

## Elektrostaticky vodivé podlahy v místnostech pro lékařské účely- operačních sálů

Ing. Jaroslav Melen

soudní znalec z oboru bezpečnosti práce se specializací v elektrotechnice

### Úvod

Otázka požadavku na elektrostaticky vodivé podlahy, resp. na jejich vnitřní odpor - rezistivitu, v místnostech pro lékařské účely, uváděný v dosud platné normě ČSN 33 2140 odkazem na čl. 2. 2. ČSN 33 2030, je často diskutována a názory na jeho velikost se různí. Přitom nejde o všeobecný požadavek na podlahy ve všech prostorách, ale prioritně o prostory operačních sálů, resp. tam, kde i dnes může přicházet použití hořlavých anestetik.

Nejdříve je třeba říci, že:

- ČSN 33 2140 - Elektrotechnické předpisy. Elektrický rozvod v místnostech pro lékařské účely je z roku 1986.
- Norma ČSN 33 2030 - Elektrotechnické předpisy. Ochrana před nebezpečnými účinky statické elektřiny, uváděná jako související s ČSN 33 2140 byla normou z roku 1984! a byla nahrazena normou ČSN 33 2030:2002 - Bezpečnost strojních zařízení - Návod a doporučení pro vyloučení nebezpečí od statické elektřiny, a ta zase nahrazena od 1.12. 2004 normou ČSN 33 2030:2004 - Elektrostatika - Směrnice pro vyloučení nebezpečí od statické elektřiny.
- Tab. 4 ČSN 33 2140 u Požadavku A týkajícího se měření svodu elektrostatických vodivých podlah odkazuje na čl. 6.12 ČSN 34 1382. ČSN 34 1382 byla norma z roku 1978, zrušenou k 1.1.1989 a nová norma stejného čísla z roku 1988 má požadavky na měření uvedeny v čl. 6.12.

Ještě je třeba do úvodu citovat definice z ČSN 33 2030:2004 platné od 1. 12. 2004:

**elektrostaticky vodivý materiál** - vlastnost, popisující materiál, který není schopen hromadit ve větším množství elektrostatický náboj, pokud je spojen se zemí; tyto materiály mají vnitřní rezistivitu větší než  $10^4 \Omega\text{m}$ , avšak menší nebo rovnou než  $10^9 \Omega\text{m}$  nebo povrchovou rezistivitu menší než  $10^{10} \Omega$  (nebo povrchový odpor menší než  $10^9 \Omega$ ) měřenou při okolní teplotě<sup>1</sup> a 50% relativní vlhkosti

**vodivý materiál** - vlastnost, popisující materiál, který není schopen hromadit ve větším množství elektrostatický náboj, pokud je spojen se zemí a který má vnitřní rezistivitu rovnou nebo menší než  $10^4 \Omega\text{m}$  (pro některé prvky existují zvláštní definice, např. vodivé hadice)

**antistatický materiál** - vlastnost, obvykle používaná jako synonymum pro vodivý nebo elektrostaticky vodivý materiál, který není schopen hromadit ve větším množství elektrostatický náboj, pokud je spojen se zemí; v tomto významu je obvykle používán pro popis typu obuvi a antistatických přísad určených pro použití v kapalinách

Tolik pro nutný úvod.

K objasnění nebezpečí vyplývajícího z elektrostatického náboje přítomného na zdravotnickém pracovišti, zejména s možností použití hořlavého anestetika ve směsi s kyslíkem a pochopení požadavku na potřebnou hodnotu elektrostatického svodu, je třeba nejprve připomenout, co ovlivňuje velikost náboje a jeho projevy, tj. výboje a jejich energetickou úroveň.

Neobejdeme se beze trocha matematiky ze základů teoretické elektrotechniky.

