotykovým napětím a odporem (impedancí) lidského těla. Pro vzájemný vztah těchto veličin platí samozřejmě Ohmův zákon .

Velmi často se však ve spojení s odporem (R) lidského těla používá pojem impedance (Z) lidského těla, která je rovněž v Ohmech.

V technických specifikacích IEC/TS 60479, zabývajících se účinky proudů na lidi a hospodářská zvířata, jsou shrnuty výsledky různých měření impedancí, která byla provedena na tělech zvířat i lidí. Celková impedance lidského těla Z_T je přitom složena především z impedance místa na kůži, kterým proud do těla vtéká (Z_{p1}), impedance místa, z něhož proud z těla vytéká (Z_{p2}) a také z vnitřní impedance těla (Z_1), tj. impedance tkání trupu a končetin.

$$I = \frac{U}{R}$$

Obr. 1: Schéma impedance lidského těla

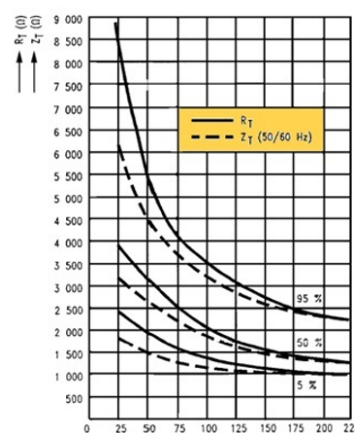


Impedance lidského těla má převážně charakter činného odporu (tj. bez kapacitních reaktančních složek, které můžeme zanedbat). Velikost odporu lidského těla přímo určuje dráha proudu lidským tělem.

Hodnota impedance lidské kůže je závislá na řadě vnějších vlivů - napětí, kmitočet, doba průchodu proudu, plocha dotýkající se části pod napětím nebo tlak na tuto plochu, vlhkost a teplota kůže. Např. zpocená kůže má mnohem menší odpor než kůže suchá. Při hodnotě napětí okolo 50 V AC je impedance velká, při rostoucím napětí hodnota impedance značně klesá a od napětí 150 V výše méně závisí na vlhkosti a ploše dotyku. Od napětí kolem 200 V AC dochází k průrazu kůže a její impedanci je pak možno zanedbat.

Celková impedance těla se při dotykových napětích do 50 V velmi mění, a závisí tedy zejména na odporu kůže. Při vyšších napětích závisí na impedanci kůže stále méně a v podstatě se již rovná vnitřní impedanci těla. Závislost celkové impedance a odporu těla na napětí lze vyjádřit následujícím grafem.

Obr. 2: Statistické hodnoty impedance a odporu lidského těla



Jedná se přitom o impedanci měřenou pro dráhu proudu ruka – ruka při střídavém proudu 50/60 Hz, kdy dotyk s částmi pod napětím byl na velké ploše (50 až 100 cm²). Impedance je vyznačena čerchovanou čarou, odpor změřený za stejných podmínek při stejnosměrném proudu je vyznačen plnou čarou.

Křivky 5, 50 a 95 % znázorňují hodnoty, pro něž platí, že nižší hodnoty odporu nebo impedance těla má jen 5, 50 a 95 % lidské populace. Elektrotechnické předpisy vycházejí z křivek označených 5 %. Hlavní podíl na vnitřní impedanci těla mají končetiny (ruce a nohy), zvláště pak klouby. Naproti tomu odpor trupu je zanedbatelně malý.

