

Vysoké napětí – reálná příčina smrti řidičů

plk. Ing. Martin Hrinko, Ph.D., por. Ing. Rostislav Naivert,
Policie ČR OR Karviná a MŘ Ostrava

V tomto příspěvku je popsána jedna z nešťastných událostí, která se odehrála na stavbě a při které sehrála fatální roli chvilková nepozornost řidiče nákladního vozidla. Případ vychází ze skutečné události a autoři se na jeho základě snaží upozornit na alarmující skutečnost, že k tomuto typu úrazů nebo jejím modifikacím dochází stále častěji. Je zde také zkoumán mechanismus zranění, a tedy příčin, které vedly ke smrti řidiče.

Popis události

Policejní oddělení přijalo oznámení o pracovním úrazu s následkem smrti, ke kterému došlo při výstavbě dálnice. Policisté na místě zjistili, že nákladní vozidlo tovární značky MAN zavádilo při vyklápění zeminy z nákladního návěsu sklápěčky o elektrické vedení vysokého napětí 22 kV (obr. 1). Řidič vozidla byl ve snaze urychleně opustit nákladní vůz smrtelně zraněn v momentě, kdy se dotkl chodidlem země. Následné oživovací pokusy prováděné pracovníky staveniště byly neúspěšné a marná byla i snaha o oživení řidiče záchranáři, kteří přijeli na místo činu bezprostředně po oznámení této události. Ani policejní vyšetřování, ani odborná vyjádření hasičských vyšetřovatelů, lékařů soudního lékařství a pracovníků oblastního inspektorátu bezpečnosti práce neprokázaly spáchání jakéhokoliv trestného činu. Škoda materiálního charakteru vznikla pouze na nákladním vozidle, zejména na pneumatikách zničených ohněm, na hořlavém obložení motorového prostoru vozidla, elektrickém vedení a na elektrických součástkách nákladního vozidla.

- dráze proudu,
- době průchodu proudu,
- fyziologickém stavu a psychickém stavu organismu,
- velikosti dotykového napětí.



Obr. 1. Spojení hydraulického mechanismu sklápěčky návěsu s vedením vn [1]

Druhy proudu

Střídavý proud způsobuje jednak rozklad krve, jednak svalové křeče (vede k neschopnosti okysličování organismu a k zástavě dý-

chání), přičemž od určité hranice způsobuje fibrilaci (chvění) srdce, což vede k zástavě srdeční činnosti. Srdce pracuje jako krevní pumpa s frekvencí asi sedmdesát tepů za minutu. Při průchodu proudu s frekvencí 50 Hz se srdce snaží přizpůsobit frekvenci procházejícího proudu a začíná pracovat s frekvencí padesát tepů za sekundu. To však znamená, že srdce ztrácí schopnost pracovat jako krevní pumpa a dochází pouze k srdeční fibrilaci a následně k zástavě srdeční činnosti (obr. 2).

Velikost proudu

Účinek elektrického proudu na lidský organismus je přímo úměrný velikosti procházejícího proudu a době trvání průchodu proudu. Na základě dlouhodobých zkoumání byla stanovena velikost proudu, který (až na jednotlivé výjimky) není lidskému organismu nebezpečný. Pro střídavý proud s frekvencí 10 až 100 Hz je to hodnota 3,5 mA.

Frekvence proudu

Nebezpečné frekvence jsou v pásmech 10 až 100 Hz a dále v rozsahu 200 až 500 Hz.

Impedance lidského těla

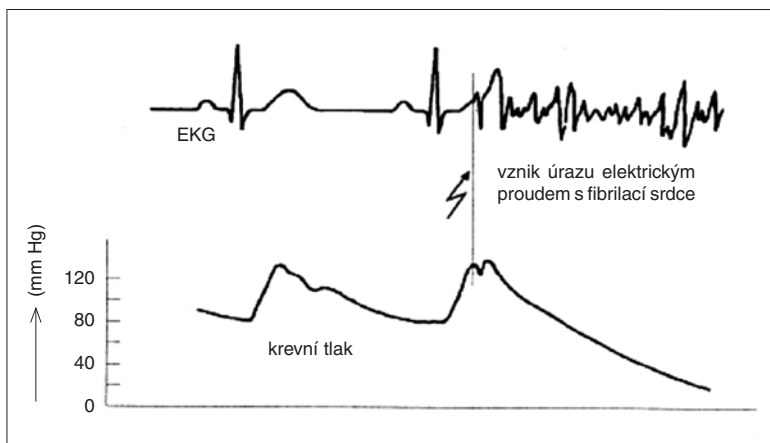
Velikost impedance (zdánlivý odpor) lidského těla není u každého člověka stejná (je dána fyziologickým stavem organismu) a její hodnota se pohybuje od 1 000 do 10 000 Ω . Průměrná hodnota byla stanovena na 2 000 Ω .