Energie kapacitního náboje je dána vztahem

$$W = 1/2 Q \times U = 1/2 C \times U^2 \quad [1]$$

Kde je: W - energie v J

C - elektrická kapacita objektu ve F

U - potenciál na nabitém objektu ve V

Q - náboj na objektu v C

Co nám říká tento matematický vztah? S napětím nehme, to je příroda. S kapacitou úměrnou postavě člověka – operátora a/nebo zdravotní sestry také ne, zase za to může příroda.

Pan profesor Ing. Drexler nám na elektrotechnické fakultě ČVÚT říkal: „*Bylo odpozorováno z přírody a matematicky dokázáno, že platí .....*“

Možnost vzniku elektrického náboje na nevodivých materiálech je dána jejich sklonem k elektrizaci, a to díky

---

<sup>1</sup> V čl. 5.4.5.1 se uvádí teplota 25 °C

jejich antistatickým vlastnostem, tj. jistou neschopností zbavit se náboje vzniklého na jejich povrchu. Tato neschopnost je dána velikostí jak povrchového, tak i vnitřního elektrického odporu, který se navenek projevuje tím, že na povrchu takového materiálu-předmětu zůstává, pokud není uzemněn, elektrický náboj. Povrchovou hustotou elektrického náboje vyjadřujeme veličinou  $\sigma$  (C/m<sup>2</sup>).

Při úvaze o elektrickém náboji předmětů z izolačních materiálů vycházíme tedy z povrchové hustoty elektrického náboje  $\sigma$  a velikosti plochy daného předmětu  $S$  (m<sup>2</sup>), která se, jsou-li k tomu příhodné podmínky, zúčastní případného trsového výboje.

Elektrický náboj je dán vztahem:

$$Q = \sigma \times S \quad [2]$$

Co nám říká zase tento matematický vztah?  $S$  je velikosti plochy daného předmětu, úměrná geometrickým rozměrům, v našem případě postavě člověka – operátora a/nebo instrumentářky a jejich oblečení také nehme (zmenšit je nemůžeme a něco přece na sobě mít musí).

Dalším matematickým vztahem, ze kterého je patrné s čím lze „hýbat“ a dostat tak požadavkům na ochranu před účinky statické elektřiny, je časová vybíjecí konstanta  $\tau$ . Ta představuje relaxační dobu, tj. dobu, za kterou poklesne elektrostatický náboj na pevném povrchu exponenciálně na  $1/e$  (tj. okolo 37 %) své původní hodnoty pro odvod elektrostatického náboje z člověka do země.

Ta by měla být<sup>2</sup>, pro objekty s kapacitou  $C < 1\,000$  pF menší, max. rovna  $10^{-2}$  s.

Pro ni platí vztah:

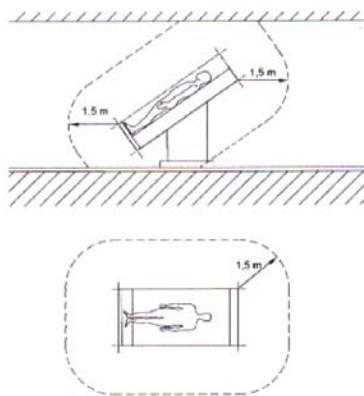
$$\tau = R_o \times C \quad [3]$$

Jak je vidět, požadované úrovně bezpečnosti lze dosáhnout buď snižováním elektrické kapacity  $C$  a/nebo plochy elektrizovatelných materiálů, jež se promítá do povrchového odporu  $R_o$ .

Jak jsem uvedl výše, s kapacitou, která je přímo úměrná mj. postavě člověka – operátora a/nebo instrumentářky (ekvivalentní kapacita těla člověka je cca  $100 \div 300$  pF)<sup>3</sup>, nehme. Jediné co můžeme ovlivnit je to co budou mít tyto osoby jako oděv na sobě.

