

6. Závěr

V případě biopaliv 1. generace může intenzivní pěstování monokultur zemědělských plodin trvale poškodit přírodní ekosystémy. Náhrada pěstování rostlin pro výrobu potravin pěstováním technických plodin pro výrobu biopaliv může mít i negativní sociální dopady v chudých agrárních zemích.

Biopaliva 2. generace představují v dlouhodobém časovém horizontu vhodnější energetický zdroj než současná biopaliva 1. generace. Biopaliva 2. generace zatím nejsou komerčně dostupná, zahájení jejich komerčního využití se očekává v období 2010 – 2015. Ve srovnání s biopalivy 1. generace budou pravděpodobně finančně náročnější. Vzhledem k této finanční náročnosti lze očekávat, že v ČR se komerční výroba biopaliv 2. generace uplatní až po r. 2015. V úvahu by mohla teoreticky přicházet především výroba bioethanolu z lignocelulózy, výroba biobutanolu a z BTL technologií by mohla najít uplatnění hydrogenace, resp. hydrokrakování rostlinných olejů.

Závěrem je ale třeba zdůraznit, že výroba biopaliv je obecně náročná na spotřebu energie. Spotřeba energie je zpravidla větší než je množství energie obsažené ve vyrobeném biopalivu. Navíc ne vždy musí vést použití biopaliv v dopravě ke snížení emisí skleníkových plynů. Dále je potřeba říci, že biopaliva nemohou komplexně řešit náhradu motorových paliv vyráběných na bázi ropy. Zdá se proto, že je vhodnější využít biomasu v energetice pro výrobu elektrické energie a tepla než ji energeticky a ekonomicky nákladným způsobem konvertovat na motorová paliva.

7. Poděkování

Práce byla realizována za finanční podpory MŠMT ČR v rámci výzkumného záměru MSM 6046137304.

8. Literatura

- [1] Pracovní dokument útvarů Komise - Plán pro obnovitelné zdroje energie - Souhrnný přehled posouzení dopadů, SEK(2006)1720, Brusel, 10.1.2007
- [2] Pracovní plán pro obnovitelné zdroje energie. Obnovitelné zdroje energie v 21. století: cesta k udržitelnější budoucnosti. Sdělení Komise Radě a Evropskému parlamentu KOM(2006)848, Brusel, 10.1.2007.
- [3] Strategie Evropské unie pro biopaliva. Sdělení Komise KOM(2006)34, Brusel, 8.2.2006.
- [4] Zelená kniha. Evropská strategie pro udržitelnou, konkurenceschopnou a bezpečnou energii, KOM(2006)105, Brusel, 8.3.2006.
- [5] Zah R. et al: Life Cycle Assessment of Energy Products: Environmental Assessment of Biofuels – Executive Summary. Empa, Bern, 22.5.2007.
- [6] EUROPIA position on the Biomass Action Plan COM(2005)628 and the EU Strategy on Biofuels COM(2006)34, www.europia.com, March 2006.
- [7] Překotná výroba biopaliv může narušit i zásobování vodou, www.agroweb.cz, 13.8.2007.
- [8] Využití biopaliv v dopravě, ČAPPO, http://www.cappo.cz/ftp/vyuziti_biopaliv.pdf
- [9] Stanovisko CZ Biom k programu podpory kapalných biopaliv, www.biom.cz, 19.6.2007.
- [10] Report on the Hearing of the Biofuels European Technology Platform, European Commission – Joint Research Center Directorate-General, Petten, 3.5.2007.
- [11] Váňa J.: Trvale udržitelná výroba bioetanolu, www.biom.cz, 2.5.2006.
- [12] Sladký V: Biobutanol – vhodnější náhrada benzínu, www.biom.cz, 4.7.2007.
- [13] www.butanol.com
- [14] Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J: Technicko–ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě. Studie pro MD ČR, 389 stran, VŠCHT Praha, červen 2006.

ELEKTROMAGNETICKÁ POLE A ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY **JAKO FAKTORY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

Zdeněk Staněk, Jan Koller

1. Úvod

Elektromagnetická pole a elektromagnetické vlny jsou jedněmi z mnoha dílčích faktorů spolutvořících a ovlivňujících životní prostředí. Jejich přítomnost a existenci si většina lidí neuvědomuje a jen je využívá (světlo, rozhlas, televize, komunikace). Představa o jejich případné škodlivosti se omezuje často jen na drastické případy „úderů“ blesků do obytných či výrobních objektů. Jen čas od času se vynoří nějaký „elektromagnetický“ problém, který vyvolá velkou publicitu a značný zájem nejširší veřejnosti. Takovým je např. současný informační rozruch kolem amerického, tzv. protiraketového radaru na území ČR.

Tato studie je pokusem o podchycení problematiky „elektromagnetismus kontra prostředí a v něm vše živé“ v nejširších souvislostech.

Jakýkoli seriózní text o elektromagnetizmu se neobejde bez pojmu „elektrický náboj“. Proto se v úvodu jako velice aktuální jeví otázka, co to elektrický náboj je. Kupodivu jednoznačných a srozumitelných definic je v současných i starších učebnicích fyziky velmi málo. Nejčastěji se lze setkat s mnohoslovným, neurčitým, často filosoficky zabarveným výkladem, který je pro většinu čtenářů málo pochopitelný.

Asi nejjednodušší a snadno srozumitelná fyzikální definice říká, že elektrický náboj je jedna z vlastností hmoty projevující se vždy, když ve hmotě nebo na jejím povrchu dojde z nějaké příčiny k porušení rovnováhy mezi počtem elektronů a počtem protonů (tedy v počtu kladných a záporných nábojů). Obecně tedy stačí, aby v (nebo na) libovolně velké, libovolně tvarované hmotě libovolného skupenství či chemického složení byl alespoň jediný atom, v němž je uvedena nerovnováha, a hmota se vůči svému okolí bude jevit jako elektricky nabitá. Neporušená rovnováha mezi počtem elektronů a protonů představuje elektrickou neutralitu hmoty. Uvedená rovnováha může být a bývá porušena několika cestami (mechanizmy). Podrobnosti lze nalézt ve specializovaných publikacích.

Jednotkou náboje v SI je coulomb (C) = ampérsekunda (As).

Elektrický náboj má řadu význačných vlastností a platí o něm důležité zákonitosti. Z nich vyjímáme zákon zachování náboje (tj. elektrický náboj nelze vytvořit, ani zničit. Lze jej pouze přemísťovat). Tento zákon evidentně souvisí se zákonem zachování hmoty. Náboj je vždy vázán na hmotu a nelze jej od ní oddělit. Nemůže tudíž existovat jako samostatná substance. Je dvojjediný, tedy kladný a záporný, což souvisí s jeho definicí. Je kvantovaný. To znamená, že jakkoli veliký náboj je vždy celistvým násobkem elementárního náboje protonu, tj. $e^+ = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ nebo elementárního záporného náboje elektronu $e^- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Elektrický náboj je také invariantní. To znamená, že jeho velikost je nezávislá na rychlosti, s níž se (spolu se svým hmotným nosičem) pohybuje.

Mimořádně významnou vlastností elektrického náboje je skutečnost, že ve svém okolí vyvolává stav, který označujeme jako elektrostatické pole.

2. Fyzikální pole obecně

Termín „pole“ patří mezi velice frekventované pojmy s různými významy. Odhlédneme-li od zemědělské terminologie, tak např. filozofické texty mluví o polích zájmu, poli působnosti, atd. Lékaři, zejména chirurgové mluví o operačním poli a pod.

Fyzikální pole obecně a ta, jimiž se budeme zabývat, speciálně lze asi nejpřijatelněji definovat jako stav prostoru. Je zřejmé, že jeden a tentýž prostor může být současně v několika stavech, které spolu mohou, ale nemusí souviset. Detailní rozšíření definice pak určuje podstatu a nejdůležitější znaky toho kterého stavu.

3. Elektrostatické pole

To definujeme jako stav prostoru charakterizovaný tím, že na každý elektrický náboj Q_2 (i s jeho nosičem) v tomto prostoru se nalézající působí síla F kvantifikovaná Coulombovým zákonem

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}. \quad (1)$$

Při tom Q_1 je elektrický náboj, který stav prostoru zvaný elektrostatické pole vyvolal a r je vzájemná vzdálenost mezi oběma náboji. V konstantě Coulombova zákona je ϵ permitivita prostředí a ϵ_0 je permitivita (elektrická konstanta) vakua. Coulombovu sílu vyvolávají náboje souhlasné a opačné. Podle toho je síla F přitažlivá nebo odpuzivá. (Náboji Q_2 říkáme někdy „zkušební“).

Partie nauky o elektromagnetizmu zabývající se chováním elektrických nábojů v klidu nebo velmi pomalém pohybu, čili za situace, kdy časové derivace všech veličin jsou nulové nebo nule blízké, se nazývá elektrostatika.

Elektrostatické pole charakterizují vektorová intenzita E , skalární potenciál φ a siločáry začínající dle úmluvy na kladném náboji a končící na náboji záporném. (Siločarám jsou do značné míry ekvivalentní čáry indukční. Souvisí s další charakteristickou vektorovou veličinou zvanou elektrická indukce, dielektrická indukce, ale také elektrická influence D , která je s intenzitou elektrického pole E vázána materiálovým vztahem patřícím mezi Maxwellovy rovnice: $D = \epsilon_0 E$. Indukční čáry nebudeme detailněji probírat). Vektor intenzity je v kterémkoli bodě prostoru tečnou k siločáře resp. kolmicí k ekvipotenciální ploše. Intenzita je v kterémkoli bodě pole rovna záporně vzatému spádu potenciálu podle vzdálenosti (tj. se vzdáleností od náboje klesá). Jinak vzato, je to veličina úměrná Coulombově síle působící na elektrický náboj, tedy

$$E = \frac{F}{Q} \left[\frac{\text{N}}{\text{C}} = \frac{\text{V}}{\text{m}} \right]. \quad (2)$$

Elektrostatické pole elektrických nábojů označujeme jako pole zřídlové. Vedle něj existuje elektrické pole vírové. Generuje se při procesu zvaném elektromagnetická indukce. Ten je formulován Faradayovým indukčním zákonem, který patří mezi hlavní Maxwellovy rovnice:

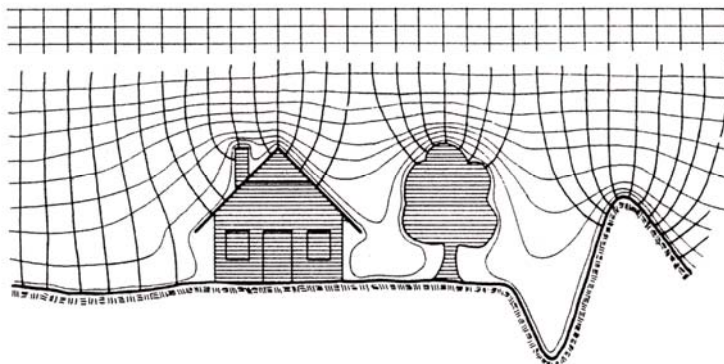
$$\vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{S}. \quad (3)$$

Zmíníme se o něm ještě v partiích o vlastním elektromagnetickém poli a o elektromagnetických vlnách.

Druhy, význam a chování elektrostatických polí v prostředí

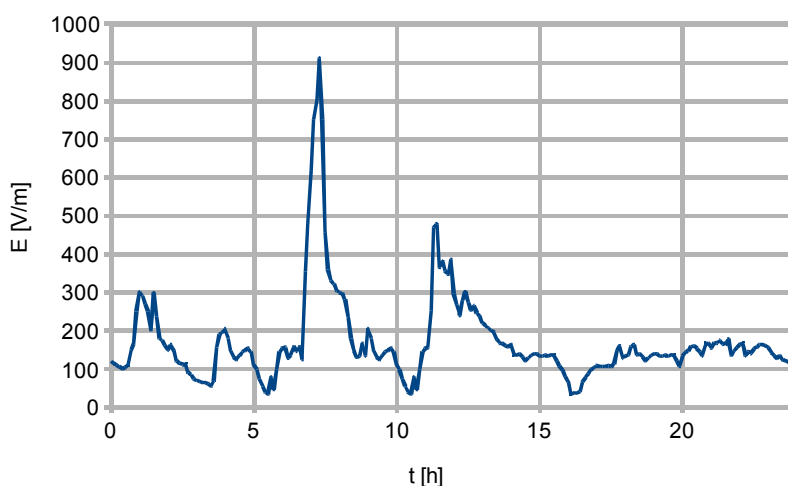
Naprostá většina dějů, činností a událostí na zemském povrchu (s výjimkou kovových uzavřených budov a objektů) probíhá v zemském elektrickém poli.

Je soustředěno do prostoru mezi zemským povrchem a ionosférou. Objekty a předměty na zemském povrchu, tedy stavby, členitost terénu, lidé i solitérní rostliny a porosty, ale i např. brázdy na polích nebo osamělé kameny vyvolávají deformaci ekvipotenciálních ploch (prostorová obdoba ekvipotenciálních čar) a tím i intenzity pole. Znázorňuje to obr. 1.

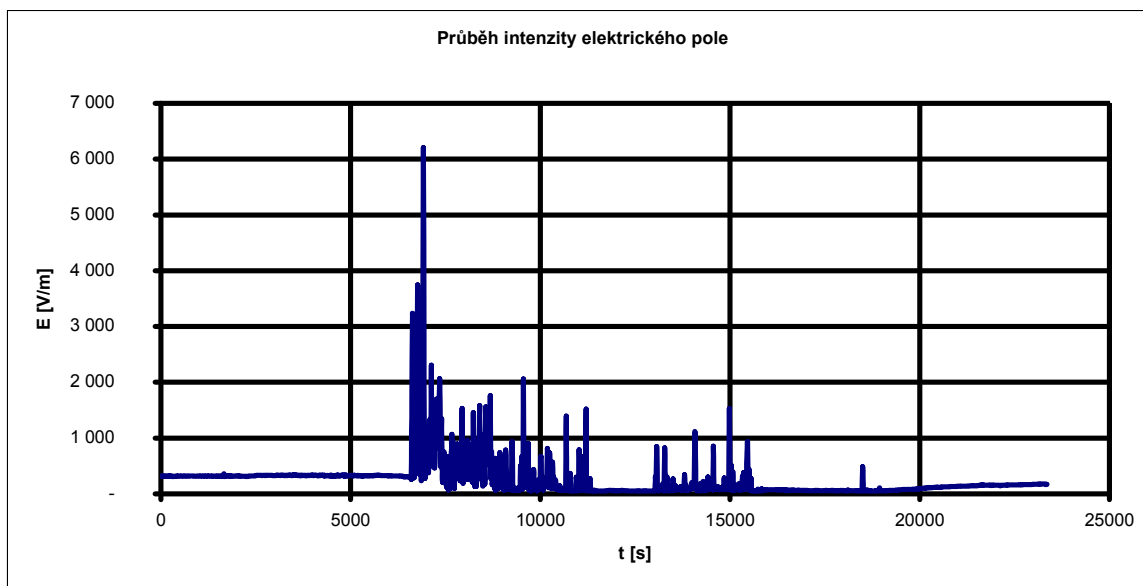


Obr. 1: Deformace ekvipotenciálních ploch zemského elektrického pole

Maximální intenzita zemského elektrického pole (častěji říkáme geoelektrického) je v těsné blízkosti zemského povrchu nebo povrchu deformujících předmětů. Její velikost se všeobecně udává v rozmezí 100 – 120 V/m. To je dlouhodobá střední hodnota. Ve skutečnosti je to veličina, která se v čase neustále mění (včetně polarity) v rozsahu $0 - \pm 10^6$ V/m. Je to tedy pole kvazistatické. Nejvyšší intenzity odpovídají bouřkovým a předbouřkovým situacím. Ukázka denního chodu intenzity geoelektrického pole v elektricky relativně poklidném letním dni s oblačností v blízkosti zemského povrchu je na obr. 2a. Vyhlazená křivka denního chodu E v blízkosti zemského povrchu vykazuje obvykle minimum před východem Slunce s následným nárůstem. Ten vrcholí okolo poledne a je následován poklesem do podružného minima v odpoledních hodinách. K večeru velikost intenzity geoelektrického pole opět stoupá až do maxima v noci, atd.

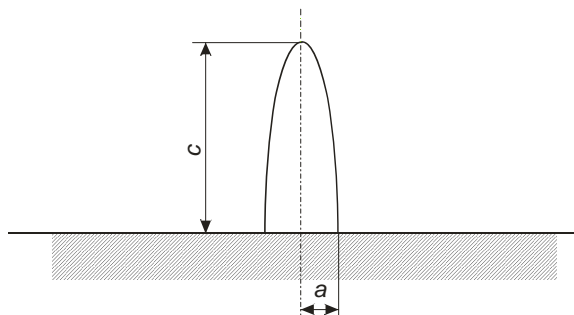


Obr. 2a: Ukázka denního průběhu intenzity geoelektrického pole



Obr. 2b: Ukázka geoelektrického pole zesíleného stromem (měřeno na horní hranici koruny stromu)

Změna intenzity představuje ve většině případů její zvýšení. Ukázka je na obr. 2b. Ke kvantifikaci deformace se užívá empirický vzorec P. N. Tverského. Jeho užití je založeno na tzv. zrcadlové metodě (někdy též metoda zrcadlení) řešení fyzikálních polí. Každý předmět deformující pole (zejména osoba, soliterní strom či vysoká bylina aj.) je aproximován dlouhým poloelipsoidem podle obr. 3, jehož poloosy jsou a , c .



Obr. 3: Aproximace pro výpočet deformace elektrického pole

$$E_{\max} = E_0 \beta = \frac{c^2}{a^2} \frac{E_0}{\ln \frac{2c}{a} - 1} \left[\frac{\text{V}}{\text{m}}, \text{m}, \frac{\text{V}}{\text{m}} \right] \quad (4)$$

při čemž E_0 je intenzita „klidného“ geoelektrického pole, tedy bez přítomnosti překážky.

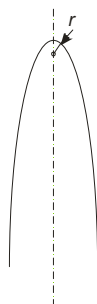
Velikost β v závislosti na c/a udává tabulka 1.

c/a	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	30	40	50
β	11,3	14,8	19,1	24,2	29,9	36,1	50,1	66	84	103	125	148	291	473	998

Tab. 1: Koeficienty ke vzorci 4

Pro kvantifikaci zesílení elektrického pole deformujícími předměty existuje také jednodušší vzorec (viz též obr. 4):

$$E_{\max} = \frac{18}{\sqrt{r}} \left[\frac{\text{kV}}{\text{cm}}, \text{kVcm}^{3/2}, \text{cm} \right]. \quad (5)$$



Obr. 4: Zjednodušená aproximace pro výpočet deformace elektrického pole

Vidíme, že předměty a osoby elektrické pole zesilují. Něco podobného platí i v laboratorních podmínkách. Chceme-li např. vyšetřovat chování nějaké látky či předmětu v umělém elektrickém poli, musíme nejprve určit (kvantifikovat) stupeň deformace intenzity pole, což se mnohdy neděje.

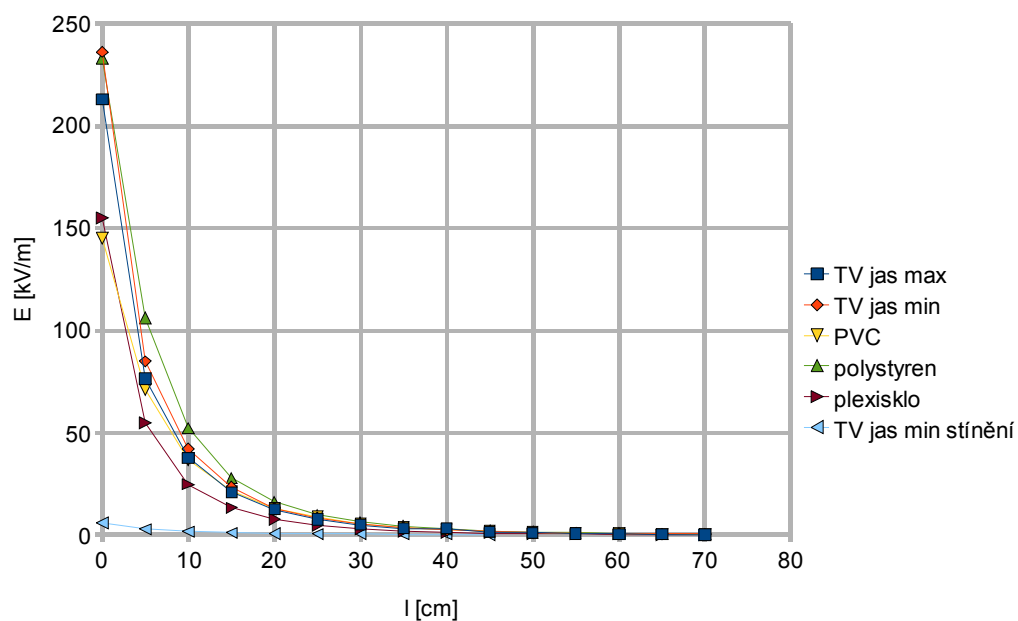
Elektrické pole mezi zemským povrchem a ionosférou není jediné přirozené elektrické pole působící na zemském povrchu. Patří sem také příležitostně se vyskytující elektrostatická pole mezi zemí a oblaky rostlinného pylu odtrženými větrem při hromadném kvetení především lesních dřevin. (Pyl získává v procesu odtržení z květních tyčinek monopolární elektrický náboj). Vedle toho je zde ještě elektrické pole spontánních kontaktů hornin a půd. Tyto kontakty tvoří zpravidla tzv. elektrickou dvojvrstvu provázenou elektrickým polem nevelkého prostorového rozsahu. (Jev je využíván v aplikované geofyzice k prospekčním a výzkumným účelům. Jako ekologický faktor je téměř neznámý).

Elektrické dvojvrstvy vyvolávané elektrony a hlavně ionty koncentrujícími se na místech, kde v látce jsou lokální změny hustoty, struktury, elektrické rezistivity či permitivity, mechanického napětí apod. se téměř masově vyskytují v předmětech, výrobcích a materiálech z plastických hmot. Hromadění nosičů náboje obojí polarity probíhá na místech, kde uvedené nehomogenity v látkách mají lineární či plošný, na povrch vystupující charakter. Taková místa se snadno poznají pouhým pohledem. Bude o nich ještě zmínka. Tím jsme se dostali od přirozených elektrických polí k problematice elektrostatických polí umělého původu. Běžné interiéry, obytné i pracovní, jsou jimi doslova prostoupeny.

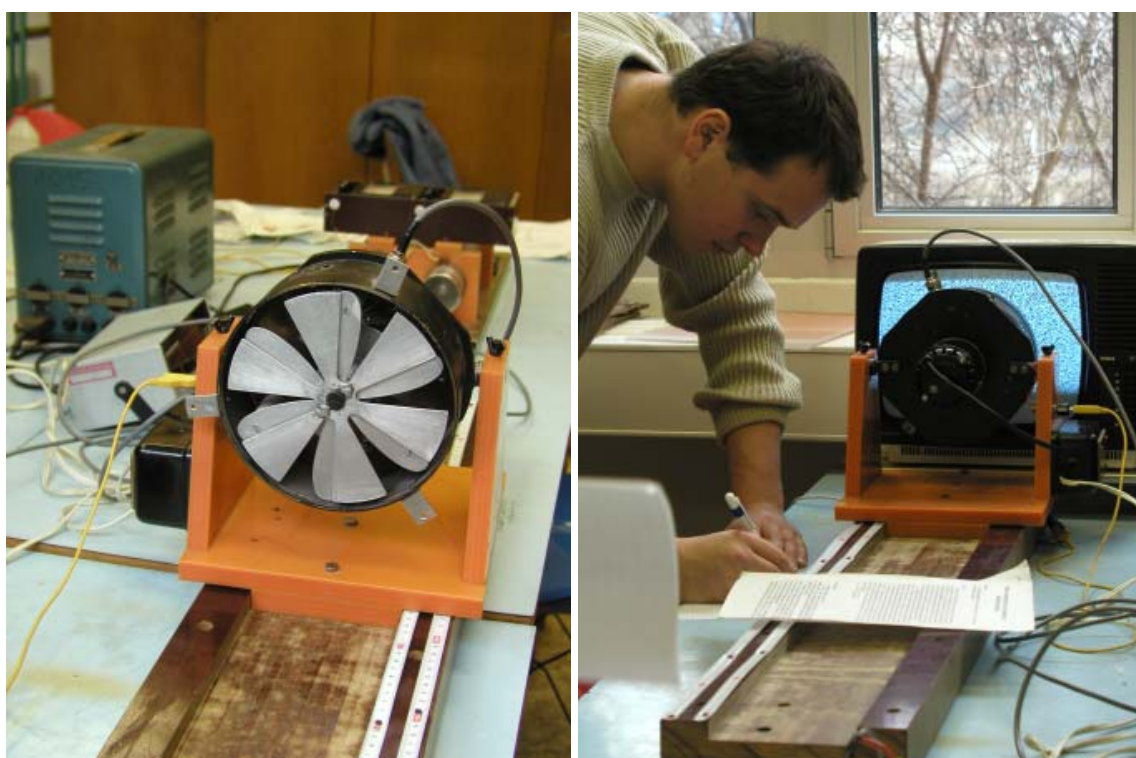
Příčiny tohoto stavu jsou (kromě elektrických dvojvrstev) dvě:

1. Elektrické náboje ve smyslu výše uvedené definice uvolňující se (nesmíme říkat vznikající, bylo by to v rozporu se zákonem zachování náboje) při nejrozličnějších spontánních i záměrných procesech a činnostech (podrobnější údaje v literárních pramenech). Pokud jsou uvolněny nebo zachyceny na plstech (i některých přírodních materiálech), nemohou z důvodu vysoké elektroizolační kvality většiny plastů samovolně dosti rychle odcházet s jejich povrchů a proto se tam hromadí. Důsledkem je elektrostatické pole v okolí takového předmětu.
2. Elektrické náboje na povrchu některých technických zařízení. Z nich jmenujme především vnější povrch skla vakuových obrazovek televizorů a počítačových monitorů. (Ploché obrazovky zvané LCD a obrazovky plazmatické tento efekt nemají).