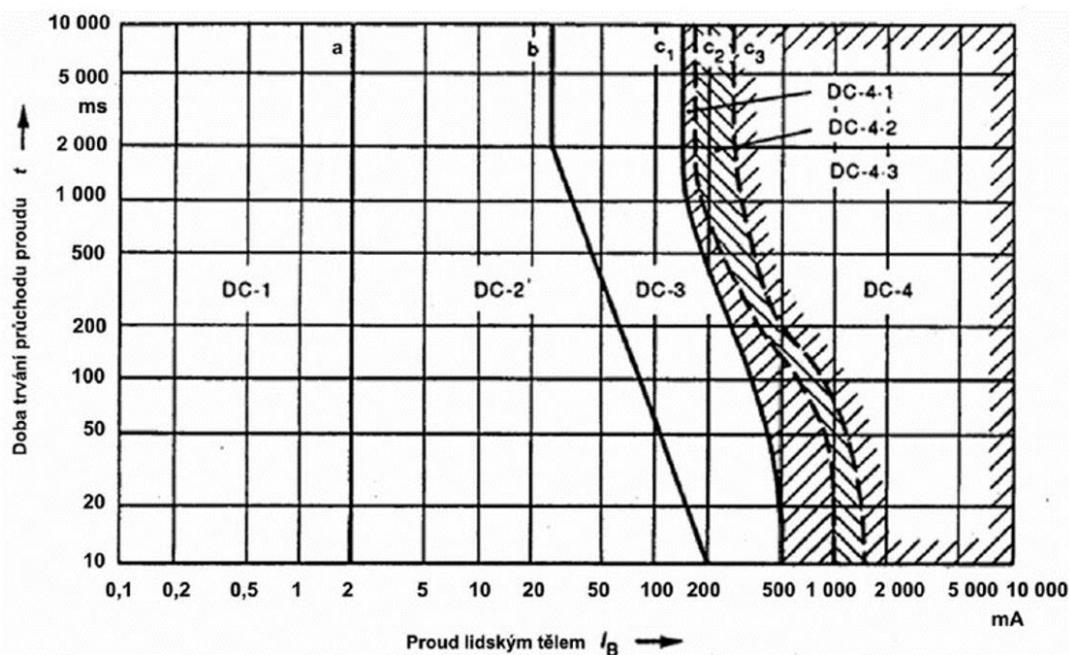
Celková impedance těla měřená na dráze ruka – noha je nepatrně menší než na dráze ruka – ruka, takže pro praktické účely se předpokládá, že tyto impedance jsou stejné. Pro jiné dráhy proudu jsou impedance těla menší. Například celková impedance těla při dráze proudu mezi oběma rukama a dolní částí těla je jenom třetina hodnoty podle obrázku statistických závislostí měřené pro dráhu proudu ruka – ruka, impedance mezi oběma rukama a hrudí je pak méně než čtvrtina impedance pro dráhu ruka – ruka. Pokud se týká závislosti na kmitočtu proudu, pak čím vyšší je kmitočet, tím menší je závislost impedance na dotykovém napětí, takže pro napětí asi od 25 V výše a kmitočty nad 2 kHz je možno počítat s impedancí lidského těla asi jenom 600 Ω.

Rozdíl mezi účinky stejnosměrného a střídavého proudu

Na obrázku jsou znázorněny závislosti mezních hodnot (prahu vnímání, odpoutání, srdeční fibrilace) pro stejnosměrný proud. Je patrné, že téměř všechny tyto hodnoty jsou větší než pro střídavý proud. Jen u velmi krátkých časů průchodu proudu tělem (10 ms) jsou mezní hodnoty stejné. Ale proč? U tak krátkých časů už nemusíme o střídavém proudu hovořit, protože 10 ms je doba jedné půlperiody proudu o kmitočtu 50 Hz. Důvod, proč člověk (i zvíře) snese větší proud stejnosměrný, je ten, že nejnebezpečnější je fáze, kdy proud mění svou polaritu (kladná půlvlna proudu přechází v zápornou). V tento okamžik jsou tkáně lidského těla namáhány nejvíce.

Nicméně na základě naměřených hodnot shrnutých v následujícím obrázku je možno zdůvodnit, proč jsou dovolená dotyková stejnosměrná napětí přibližně dvakrát větší než dovolená dotyková napětí střídavá.

Obr. 1: Dohodnuté zóny účinků stejnosměrného proudu na člověka



Obr. 2: Popis zón uvedených v Obr. 1

Označení zóny	Mezní hodnoty zóny	Typické fyziologické účinky
DC-1	Do 2 mA čára a	Obvykle bez reakce Slabé štípnutí při zapínání a vypínání
DC-2	2 mA až k čáře b	Obvykle bez škodlivých fyziologických účinků Neúmyslné svalové stahy
DC-3	Od čáry b až ke křivce c ₁	Obvykle bez škod na organismu. Se vzrůstajícím proudem se mohou objevit vratné poruchy srdečních stahů a impulzů k činnosti srdce. Silná škubání způsobovaná neúmyslnými svalovými stahy.
DC-4	Počínaje křivkou c ₁	K účinkům v zóně DC-3 se mohou se zvyšující se velikostí proudu a prodlužující se dobou jeho průchodu přidat nebezpečné patofyziologické účinky jako např. ventrikulární fibrilace a závažná popálení
DC-4.1	c ₁ až c ₂	Pravděpodobnost ventrikulárních fibrilací* až u 5 % lidí zasažených elektrickým proudem
DC-4.2	c ₂ až c ₃	Pravděpodobnost ventrikulárních fibrilací až u 50 % lidí zasažených elektrickým proudem
DC-4.3	Za křivkou c ₃	Pravděpodobnost ventrikulárních fibrilací u více než 50 % lidí zasažených elektrickým proudem