- Do teoretického posuzování rizika nám tak vstupuje další – **1. faktor** – druh nejen oděvu, ale i ostatních textilních látek v okolí pacienta - patientském místě ležícího na operačním stole.

obrázek 1 „Okolí pacienta“



**POZOR** – A to jsme ještě neuvažovali s vlivem relativní vlhkosti vzduchu na operačním sále. Je třeba si uvědomit, že hodnoty uváděné pro povrchový odpor jsou udávány při **50%** relativní vlhkosti vzduchu!

Ta se ale na operačních sálech běžně pohybuje<sup>4</sup> v rozmezí **33 – 35 %!**

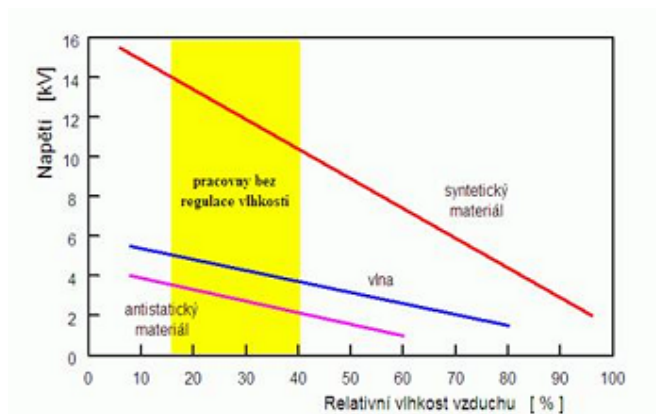
O závislosti napětí elektrostatického výboje pro různé textilní materiály ve vztahu k relativní vlhkosti vzduchu – viz obrázek 1<sup>5</sup>, nehledě k tomu, že každý ví, že když je „v zimě sucho“ tak dostává při svlékání oděvu „rány“.

<sup>2</sup> viz čl. 1.3. zrušené ČSN 33 2030:1984/a/11/88

<sup>3</sup> viz Tabulka A.2 ČSN 33 2030:2004

<sup>4</sup> Údaj z IKEMu

<sup>5</sup> Pramen: VACULÍKOVÁ, P., VACULÍK, E. aj. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů. Grada Publishing, Praha 1998



**obrázek 2** - Závislost napětí elektrostatického výboje na vlhkosti vzduchu a druhu materiálu, který elektrostatický náboj vytváří

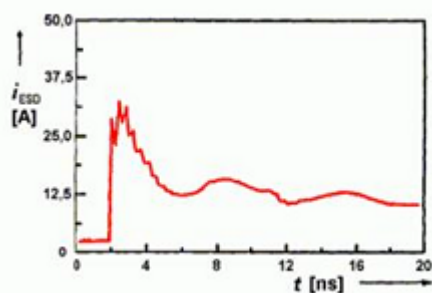
Pozor, nemůžeme-li ovlivnit primárně samu kapacitu, můžeme ji ale sekundárně snížit uzemněním vodivých objektů – v našem případě člověka a svedením náboje zabránit tak všem druhům zápalných výbojů.

- Do teoretického posuzování rizika nám vstoupil další **2. faktor** – relativní vlhkost vzduchu na operačním sále.

Aby toho bylo dosaženo, je nutné zajistit, aby se na vodivém objektu (lidské tělo je z hlediska elektrostatických parametrů elektricky vodivou látkou), tj. na operátérovi ani na instrumentárce, pohybující se na operačním sále, kde se uvažuje s možností použití hořlavého anestetika, znovu opakují **ve směsi s kyslíkem** nemohl vytvořit potenciál nutný pro vznik zápalného výboje.

- Do teoretického posuzování rizika nám tak vstoupil další **3. faktor** – fakt, že nejde o směs hořlavé látky se vzduchem, ale s kyslíkem.