Ukázka intenzity elektrostatického pole v závislosti na vzdálenosti v okolí vakuové obrazovky a desek z plastů je na obrázku 5. Způsob měření je vidět na obr. 6.



Obr. 5: Závislost intenzity elektrického pole na vzdálenosti a druhu zdroje



Obr. 6: Ukázka měření elektrostatických polí snímačem field mill

Ekologický a zdravotní význam elektrostatických polí

Při posuzování uvedeného významu elektrostatických polí je třeba znovu zdůraznit, že jakýkoli předmět či objekt, včetně živých organismů (o lidech nemluvě), vložený do pole nebo se v něm octnuvší je sice polem ovlivňován, ale jeho přítomností se mění také samo pole. Ekologický a zdravotní účinek elektrostatických polí je možno rozdělit na dva pohledy – přímý a nepřímý.

Přímý vliv na prostředí většinou uniká běžné pozornosti. Je pozorovatelný a vnímatelný lidskými smysly jen při značně vysokých intenzitách řádu 10^5 V/m a větších. V takových případech lze pozorovat ježení srsti a vlasů, nemožnost srovnat textilní aj. vlákna a fólie a také další efekty. Někteří jedinci mohou konstatovat poruchu vidění, neklid, roztěkanost, poruchu soustředění. Pokud vše probíhá ve tmě, je zpravidla vidět různé modravě zabarvené plošné i vláknité „světélkování“ často spojené s jemným, ale ještě slyšitelným šumem a praskotem. (Světélkování, šum a praskot nejsou ovšem ryze elektrostatické jevy. Charakterizují přechod elektrostatiky do dynamického režimu, který se v této podobě prezentuje mnohostranným a komplikovaným elektrickým výbojem zvaným koróna). Uvedené efekty se projevují při manipulaci s textíliemi, fóliemi z plastů, při chůzi po některých podlahovinách či při povstání ze sedadel. Také při vzájemném pohybu tekutin a pevných těles a při mnoha dalších procesech a činnostech. Elektrické potenciály jsou při tom snadno měřitelné. Dosahují stovek až desítek voltů

Tak např.:

Povstání osoby ze židle s kovovou kostrou stojící na podlaze z PVC: 9 – 30 kV,

osoba s gumovými podrážkami bot při chůzi: 5 – 8 kV,

osoba při česání vlasů: 4 – 6 kV,

osoba pro svlékání části oděvu přes hlavu: 5 – 25 kV,

stůl po stažení ubrusu: 10 – 12 kV,

odvíjení fólií z role: 5 – 10 kV,

„listování“ ve spisech a knihách: 0,5 – 4 kV,

trhání vláken a fólií: desetiny – jednotky kV,

odpařování, kondenzace a expanze plynů: až 20 kV,

náhlá změna skupenství nebo tlaku (např. tvoření ledu): stovky voltů,

stříkání barev: jednotky kV.

Uvedené efekty se také velice často projevují u již zmíněných technických zařízení, která ovšem vykazují často také účinek nepřímý.

Popsané jevy mohou u některých jedinců vyvolávat pocity úzkosti až strachu bez ohledu na jejich racionální vysvětlení. Na obrázku 6 je ukázka měření elektrostatického pole v závislosti na vzdálenosti od zdroje rotačním voltmetrem neboli field mill detektorem. Přítomnost pozorovatele je simulována rozměry snímače blížícími se rozměrům lidské hlavy.

Na elektrická pole přirozeného původu je vše živé na Zemi adaptováno. Potenciální nebezpečí představují snad jen pole umělá nebo extrémní výjimky hodnot polí přirozených, např. v bouřkách a při předbouřkových situacích. Zmíníme se o nich ještě v kapitole 8.1.

Speciálním, ale nikoli vzácným příkladem působení přirozených elektrostatických polí – tentokrát na techniku - je vznik tzv. přepětí na venkovních energetických vedeních všech druhů.

Na potenciální škodlivost elektrických a elektrostatických polí, byť i podloženou experimenty, se názory odborníků (lékařů, biologů, fyziků) velice liší. Existuje tudíž značně pestrý

soubor pohledů na tuto problematiku. Hlavní podíl na tom má zřejmě mimořádně velká variabilita vnímavosti jedinců, která navíc nemusí být v čase stálá a kromě toho může být determinována synergizmy či antagonizmy činitelů jiné než elektrické podstaty. Při tom je také třeba vědět, že i v tomto oboru platí obecná závislost: účinek je součin intenzity nějakého faktoru a trvání jeho působení.

Přes složitost a mimořádnou komplikovanost problematiky byly a jsou činěny pokusy vliv elektrických polí na lidi a prostředí, v němž žijí, vkomponovat do jakýchsi norem. Některé uvedeme ve speciální kapitole na konci textu.

Nyní si všimneme vlivů nepřímých. Nejvýznamnějším vlivem elektrostatických polí na prostředí je redistribuce prachů a aerosolů. Prachové a aerosolové částice z pevných látek představují rozsáhlý soubor tělísek o charakteristických rozměrech 10^{-1} až 10^2 μm . Termín „rozměr“ není vzhledem k jejich nejrozmanitějším tvarům jednoznačný. Záleží na metodice měření. Podrobnosti jsou ve specializované literatuře.

Uvedené částice, pevné i kapalné, nejrůznější chemické podstaty a nejrůznějšího původu podléhají ve vzduchu především gravitaci a proudění. Důležitá je doba setrvání ve vzduchu v závislosti na jejich „rozměrech“ a tvaru. Ukazuje to tabulka 2.

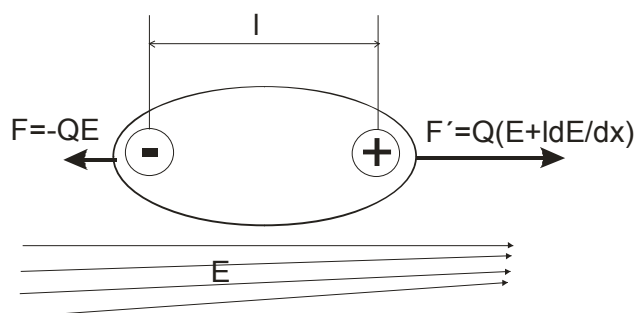
100 μm	10 μm	1 μm	0,1 μm
3-4 s	5-6 min	7-8 h	29-34 d

Tab. 2: Sedimentační časy

Kromě gravitace a přirozeného i umělého proudění vzduchu podléhají aerosoly také působení dalších sil. Tak sem patří např. difúze vyvolaná gradientem koncentrace, popř. tlaku formulovaná Fickovými zákony. Patří sem rovněž termoprecipitace, tj. pohyb částic ve směru klesající teploty v blízkosti topných nebo jen ohřátých těles. (Molekuly složek vzduchu jsou od teplejších ploch odráženy více než od ploch chladnějších a tak udělují aerosolům pohyb ve směru klesající teploty). Fotoforéza je účinek (tlak) intenzivního světla (divadelní reflektory, reflektory vozidel) uvádějícího aerosoly do pohybu.

Mimořádný význam v prostředí s aerosoly mají elektrická pole. Většina aerosolových částic nese elektrický náboj. Ten částice získávají zpravidla již v procesu svého uvolnění z větších celků. Mohou jej získat také v aerosolové formě cestou přisedání nabitých molekul ze vzduchu (O_2^-) nebo kontaktem s nabitými povrchy a předměty, s nimiž se dostaly do styku vlivem ostatních, již uvedených sil, popř. elektrostatickou indukcí. Částice se tak stávají elektrickými dipóly.

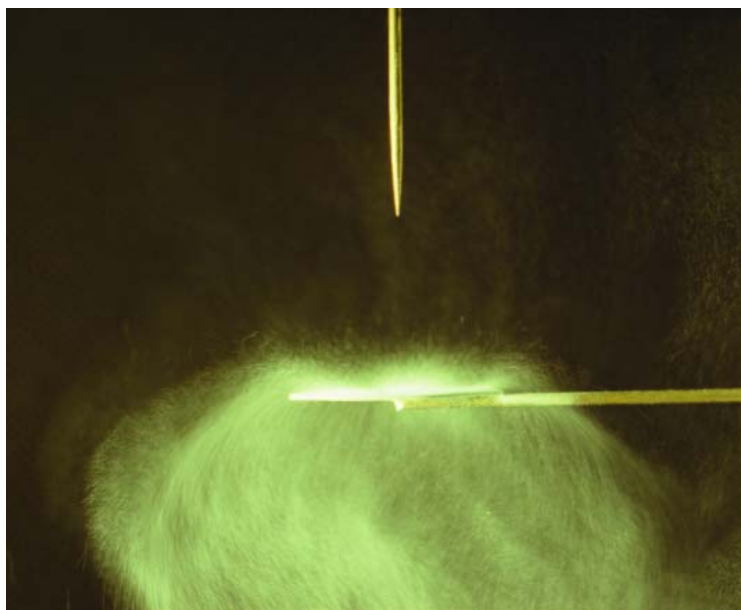
V elektrických polích působí na nabitě aerosoly síly formulované v obrázku 7.



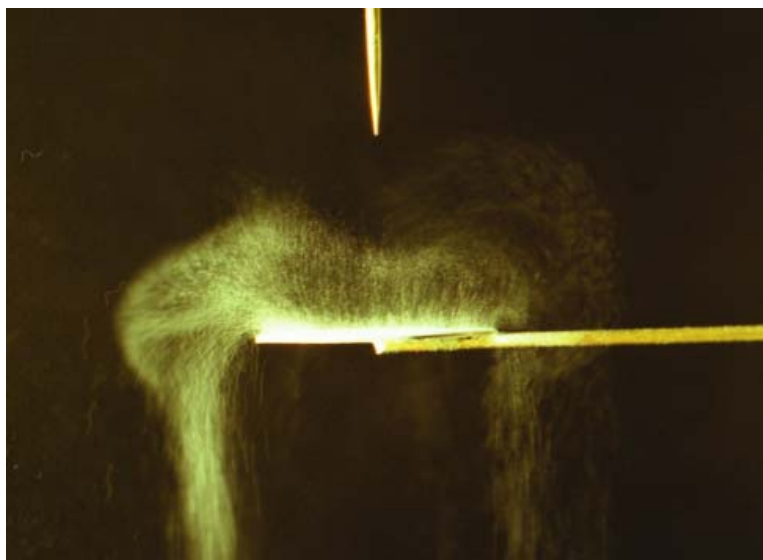
Obr. 7: Silové působení na elektrické dipóly v aerosolu

Vidíme, že činitelem, který rozhoduje o působení elektrostatického pole na celkově elektricky neutrální prachovou částici není intenzita pole, ale hodnota dE/dx , čili lokální spád intenzity. Ten je tím větší, čím je pole více nehomogenní. Nehomogennost pole je tedy rozhodující podmínkou pro silové působení. Kromě toho se zde uplatňuje dipólový moment $p = Ql$. popsané síly jsou mezi ostatními většinou dominantní. Vektorově se s nimi skládají v sílu výslednou. Tím dochází k významnému přerozdělení (redistribuci) částic. Prakticky to můžeme dobře pozorovat v exteriérech, např. na různých reklamních tabulích a výkladních skříních z plastických hmot. Na těchto plochách dochází postupně k zašpinění v podobě podivných a těžko vysvětlitelných obrazců. Tak se projevují spontánní elektrické dvojvrstvy ale také elektretový efekt. V interiérech (i těch nejčistších) pozorujeme již krátce po utření výrazné zaprášení obrazovek televizorů a některých počítačových monitorů. (Příčinou je elektrické pole kladného plošného náboje na vnější straně skla obrazovky). Je evidentní, že osoba před takovouto obrazovkou může dostane do dýchacích cest mnohem více prachu než kdyby dělala něco jiného. (Stojící, sedící, chodící i ležící osoby v interiérech mají, až na nepatrné výjimky, na těle vždy elektrický náboj). Touto cestou tedy můžeme i v městské čisté kanceláři či bytě dostat za jednotku času do těla více kovů (mnohdy toxických) než dělník v kovoprůmyslu. (Kovové aerosoly nesou převážně záporný elektrický náboj. Do vzduchu se jich dostává značné množství při brzdění silničních i kolejových vozidel a samozřejmě všude tam, kde je nějaký kovoprůmysl).

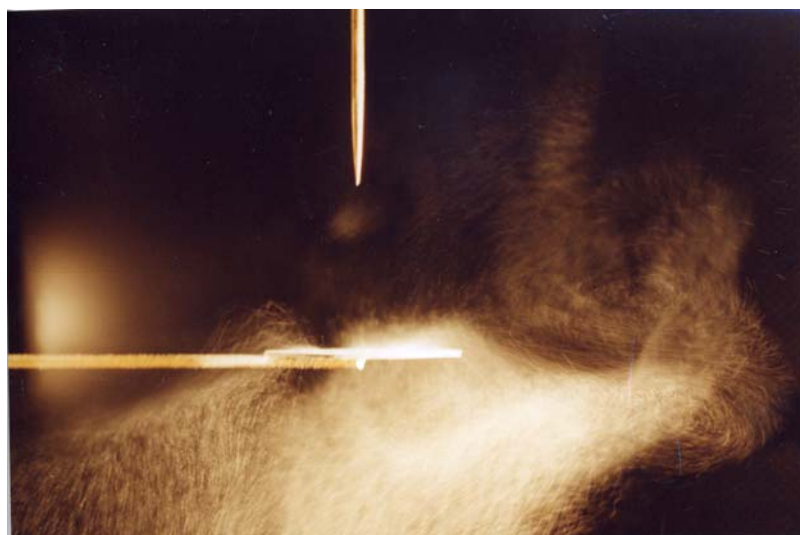
Podivné až kuriozní chování prachových a aerosolových částic v nehomogenních elektrostatických polích ukazují obrázky 8, 9, 10, na nichž jsou částice barevně osvětleny. (Připomeňme, že dvojice vakuová obrazovka a před ní sedící pozorovatel vytváří rovněž značně nehomogenní elektrické pole).



Obr. 8: Prachové částice v nehomogenním elektrickém poli



Obr. 9: Prachové částice v nehomogenním elektrickém poli



Obr. 10: Prachové částice v nehomogenním elektrickém poli

Připomeňme dále, že elektrický náboj nesou také spóry plísní a pylová zrna rostlin. Tento náboj mají i kapičky tříštěné či rozprašované vody (vodopádový neboli Lenardův jev II). Elektricky nabitě jsou i molekuly respiračních plynů.

Právě stručně uvedené ovlivňování pohybu aerosolů ve vzduchu elektrickými poli se označuje v některých publikacích jako elektroprecipitace.

V souvislosti s tím je třeba také připomenout, že se v oboru malých částic a jejich elektrických vlastností začínají poněkud uplatňovat i tzv. nanotechnologie.

Mezi nepřímé účinky elektrostatických polí, zejména na osoby, patří také situace na rozhraní elektrostatiky a elektrodynamiky. Na površích látek a předmětů z plastických hmot, které jsou vesměs mimořádně kvalitními elektrickými izolanty, může docházet a dochází pod vlivem nejrůznějších příčin ke kumulaci elektrického náboje. Hlavní příčinou bývá zobecněný triboelektrický jev. Elektrické pole ve vzduchu obklopujícím kumulovaný náboj může snadno překročit mezní velikost, která je za atmosférického tlaku $3,2 \cdot 10^6$ V/m. V tom okamžiku náboj unikne do okolí v podobě elektrického proudového impulsu, který má nejčastěji podobu

tzv. jiskrového výboje. Jsou-li ve vzduchu přítomny hořlavé či výbušné plyny nebo páry, může dojít a často také dochází k výbuchu a požáru.

Podobný efekt, způsobený ovšem silnou deformací (zesílením) elektrostatického pole někde v interiéru jistě postihl téměř každého: Jde o „elektrickou ránu“, kterou dostaneme nejčastěji do prstu ruky, když se hodláme dotknout kovové kliky dveří nebo čehokoliv kovového. Důsledkem je pouze úlek. Vážnější důsledky to může mít pouze u jedinců, kteří trpí speciálními chorobami. (Úlek a jeho následky patří mezi nepřímé účinky elektrostatických polí a elektrických nábojů). Existuje ovšem jednoduché opatření, jak podobné efekty eliminovat.

Je třeba zopakovat, že elektrostatická pole nejsou ve světě živých organizmů nic výjimečného. Na stěnách rostlinných i živočišných buněk existují měřitelné spontánní a zcela fyziologické rozdíly potenciálů o velikosti desítek až stovek milivoltů. Při dané tloušťce buněčných stěn to představuje intenzity elektrostatického pole o řádové velikosti $10^5 - 10^7$ V/m.

4. Iontové pole

Pojem „iontové pole“ není totožný s pojmem „ionosféra“ i když, jak ukážeme, jistá souvislost mezi oběma je.

Iontové pole je stav prostoru charakterizovaný nenulovou koncentrací nosičů elektrického náboje v ovzduší. Těmito nosiči (tj. ionty v ekologicko – hygienickém a balneologickém pojetí) jsou kromě klasických iontů (fyzika) také molekuly, shluky molekul a aerosolové částice nesoucí jeden nebo i několik elementárních nábojů kladné nebo záporné polarity. Patří sem také již zmíněné aerosolové dipóly. Jde tedy o částice různé velikosti a různého tvaru. Jejich velikost či hmotnost není měřitelná přímo. Rozlišovacím kritériem je proto pomocná veličina zvaná *pohyblivost* k . Je definována jako přírůstek rychlosti Δv částice pod vlivem jednotkového vzrůstu intenzity elektrického pole ΔE , tedy

$$k = \frac{\Delta v}{\Delta E} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{Vs}}, \frac{\text{m}}{\text{s}}, \frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

(Symbol Δ není v tomto případě Laplaceův operátor).

Podle pohyblivosti se ionty člení formálně na několik skupin. Dominantní roli mají v přízemní vrstvě atmosféry tzv. lehké záporné ionty (LZI). Příkladem mimořádně významného LZI je tzv. superoxidový aniontradiál O_2^- obklopený několika desítkami polárních molekul H_2O .

Koncentrace LZI v ovzduší je časově proměnná. Kromě toho mají na ní vliv dva další faktory: již zmíněná vodní pára a nejrůznější plynné i aerosolové příměsi vzduchu. Tak např. je možno pozorovat zvýšené hodnoty E v mlhách a nízkých oblacích a při znečištění vzduchu aerosoly a v některých dalších případech.

Existence iontů je příčinou nenulové elektrické vodivosti vzduchu, která má antikorelační průběh s intenzitou geoelektrického pole. Ta v mlhách a nízkých oblacích klesá stejně jako ve vzduchu znečištěném. Naopak stoupá při tzv. fénovém proudění na závětrné straně pohoří.

Je nutno poznamenat, že elektrickou vodivost vzduchu vyvolávají výhradně ionty lehké (obojí polarity) a to následkem své relativně vysoké pohyblivosti. Ionty střední a těžké mají na elektrickou vodivost vliv minimální.

Ekologický a zdravotní význam iontových polí a elektrické vodivosti vzduchu

Ionty ve vzduchu jsou generovány jednak cestou tzv. nárazové ionizace způsobené srážkami částic kosmického záření s molekulami složek vzduchu, jednak tímtož mechanismem pod vlivem vysokoenergetické radiace některých partií a látek v zemské kůře.

Jejich význam je předmětem četných studií a dosud neukončeného výzkumu. V zásadě se LZI (zejména zmíněný O_2^- + několik desítek molekul H_2O) pokládají za mimořádně a zcela nezastupitelně prospěšné pro vše živé, pokud jejich koncentrace je v okolí hodnoty $1000/cm^3$ a pokud současně koncentrace lehkých kladných iontů toto číslo příliš nepřevyšuje. Kladné ionty všech pohyblivostí obecně se pokládají za zdravotně indiferentní, popř. vysloveně škodlivé. Je ovšem třeba vědět, že každý „hodný“ lehký iont podléhá velmi rychle vývoji spočívajícím v jeho postupné přeměně na střední a nakonec těžký čili „nehodný“ a bezcenný.

Ze zdravotního hlediska je důležité znát mechanismus působení LZI po vdechnutí, popř. difúzi pokožkou. Ten ovšem dosud není objasněn. Existuje pouze několik hypotéz. Ty nejčennější pracují s teorií volných radikálů, popř. s teorií tzv. sterické korespondence.

Bezprostřední souvislost existence iontů v ovzduší s jeho elektrickou vodivostí ukazuje na význam této veličiny a na potřebu jejího měření.

5. Elektrické pole proudové

Proudové elektrické pole je stav prostoru pozoruhodný tím, že všechny nosiče elektrického náboje v něm (elektrony, ionty) vykonávají uspořádaný pohyb, tj. pohyb identických nábojů ve stejném směru a smyslu. Z definice vidíme, že toto pole nepatří mezi pole statická, neboť je tvořeno fenoménem ryze dynamickým – elektrickým proudem. Uvedená formulace je fenomenologická definice elektrického proudu. Definice kvantitativní říká, že proud je poměr náboje a času. Tvar a prostorový rozsah elektrického proudového pole může, ale nemusí být totožný s tvarem a prostorovým rozsahem vodiče proudu.

Proudové elektrické pole, tj. jeho tvar a prostorový rozsah, charakterizují siločáry. Nazývají se proudová vlákna nebo proudové trubice. V kovových vodičích to jsou monotónní a nezajímavé rovnoběžky s osou vodiče (což ovšem přesně platí jen pro proud stejnosměrný). Naopak u anizotropních, nehomogenních a prostorově rozlehlých vodičů (např. těl živých bytostí a organismů) dávají obraz a informaci o rozložení proudové hustoty v objektu.

Proudová hustota J a intenzita E jsou charakteristické veličiny proudového pole. Vztah mezi nimi patří mezi Maxwellovy materiálové rovnice a nazývá se Ohmův zákon:

$$J = \gamma E \left[\frac{A}{m^2}, \frac{S}{m}, \frac{V}{m} \right]. \quad (6)$$

(γ je konduktivita neboli měrná elektrická vodivost).

Ekologický a zdravotní význam elektrických proudových polí

Občas se lze setkat s tvrzením, že v nejsvrchnějších vrstvách zemské kůry nelze najít místo, které by nebylo prostoupeno elektrickými proudy umělého původu. Nazývají se souborně proudy bludné. Vyskytují se především v půdě silně civilizovaných oblastí. Často se koncentrují do míst, kde jsou uloženy další podzemní produktovody. Jejich studium představuje speciální problematiku. Ekologický význam zůstává nejasný, resp. neobjasněný.

Vedle antropogenních bludných proudů tečou půdou přirozené, tzv. telurické elektrické proudy. Jejich původ a existence souvisí s elektromagnetickou interakcí Slunce – Země (kapitola 9.2).

Navzdory bezpečnostním předpisům a pokynům se kdokoliv z nás může stát a mnohý se již stal na chvíli náhodnou součástí nějakého elektrického obvodu a tím i vodičem elektrického proudu. V souvislosti s tím se mluví o podráždění či úrazu elektrickým proudem nebo dokonce o usmrcení. Skutečnou příčinou je ovšem proudová hustota překročivší kritickou mez

v nějakém životně důležitém orgánu (např. v srdci). Proudová hustota se však velice špatně měří a proto za rozhodující musíme pokládat proud.