Elektrický proud a jeho působení na člověka

Elektrický proud protékající lidským tělem může být příčinou vážného úrazu nebo smrti člověka. K úrazu může dojít také v důsledku jiných nežádoucích účinků elektrického proudu, resp. působením elektrického či elektromagnetického pole.

Účinek elektrického proudu na lidský organismus závisí na:

- druhu proudu,
- velikosti proudu,
- frekvenci proudu,
- impedanci lidského těla,



Obr. 2. Průběh EKG a krevního tlaku před a po úrazu elektrickým proudem [2]

Dráha proudu

Velikost působení elektrického proudu je dána konkrétní dráhou, kterou elektrický proud v lidském těle protéká. Nejnebezpečnější dráhu proudu představuje úsek mezi hlavou a rukou nebo mezi hlavou a nohou, neboť protékající proud mj. zasahuje především mozkové centrum. Dále je pro člověka z hlediska úrazu elektrickým proudem nebezpečná proudová dráha mezi levou a pravou rukou a mezi levou rukou a levou nohou, neboť proud zde prochází oblastí srdce.

Doba průchodu proudu

Bylo prokázáno, že trvá-li průchod elektrického proudu lidským tělem 0,8 s a více, zasáhne minimálně jedenkrát vulnerabilní fázi srdeční činnosti, tzv. T-vlnu (obr. 3). Během této fáze srdeční činnosti je srdce mimořádně náchylné k zástavě. Při době trvání průtoku elektrického proudu lidským tělem 0,4 s je pravděpodobnost vyhnutí se vulnerabilní fázi 30 %, při době trvání 0,2 s již 60 %. Účinky střídavého proudu s frekvencí 50 Hz na člověka jsou znázorněny na obr. 4. Navíc s rostoucí dobou trvání průchodu elektrického proudu lidským tělem se snižuje impedance těla a v důsledku toho dochází ke zvětšování tohoto proudu.

Fyziologický a psychický stav organismu

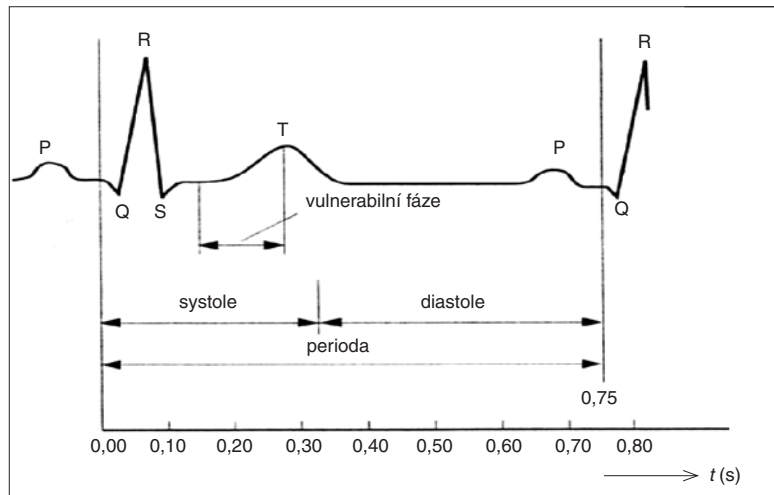
Impedance lidského těla je dána fyziologickou stavbou organismu, a je tedy u každého jedince jiná. Avšak i u stejného člověka se impedance lidského těla mění v závislosti na jeho psychickém stavu. Se zhoršujícím se psychickým stavem (únava, duševní deprese apod.) impedance lidského těla klesá (až na hodnotu 400 Ω). Tím však zároveň roste velikost proudu tekoucího tělem a zvyšuje se i nebezpečí následků úrazu elektrickým proudem.