Nezanedbatelným faktorem je i časový průběh proudového impulsu elektrostatického výboje ESD - vybíjecí proud elektrostatického výboje je tvarově podobný bleskovému proudovému impulsu, avšak s výrazně odlišnými kvantitativními parametry: během jediné *ns* dosáhne vybíjecí proud ESD velikosti několika jednotek až desítek A, následně pak po dobu několika desítek *ns* klesá k nule - viz obrázek 3<sup>6</sup>.



**obrázek 3** - Proudový impuls ESD

Zkusme dosadit do vztahu [3] pro  $R_o = 108 \Omega$  a pro  $C = 300 \text{ pF}$ . Vyjde nám, i ve srovnání s obrázkem 3, dlouhý čas svedení elektrostatického náboje z člověka do země = 0,03 s.

V čl. 1.3 ČSN 33 2030:1984 byla uvedena povolená hodnota  $\tau \leq 0,01 \text{ s}$ , a to jsme uvažovali, že v cestě svedení náboje do země nestojí nic jiného!

ČSN 33 2030:2004 uvažuje v čl. 11.2.1 pro typické průmyslové provozy s potenciálem nejméně 300 V.

Při použití bezpečné hodnoty, snížené na 100 V (limitní hodnota pro ochranu elektronických součástek citlivých na elektrický náboj), jako meze pro bezpečný svod statické elektřiny, můžeme vypočítat z Ohmova zákona, v závislosti na rychlosti s jakou se vytváří náboj na těle člověka, tj. na nabíjecím proudu  $I$ , hodnotu max. svodového odporu  $R_s$  elektrické cesty k zemi.

<sup>6</sup> Pramen: RODEWALD, A. Elektromagnetische Verträglichkeit - Grundlagen, Experimente, Praxis. Vieweg Verlag, Wiesbaden 1995

Ten musí být tak nízký, aby byl umožněn přenos nábojů a bylo tak zabráněno vzniku nebezpečné úrovně potenciálu na vodivém objektu – v našem případě na těle operátora a/nebo instrumentářky a nakonec např. i na skalpelu drženém v ruce operátora!

A v tom je háček, neboť my nejsme v průmyslu, ale na operačním sále a limitním není ochrana elektronických součástek, ale člověka! V dané souvislosti – rizika výbuchu, je pak limitní min. iniciační energie potřebná ke vznícení výbušné směsi (to neplatí ale jen pro zdravotnické prostory).

**POZOR** – Kapitola 1 - Rozsah platnosti ČSN 33 2030:2004 uvádí:

Tento dokument není použitelný pro nebezpečí od statické elektřiny ve vztahu k bleskům, k možnému poškození elektronických součástí nebo zdravotních nebezpečí.

Jestli-že jsem tedy v úvodu citoval z ČSN 33 2030:2004, pak jen pro definiční pojmy.

- Do teoretického posuzování rizika nám vstoupil další **4. faktor** – ochrana zdraví, min. pacienta, kdy může jít i o život.

Podíváme-li se na obrázek 2 vidíme, že při relativní vlhkosti vzduchu na operačním sále v rozmezí 33 – 35% bude při nejlepším stavu antistatického oděvu operátora napětí elektrostatického výboje cca 3 kV.

Tady je nutné připomenout Poznámku z čl. 9.4 ČSN 33 2030:2004:

*„Elektrostatické vlastnosti ochranných oděvů se mohou měnit s dobou jejich používání, po vyčištění nebo po vystavení extrémním podmínkám. Oděvy se mají udržovat v soulad s návodem výrobce.“*