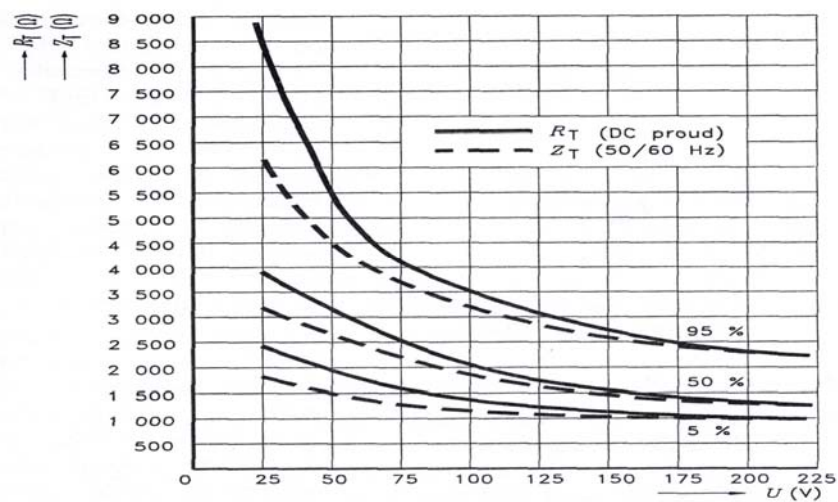
Elektrický proud protéká tělem nebo jeho částí pod vlivem napětí mezi bodem dotyku a nějakým referenčním bodem (zem, půda, kovová konstrukce, popř. druhý bod na těle). Při tom ovšem neplatí Ohmův zákon. Rozhodujícím způsobem se uplatní napěťová závislost odporu (impedance) živé buněčné struktury neboli varistorový efekt. Ukazuje to graf na obr. 11.

Účinky elektrického proudu na člověka (a také domácí zvířectvo) podle normy ČSN IEC 479-1 jsou formulovány pomocí tzv. zón fyziologických účinků. Hranice zón (viz obr. 12, 13) tvoří čáry vyjadřující časovou závislost prahových a mezních velikostí proudu. Jednotlivé zóny představují odstupňovanou míru nebezpečí kontaktu s elektrickým proudem.

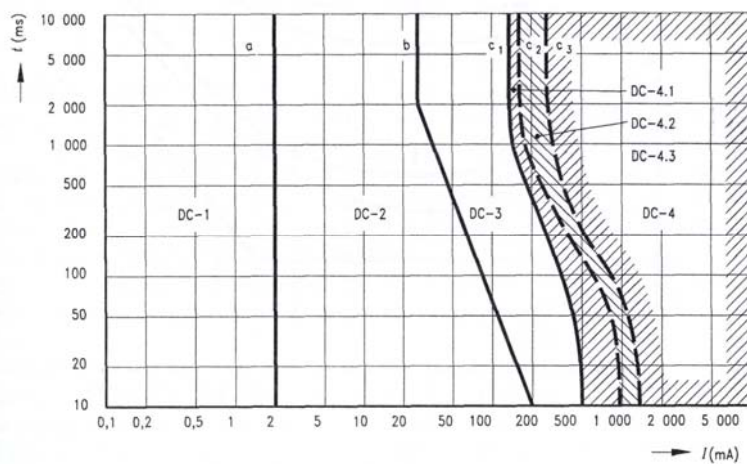
Zóny AC-1 a DC-1 v obrázcích vymezují naprosto neškodné účinky proudu pro většinu populace. Práh vnímání závisí na kontaktní ploše a tlaku na ní, na vlhkosti plochy i kůže, na teplotě, ale také na okamžitém duševním stavu postiženého (tzv. kožní psychogalvanický efekt), popř. únavě, vlivu léků, drog, alkoholu a j.

Za práh reakce daný čarou *a* se všeobecně pokládá proud 0,5 mA, resp. 2mA. Důležité je, že tento práh nezávisí na době působení proudu.

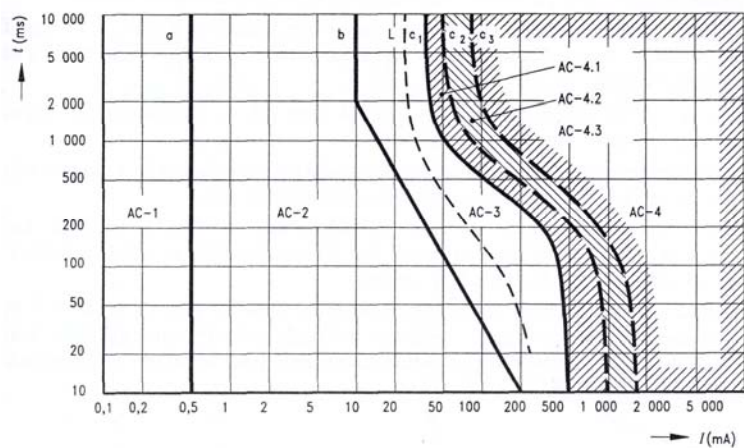
Čára *b* v grafech 12, 13 představuje tzv. mez uvolnění. V zónách AC-3 a DC-3 je účinek proudu pouze přechodný. Změny nastalé pod jeho vlivem v organizmu jsou vratné a nemají většinou škodlivé následky.



Obr.11: Impedance lidského těla pro ss a stř proud ČSN IEC 479-1



Obr.12. Zóny fyziologické účinku ss proudu-ČSNIEC-479-1



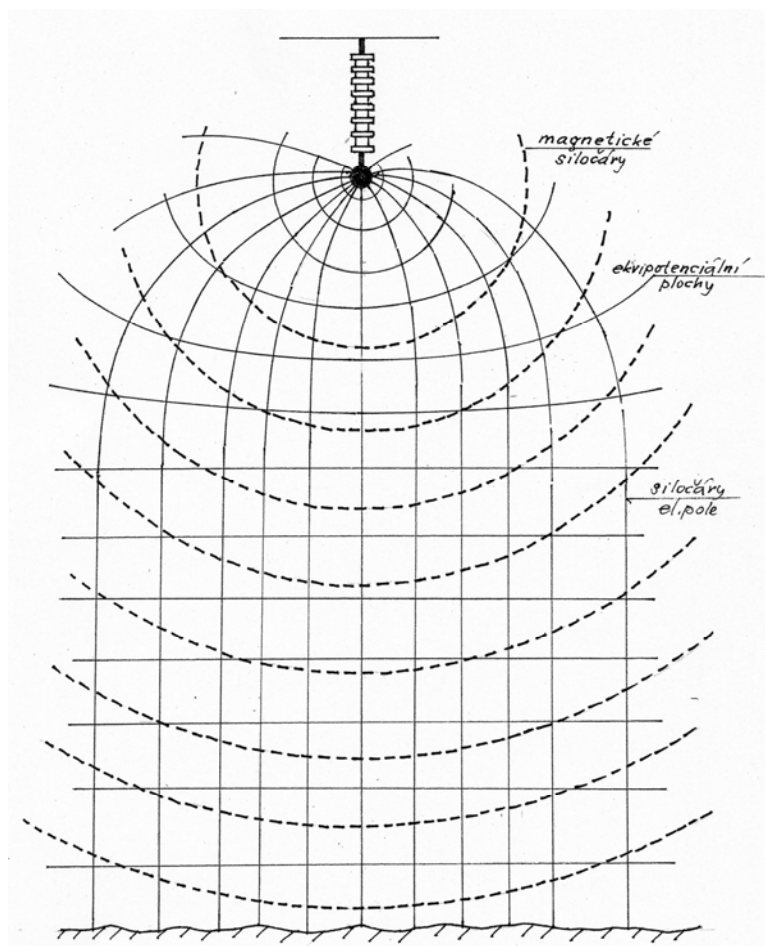
Obr. 13: Zóny fyziologického účinku střídavého sinusového proudu technického kmitočtu ČSN IEC 479-1

Křivky c_1 , c_2 , c_3 tvoří spodní hranici zóny AC-4, DC-4. Rostoucí číselné indexy odpovídají rostoucí pravděpodobnosti srdečních fibrilací. (Podrobněji o fibrilacích ve specializované literatuře.).

Vedle uvedeného je u kontaktu osob se střídavým proudem ve hře i jeho kmitočet.

Proudové elektrické pole v okolí venkovních energetických vedení.

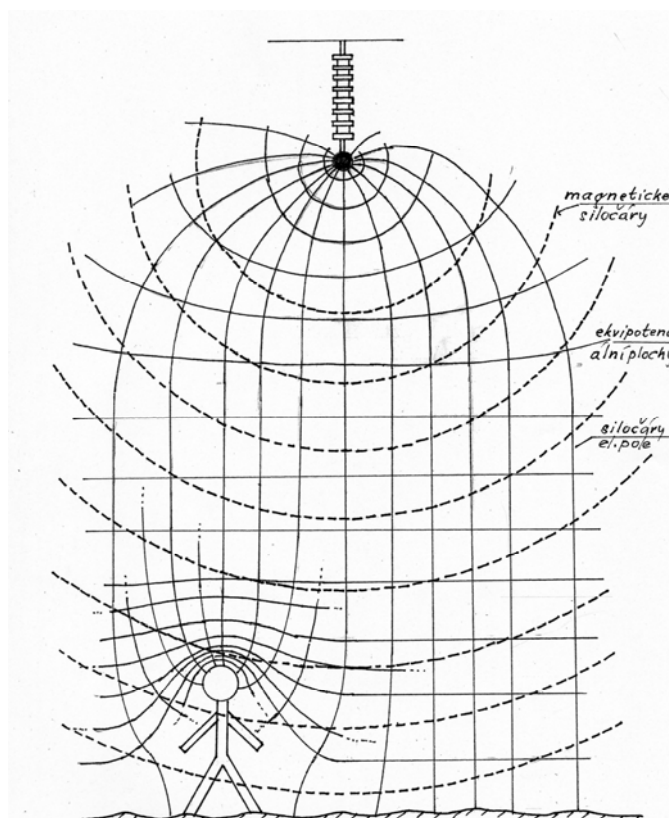
Jde o specifický druh proudových polí spřažených s polem elektrickým technického kmitočtu 50 Hz, ale také s polem magnetickým. Příčinou je skutečnost, že přenos elektrické energie od výroby ke spotřebiteli se (bohužel) nedá dělat jen pomocí vodičů. Do přenosu je vždy „zapojeno“ více či méně rozlehlé okolí. Plyne to z fyzikální podstaty. Vodič přenášející elektrický proud je vždy obklopen magnetickým polem (podrobněji v příslušné kapitole). Mezi vodiči navzájem a mezi zemí je elektrické napětí a tím také elektrické pole. Jelikož napětí je periodicky proměnné, je periodicky proměnná i intenzita elektrického pole a volným prostorem mezi vodiči a zemí a vodiči navzájem teče faradickými kapacitami periodicky proměnný, tzv. Maxwellův elektrický proud. Takovou situaci ukazuje obr. 14.



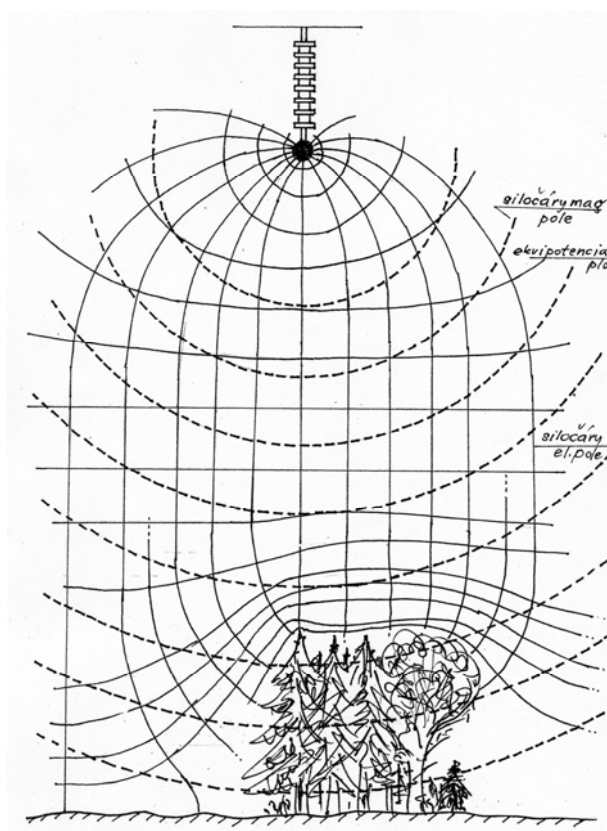
Obr. 14: Rozložení elektrického a magnetického pole pod vodičem

Pro názornost je nakreslen jen jeden fázový vodič třífázového vedení.

Je-li zemský povrch rovinný, je v jeho blízkosti elektrické pole homogenní a jeho kvantifikace je snadná. Stojí-li na zemi osoba (keř, strom, budova), stává se pole nehomogenním (obr. 15) a jeho intenzita lokálně (u hlavy osoby, vrcholu stromu) vzrůstá. Kvantifikovat je to možno pomocí již uvedeného vzorce P. N. Tverského.



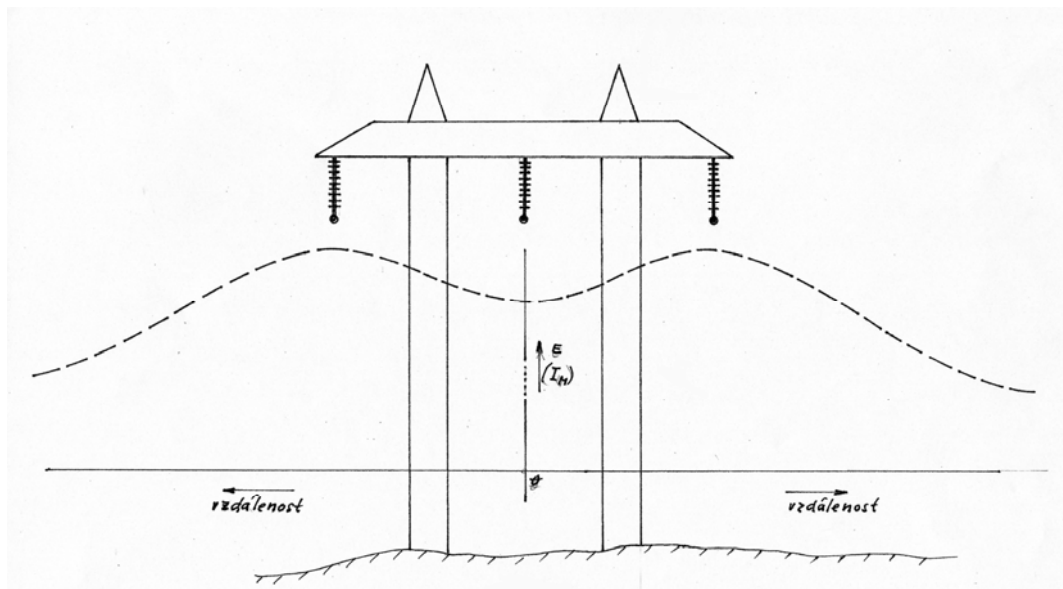
Obr. 15: Deformace elektrického pole osobou pod vedením



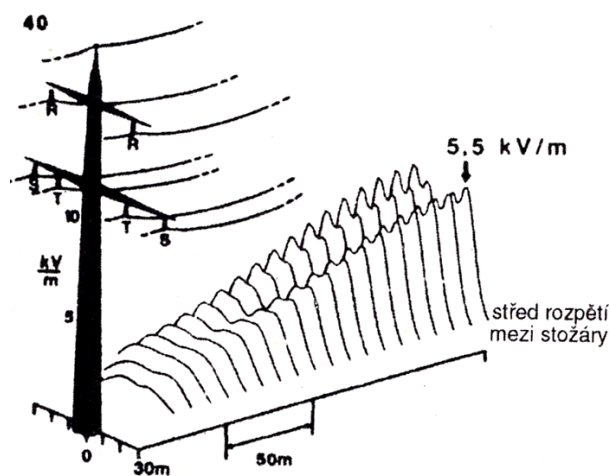
Obr. 16: Deformace elektrického pole stromy pod vedením (vzájemné elektrické stínění, kolektivní chování)

Objekty a předměty na zemském povrchu pod vedeními vykazují charakteristické kolektivní chování. Projevuje se vzájemným elektrickým stíněním blízkých jedinců. Názorně to ukazuje obr. 16.

Elektrické pole a pole kapacitních proudů se také mění s příčnou vzdáleností od osy vodičů, s podélnou vzdáleností od stožárů a s průvěsem vodičů. Ukazují to obrázky 17a, 17b.



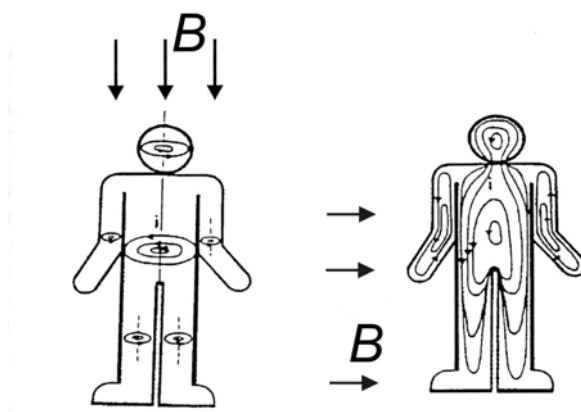
Obr. 17a: Příčný průběh intenzity elektrického pole pod třífázovým vedením



Obr. 17b: Podélný průbě intenzity elektrického pole pod dvojicí třífázových vedením

(Magnetické pole, vyvolané proudem přenášejícím energii, není většinou předmětů na zemském povrchu ovlivňováno. Je to vidět na obr. 15, 16).

U osob (ale také ve dřevinách a bylinách) indukuje časově proměnné magnetické pole snadno měřitelná napětí a následně i proudy jak to ukazuje obr. 18. Je vidět vliv orientace osoby vůči směru magnetických siločar. (Indukovaná napětí lze naměřit na dřevinách až ve vzdálenostech 300 a více metrů od osy vedení.)

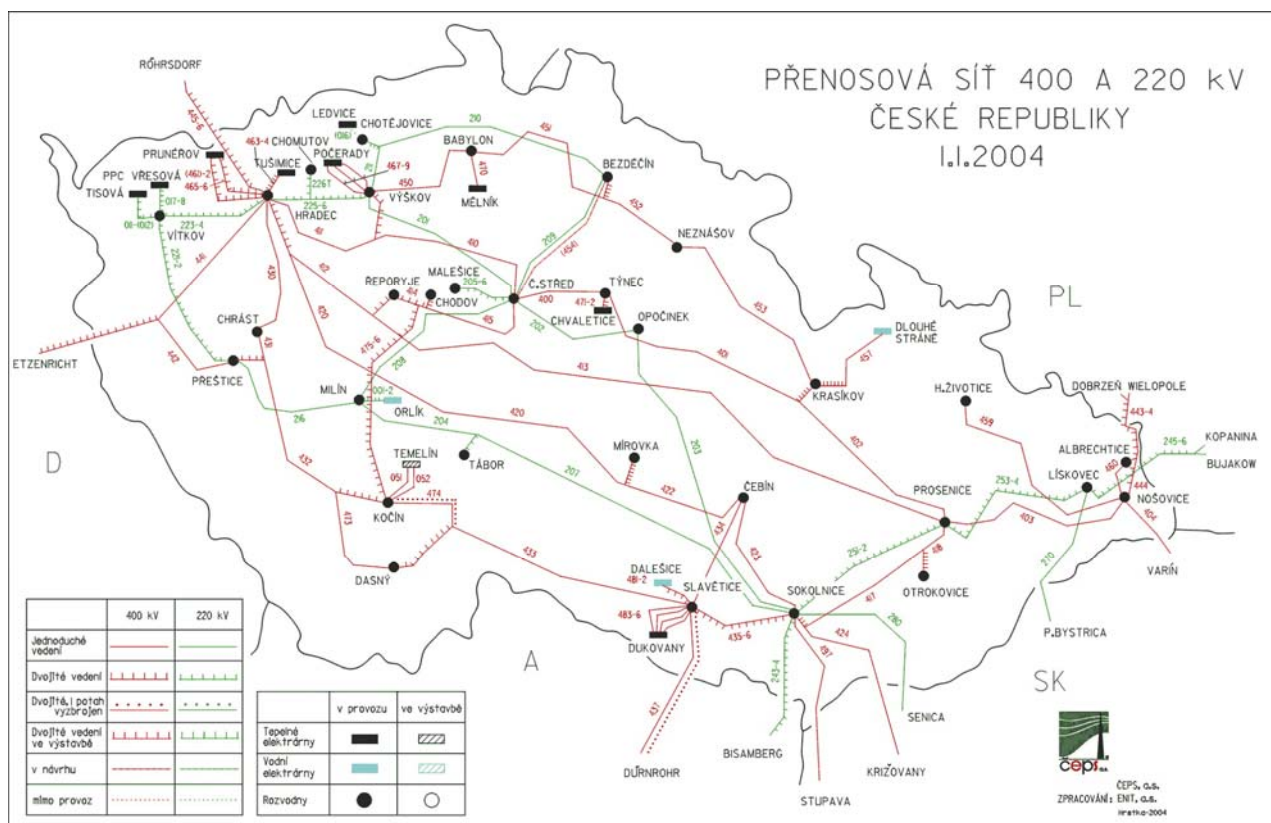


Obr. 18: Proudý indukované magnetickým polem v osobě

V půdě pod vedeními a vedle nich je prostorově rozlehlé proudové elektrické pole.

Uvedený popis elektrických polí (vč. pole magnetického) v okolí venkovních energetických vedení se týkal především vedení VVN a ZVN. Mapa sítě těchto vedení na území ČR je na obr. 19. Podstatně hustší síť vedení VN se v přijatelném měřítku nedá mapovat. Všechny údaje o rozptylových polích uvedené pro VVN platí i pro ně.

Vedle venkovních existují také kabelová (hlavně podzemní) energetická vedení. Popsané efekty se u nich nevyskytují.



Obr.19: Mapa venkovních přenosových vedení vvn

Ekologický a zdravotní význam venkovních energetických vedení je do značné míry vymezen hygienickými normami (viz kapitolu o legislativě), ale také předpisy stavebními. Krát-

kodobý pobyt v blízkosti těchto vedení se nepokládá za rizikový ani pro držitele kardiostimulátorů a „nositelů“ cévních a srdečních chorob. Velký vliv má také to, že se lidé takovými místům vědomě i podvědomě vyhýbají. Jedním z důvodů je „podezřelý“ praskot a šum na vodičích a za tmy fialové „světélkování“. Projevuje se tak elektrický výboj zvaný koróna. Generuje sice UV záření a následkem toho ozon, ale vzhledem k vzdálenosti vodičů a izolátorů od země a vzhledem k vlastnostem O₃ to nepředstavuje zdravotní ohrožení kohokoliv.

V okolí venkovních energetických vedení vymezeném v ČR zákonem 222/1994 Sb se nesmí stavět obytné objekty. Jsou předepsána ochranná pásma na obě strany od osy vedení takto:

U napětí 1-35 kV 7 m, u napětí 35-110 kV 12 m, pro napětí 110-220 kV 15 m zatímco při napětích 220-400 kV je to již 20 m a nad 400 kV 30 a více metrů. Zákon evidentně nerespektuje skutečný prostorový rozsah elektrického pole, zejména v okolí vedení s napětím nad 110 kV.

Významná, avšak obecně téměř neznámá je skutečnost, že fázové vodiče mohou mít podle ČSN 34 1020 dovolenou povrchovou teplotu až 95°C při teplotě vzduchu 35°C. Z toho plyne evidentní nebezpečí pro ptáky.

Podstatným znakem právě popsaných elektrických polí je, že elektrický proud prochází (prostupuje) živými organismy bez nutnosti jejich mechanického styku s vodiči. Je tomu tak proto, že jde o střídavý proud tekoucí faradickou kapacitou mezi energetickým vedením a zemí, popř. předměty na zemi se nacházejícími nebo s ní spojenými. Tento efekt je snadno měřitelný, resp. indikovatelný.

Méně známým a z hlediska ekologického, zdravotního a dokonce i technického dosud nezhodnoceným efektem je pokles viskozity vody v látkách (objektech, rostlinách) protékáných el. proudem (přímým i indukovaným).

Do bezprostředního kontaktu s proudovými poli různých intenzit a časových průběhů se osoby mohou dostat v rámci lékařských aplikací, jakými jsou elektroanalgie, impulzoterapie nebo galvanoterapie.

6. Magnetická pole stacionární a pomalu proměnná

Magnetické pole je definováno jako stav prostoru, který se vyznačuje tím, že na každý nosič elektrického náboje Q vykonávající v tomto prostoru uspořádaný pohyb s rychlostí v , působí síla F_L kvantifikovaná Lorentzovým zákonem:

$$F_L = QvB \quad \text{resp.} \quad \vec{F}_L = Q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (7)$$

Měřítkem a charakteristickou veličinou magnetického pole je magnetická indukce B (resp. vektor \mathbf{B}). Formulace „uspořádaný pohyb náboje“, jak již bylo jednou uvedeno, je fenomenologická definice elektrického proudu.