Velikost dotykového napětí

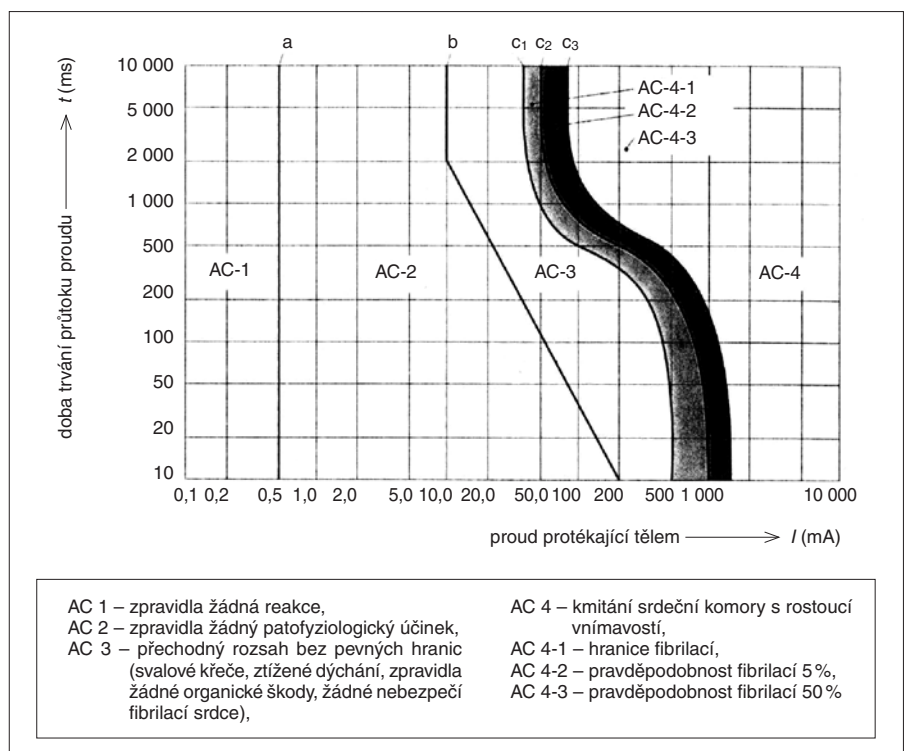
Ne každý orgán v lidském těle má stejnou vodivost nebo citlivost na elektrický proud. Pokožku si lze představit jako nedokonalý izolační obal lidského těla, neboť má asi dvacetkrát menší vodivost než sliznice a měkké vnitřní orgány člověka. Pokožka však tuto vlastnost velmi rychle ztrácí působením napětí vyšších než asi 60 V. Tato skutečnost má podstatný vliv na stanovení mezí bezpečných napětí.

Měl poškozený šanci přežít?

U popisovaného případu lze podle teoretického rozboru konstatovat, že šance na přežití po zásahu elektrického proudu byla v podstatě nulová. Vezme-li se v úvahu teoretický odpor (zde impedance, protože jde o střídavé napětí s frekvencí sítě 50 Hz) lid-



Obr. 3. Elektrokardiogram srdeční činnosti [2]



Obr. 4. Účinek střídavého elektrického proudu v závislosti na době jeho působení [2]

ského těla 2 000 Ω a napětí 22 kV, lze na základě Ohmova zákona vypočítat proud, který prošel tělem poškozeného řidiče:

$$I = U/Z = 22\ 000/2\ 000 = 11\ \text{A}$$

Tato hodnota je téměř 3 143krát větší než bezpečná hodnota střídavého proudu, který lidský organismus vydrží bez jakýchkoliv zdravotních následků.

Po doteku korbey tahače s vedením vn došlo k vytvoření elektrického oblouku se zemí mezi ráfkem přes pneumatiku a proud začal po překonání izolačního odporu pneumatik procházet do země. Protože byl v té době poškozen ještě v kabině tahače, měl stejný potenciál jako kabina tahače. V důsledku vytvoření elektrického oblouku mezi ráfkem a pneumatikou došlo v místě kontaktů

pneumatik s komunikací k požáru předních pneumatik tahače. Následně se vznítilo polstrování z vnitřní strany kabiny nad motorem. Protože měl poškozený mnohonásobně menší odpor těla (asi 2 000 Ω), než byl izolační odpor pneumatik (řádově tisíce ohmů), došlo při styku chodidel poškozeného se zemí k zemnímu spojení. To vedlo ke vzniku rozdílu potenciálu (napětí) v těle poškozeného a v důsledku toho začal jeho tělem protékat vyrovnávací proud, jehož účinkům poškozený na místě podlehl.

(zpracováno v součinnosti s redakcí měsíčníku 112)

Literatura:

- [1] Ostravská radnice č. 1. Ostrava, leden 2008.
- [2] Meduna V.: *Ochrana před úrazem elektrického proudu*. VŠB TU Ostrava, Ostrava, 2001.