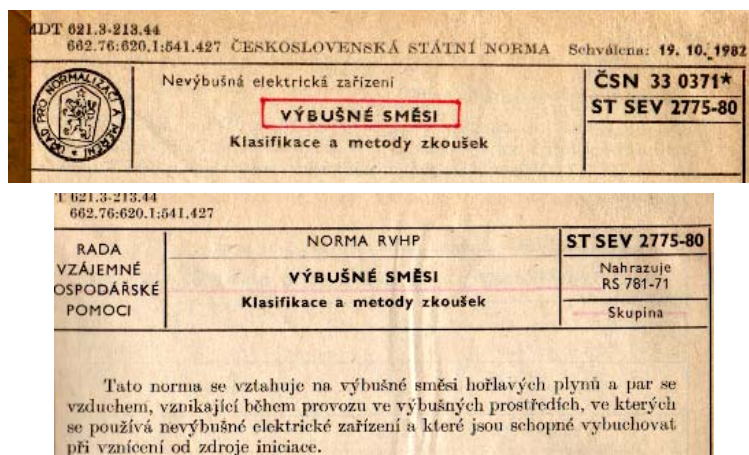
- Do teoretického posuzování rizika nám vstoupil další **5. faktor** – proměnnost antistatických vlastností. Ta bude a je třeba s ní i počítat i u podlahovin.

Dosadíme-li do vztahu [1] max. uvažovanou hodnotu kapacity lidského těla 300 pF a napětí elektrostatického výboje 3 kV, pak výpočtem dostaneme energii **W = 1,35 mJ**.

ČSN 33 2030:2004 v informativní příloze C uvádí v **C.6** toto, cituji: „Pro většinu plynů a par leží minimální iniciační energie mezi 0,1 mJ a 0,3 mJ.“

Ve staré ČSN 33 2030:1984<sup>7</sup>, lze nalézt v tabulce 7 minimální zápalnou energii, udanou pro směsi s kyslíkem, pro dietyleter s 86 obj. % rajského plynu = **0,0012 mJ**.

**POZOR** – Údaje získané zvolenou metodikou zkoušek platí, podle preambule stále platné ČSN 33 0371:1982<sup>8</sup>, resp. preambule normy RVHP: ST SEV 2775-80, která byla do soustavy ČSN takto zavedena, pro nevýbušná elektrická zařízení! **Nikoliv pro zdravotnické přístroje.**



**POZOR** – Revizní technici elektro, i když zdravotnické přístroje mohou, podle druhu ochrany proti výbuchu, být v závěrech s:

- vnitřním přetlakem,
- pískovým závěrem, a/nebo
- olejovým závěrem,

<sup>7</sup> Elektrotechnické předpisy. Ochrana před nebezpečnými účinky statické elektřiny

<sup>8</sup> Výbušné směsi. Klasifikace a metody zkoušek

a musí splňovat požadavky ČSN EN 60079-0:2004<sup>9</sup> (ČSN EN 60079-0 ed.2:2007)<sup>10</sup>, ještě to ale neznamená, že z hlediska prevence výbuchu splňují automaticky požadavky uvedené ČSN EN 60601-1 ed.2:2007<sup>11</sup>.

Kdyby totiž splňovaly jen požadavky ČSN EN 60079-0, nelze je používat v situaci, kdy jsou používány **hořlavé anestetické směsi** s O<sub>2</sub> nebo N<sub>2</sub>O! ČSN EN 60079-0 obou edic platí pro elektrická zařízení určená pro použití v nebezpečném prostoru, ve kterém je výbušná plynná atmosféra, vytvářená směsí vzduchu a plynů, par nebo mlhy, za normálních atmosférických podmínek: teplota -20 °C až +60 °C; tlak 80 kPa (0,8 bar) až 110 kPa (1,1 bar); vzduch s normálním obsahem kyslíku 21 %!

- Do teoretického posuzování rizika nám vstoupil další **6. faktor** – specifická vlastností vyžadovaných pro zdravotnické přístroje. Tvůrci EN 60601-1 jistě věděli o čem a proč jednali.

V ČSN EN 60601-1 ed.2:2007 je uvedeno omezení min. iniciační energie pro kombinace kapacit a napětí hodnotou **W ≤ 1,2 mJ**.