Magnetická indukce je vázána s další fundamentální magnetickou veličinou – intenzitou magnetického pole \mathbf{H} – pomocí permeability μ . To je veličina charakterizující materiály. Pro vakuum a vzduch za atmosférického tlaku je konstantní a má velikost $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m. Vztah mezi B a H (obě jsou veličiny vektorové) patří mezi Maxwellovy materiálové rovnice a je:

$$B = \mu H \quad \text{resp.} \quad B = \mu_0 H \left[T = \frac{Vs}{m^2}, \frac{H}{m}, \frac{A}{m} \right] \quad (8)$$

Na rozdíl od siločar a indukčních čar zřídlového elektrického pole jsou magnetické siločáry křivky do sebe uzavřené, tj. nemají konec ani začátek. Intenzita magnetického pole

v nějakém bodě prostoru je vždy tečnou k siločáře tímto bodem procházející. Platí zde důležitý zákon zvaný Ampérův nebo též zákon celkového proudu I . Patří mezi čtyři hlavní Maxwellovy rovnice. Jeho nejjednodušší (středoškolská) podoba je:

$$Hl = I \left[\frac{A}{m}, m, A \right]. \quad (9)$$

Levá strana rovnice, tj. součin intenzity magnetického pole v nějakém bodě v okolí proudu a délky siločáry tímto bodem procházející, se nazývá magnetomotorické napětí. Zákon vyjadřuje skutečnost, že elektrický proud (kterákoli z jeho tří forem samostatně nebo dvě či všechny dohromady) je vždy za všech okolností příčinou magnetického pole. U jediného proudu je siločára kružnice se středem na ose vodiče. Je-li proudů na pravé straně rovnice víc, neumíme stanovit délku siločáry jednoduchým způsobem (rozhodně to není kružnice). Pak je třeba Ampérův zákon zapsat a použít jinak:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I \quad (10)$$

Tvrzení, že příčinou magnetického pole je proud, se zdá být v rozporu s existencí tzv. permanentních magnetů, kde siločáry začínají a končí na pólech a žádný elektrický proud zde není měřitelný. Předpokládá se však existence proudu hypotetického, který teče na povrchu fero - či paramagnetické látky. Ten má velikost a orientaci takovou, že vytváří magnetické pole odpovídající vektorovému součtu polí daných dipólovými atomovými momenty. K tomu podrobnější vysvětlení:

S pohybem elektronů v atomech je spojena existence elementárních magnetických dipólů. Existují v látce bez ohledu na nějaké vnější magnetické pole a jsou uspořádány chaoticky. Výsledný magnetický dipólový moment je tudíž nulový. Pod vlivem vnějšího magnetického pole se dílčí dipóly natáčí do jeho směru. Výsledné pole je tudíž silnější než to přiložené. U některých feromagnetických látek vede jednorázový kontakt s vnějším magnetickým polem k trvalému makroskopickému magnetickému momentu. Ten je ekvivalentem momentu, který by vytvořil trvalý povrchový elektrický proud.

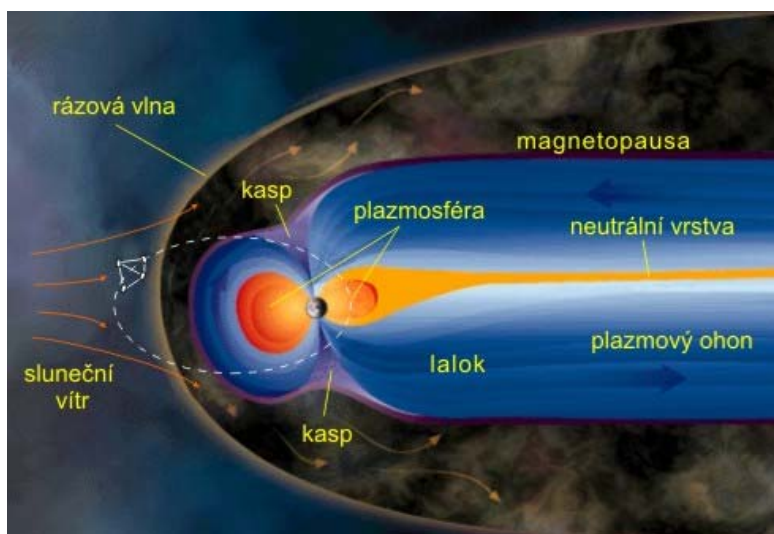
Nejdůležitější druhy magnetických polí a jejich působení v ŽP

Běžné prostředí (interiéry i exteriéry) je v současné době zcela prostoupeno magnetickými poli, resp. jejich siločarami. (Prostředí bez magnetických polí je prakticky nerealizovatelné).

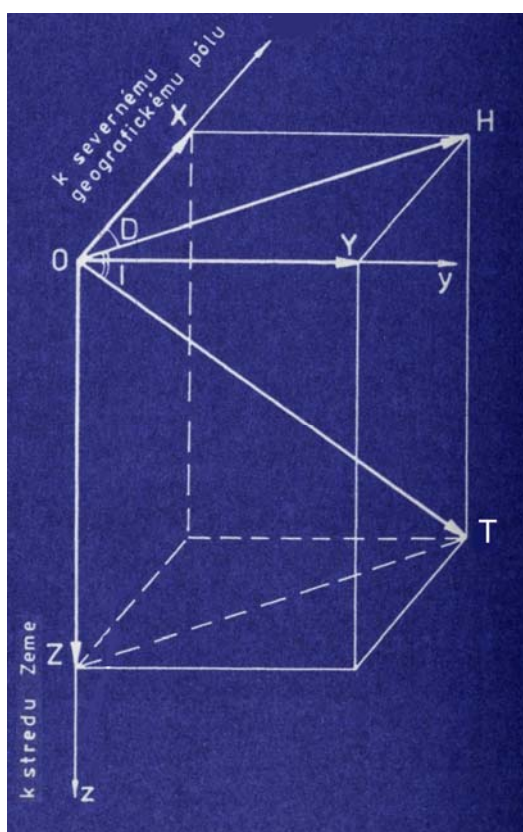
Magnetická pole můžeme (resp. musíme – vzhledem k jejich roli v ŽP) dělit na přirozená a umělá. Daleko nejvýznamnější, nejdůležitější a zcela nezastupitelné je magnetické pole zemské neboli geomagnetické pole (dále jen GMP). Jeho dosti komplikovanou podobu ukazuje obrázky 20 a 21.

Všimneme si obr. 21. Jestliže v nějakém bodě O idealizovaného kulového zemského povrchu sestrojíme pomyslnou horizontální tečnou rovinu, pak vektor zemského magnetického pole \vec{T} zvaný totální (stále mluvíme výhradně o indukcích) je orientován vůči této rovině šikmo pod úhlem I zvaným inklinace. Jedna ze složek totálního vektoru směřuje do středu Země. Je to složka Z . Druhá leží v horizontální rovině – složka H , zvaná horizontální. Do jejího směru se staví horizontální magnetka kompasu a buzol. Její severní pól (obvykle nápadně označený) směřuje k jižnímu geomagnetickému pólu, který leží na severní zemské polokouli. (V pojmenování pólů se lze setkat s nejednotností.) Póly GMP nejsou stálé. Jižní se v posledních cca patnácti letech posouval severozápadním směrem po Ellesmerově ostrově v Kanadském arktickém souostroví. Dnes je již mimo v Severním ledovém oceánu. Severní pól GMP je

v Indickém oceánu při Kláirině pobřeží Wilkesovy země v Antarktidě. Kromě pozvolného přesunu podléhají oba póly polohovému driftu v rozsahu desítek kilometrů za den.



Obr. 20: Magnetosféra Země

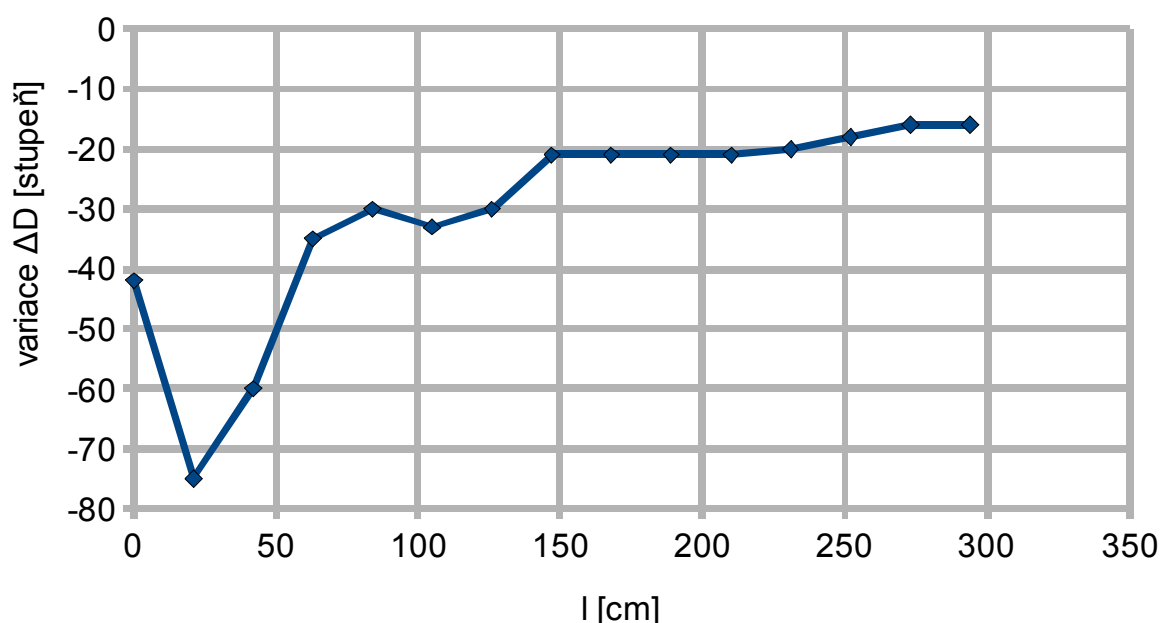


Obr.21: Složky magnetického pole Země ($H = 20,8 \mu\text{T}$, $Z = 42,5 \mu\text{T}$, $T = 47,3 \mu\text{T}$, $I = 63^\circ 30'$, $D = 0^\circ 30'$, geomagnetická observatoř Hurbanovo 1970)

Na magnetických pólech je složka H nulová a inklinace je 90° . Přímková spojnice pólů neprochází geometrickým středem Země.

Odchyłka magnetického severojižního směru od směru zeměpisného se nazývá deklinace D . Na pólech je nedefinovatelná.

Síločáry GMP prostupují bez ohybu a lomu naprostou většinu všech látek a materiálů. Ve zděných a dřevěných budovách, podobně jako v porostech a lesích všeho druhu a také v tělech osob je GMP stejné jako ve volném prostoru. Výjimkou jsou feromagnetické materiály. Z kovových prvků to jsou Fe, Ni, Co, Gd a jejich slitiny. Z keramických látek ferity a z ostatních materiály na bázi Pr a Nd. Železobetonové budovy mají tudíž GMP a jeho složky zmenšené, potlačené, ale někdy také značně zesílené. Je to způsobeno tím, že některé feromagnetické materiály fungují jako koncentrátoři siločar GMP. Značným změnám v civilizaci zatíženém prostředí podléhá deklinace. Mluvíme proto o prostorové variaci deklinace ΔD . Ukázka je na obr. 22. Byla pořízena studenty ČVUT - FEL v rámci laboratorních cvičení předmětu Ekologie a ekotechnika na části jedné z chodeb v přízemí budovy FEL v Dejvicích.



Obr. 22: Ukázka lokální prostorové variace deklinace zemského magnetického pole.

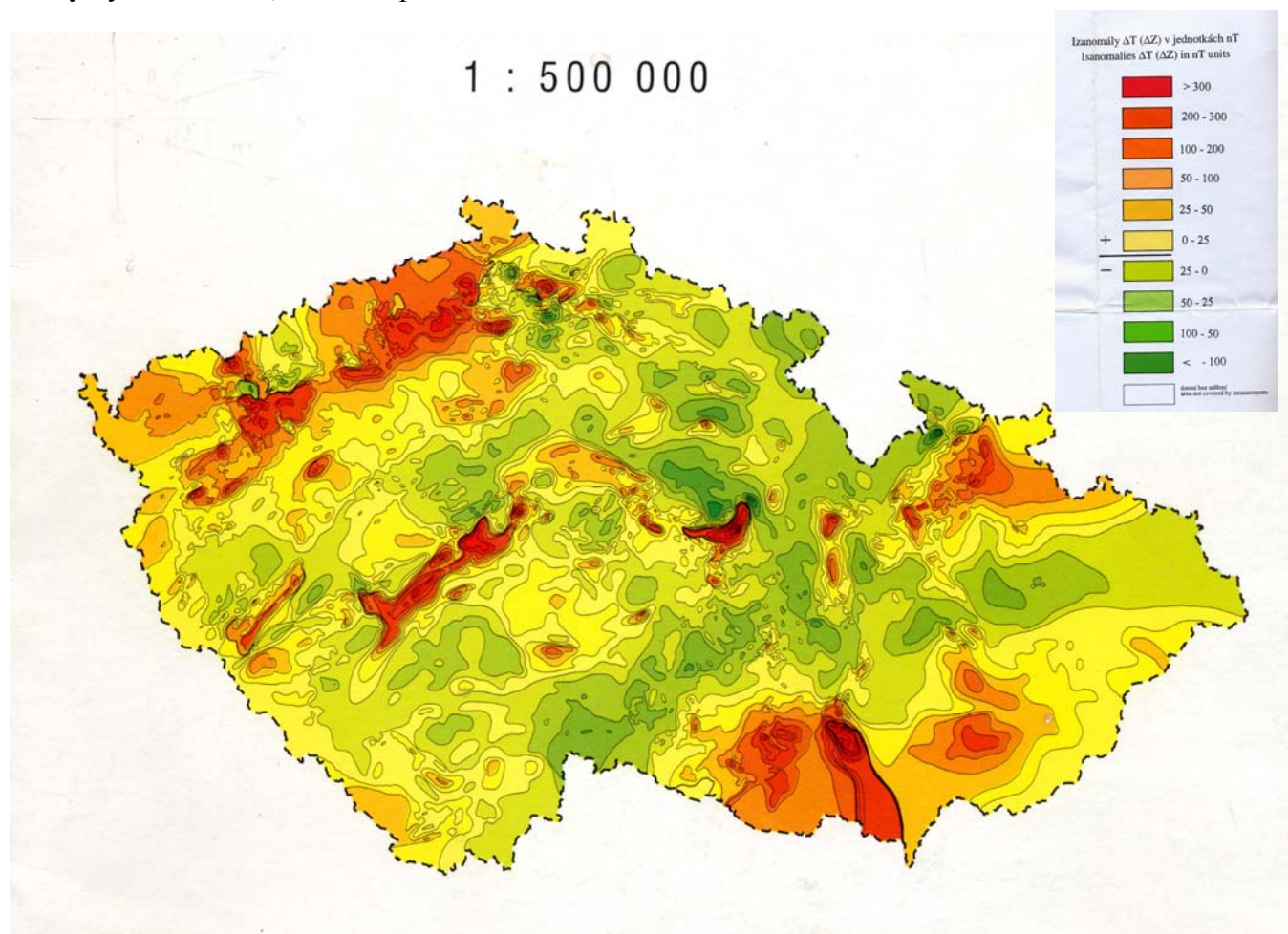
Ekologický a zdravotní význam deklinačních variací není dosud kvalifikovaně zhodnocen. Je však známo, že na ně mají mimořádnou citlivost např. tažní ptáci (také ryby a někteří hlodavci) a využívají je k prostorové orientaci.

V souvislosti s tím, je nutno se zmínit o schopnosti lidí a ostatních živých organismů vnímat magnetické pole neboli magnetorecepci. Podle současných hypotéz je způsobena roztroušenou nebo dokonce koncentrovanou přítomností feromagnetických krystalků Fe_3O_4 v tkáních organismů. U vyšších živočichů se vyskytuje zejména v epifýze (žláza v mozku, česky zvaná šišinka). Další hypotézy pracují s vlivem magnetických polí na volné radikály a s klasickou elektromagnetickou indukcí.

V místech, kde jsou současně GMP a magnetická pole umělá, dochází k vzájemné superpozici. Tak je tomu např. v okolí železničních a tramvajových tratí elektrizovaných stejnosměrným proudem.

GMP není konstantní. Projevuje se u něj několik druhů variací. Z nich nejvýznamnější jsou dvě. Variace časová a variace prostorová.

Velké a rozsáhlé prostorové variace jsou vyvolány přítomností feromagnetických a paramagnetických hornin, látek a těles v zemské kůře (pyrit, pyrrhotin, goetit, sloučeniny Fe, Ni aj.). Tento stav je podchycen na geomagnetických mapách. V ČR je to mapa v měřítku 1:500000. Její zmenšená ukázka je na obr. 23. Hnědá až načervenalá místa představují kladné odchylky od normálu, zelená záporné.



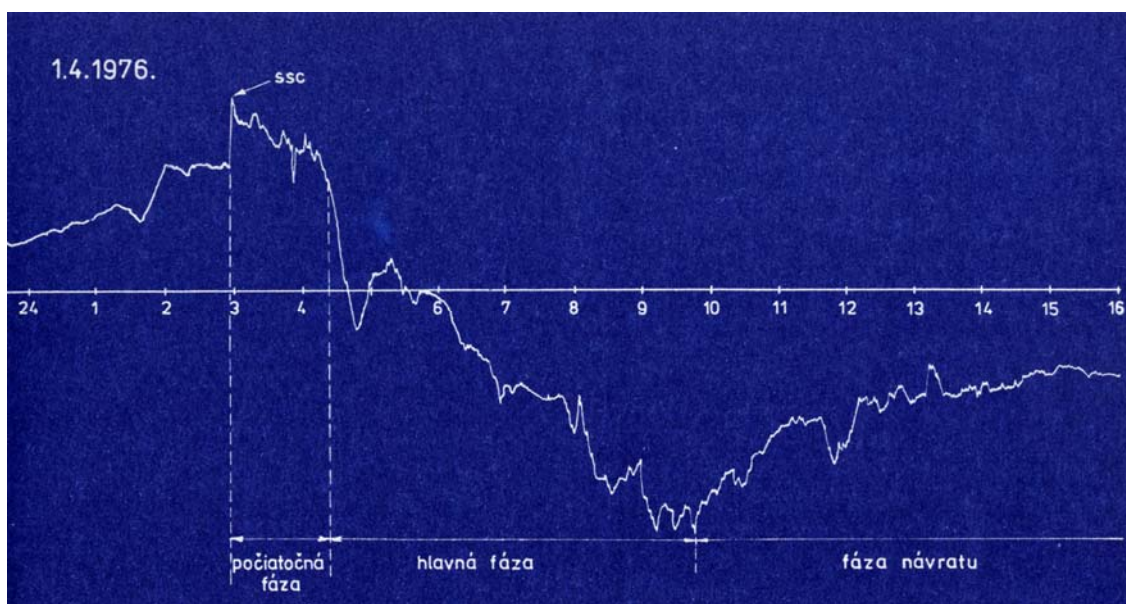
Obr.23: Geomagnetická mapa ČR

Rozsah variací představuje maximálně stovky nT. Využívají se v aplikované geofyzice. Z ekologického, zdravotního a hygienického hlediska se pokládají za bezvýznamné. Lze ovšem vypočítat popř. změřit, jaká elektrická napětí se indukují v těle osob při jejich pohybu známou rychlostí. Jsou to jednotky až desítky mikrovoltů.

Časových variací GMP je několik druhů. Nejvýznamnější a zdravotně nejzávažnější jsou geomagnetické bouře. Představují relativně rychlé a značně nepravidelné časové změny velikosti všech složek GMP včetně úhlů z obrázku 21. Tak složky vykazují změny řádu stovek až prvních tisíc nT, úhly se mění v rozsahu až desítek úhlových minut.

Podstatným znakem většiny geomagnetických bouří je to, že zasahují současně celou zemskou kůrou. Nejčastěji jde o bouře s tzv. náhlým začátkem (SSC = sudden storm commencement). Ukázka časového průběhu složky H GMP při takové bouři je na obr. 24. Během několika hodin následujících po začátku zůstává H vyšší než odpovídá magnetickému poklidu. To je tzv. počáteční neboli kladná fáze magnetické bouře. Pak velikost horizontální složky prudce klesne na velikost značně nižší než je normál. Octne se tak v záporné neboli hlavní fázi svého vývoje. Vyrovnání neboli fáze návratu trvá několik dní. Nejvýznamnější z hlediska účinků bouře je přechod z kladné do záporné fáze.

Příčinou geomagnetických bouří je výron elektricky nabitých částic ze Slunce při tzv. slunečních erupcích. Ony částice představují elektrický proud, jehož magnetické pole (když částice doletí do zemské magnetosféry) interagují s GMP. Proces je ovšem podstatně komplikovanější. Zmíníme se o něm ještě v kapitole 9.2. Zájemce další podrobnosti odkazujeme na specializovanou literaturu.



Obr.24.: Časový průběh geomagnetické bouře s náhlým začátkem

Zdravotní význam geomagnetických bouří je diferencovaný. Zdravé osoby bouře nijak nevnímají. Naopak osoby trpící kardiovaskulárními a některými dalšími chorobami (a také zvýšenou vnímavostí nevázanou na zdravotní stav) se během bouří ocitají v těžkých stavech. Vzhledem k podstatě se geomagnetické bouře dají předvídat s cca třídním předstihem, což umožňuje varování ohrožených jedinců. V souvislosti s tím byla v některých zemích již před časem zavedena speciální informační služba.

Geomagnetické bouře někdy vyvolávají i technické potíže, zejména v telekomunikacích, ale i např. v energetice.

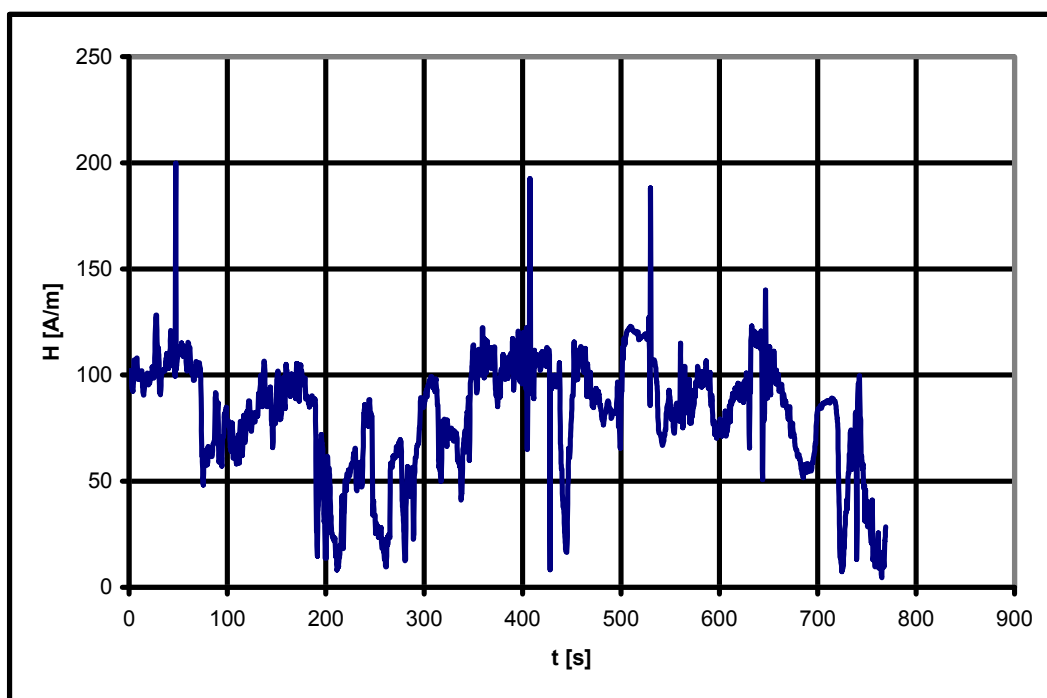
Z umělých magnetických polí si co do intenzity a prostorového rozsahu zaslouží největší pozornost rozptylová pole elektrizovaných dopravních prostředků. Ukázka časového průběhu magnetického pole změřeného na sedadle pro cestující uvnitř stejnosměrně elektrizovaného vlaku je na obr. 25. Obdobná situace – jen s menšími amplitudami magnetické indukce – je v okolí elektrizovaných železničních, ale i tramvajových tratí. Při západovýchodní orientaci jde tudíž o jednoduchou superpozici rozptylového magnetického pole a složky H GMP. Je zřejmé, že průjezd vlaku se v okolí tratě jeví jako ekvivalent geomagnetické bouře. U silně pojížděných tratí je to někdy i více než stovka „bouří“ za den. Pokud je autorům této stati známo, je tato skutečnost vzhledem k potenciálně postiženým osobám po lékařské stránce v ČR podchycena pouze u vlakového personálu, ale ne u zaměstnanců stanic a obyvatel bezprostředního okolí tratí.

Elektrická trakce provozovaná střídavým proudem (v ČR 25 kV, 50 Hz) produkuje při stejném výkonu lokomotiv (ve srovnání s trakcí stejnosměrnou při napětí 3 kV) magnetická pole s amplitudami asi osmkrát menšími.

Magnetická pole technického kmitočtu pod venkovními energetickými vedeními (a v jejich okolí a také pod jednofázovými vedeními trakčními) jsou vzhledem k velmi vysokým

napětím relativně malá a ve srovnání s ostatními výše popsány elektrickými parametry méně významná. Platí to zejména pro krátkodobé či náhodné pobyty v takovém prostředí. Přesto byly nalezeny a ve specializované literatuře popsány pravděpodobné souvislosti s výskytem zdravotních poruch.

Dá se předpokládat, že magnetická pole působí na svoje okolí několika cestami, resp. několika svými charakteristickými vlastnostmi. Jsou to zejména: intenzita (indukce), prostorový a časový gradient intenzity (indukce) a u geomagnetického pole také deklinace a její prostorové, popř. časové variace.



Obr.25: Záznam magnetického pole ve vlaku při jízdě z Prahy Masrykova nádraží.

V literatuře a na konferencích byly a stále jsou uváděny příspěvky, jejichž tématem je:

- souvislost MP s rozvojem a průběhem nádorových onemocnění,
- zvýšené riziko leukémie u dětí,
- vliv GMP na kvalitu spánku (při tom se dochází ke zjištění, že jediné správná poloha těla při spaní je ve směru horizontální složky intenzity pole. Hlava má při tom směřovat k magnetickému jihu tj. zeměpisnému severu).
- vliv na mikroorganismy,
- vliv na vyšší živočichy,
- růstová stimulace rostlin, zejména obilovin,
- vliv na únavnost,
- vliv na rozvoj a průběh duševních poruch a chorob,
- vliv na svalový tonus živočichů (problematika tzv. magnetických náramků),
- magnetická úprava vody,
- účinek na krvetvornou tkáň laboratorních myší,
- účinek na poměry v bytech v blízkosti elektrické trakce,
- vliv na změny krevního tlaku,
- vliv na orientaci stěhovavého živočišstva,
- hledání případných receptorů MP u živočichů,

- vliv na hojení zlomenin,
- magnetická hypersenzitivita (magnetická alergie) lidí,
- četnost dopravních nehod pod vlivem geomagnetických bouří,
- protiedémové působení,
- protizánětlivé působení,
- vliv na dráždivost nervových struktur,
- vliv na sedimentaci erytrocytů,
- vliv na elektrickou vodivost kůže,
- vliv na reakční doby u lidí.

Pokud jde o charakter polí vzhledem k účinku, pokládá se za pravidlo, že účinek „1“ mají pole magnetostatická, účinek „10“ pole střídavá periodická a účinek „100“ pole pulzní.

Z uvedeného (zdaleka ne úplného) výčtu témat i podrobného studia jednotlivých publikací lze jen těžko zjistit, zda jde o seriózně probádaný efekt nebo jen o informaci použitelnou v tzv. alternativní medicíně. Stále ovšem mluvíme o magnetizmu a magnetických polích ve smyslu výše uvedených fyzikálních definic. Vedle toho se lze často setkat s tím, že termínem „magnetizmus (magnetické pole)“ jsou mylně označovány jevy, metody a postupy, které mají zcela jinou podstatu. Jde často o jevy záhadné a těžko racionálně vysvětlitelné. Pracují s nimi lidé označovaní souborně termínem léčitelé (tedy nikoli lékaři). Z lékařů pak příznivci tzv. alternativní medicíny.

Existují i seriózní lékařské aplikace magnetických polí souhrnně označované jako magnetoterapie. Mezi ně také patří populární „magnetická rezonance“, přesněji elektronová spinová rezonance (ESR), popř. elektronová paramagnetická rezonance (EPR).

7. Pole elektromagnetická

Až dosud jsme psali o samostatném elektrickém poli a samostatném magnetickém poli. Než přistoupíme k definici vlastního elektromagnetického pole, zmíníme se o elektromagnetických a magnetoelektrických indukcích.

Při jakékoli časové změně magnetického pole vzniká v každém bodě okolního prostoru indukované elektrické pole. Jinak řečeno: časově proměnné magnetické pole je neodlučně spjato s časově proměnným polem elektrickým. Jev se nazývá *elektromagnetická indukce*. Je kvantifikován Faradayovým indukčním zákonem, který patří mezi čtyři hlavní Maxwellovy rovnice. Zapisuje se několika způsoby, např.:

$$-U_{ind} = \frac{d\Phi}{dt} = S \frac{dB}{dt} \left[V, V_{s,s,m^2}, \frac{V_s}{m^2}, s \right] \quad (11)$$

Nebo také

$$\oint_S \vec{E}_s \cdot d\vec{s} = - \frac{d\Phi}{dt} \left[\frac{V}{m}, m, V_{s,s} \right] \quad (12)$$

Při tom E_s je průmět vektoru intenzity indukovaného elektrického pole do směru elementu dráhy ds a Φ je magnetický tok spřažený s uzavřenou dráhou s . B je magnetická indukce a součin $E_s ds$ je elektromotorické napětí.

Znaménko mínus vysvětluje Lenzův zákon: efekt vyvolaný nějakou příčinou je namířen proti té příčině.

V přírodě existuje také jev inverzní k elektromagnetické indukci. Označuje se někdy jako *magnetoelektrická indukce*. Spočívá v tom, že při každé časové změně elektrického pole vzniká v prostoru, kde k této změně dochází, indukované magnetické pole, které není vázáno na elektrické náboje vykonávající uspořádaný pohyb, čili na elektrický indukční proud. Úlohu indukčního proudu přebírá u magnetoelektrické indukce časová změna intenzity elektrického pole, čili proud Maxwellův I_M (někdy zvaný posuvný).

Magnetoelektrická indukce je kvantifikována Maxwellovým indukčním zákonem

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_M = \frac{d\Psi}{dt} = \vec{S} \cdot \vec{\varepsilon} \frac{d\vec{E}}{dt} \left[\frac{A}{m}, m, A, As, s, m^2, \frac{F}{m}, \frac{V}{m}, s \right] \quad (13)$$

V něm je Ψ elektrický indukční tok a S plocha, kterou prochází. Součin Hdl je magnetomotorické napětí ze vzorce 10.

Ted' již můžeme formulovat definici: elektromagnetické pole (dále EMP) je stav prostoru charakterizovaný tím, že časově proměnné elektrické pole vyvolává současně v tomto prostoru časově proměnné magnetické pole (o kterém víme, že je vírové).

Časově proměnné (indukované) elektrické pole se liší od elektrického pole vytvořeného elektrickými náboji. Tvoří uzavřené křivky. Je to tudíž také pole vírové.

Stav prostoru tedy vyvolává současná přítomnost elektrické a magnetické složky pole při čemž obě tyto složky jsou časově (obvykle periodicky) proměnné a navzájem podmíněné.

Z hlediska časové proměnnosti neboli kmitočtu rozlišujeme EMP nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. Neostrá hranice mezi nimi je někde u padesáti kHz. Horní hranice polí vysokofrekvenčních souvisí s rozlišením radiotechnických a optických metod studia.

Působení EMP na člověka

Nejcitlivějšími orgány jsou oči, nervový systém, pohlavní orgány a kůže. V citlivosti osob k EMP ovšem panuje obrovská diferenciaci. Uplatňují se synergizmy, tj. současný negativní vliv (jeden nebo několik) trvalého i okamžitého zdravotního stavu, kouření a další drogy, alkoholismus, věk, pohlaví (ženy, ale i děti jsou obecně k EMP citlivější), duševní choroby a poruchy. Existuje i významné procento lidí jinak zcela zdravých, avšak mimořádně citlivých k EMP. Označuje se to jako elektromagnetická alergie neboli elektromagnetická hypersenzitivita.

V souvislosti s tím se jako stále aktuálnější jeví také otázka úrovně EMP přímo v obytných interierech, zejména v ložnicích aj. místech odpočinku.

Obecná problematika působení EMP na vše živé je jednak předmětem četných (v zahraničí) lékařských, hygienických a biologických studií a výzkumů, jednak předmětem specializované legislativy (kapitola 10).

Že jde o mimořádně složitou a komplikovanou problematiku dokládá skutečnost, že různí badatelé řešící tentýž problém docházejí často k navzájem diametrálně rozdílným závěrům. Podobně je tomu i v legislativě. Jakékoli normy, i ty nejnovější, se stávají předmětem obvykle velice kvalifikované kritiky. Vytýká se jim, že jsou jednak příliš přísné, jednak příliš mírné.

Působení EMP na neživé, zejména technické objekty

Ohroženým objektem se může stát a často stává jakákoli nedostatečně elektricky i magneticky stíněná či chráněná technika. Nejzranitelnější jsou předměty a funkční celky vybavené elektronickými prvky a systémy. Mohlo by se zdát, že něco takového nemá žádnou souvislost s životním prostředím a zdravotním stavem lidí. Elektronické systémy dnes ovládají nejen sdělovací a informační techniku, ale také leteckou, námořní i pozemní dopravu, většinu vý-

robních technologií, energetiku, ale také techniku lékařskou, vojenskou a mnoho dalších. Teďdy téměř veškeré činnosti většiny současných lidí. Jakákoli porucha elektronických systémů může mít nedozírné následky.

Schopnost techniky odolávat nežádoucímu působení cizích EMP a zároveň vědní disciplína, která se tím zabývá, se nazývá elektromagnetická kompatibilita neboli EMC.

8. Přejchod od elektromagnetických polí k elektromagnetickým vlnám

Jednoduchá fenomenologická definice říká, že elektromagnetické vlny představují elektromagnetická pole v pohybu. To znamená, že veličiny E i H jako funkce času jsou zároveň funkcemi prostorových souřadnic.

Kvantitativní vysvětlení vychází z Maxwellových rovnic v diferenciálním tvaru. Pro usnadnění tohoto vysvětlení se v prvním přiblížení předpokládá, že se elektromagnetické vlny tvoří v homogenním a izotropním dielektriku, v němž nejsou přítomny volné nosiče elektrického náboje. V tom případě jsou Maxwellovy rovnice:

$$\text{rot}\vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \quad (14)$$

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}, \quad (15)$$

$$\text{div}\vec{D} = 0 \Rightarrow \text{div}\vec{E} = 0, \quad (16)$$

$$\text{div}\vec{B} = 0 \Rightarrow \text{div}\vec{H} = 0. \quad (17)$$

Rovnice 14 – 17 evidentně nenaznačují, že by veličiny E , H měly vlnový charakter. Při tom k důkazu vlnové podstaty je nezbytně nutné, aby měly formální tvar podle obecné vlnové rovnice pro nějakou veličinu u , která je funkcí x , y , z , t :

$$\nabla^2 u = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (18)$$

při čemž

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \quad (19)$$

je Hamiltonův operátor a \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} jsou jednotkové vektory ve směru souřadnicových os kartézské soustavy. Jeho význam je v tom, že usnadňuje a zjednodušuje početní operace popisující děje v prostoru. Kromě toho lze pracovat s operátorem Laplaceovým Δ , pro nějž platí

$$\Delta = \nabla^2.$$

Podobu vlnových rovnic dostaneme, když na Maxwellovy rovnice aplikujeme následující formální matematický postup:

Rovnici 14 podrobíme rotaci. Tak bude

$$\text{rot rot } \vec{H} - \frac{\partial}{\partial t}(\text{rot } \vec{D}) = 0 \quad (20)$$

Ve vektorové analýze se uvádí obecný vzorec pro libovolný vektor \vec{A} :

$$\text{rot rot } \vec{A} = \text{grad div } \vec{A} - \Delta \vec{A}. \quad (21)$$

Užijeme-li této rovnice na vektor \vec{E} , dostaneme nejprve

$$\text{rot rot } \vec{E} = \text{grad div } \vec{E} - \Delta \vec{E} \quad (22)$$

a s ohledem na rovnice 15, 16, 17 také

$$-\mu \text{rot } \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\Delta \vec{E}. \quad (23)$$

Jelikož na pořadí derivací podle času a podle souřadnic nezáleží, pak také

$$\mu \frac{\partial}{\partial t}(\text{rot } \vec{H}) = \Delta \vec{E}. \quad (24)$$

Za $\text{rot } \vec{H}$ dosadíme do rovnice 24 z rovnice 14, čímž dostaneme

$$\mu \frac{\partial}{\partial t} \left(\varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) = \Delta \vec{E} = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}. \quad (25)$$

To je vlnová diferenciální rovnice pro elektrickou složku elektromagnetické vlny. Obdobným postupem lze odvodit rovnici pro složku magnetickou:

$$\Delta \vec{H} = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}. \quad (26)$$

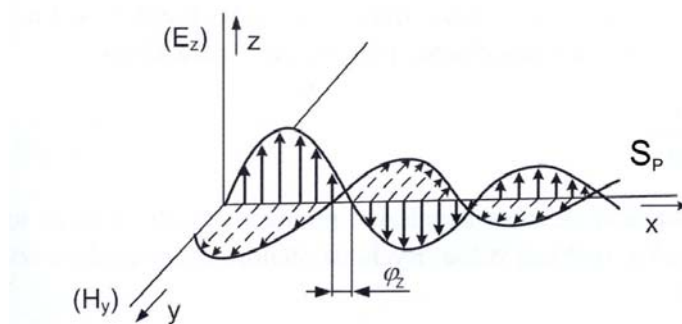
Obě uvedené diferenciální vlnové rovnice reprezentují (prostřednictvím Laplaceova operátoru) elektromagnetickou vlnu ve všech směrech. Jejich řešením jsou periodické algebraické funkce typu *sinus*.

Ve vzorcích pracujeme s konstantami: $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$, při čemž $\varepsilon_0 = 1/36\pi \cdot 10^{-9}$ F/m. $\mu = \mu_0 \mu_r$, při čemž $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

Obecně je tedy vlna šířící se z bodového zdroje kulová. Ve větší vzdálenosti jí můžeme aproximovat vlnou rovinnou o níž platí, že vektory elektrické a magnetické složky jsou na sebe kolmé a roviny, v nichž kmitají, jsou obě kolmé na směr šíření vlny. Ukazuje to obr. 26. Elektromagnetické vlny jsou tudíž vlny příčné, tedy kolmé na směr svého šíření.

Vektor ve směru šíření neboli vektor Poyntingův S_p představuje plošnou hustotu energie elektromagnetické vlny neboli její intenzitu. Platí o něm, krom jiného:

$$\vec{S}_p = \vec{E} \times \vec{H} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]. \quad (27)$$



Obr. 26: Složky elektromagnetické vlny

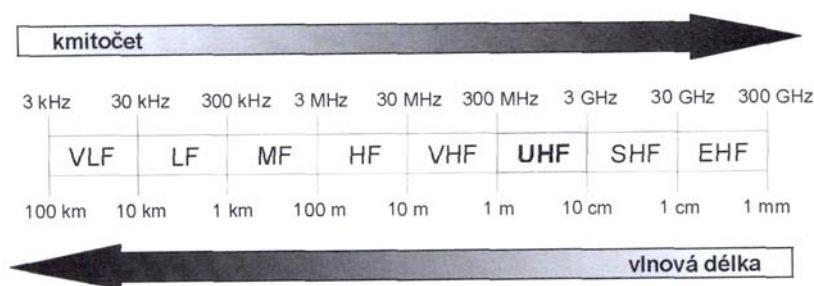
Mezi parametry prostředí, rychlostí šíření c a vlnovou délkou λ (kmitočtem f) elektromagnetické rovinné vlny dále platí:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right], \quad (28)$$

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (29)$$

Druhy elektromagnetických vln a jejich vlastnosti

Celý rozsah dosud radiotechnicky využívaných kmitočtů elektromagnetických vln je na obr. 27.



Obr. 27: Přehled radiotechnických kmitočtů a vlnových délek

Při styku šířících se vln s překážkou může dojít zřejmě k

- prostoupení překážky
- odrazu od překážky
- ohybu na překážce
- absorpci čili pohlcení překážkou
- kombinaci kterýchkoli uvedených procesů.

Rozhodujícími kritérii jsou vlnová délka λ a charakteristický rozměr překážky h . Překážkou může být cokoli, tedy i jeden člověk nebo skupina lidí. (Charakteristickým rozměrem je nejčastěji výška osob. (V některých studiích se pracuje s člověkem jakožto s modelem tzv. „tlusté antény“).

Je-li $\lambda \gg h$, dojde k prostoupení (VLF, LF, MF) nebo k ohybu (VLF, LF, MF, HF).

Když $h \geq \lambda$, nastane odraz nebo pohlcení (VHF, UHF). Při $\lambda \ll h$ nastane pohlcení (UHF, SHF, EHF).

S ohledem na uvedené chování elektromagnetických vln a na absolutní hodnotu Poyntingova vektoru při kontaktu s překážkou neboli intenzitu elektromagnetického záření se posuzuje jejich vliv na vše živé i neživé a také se podle toho „konstruuje“ hygienické normy (kapitola 10). Vychází se při tom z rámcového přehledu zdrojů elektromagnetických vln:

V kmitočtovém pásmu ULF, VLF a LF pracují vysílače nejrůznějších služeb (časová, radionavigační), ale také dosud rozhlas. Patří sem také aplikace průmyslové. Pásmo je rovněž „doménou“ elektromagnetických vln pocházejících z blesků bouřek nejen blízkých, ale i velmi vzdálených a z obloukových a jiskrových výbojů produkovaných mechanickými spínači, kolektorovými elektromotory, ale také například trolejovými vodiči elektrické trakce pokrytými námrazou. Typické intenzity elektrických složek vln jsou do 100 V/m a u magnetických do cca 1 mT.

V pásmu MF pracují rozhlasové vysílače často značných výkonů, indukční ohřevy v průmyslu, amatérské vysílače a také sem patří aplikace lékařské.

Pásmo HF je „obsazeno“ především rozhlasem. Dále sem patří vysílače amatérské, občanské radiostanice, vojenské a policejní aplikace a nejrůznější dielektrické ohřevy v průmyslu. Také ovšem krátkovlnná diatermie ve zdravotnictví.

Kmitočtový obor VHF je využíván rozhlasem, televizí a nejrůznějšími službami (záchranná, policejní, požární). Pracuje zde také průmyslový dielektrický ohřev.

V oboru UHF, SHF a EHF „sídlí“ radiolokace, mobilní telefony a jejich základnové stanice, mikrovlnný ohřev v potravinářství, satelitní rádiové spoje a mikrovlnná diatermie. Nej důležitější dozimetrickou veličinou je zde plošná hustota výkonu (kap. 10). Pohybuje se od neměřitelných velikostí až po cca stovky mW/cm^2

Vlny ve všech uvedených kmitočtových oborech mohou vstupovat do interiérů zvenčí nebo mohou být produkovány vnitřními zdroji.

V oboru vlnových délek ULF, VLF, ale především LF a MF při kontaktu vln se živými objekty (osamělé osoby, soliterní dřeviny a vysoké byliny) se uplatňuje tzv. anténový efekt. Jeho důsledkem je snadná měřitelnost signálů z různých, i velice vzdálených zdrojů na tělech (stoncích, kmenech, větvích). Při větším počtu jedinců se (podobně jako v okolí venkovních energetických vedení) projevuje jejich vzájemné elektrické stínění.

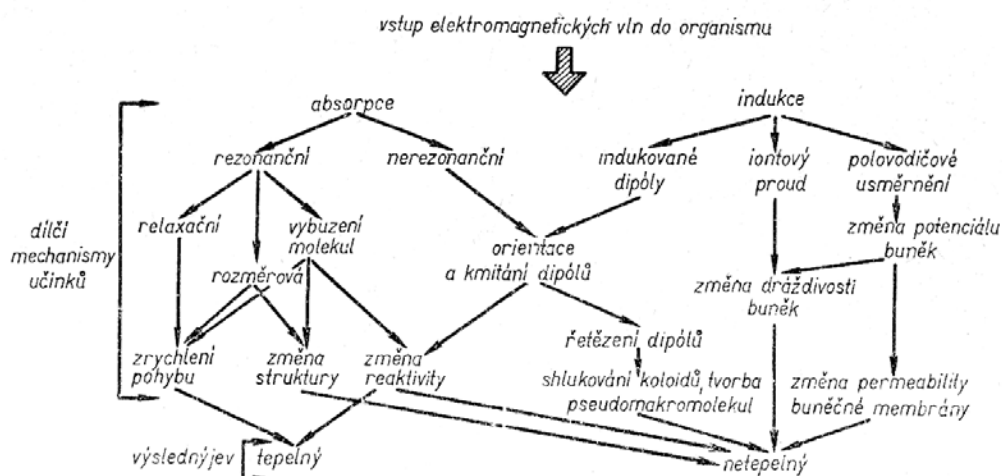
Působení elektromagnetických vln na živé objekty

Hypotetická představa o tomto působení je na obrázku 28. Zahrnuje působení termické a několik druhů působení netermického.

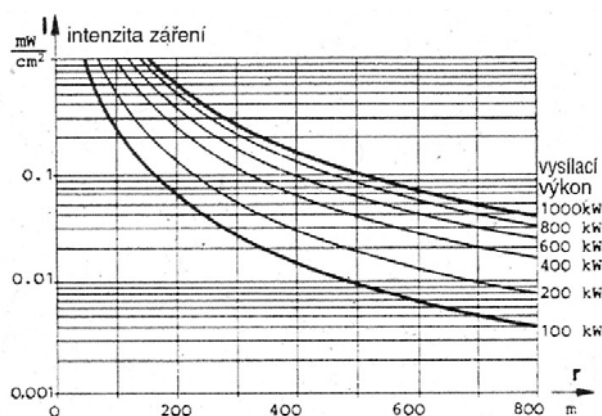
Výkon vysílačů, zejména televizních a rozhlasových bývá značný, někdy i kolem jednoho megawattu. V takových případech lze naměřit např. ve stometrové vzdálenosti intenzitu (plošnou hustotu zářivého výkonu) okolo 1 mW/cm^2 . Vzdálenost stanoviště od vysílače hraje tedy podstatnou roli. Ukázka pro případ středovlnných (LF) vysílačů je na obr. 29a. Při absorpci se ovšem také uplatňuje hloubka průniku vln do organismu. Ta je závislá na frekvenci. Ukázka je na obr 29b.

Pokud jde o vlastní působení elektromagnetických vln na živé objekty, pak v závislosti na absorpci, ohybu či odrazu platí téměř beze zbytku to, co bylo uvedeno pro elektromagnetická

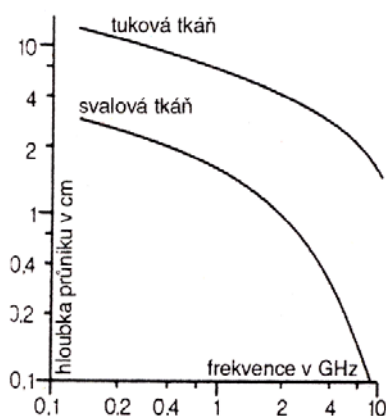
pole. Jde o to, že vlnová podstata se může uplatnit pouze při větší vzdálenosti mezi vysílačem a zasaženým objektem než je jedna vlnová délka. Poněkud jiná je situace u mobilních telefonů.



Obr. 28: Představa o způsobech vstupu elektromagnetických vln do organismu a jejich působení



Obr. 29a: Ukázka poklesu intenzity záření vysílače se vzdáleností

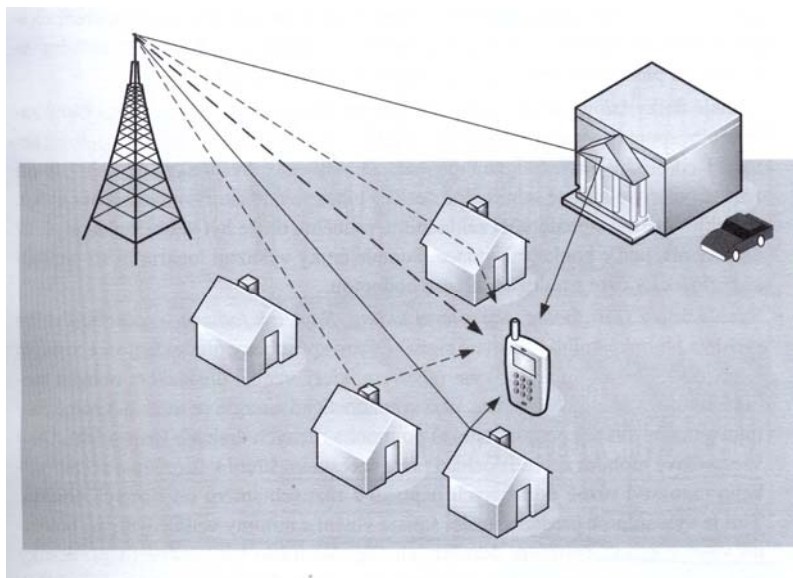


Obr. 29b: Hloubka vniku elektromagnetické vlny do organismu v závislosti na kmitočtu

Problematika mobilních telefonů

Vzhledem k jejich masovému rozšíření a vzhledem k bezprostřední blízkosti těchto zařízení u hlavy uživatelů jeví se jejich ekologicko – hygienický vliv jako velice aktuální.