Máme-li pro zdravotnické přístroje tuto limitní hodnotu iniciační energie, která byla podle této normy vzata pro pravděpodobnost zapálení (bez koeficientu bezpečnosti) rovnající se 10<sup>-3</sup>, pak není důvod myslet si, že v situaci, kdy není u posuzované situace takovýto pravděpodobnostní zřetel, ani žádný koeficient bezpečnosti brán do úvahy (pro důvody absence řízení rizika, jako je tomu u zdravotnických prostředků – viz ČSN EN ISO 14971:2001<sup>12</sup>, že si vystačíme s hodnotou svodového odporu podlah ≤10<sup>8</sup> Ω, by bylo podle mého názoru nezodpovědné. Takto to alespoň v této chvíli vidím já.

Dodávám, že tato norma specifikuje postup, kterým může výrobce identifikovat nebezpečí související se zdravotnickými prostředky a jejich příslušenstvím, včetně diagnostických prostředků in vitro, odhadnout a zhodnotit rizika, kontrolovat tato rizika a monitorovat účinnost kontroly.

**POZOR** – Současně přece chceme, aby byly navíc vyloučeny nežádoucí fyziologické účinky elektrických nábojů – aby operátor „řezal“ jen tam kam potřebuje. Hodnota svodového odporu pro tento důvod není pro naše pracoviště nikde, pokud je mi známo, uvedena.

Normou ČSN 33 2030:1984 uváděná hodnota k odstranění fyziologických účinků elektrostatických nábojů max. 10<sup>9</sup> Ω platila a snad i nadále platí pro zcela jiné podmínky!! Norma uváděla sály pro počítač. Kdeže ty doby jsou a je snad rozdíl mezi ucuknutím ruky operátora sálového počítače a ruky operátora v operačním poli!

## Závěr

Je třeba mít na paměti, že materiál s povrchovým odporem od 10<sup>6</sup> Ω do oněch 10<sup>9</sup> Ω představuje sice antistatické látky (při vědomí toho, že jde o synonymum) tedy materiál, který není schopen hromadit ve větším množství elektrostatický náboj, ale jen tehdy, pokud je spojen se zemí! Takový materiál sice lze používat v prostředích s nebezpečím výbuchu, ale jen tehdy pokud tyto látky neslouží jako součást elektrostatického uzemnění jiných částí v systému – v našem případě je tou částí člověk - operátor.

My ale chceme na podlaze, aby nám sloužila jako elektrostatický svod – elektrostaticky přes podlahu uzemňujeme na zem operátora i zdravotní sestru instrumentářku!

Protože látky s povrchovým odporem o hodnotě R<sub>o</sub> > 10<sup>6</sup> Ω jsou látkami neuzemnitelnými, musí tedy mít elektrostaticky vodivé podlahy hodnotu vnitřního odporu – rezistivitu podlahovin 5.10<sup>4</sup> Ω ≤ R<sub>v</sub> ≤ 10<sup>6</sup> Ω.

## Literatura:

ČSN citované v příspěvku

Ing. Jaroslav Melen a kolektiv autorů: Elektrický rozvod v místnostech pro lékařské účely, sborník přednášek semináře „ČSN 33 2140 - Elektrický rozvod v místnostech pro lékařské účely“ a prHD 60364-7-710:2006 Electrical installations of buildings - Requirements for special installations or locations - Medical locations (IEC 60364-7-710:2002-11, modified) a DIN VDE 0100-710 - Medizinisch genutzte Bereiche, November 2002 Jihlava 2007, vydalo Nakladatelství Lada Melenová, Trutnov 2007

<sup>9</sup> Její platnost končí 1. 10. 2008.

<sup>10</sup> Elektrická zařízení pro výbušnou plynnou atmosféru - Část 0: Všeobecné požadavky

<sup>11</sup> Zdravotnické elektrické přístroje - Část 1: Všeobecné požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost

<sup>12</sup> Zdravotnické prostředky - Aplikace řízení rizika na zdravotnické prostředky