Užívané kmitočty – nejčastěji 900, 1800, 1900 MHz - je řadí do skupiny decimetrových vln UHF. Šíří se nejen přímočaře, ale relativně snadno (to je jejich zvláštnost) prostupují dutinami jakými jsou schodišťové šachty, chodby, ale i malé mezery (pootevřené dveře apod.). V krajině pokryté rozměrnou vegetací a v krajině zastavěné obytnými i průmyslovými objekty je šíření směsí mnohonásobných odrazů a ohybů (obr. 30).



Obr. 30: Princip mobilní telefonie

Princip mobilní telefonizace spočívá v tom, že tzv. základnová stanice se stabilní anténou provozuje komunikaci mezi jednotlivými mobilními telefony. Z toho plyne relativně velmi malý technicky potřebný výkon ve vysílacím režimu.

Další zvláštností je výpočet šíření vln UHF a tím i kvality spojení při plánování mobilních rádiových sítí. Nevychází se při tom z klasických Maxwellových rovnic, ale z modelů šíření. Dnes jich je známo několik (např. UMTS).

Ve vysílacím režimu mobilního telefonu, při anténě těsně v blízkosti hlavy, dochází kromě vyzařování užitečného signálu také k jeho absorpci hmotou hlavy. To vede ke snížení vysílacího výkonu. Základnová stanice vydá v tom případě mobilnímu telefonu signál ke zvýšení výkonu, čímž se hustota absorbované energie ještě zvýší. Důsledkem je ohřev mozku (nad + 40° C). Není to však „obyčejný“ ohřev při němž se teplo vedením šíří z povrchu ohřívaného předmětu dovnitř. Je to ohřev zevnitř neboli ohřev mikrovlnný. Ohřívá se nejdřív a nejvíce mozková tkáň obsahující vodu a nikoli lebeční kosti. Takovýto ohřev nevnímáme, neboť hypothalamus – mozkové centrum pro vnímání teplot na různých částech těla - takovýto ohřev „nezná“. Lidstvo se při svém vývoji s ničím takovým nikdy nesetkalo. Právě v tom je mimořádně velké nebezpečí mobilních telefonů.

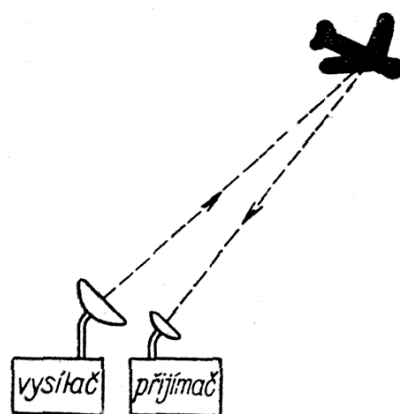
S tím a s dalšími argumenty pracují autoři, kteří čas od času uveřejní článek varovného obsahu. Avšak oficiální lékařské studie a nejrůznější počítačové modely interakce mozku s UHF zatím neprokázaly významné (ovšem akutní) poškození.

Na principu popsaného ohřevu mozku při mobilním telefonování pracují kuchyňské i průmyslové tzv. mikrovlnné trouby, ale i lékařská mikrovlnná diatermie. Při úniku elektromagnetických vln představují stejné nebezpečí.

Problematika radiolokátorů

Vzhledem k mimořádné aktuálnosti (červen - srpen 2008) je tato partie zpracována ve srovnání s ostatními poněkud podrobněji.

Rádiové odhalování a zaměřování neboli radiolokace čili radar (radio detection and ranging) se začalo rozvíjet krátce před II. světovou válkou jako náhrada za již nevyhovující zaměřování akustické. Obojí mělo a má za cíl zjišťovat lokalizaci a pohyb „nepřátelských“ letadel, ale také mnoho dalších aplikací. Princip obou druhů zaměřování je stejný: Směrově orientovaným vysílačem (anténou) se vytváří co nejužší svazek (paprsek) vln a pohybem antény se tímto svazkem ohledává (skenuje) vyhrazená (zvolená) část prostoru a to azimutálně i elevačně. Když vlnový svazek narazí na překážku, odrazí se od ní (ale také se v ní částečně pohltí). Odražený svazek vln se vrací k přijímači (obr. 31). Vysílanou energii je nutno soustředit do úzkého paprsku, aby plošná hustota výkonu (intenzita vlnění – viz Poyntingův vektor) dopadající na překážku byla co největší a tak i odražený signál měl co největší amplitudu. Proto i přijímací anténa musí být směrová. Vysílač generuje elektromagnetické vlny nejčastěji impulzně. To znamená, že relativně krátké impulzy (např. několik mikrosekund) jsou odděleny navzájem mnohonásobně delšími přestávkami (např. několik jednotek či desítek milisekund), v nichž právě probíhá příjem odražených vln. Vzdálenost překážky od vysílače se určuje z doby, která uplyne, než se odražená vlna vrátí.



Obr. 31: Princip radiolokátoru

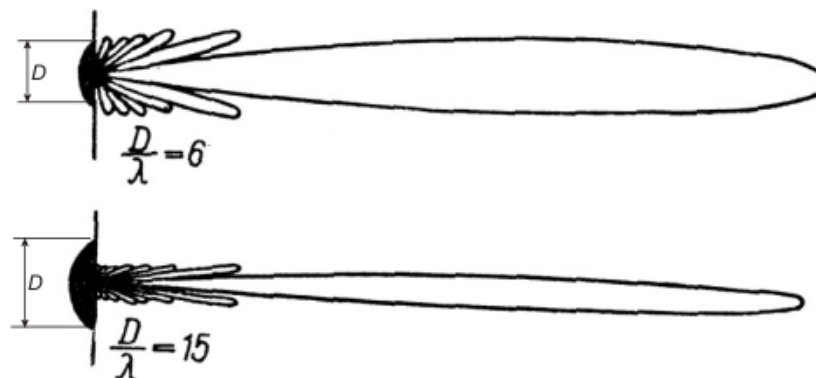
U radiolokace se používá elektromagnetických vln s vlnovou délkou nejčastěji řádu centimetrů, tedy mikrovln SHF, EHF (obr.27). Důvod užití elektromagnetických vln ukazuje jednoduché srovnání s lokací akustickou:

Představme si letadlo letící rychlostí např. 360 km/hod směrem k zaměřovacímu vysílači. V jistém okamžiku nechte, že je od ní vzdáleno 20 km. K tomu, aby impulzní svazek elektromagnetických vln proběhl dvojnásobek této vzdálenosti, potřebuje 120 μ s. Zaměřované letadlo uletí za jednu mikrosekundu dráhu 0,1 mm, což za 120 μ s představuje 12 mm. Při akustickém zaměření by však za dobu potřebnou pro proběhnutí akustického signálu letadlo uletělo celých 12 km. Tak např. letadla letící nadzvukovou rychlostí by se akusticky vůbec nedala zaměřit, o raketách samozřejmě nemluvě.

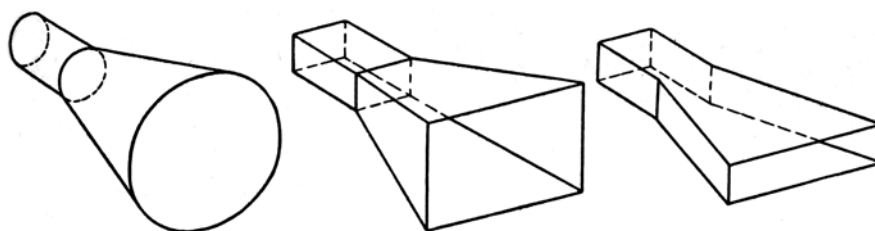
Radar se v současné době používá v mnoha oborech: v meteorologii, pozemní a zejména letecké dopravě, v námořní dopravě, ve vojenských aplikacích – nejnověji v tzv. protiraketové obraně.

Charakteristickým a velice nápadným prvkem radarů jsou parabolické (resp. paraboloidní) antény značných rozměrů (okolí letišť), které se obvykle sem – tam otáčejí. Parabolická anté-

na (ekvivalent televizní antény pro satelitní příjem) byla a v mnoha případech dosud je plochou, v jejímž ohnisku je umístěn zářič vysokofrekvenčního výkonu. Ten parabolická plocha vyzařuje v úzkém svazku do požadovaného směru (obr. 32). (Je vhodné poznamenat, že jde o téměř dokonalý ekvivalent působnosti parabolického zrcadla v optice). Podstatou generátorů vysokofrekvenčního výkonu v oboru centimetrových vln byly původně a někde dosud jsou speciální elektronky zvané dutinový magnetron, klystron, popř. majáková trioda.



Obr. 32: Vyzařovací charakteristiky parabolických antén



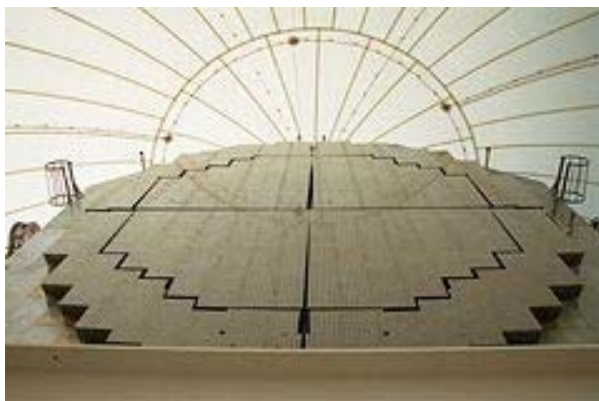
Obr. 33: Trychtýřové vyzařovací zakončení vlnovodu



Obr. 34: Trychtýřové vyzařovací zakončení vlnovodů u reálné antény

V oboru protiraketové obrany a meteorologie (a také některých dalších aplikací) se v současné době nepoužívají antény parabolické, nýbrž plošné. Jsou tvořeny soustavou stovek až desetitisíců paralelních dílčích zářičů (generátorů) vysokofrekvenčního výkonu zvaných T/R (*transmitter/receiver*) moduly. To jsou samostatné generátory o výkonu jednotek až stovek wattů založené na intermetalických polovodičích typu GaAs nebo GaN. Prostřednictvím krátkého vlnovodu dodávají výkon do trychtýřového zářiče (anténky). Je to vidět na obrázcích 33, 34, 35. Výkon a fáze vysokofrekvenční vlny každého dílčího T/R zářiče nebo jejich skupin jsou elektronicky ovládány tak, aby sumární energie byla soustředěna do jednoho svazku, který současně může být volitelně tvarován a vychylován.

Fotografie plošné radarové antény sestavené z T/R modulů je na obr. 35.

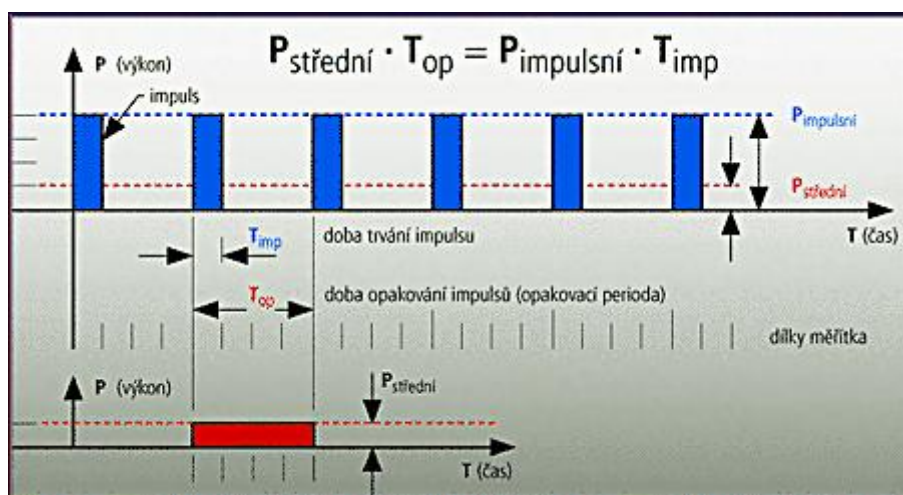


Obr. 35: Konstrukce plošné antény

Fundamentálním problémem každého radaru je dosah jeho paprsku. Zatímco u radarů dopravní policie je to několik desítek metrů, u letištních přibližovacích radarů několik desítek kilometrů, u meteorologických několik stovek km, pak u radarů protiraketových jsou potřebné dosahy 6 – 8 tisíc kilometrů. Pro dosah radiolokátoru je rozhodující výkon. Ale který? Udává se jich několik (obr. 36). Zejména výkon impulzní P_{imp} a výkon střední $P_{stř}$, což je průměrný výkon počítaný z mnoha period opakování impulzů. Energie stanovená z tohoto výkonu určuje dosah radiolokátoru. Platí o ní, že

$$P_{stř} T_{op} = P_{imp} T_{imp} [\text{Ws}]. \quad (30)$$

Význam časů T_{op} a T_{imp} je patrný z obrázku 36.



Obr. 36: Přehled výkonových poměrů

Ve hře je však také zisk antény, tj. relativní zvýšení výkonů (tedy i $P_{\text{stř}}$) vyvolané soustředěním jednotlivých paprsků z T/R modulů do paprsku jediného. Tak je získán efektivní vyzářený výkon *ERP* (*effective radiated power*) ve směru hlavního paprsku jako součin $P_{\text{stř}}$ a bezrozměrného zisku antény G :

$$ERP = P_{\text{stř}} G [\text{W, dB}]. \quad (31)$$

Pro ekologický a zejména zdravotní význam radiolokátorů je rozhodující veličinou hustota vyzářeného výkonu P_I (tedy opět Poyntingův vektor):

$$P_I = \frac{ERP}{S} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right], \quad (32)$$

kde S je plocha kolmá ke směru šíření hlavního paprsku.

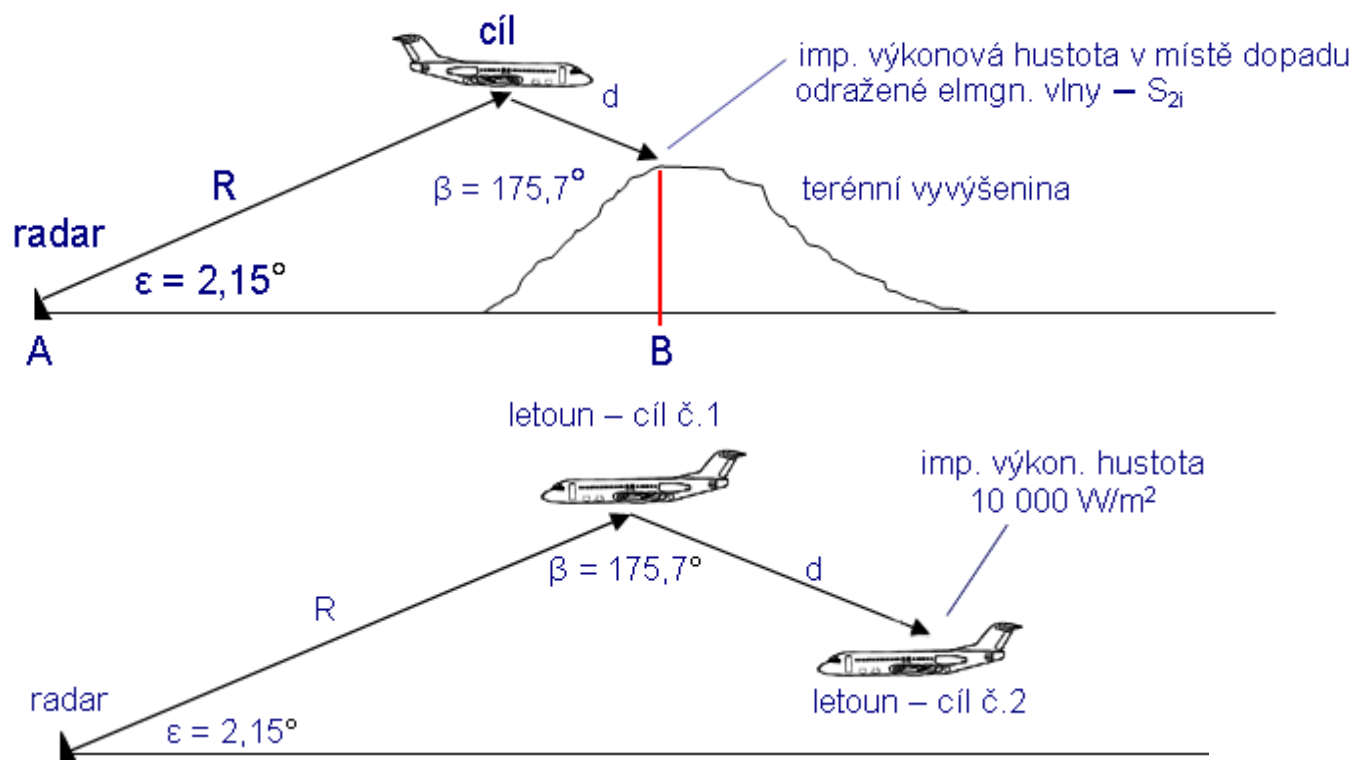
V teorii šíření elektromagnetických vln se rozlišují tzv. blízké a vzdálené oblasti. Pro vzdálenou oblast platí, že P_I klesá se vzdáleností od antény r podle vztahu:

$$P_I = \frac{ERP}{4\pi r^2}. \quad (33)$$

Při tom v oboru radiolokátorů je vzdálená oblast empiricky definována jako

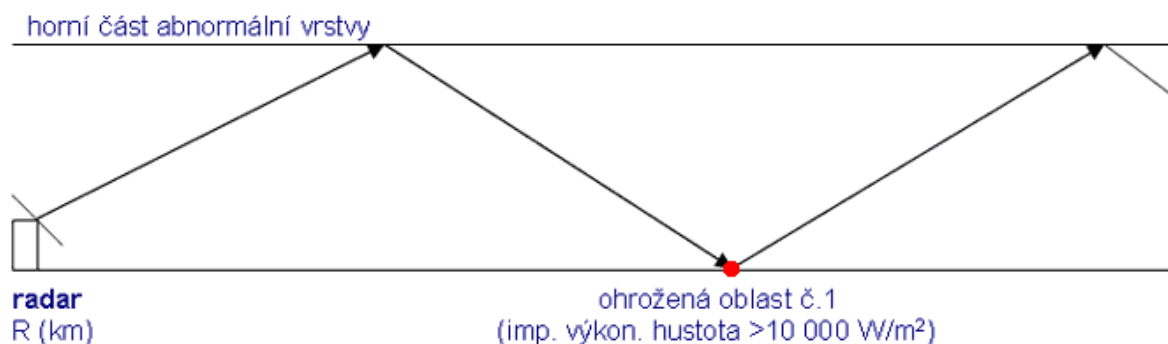
$$r \geq \frac{2d^2}{\lambda} [\text{m, m}^2], \quad (34)$$

kde d je průměr (označovaný jako apertura) antény.



Obr. 37: Příležitostné odrazy radarového svazku.

Ekologický význam radarů roste s jejich dosahem čili vlastně s plošnou hustotou vyzářeného výkonu. Užitečný prostor, tedy vzdušný prostor ve směru skenujícího hlavního paprsku (laloku) vyžaduje, aby v něm nebyly přítomny předměty či objekty vyvolávající odraz, ohyb a lom paprsku. Při velmi malých (technologicky nutných) elevačních úhlech se tento požadavek v krajině s hustým leteckým provozem dá těžko splňovat. Při tom lze obtížně kvantifikovat plošnou hustotu výkonu v odraženém či odchýleném paprsku. Ukázka možné situace při odrazu od letadla je na obr. 37. Letadla jsou ovšem relativně velmi malé předměty což pravděpodobnost odrazu snižuje. Daleko rozlehlejší odrazné plochy představují teplotní a hustotní zvrstvení vzdušných hmot, jakož i oblaka a oblasti s deštěm, sněhem nebo mlhou. Nelze vyloučit ani vliv jinovatky a sněhu na krycí kopuli antény. Zvrstvení atmosféry může fungovat a často funguje jako mikrovlnný vlnovod (obr. 38).



Obr. 38: Odrazy na atmosférických zvrstveních

Zdravotní význam mikrovln generovaných při provozu radiolokátorů je podchycen vyhláškou 480/2000 Sb (viz též kap. 10). Vychází z předpokladu, že zdravotně bezpečný kontakt s mikrovlnami je, když plošná hustota výkonu v přímém i odraženém paprsku nepřekročí 10 W/m^2 . To ovšem platí pro model člověka, který netrpí okamžitými potížemi a determino-

vanou proměnnou vnímavostí. Člověk reálný může i při splnění normě absorbovat výkonovou hustotu mikrovln, která jeho zdravotní stav nepříznivě ovlivní aniž by o tom věděl.

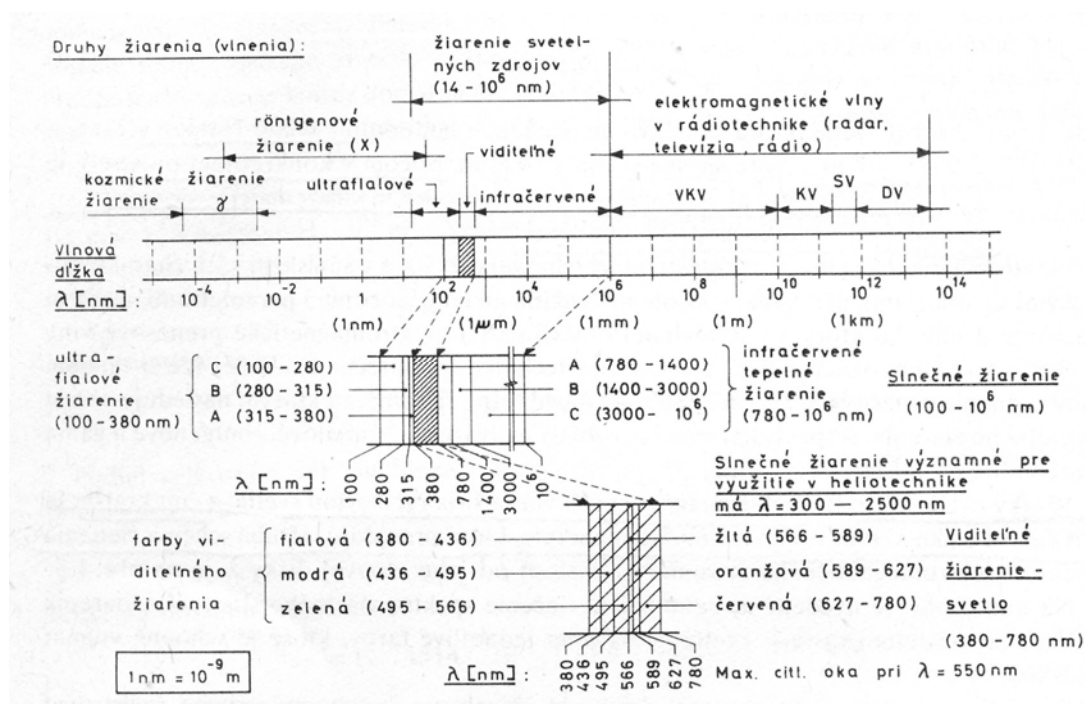
Leteckých a meteorologických radarů je v ČR v provozu mnoho, o policejních nemluvě. Autorům tohoto textu však nejsou známy žádné případy významného zdravotního poškození osob. To ovšem neplatí pro radary s výkonovou hustotou zajišťující tisícikilometrové dosahy. Nebezpečné ozáření osob odrazem (např. od horizontálně zvrstvených vzdušných mas) je navíc komplikováno nemožností dodatečně (po události) změřit výkonovou hustotu na kterémkoli místě.

9. Elektromagnetická podstata vnímatelného záření

Vnímatelné záření popisuje soustava specializovaných veličin. Vychází z energetické podstaty tohoto záření. Naopak světlo popisují veličiny světelné. Vycházejí z jeho hodnocení prostřednictvím vidění lidským okem (VIS – viditelné světlo). Mají tedy fyziologickou podstatu. Světelné veličiny jsou tudíž (i svými jednotkami) výrazně odlišné od veličin zářivých neboli energetických (neboli – jak dále ukážeme – elektromagnetických).

Teorii podstaty světla vyhovuje představa korpuskulární, kvantová i představa elektromagnetická. Vzhledem k náplni tohoto textu se přidržíme právě jí.

Termínem *vnímatelné záření (VZ)* budeme rozumět záření zaujímající v obecném elektromagnetickém spektru obor vlnových délek $1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^2 \mu\text{m}$ jak to ukazuje obr. 39. Budeme se nejprve zajímat o záření (světlo) přicházející na Zem ze Slunce. Jeho spektrální složení je rovněž na obr. 39. Lze z něj vyčíst poměrné zastoupení tří úseků vlnových délek: IR ~ 52%, VIS ~ 44% a UV ~ 3%. Zastoupení záření rtg a rádiového je ~ 1%.



Obr. 39: Spektrum elektromagnetických vln v okolí viditelného záření (DV=LF, SV=MF, KV=HF, VKV=VHF+UHF+SHF+EHF)

Fundamentální veličinou slunečního záření (v oboru VIS, IR a UV) je zářivý tok neboli plošná hustota zářivého výkonu (tedy ekvivalent Poyntingova vektoru v rádiotechnických elektromagnetických vlnách). Velikost této veličiny na rozhraní zemské atmosféry a světového prostoru se nazývá *solární konstanta* I_0 (přesněji *energetická* nebo také *elektromagnetická*).

solární konstanta). Není však zcela konstantní. Udává se v rozmezí $I_0 = 1340 - 1390 \text{ [W/m}^2\text{]}$, tj. v průměru 1360 (někdy také 1370) W/m^2 . Rozptyl je způsoben jednak jako důsledek eliptického tvaru oběžné dráhy Země kolem Slunce, jednak měnící se sluneční aktivitou (kapitola 9.2).

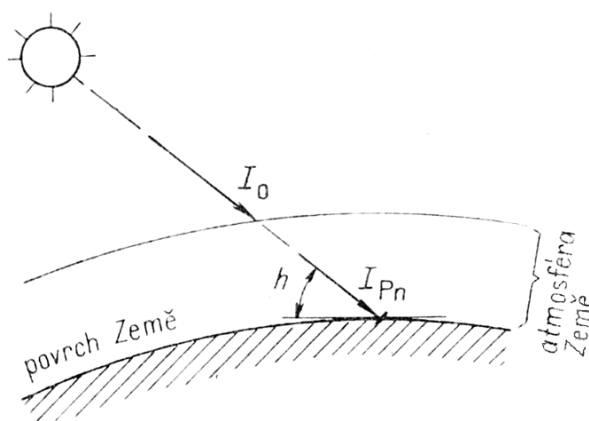
Průchodem paprsků atmosférou se intenzita slunečního záření snižuje. Dochází jednak k rozptylu paprsků odrazem od molekul plynů a částic prachu, jednak k absorpci záření víceatomovými plyny (H_2O , CO_2 , O_3) ve vzduchu. Mírou zmenšení I_0 je součinitel zakalení (= znečištění) atmosféry Z , který krom uvedeného je také funkcí atmosférického tlaku. Součinitel Z je formulován Linkeho zákonem:

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_\epsilon}, \quad (35)$$

kde I_0 je solární konstanta, I_n je intenzita záření (zářivý tok) dopadající na kolmou plochu při daném znečištění ovzduší a I_ϵ je totéž při dokonale čistém ovzduší.

I_ϵ se dá těžko určit a proto se odhaduje. Následkem toho se také Z určuje odhadem. Jeho velikost je v mezích čísel 2 až 8. Malé velikosti Z platí pro velmi čisté ovzduší velehor a Z velké pro průmyslem znečištěná města. Důležité je, že číslo Z nemá v daném místě stálou velikost. Výkyvy způsobuje výskyt exhalací a momentální stav počasí.

Z hlediska životního prostředí má zásadní význam intenzita I_{pn} , tedy to, co „zbyde“ ze solární konstanty po průchodu atmosférou a dopadá na kolmou rovinu (obr. 40).



Obr. 40: Proměny solární energetické konstanty při průchodu atmosférou

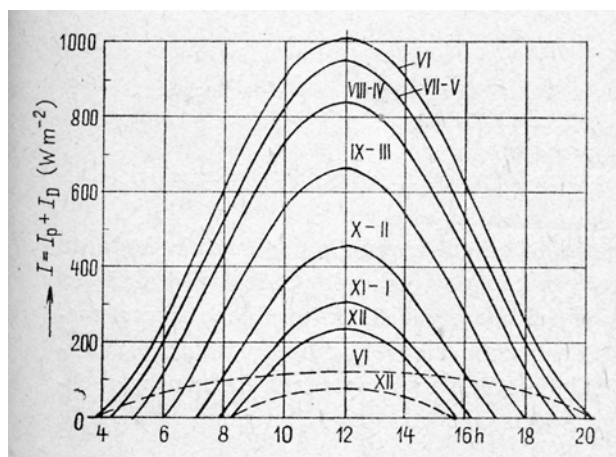
(Na tomto obrázku je h úhel nazývaný výška Slunce)

Velikost I_{pn} je

$$I_{pn} = I_0 A^{-Z} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right], \quad (36)$$

při tom I_0 je střední hodnota solární konstanty (1360 W/m^2), A je součinitel, který je složitou funkcí výšky Slunce nad obzorem a nadmořské výšky lokality (pro praktické účely je zpracován do tabulek, které nebudeme uvádět). Z je již zmíněný součinitel znečištění atmosféry.

Intenzita přímého slunečního záření I_p dopadajícího na obecně orientovanou plochu



Obr. 41: Časový průběh intenzity slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu na 50° severní šířky pro $Z=3$ v závislosti na denní a roční době je dána vztahem

$$I_p = I_{pn} \cos \gamma, \quad (37)$$

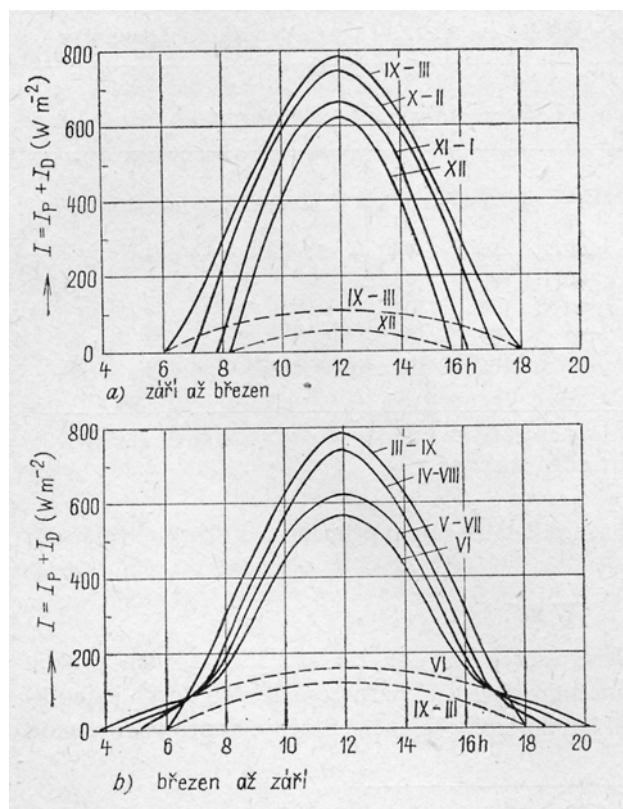
kde γ je úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu.

Záření, které se v atmosféře rozptýlilo opakovaným odrazem od molekul plynů a aerosolových částic, proniká částečně k zemskému povrchu jako záření difuzní. (Při rozptylu se vlnové délky paprsků nemění, takže spektrální složení difuzního záření je stejné jako u záření přímého).

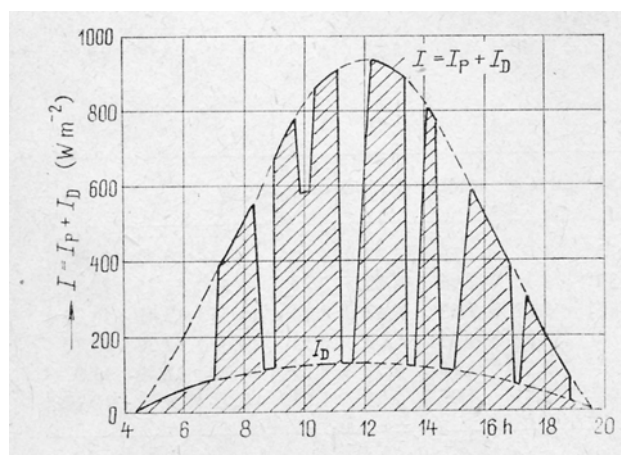
Úhrnné sluneční záření I dopadající na povrch Země se tedy skládá ze složky přímé I_p a složky difuzní I_D . Proto platí:

$$I = I_p + I_D \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]. \quad (38)$$

Závislost I (dopadajícího na vodorovnou plochu) na denní době pro různá období roku je znázorněna na obr. 41. Tatáž závislost pro svislou plochu je na obr. 42.



Obr. 42: Časový průběh intenzity slunečního záření dopadajícího na svislou plochu na 50° severní šířky pro $Z=3$ v závislosti na denní a roční době



Obr. 43: Skutečný průběh intenzity slunečního záření během dne s oblačností

Denní chod I (působícího na nějakou osluněnou plochu) za situace „střídavé oblačnosti“ je na obr. 43.

Na tomto místě se musíme zmínit, jak je to s intenzitou vnímatelného záření pocházejícího z umělých zdrojů. Obecně je samozřejmě podstatně menší ve srovnání se Sluncem. Obvykle nepřekračuje (ve vzdálenostech odpovídajících běžnému použití) 15 W/m^2 . Podstatné je, že je funkcí čtverce vzdálenosti od zdroje.

U obecného elektromagnetického vlnění s intenzitou I šířícího se rychlostí c v prostředí o permitivitě ϵ_0 a permeabilitě μ_0 (tedy vakuum nebo vzduch za atmosférického tlaku) platí pro jeho elektrickou složku E :

$$E = \sqrt{\frac{I}{\varepsilon_0 c}} \left[\frac{V}{m}, \frac{W}{m^2}, \frac{m}{s}, \frac{As}{Vm} = \frac{F}{m} \right]. \quad (39)$$

Jelikož podle rovnice 28 pro c platí

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}},$$

můžeme také psát

$$E = \sqrt{\frac{I}{\varepsilon_0 \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}}} = \sqrt{I \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}}. \quad (40)$$

Výraz

$$\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = Z_0 = 377 \Omega \quad (41)$$

se nazývá impedance volného prostoru. S jeho pomocí lze psát

$$E = \sqrt{IZ_0} \left[\frac{V}{m}, \frac{W}{m^2}, \Omega \right]. \quad (42)$$

Také pro magnetickou složku v podobě magnetické indukce a intenzity magnetického pole platí

$$B = \sqrt{I \mu_0 c} \Rightarrow H = \sqrt{\frac{I}{Z_0}} \left[\frac{A}{m}, \frac{W}{m^2}, \Omega \right]. \quad (43)$$

Budeme-li za I brát plošnou hustotu zářivého výkonu Slunce neboli intenzitu záření na zemském povrchu (která je relativně snadno měřitelná), lze stanovit elektrickou a magnetickou složku tohoto záření. (To platí samozřejmě i pro záření jakéhokoli jiného zdroje).

Tak například:

1. V červencovém bezoblačném dni v poledne bylo naměřeno $I = 1081 \text{ W/m}^2$. Z toho vychází elektrická složka $E = 638 \text{ V/m}$ a složka magnetická $H = 1,69 \text{ A/m}$.
2. V jednom zářiovém dni bylo zataženo a v poledne bylo změřeno $I = 28,7 \text{ W/m}^2$. Z toho $E = 104 \text{ V/m}$ a $H = 0,27 \text{ A/m}$.
3. Prosincový den bez sněhu při zatažené obloze ukázal v poledne $I = 9,3 \text{ W/m}^2$. Z toho $E = 59 \text{ V/m}$ a $H = 0,15 \text{ A/m}$.
4. U žárovky s příkonem 100 W v ohnisku paraboloidu o průměru 40 cm ve vzdálenosti $0,5 \text{ m}$ bylo naměřeno a vypočteno $I = 13,7 \text{ W/m}^2$, $E = 71,8 \text{ V/m}$ a $H = 0,19 \text{ A/m}$.

Přímé měření elektrické a magnetické složky vnímatelného elektromagnetického záření je velice obtížné, ne-li nemožné.

Kromě až dosud uvažované energetické solární konstanty a z ní odvozeného zářivého toku existuje také světelná solární konstanta. Její velikost je $\xi = 133,8 \cdot 10^3 \text{ lx}$. Mezi oběma solárními konstantami je proto kvantifikovatelná souvislost. Veličinu I pro potřeby výpočtu elektrické a magnetické složky vnímatelného záření je tudíž možno výjimečně měřit náhradně luxmetrem tak, že zjistíme osvětlení E v luxech. Pak platí:

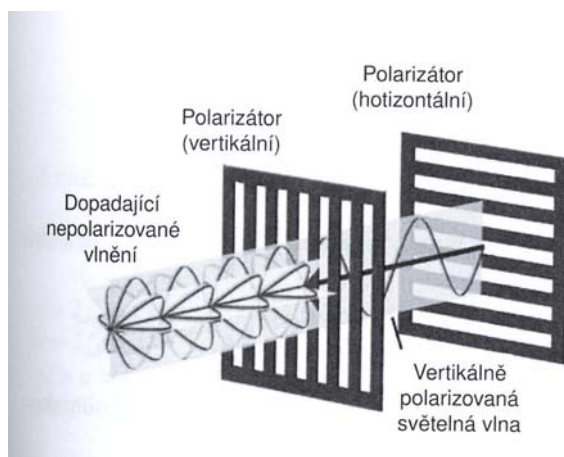
$$I = \frac{E}{97,66} \approx 1 \cdot 10^{-2} E \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}, \text{lx} \right]. \quad (44)$$

Výjimečnost měření pramení z toho, že luxmetry založené na selénovém fotoelektrickém měniči mají spektrální citlivost zhruba shodnou s citlivostí lidského oka. Pro měření intenzit musí být vybaveny korekčními filtry což u běžných výrobků není splněno.

Podobně jako denní a roční chod I podle obrázků 41 a 42, můžeme stanovit, resp. změřit denní a roční chod E a B (resp. H).

Ve dnech s nízkou oblačností a Sluncem nízko nad obzorem, tedy zejména v listopadu a prosinci, klesají elektromagnetické parametry slunečního světla na velmi nízkou úroveň. Tak např., jak jsme ukázali, intenzita elektrické složky dosahuje pouze jednotek až prvních desítek voltů na metr.

Význačnou vlastností elektromagnetických vln včetně VIS, UV a IR je polarizace. Tento termín má ve vědě a technice mnoho významů. Proto je polarizaci elektromagnetického záření nutno uvést podrobněji.



Obr. 44: Princip polarizace záření

Vyjdeme z toho, že elektromagnetické vlnění je příčné, charakterizované, jak již bylo uvedeno, vektorem své elektrické složky E a vektorem složky magnetické B resp. H . Obě jsou navzájem kolmé avšak leží v jedné rovině která je kolmá ke směru šíření. Elektromagnetická vlna, v níž kmity např. vektoru E mají geometricky přesně definované směry, se nazývá vlna polarizovaná. Když kmity setrvávají ve stále stejné rovině, je vlna rovinně neboli lineárně polarizovaná. Jestliže průmět koncového bodu zmíněného vektoru E (kterému se někdy říká světelný vektor) do roviny kolmé na směr postupu vlny dává body na kružnici (resp. elipse), je vlna kruhově (elipticky) polarizovaná. V přirozeném nepolarizovaném světle vycházejícím z obvyklých zdrojů (Slunce, žárovky, plameny, výbojky) kmitá světelný paprsek ve všech rovinách jím proložených a kolmých ke směru šíření (kmity příčné) naprosto stejně. Směr kmitů se mění velmi rychle a naprosto nepravidelně (obr. 44).

Když vhodným způsobem vybereme kmity určitého směru, můžeme zjistit různé chování paprsku v různých směrech k němu kolmých. Představuje to jakési usměrnění příčných kmitů.

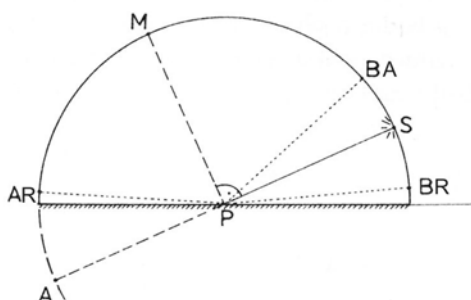
Názorně to ukazuje obr. 44. Rovinu kolmou ke směru šíření paprsku nazýváme polarizační. Štěrbinu v ní polarizátor. Kdybychom polarizované vlně postavili do cesty další štěrbinu rovnoběžnou s první, probíhaly by vlny nerušeně. Naopak pootočení té druhé o 90° by průchod světla znemožnilo. Nazýváme ji polarizační analyzátor.

Elektromagnetické záření lze polarizovat několika způsoby, zejména: odrazem, lomem, průchodem některými látkami, elektrickým a magnetickým polem. Polarizace může být úplná nebo (nejčastěji) částečná (viz dále). Intenzita polarizovaného světla (a tím i jeho elektrická složka) je vždy podstatně nižší ve srovnání se světlem nepolarizovaným z téhož zdroje.

Sluneční záření vstupující do zemské atmosféry je nepolarizované. Následkem rozptylu na molekulách složek vzduchu a na aerosolových částicích získává částečnou polarizaci. Stupeň této částečné polarizace p_{pol} je definován vztahem, který vychází ze skutečnosti, že intenzitu zcela nepolarizovaného záření I lze rozložit na dvě stejně velké složky I_1 a I_2 (každá z nich $= I/2$), které jsou lineárně polarizované v rovinách na sebe kolmých, avšak bez konstantního vzájemného fázového posunu. Potom stupeň polarizace je:

$$p_{pol} = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}. \quad (45)$$

V reálné zemské atmosféře přichází zcela nepolarizované sluneční záření k pozorovateli nikoli přímo ze slunečního kotouče a od tzv. antisolárního bodu A (viz obr. 45), ale od tří významných bodů na nebeské klenbě. Jsou to bod BA čili Babinetův, bod AR neboli Aragův a bod BR (Brewsterův). Body leží na kružnici ve vertikální rovině



Obr. 45: Význačné body na nebeské klenbě

obsahující kromě nich také střed slunečního disku a stanoviště pozorovatele. Na této kružnici leží také bod antisolární a mimořádně důležitý bod M.

V závislosti na výšce Slunce nad obzorem a na znečištění atmosféry jsou polohy BA a BR cca 10 – 20 úhlových stupňů nad (pod) Sluncem a bod AR je asi 20 stupňů nad bodem A. Je zřejmé, že A je téměř celý rok pod obzorem a BR po část roku, tedy mimo zorné pole pozorovatele.

Naopak výrazně (i když ne totálně) polarizované jsou paprsky v rovině kolmé na rovinu kružnice nebeské klenby a obsahující body M a P podle obr. 45

Popsané efekty jsou snadno demonstrovatelné i jednoduchými polarizačními analyzátory (polarizační filtry pro fotografii).

Při zatažené obloze uvedená diferenciací neplatí neboť nelze rozlišit paprsky přímé a odražené (Slunce nedává stín). Za těchto situací zcela chybí polarizované složky a $p_{pol} \rightarrow 0$. Také intenzita záření má obě složky (elektrickou i magnetickou) velice nízké.

Funkce viditelného záření a jeho elektromagnetické podstaty

Elektromagnetická podstata viditelného záření, především slunečního, se zdánlivě nijak neprojevuje a neuplatňuje. Má se všeobecně za to, že na vnímání této podstaty nemáme receptory. To je omyl. Velice citlivými receptory energetického, tj. tepelného, tj. elektromagnetického působení VIS, IR a UV záření jsou kožní nervová zakončení ve vrstvě zvané korium čili podkoží. Vnímáme-li teplo, vnímáme tím i elektromagnetické záření reprezentované intenzitou, která – jak jsme ukázali - je především funkcí své elektrické složky.

Oči jsou pouze receptorem světla, což je ovšem také energie, ale ve srovnání se zářením zcela nepatrná. Tak například při osvětlení 200 lx (hygienické minimum pro umělé osvětlení) přichází na oční rohovku o průměru 1 mm výkon $1,57 \cdot 10^{-6}$ W. Při osvětlení 50 lx (= práh vnímání světla, při němž lze ještě vykonávat jednoduché činnosti a orientovat se), jde o výkon pouze $3,9 \cdot 10^{-7}$ W = 390 nW.

Obdobná situace je v záležitosti polarizace. Je velice rozšířená představa, že vnímání polarizace viditelného záření je vlastnost hmyzu (včely, mravenci), popř. tažných ptáků. Všichni však víme, jak nepříjemný je přímý pohled do okolí bodů BA a BR. Naopak víme, jak je příjemné dívat se např. na krajinu v prostoru vymezeném půlkruhem severního horizontu (s obvykle značně kostrbatým okrajem) a půlkruhem obsahujícím bod M a stanoviště pozorovatele P. Záření (světlo) přicházející z tohoto prostoru je jednak z velké části polarizované, jednak má intenzitu hluboko pod korigovanou energetickou solární konstantou. Uvedený efekt je možno označit za nepřímé pozitivní působení polarizovaného světla.

V chladné části roku, zejména na jeho konci nastává v našich zeměpisných šířkách efekt postihující velmi mnoho lidí. Je to tzv. sezónní deprese někdy označovaná zkratkou SAD (Seasonal affective disorder). Je způsobena nedostatkem slunečního záření. Účinným mnohostranným léčebným prostředkem využívaným ve zdravotnictví je buď obyčejné nepolarizované světlo žárovek či výbojek, ale zejména světlo polarizované. Zdravotnictví k tomu využívá bioptronovou neboli biostimulační lampu (krátce biolampu), která dává světlo polarizované, polyfrekvenční a nekoherentní s rozsahem vlnových délek 430-2800 nm.

Význačnými zdroji totálně polarizovaného záření jsou lasery různé podstaty a různých konstrukcí. Jejich koherentní monofrekvenční záření proniká do ozářeného těla vlivem polarizace specifickým způsobem umožňujícím jinak nerealizovatelné léčebné aplikace. Fyzikální terapie rozlišuje lasery „soft“ s výkonem do 10 mW, lasery „mid“ o výkonu 10-500 mW a „hard“ lasery s výkonem nad 500 mW a výraznými tepelnými účinky. Je zřejmé, že pro stimulační účely jsou využitelné pouze lasery s nejnižšími výkony.

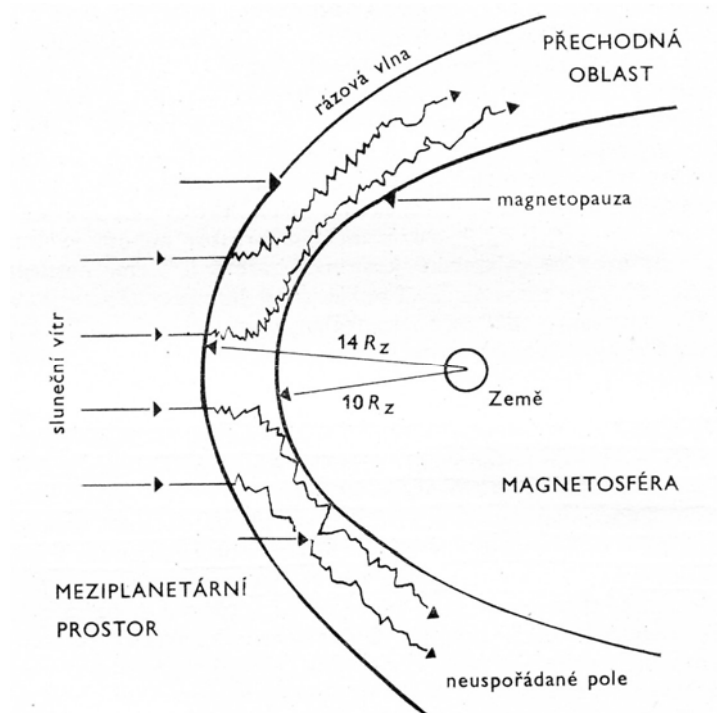
Naskytá se otázka, zda nějakým podobným způsobem nevyužívají polarizovanou část slunečního světla také zelené rostliny. V odborné literatuře tato problematika zatím není řešena.

Druhotné elektromagnetické působení Slunce

Vedle VIS a IR slunečního záření, jehož elektromagnetická podstata se vůči všemu živému projevuje způsobem, který jsme se pokusili popsat v předchozí kapitole, existuje ještě další mimořádně významné elektromagnetické působení Slunce. Druhotné vlivy na biosféru působí především prostřednictvím změn v elektrickém poli mezi ionosférou a Zemí a prostřednictvím změn v zemské magnetosféře. Kromě toho také zářením rentgenovým a rádiovým.

Podstatou nesvětelného působení je tzv. sluneční vítr. Spočívá v tom, že ze Slunce (kromě fotonů) vyletuje neustále do meziplanetárního prostoru proud elektronů, protonů, alfa částic a také těžších iontů. První kontakt se Zemí nastává ve vzdálenosti cca 10^5 km nad jejím povrchem. Do této vzdálenosti zasahují (obr. 20 a obr. 46) siločáry geomagnetického pole. Prostor jimi vyplněný se nazývá magnetosféra. Má pro život na Zemi nezastupitelnou funkci

jelikož zachytává korpuskulární záření Slunce. Na straně odvrácené od Slunce sahá magnetosféra mnohem dále, asi do cca $0,5 \cdot 10^6$ km. Postupně se zužuje a tvoří jakýsi chvost, který vlivem slunečního větru mění svůj tvar i délku.



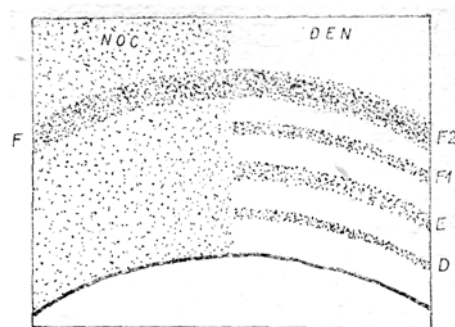
Obr. 46: Magnetosféra Země - detail

Sluneční vítr na straně přilehlé ke Slunci magnetosféru stlačuje a zčásti jí obtéká a pokračuje ve svém postupu meziplanetárním prostorem. Jistý podíl elektricky nabitých částic tvořících sluneční vítr je v magnetosféře zachycen. Tam se chová jako plazma a prostor jím vyplněný se nazývá plazmosféra.

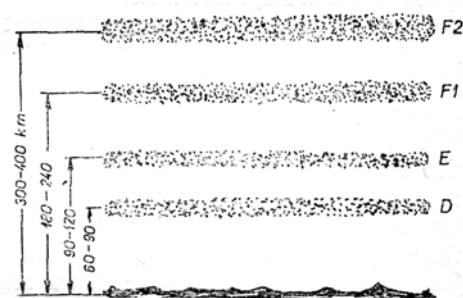
Zemská atmosféra má téměř v celé své tloušťce stejné složení. Ve výškách přes 60 km nad zemským povrchem pohlcují molekuly N_2 a O_2 rentgenové záření, což vede k jejich přeměně na ionty. Atmosféra je tudíž v těchto místech elektricky vodivá a nazývá se ionosféra (někdy také elektrosféra). Má tři význačné vlastnosti:

- odráží rádiové vlny z pozemských zdrojů,
- tvoří nad Zemí druhou „elektrodu“ vymezující zemské elektrické pole (kapitola 3),
- působí jako záchytná bariéra pro UV a rentgenové záření, které tak nemůže na zemském povrchu poškozovat biosféru.

Ionosféra má složitou prostorovou strukturu. Formálně se člení na vrstvy D, E, F_1 , F_2 jak to ukazuje obr. 47. V noci členění mizí a vrstvy spolu splývají. (Teorie vysvětlující toto členění je ve spec. literatuře).



Změny denní a noční ionosféry



Výška jednotlivých vrstev nad povrchem Země (v km)

Obr. 47: Ionosférické vrstvy

Při zvýšení sluneční činnosti, čímž se rozumí nárůst četnosti erupcí nad obvyklou mírou (které úzce souvisí s nárůstem počtu slunečních skvrn a s jejich polohou), se poklidný a konstantní sluneční vítr mění. Stává se nepravidelným a nárazovitým se značným rozptylem amplitud. Tak dochází k nepravidelnému stlačování siločar geomagnetického pole a ke změnám jejich směru. Tento efekt, jak jsme již uvedli v kapitole 6.1, se nazývá geomagnetická bouře. Je jich několik druhů. Některé zasahují současně celou zemskou magnetosféru, jiné – tzv. subbouře – jsou lokalizované.

Souběžně s geomagnetickými probíhají bouře ionosférické a tzv. náhlé ionosférické poruchy. Nemají žádnou souvislost s bouřkami meteorologickými, které probíhají výhradně v troposféře.

Podstatou ionosférických bouří a poruch je rychlá a nepravidelná změna polohy především vrstev D, E, což je zároveň provázenou pronikavými změnami jejich hustoty (tj. koncentrace iontů). To má na Zemi za následek poruchy v rádiových spojích, zejména v oboru HF. Také však poruchy zemského elektrického pole, jehož intenzita během bouře nepravidelně kolísá v dosti širokých mezích ($10^1 - 10^2$ V/m). Změny sice nejsou tak intenzivní jako za bouřkových stavů v troposféře, ale zato mají globální charakter. Kromě toho vyvolávají výrazné změny ve složení a koncentraci tzv. atmosférických iontů (viz kapitolu 4).

Zvýšená sluneční činnost vede také k náhlým a častým „vzplanutím“ emisí rádiových elektromagnetických vln v oborech VHF a SHF

Intenzita rádiového záření Slunce nedosahuje na povrchu země hygienicky přípustné (viz kap. 10) úrovně 10 W/m^2 .

Stručně popsané nesvětelné efekty způsobené Sluncem (resp. jejich četnost) mají periodický charakter. To vedlo a dosud vede četné badatele z různých oborů k pokusům dávat do

příčinné souvislosti sluneční aktivitu s nejrůznějšími ději a událostmi periodického charakteru. Tak byly a jsou zkoumány:

- úroda zemědělských produktů,
- růst dřevní hmoty stromů,
- výskyt epidemií různých chorob,
- výskyt zločinnosti,
- výskyt úmrtnosti,
- dopravní nehodovost a mnohé další.

10. Legislativa a přehled referenčních úrovní důležitých veličin

Pro tvorbu hygienických předpisů a norem v oboru působení elektromagnetizmu v životním prostředí je nezbytně nutný základ. Tím je výběr veličin, jimiž je možno kvantifikovat míru škodlivosti či neškodnosti elektromagnetických polí, toků a vln. Nazývají se veličiny kritické neboli dozimetrické.

Již od samého počátku legislativních snah v tomto oboru se ustálilo členění velikosti kritických veličin na „pro obyvatelstvo“ a „pro pracovníky“. Vycházelo se z toho, že pracovníci jsou vystaveni polím maximálně po dobu trvání pracovní doby, kdežto obyvatelstvo je expováno trvale. Toto pojetí zůstává v platnosti dodnes.

V současné době (rok 2008) platí v ČR totéž, co v celé EU. Je to Direktiva Evropského Parlamentu a Rady Evropy z roku 2004. Tato direktiva převzala beze zbytku Směrnice pro expoziční limity elektromagnetických polí a neionizujícího záření ve frekvenčním oboru 0 Hz až 300 GHz. Uvedené Směrnice vypracovala, původně v letech 1994 – 1998 jako legislativní návrh, mezinárodní komise expertů ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Výše uvedená Direktiva převzala Směrnice jako závaznou normu. Tu přijala v roce 1999 také Světová zdravotnická organizace (WHO).

Z Direktivy vycházejí dílčí vyhlášky, což v ČR garantuje NRL neboli Národní referenční laboratoř pro neionizující elektromagnetická pole a záření. Z oněch dílčích vyhlášek je možno jmenovat Nařízení vlády č. 480/2000 Sb. Nebo normu ČSN-IEC 479-1 zmíněnou již v kapitole 5.1

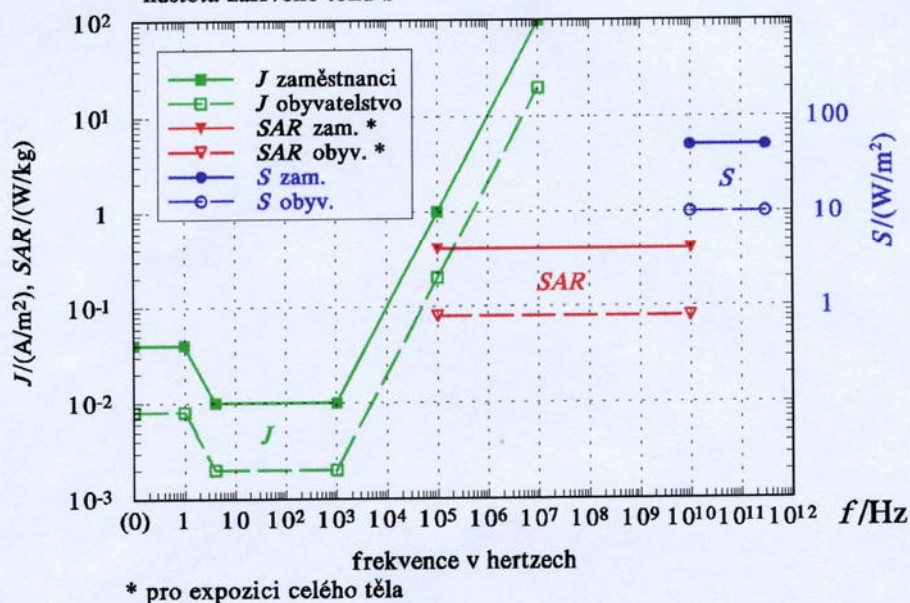
Potřebné výše zmíněné dozimetrické veličiny (v závislosti na dílčích frekvenčních oborech) jsou tyto:

- Kontaktní (popř. indukovaná) proudová hustota J [A/m^2] v těle nebo části těla osoby.
- Měrný absorbovaný výkon SAR [W/kg] v těle osoby.
- Zářivý tok (plošná hustota zářivého výkonu) S [W/m^2] v místě pobytu osoby.
- U polí stacionárních a pomalu proměnných také intenzity těchto polí, popř. magnetická indukce.

Na obrázku 48 jsou graficky znázorněny nejvyšší přípustné hodnoty dozimetrických veličin (při trvalé expozici celého těla) rozhodujících pro posouzení zdravotního rizika. Je-li expozice kratší než 6 minut nebo jejím objektem je malá (???) část těla, pak se hodnoty podle obr. 50 zvyšují. Jak? To by mělo být specifikováno v dílčích vyhláškách. V ČR je to např. již jmenované Nařízení vlády č. 480/2000 Sb. To vše se ovšem týká jen veličiny SAR .

Nejvyšší přípustné hodnoty: (ICNIRP 1998)

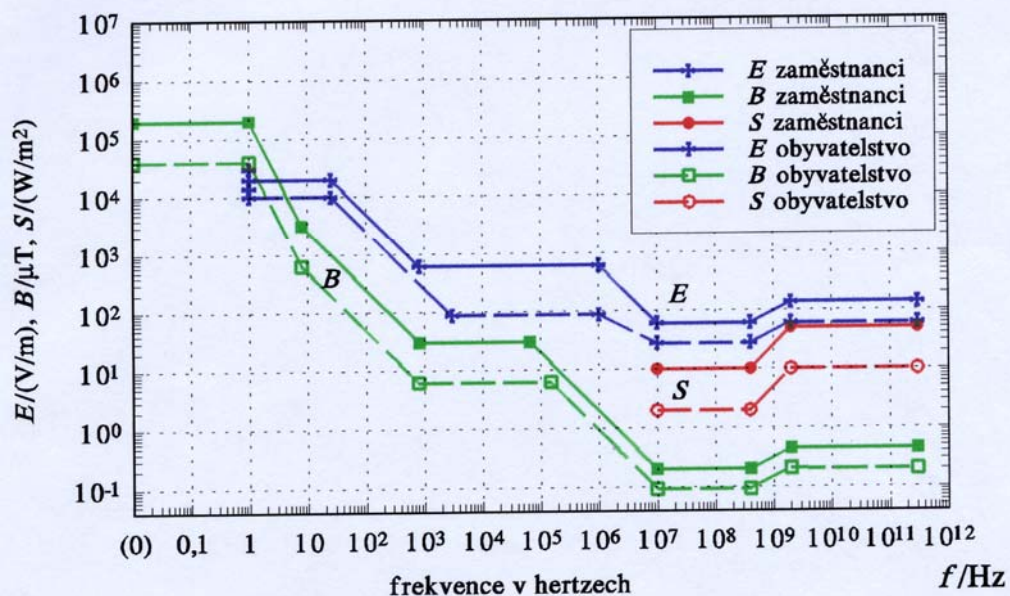
indukovaná proudová hustota J , měrný absorbovaný výkon SAR ,
hustota zářivého toku S



Obr. 48: Nejvyšší přípustné hodnoty J , SAR , S

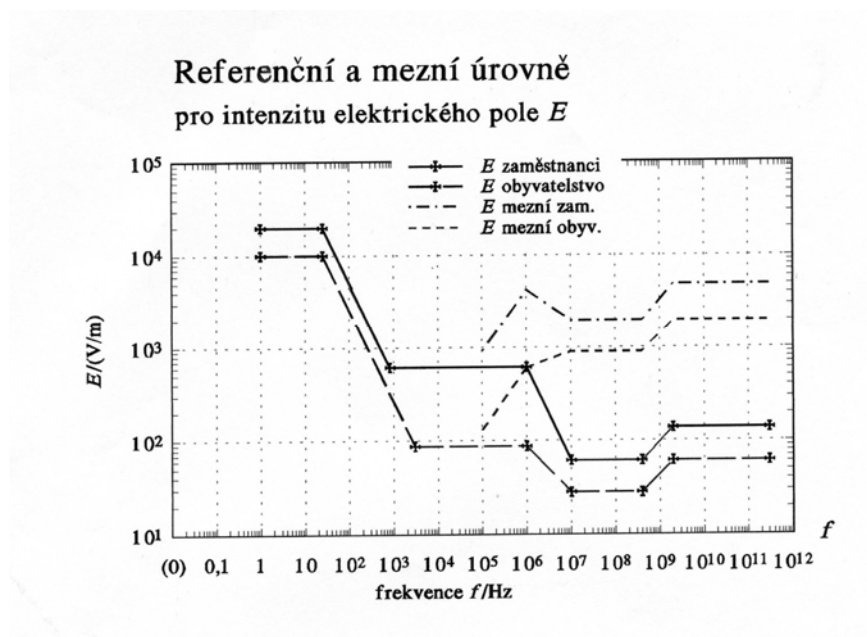
Referenční úrovně (ICNIRP 1998)

elektrické pole E , magnetická indukce B , hustota zářivého toku S

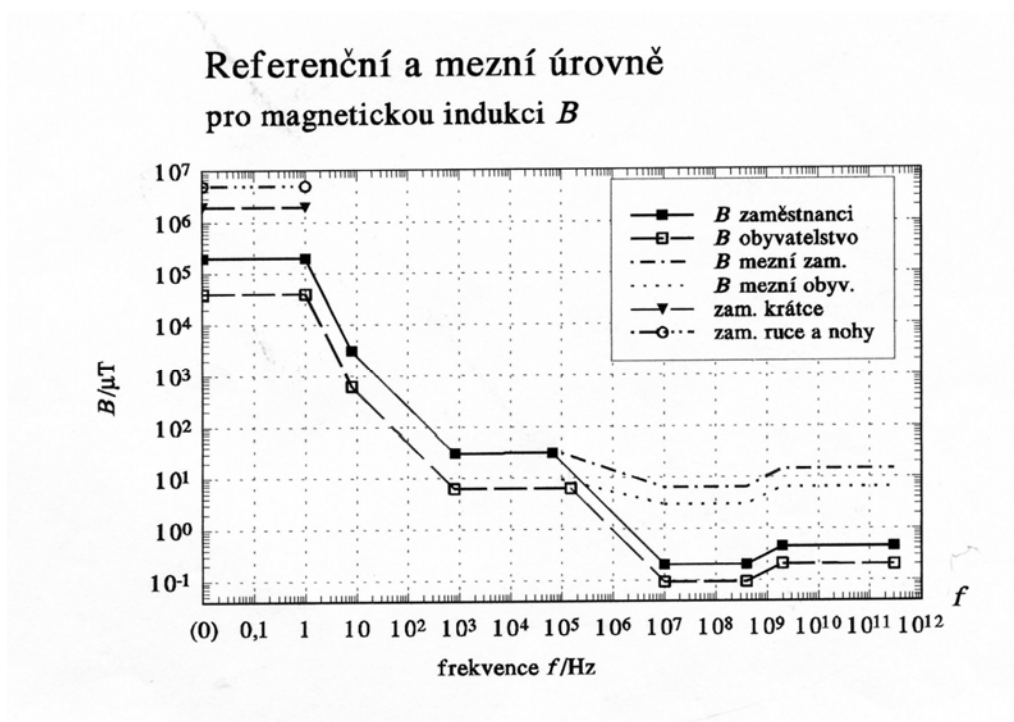


Obr. 49: Referenční úrovně E , B , S

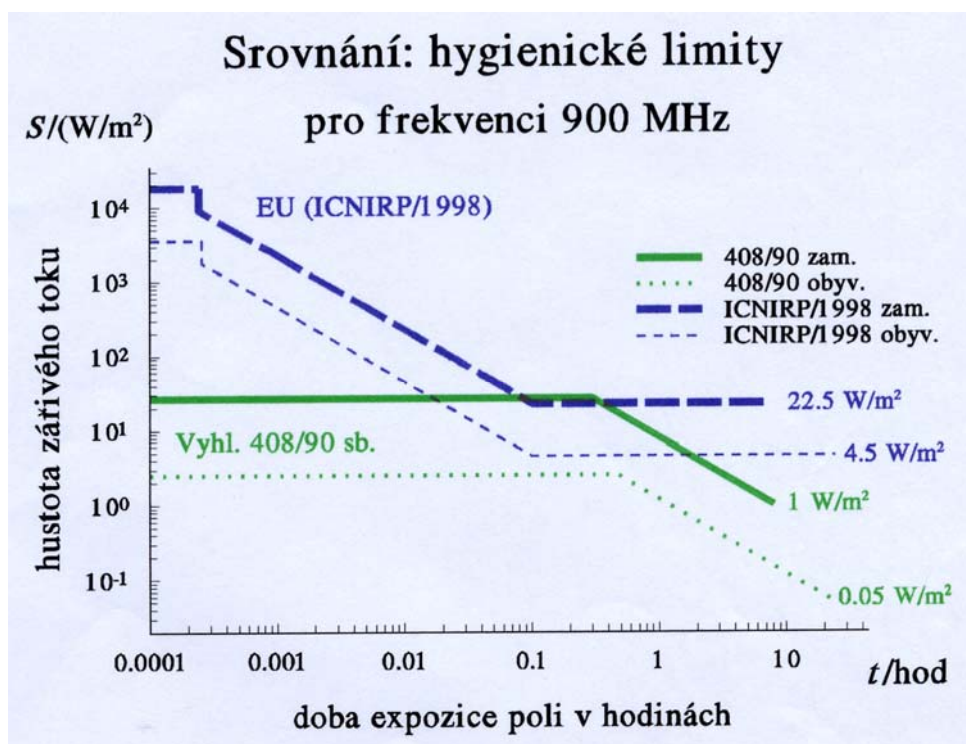
Na obr. 49 jsou referenční úrovně intenzity elektrického pole E , magnetické indukce B a zářivého toku S pro trvalou expozici. Tyto úrovně jsou pro kmitočty nad 10 GHz současně nejvyšší přípustnou hodnotou.



Obr. 50: Referenční a mezní úrovně E



Obr. 51: Referenční a mezní úrovně B



Obr. 52: Srovnání: hygienické limity pro frekvenci 900 MHz

Mezi nejvyššími přípustnými hodnotami a hodnotami referenčními panuje podle Informace NRL č. 1(1999) takovýto vztah:

Citace: „Referenční úrovně dozimetrických veličin jsou dobře měřitelná čísla, z nichž jsou nejvyšší přípustné hodnoty odvozeny. Dodržení referenčních úrovní E , B , S zaručuje, že budou dodrženy i nejvyšší přípustné hodnoty zvané též základní limity.

Referenční úrovně jsou pomocné a nemusí být dodrženy, jestliže se prokáže, že navzdory jejich překročení jsou dodrženy základní limity.“ Konec citace.

Pro působení stacionárních polí a také tam, kde z nějakého důvodu nelze stanovit S a SAR , jsou stanoveny referenční a mezní úrovně pro E a B . Ukazují to obrázky 50 a 51.

Hygienické limity pro kmitočty 900 MHz (mobilní telefony) v závislosti na době působení elektromagnetického pole (resp. vlnění) jsou na obr. 52. Pro srovnání jsou zde i čísla z již neplatné vyhlášky 408/90 Sb.

U záření VIS, UV IR a laserového se kromě uvedených používá také ve funkci dozimetrické veličiny dávka ozáření [J/m^2]. Platí zde rovněž speciální legislativa a to zejména:

ČSN – IEC 50(845), ČSN – EN 60825, doporučení Environmental health criteria 14: Ultraviolet radiation, WHO Geneva 1979 a také doporučení Ehc 23: Lasers and optical radiation, WHO Geneva 1982.

Na závěr je nutno poznamenat, že hygienické normy pro elektromagnetismus se týkají pouze termického působení. Netermické účinky v žádných normách nejsou. Především proto, že na netermické působení existuje mnoho různých pohledů (obr. 28). Následkem toho nejsou k dispozici žádné dozimetrické veličiny.

11. Seznam literatury

- [15] Main G. I.: Kmity a vlny ve fyzice. Academia Praha, 1990.
- [16] Hrazdira I. a kol.: Biofyzika. Avicenum Praha, 1990.
- [17] Bednář J.: Pozoruhodné jevy v atmosféře. Academia Praha, 1989.
- [18] Szantó L. Maxwellovy rovnice. BEN Praha, 2003.
- [19] Djadkov S.: Základy vf elektrotechniky. Skripta ČVUT – SNTL, 1954.
- [20] Myslík J.: Elektromagnetická pole – základy teorie. BEN Praha, 1998.
- [21] Novotný K.: Teorie elektromagnetického pole. Skripta FEL, 2004.
- [22] Haňka L.: Teorie elektromagnetického pole. SNTL - ALFA Praha, 1975.
- [23] Trnka Z.: Teoretická elektrotechnika. SNTL – ALFA, 1970.
- [24] Havelka J., Fuka K.: Elektřina a magnetismus. SPN Praha, 1965.
- [25] Čičmanec K.: Elektřina a magnetismus. ALFA – SNTL Bratislava 1980.
- [26] Dědek L., Dědková J.: Elektromagnetismus. VITIUM Brno, 2000.
- [27] Mayer D., Polák J.: Metody řešení elektrických a magnetických polí. SNTL – ALFA Praha, 1983.
- [28] Kolektiv: Elektromagnetická pole a biologické systémy. Sborník konference ČSVTS – FEL, 1988.
- [29] Kolektiv: Elektromagnetická pole a biologické systémy. Sborník konference ČSVTS – FEL, 1990.
- [30] Marha K. a kol.: Elektromagnetická pole a životní prostředí. Stát. zdrav. nakl. Praha, 1968.
- [31] Musil J.: Měření intenzity elektromagnetického pole pro hygienické účely. Sdělovací technika 13/65, str. 145, 146.
- [32] Němec P., Vácha M.: Mechanizmy magnetorecepce. Vesmír 86 – 2007/5, str. 284 – 289.
- [33] Pechač P.: Šíření vln v zástavbě. BEN Praha, 2005.
- [34] Dvořák J., Křivský L.: Slunce – náš život. Panorama Praha 1989.
- [35] Landsperský H.: Měření povrchu a velikosti práškových materiálů. SNTL Praha, 1960.
- [36] Cihelka J.: Sluneční vytápěcí systémy. SNTL Praha, 1984.
- [37] Jokl M.: Zdravé obytné a pracovní prostředí. Academia Praha, 2002.
- [38] Cipra M., Kříž M., Kůla V.: Elektrotechnická kvalifikace. Skripta ČVUT – FEL 2005.
- [39] Vojuckij S.S.: Kurs koloidní chemie. SNTL Praha, 1984.
- [40] König H., Erlacher P.: Neviditelná hrozba ? HEL Praha, 2001.
- [41] Hvožd'ara M., Prigancová A.: Zem – naša planéta. Veda Bratislava, 1989.
- [42] Häberle G. a kol.: Technika životního prostředí pro školu a praxi. Europa Sobotáles, 2003.
- [43] Spurný Z.: Atmosférická ionizace. Academia Praha, 1985.
- [44] Pechač P., Zvánovec S.: Základy šíření vln v zástavbě. BEN, 2007.
- [45] Mirošničenko L. I.: Slunečná aktivita a zem. Veda Bratislava, 1987.
- [46] Schröder G.: Technická optika. SNTL Praha, 1981.
- [47] Štrba A.: Všeobecná fyzika 3 – optika. Alfa Bratislava 1979.
- [48] Poděbradský J., Vařeka I.: Fyzikální terapie I, II. Avicenum Praha, 1998.
- [49] Doluchanov M. P.: Šíření rádiových vln. SNTL Praha, 1955. Vrbík P.: Hygiena optického záření a osvětlování. Vyd. IDVPZ Brno, 1998.
- [50] Kleczek J.: Sluneční energie. SNTL Praha, 1981.
- [51] Tuček M., Cikrt M., Pelclová D.: Pracovní lékařství pro praxi. GRADA – Avicenum Praha, 2005.
- [52] Capko J.: Základy fyziatrické léčby. GRADA – Avicenum Praha, 1998.