

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv elektromagnetického pole na lidský organismus

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel FURIK**
Osobní číslo: **E10B0663P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Vliv elektromagnetického pole na lidský organismus**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte legislativní normy Evropské unie a porovnejte je s podmínkami platnými v ČR.
2. Navrhněte přehledovou studii.
3. Provedte shrnutí a navrhněte aplikace.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marcela Ledvinová, Ph.D.**
Katedra teoretické elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem elektromagnetického pole na lidský organismus a pojednává o vzniku a vývoji teorie elektromagnetického pole. Přehledově představuje bývalé a současné normy elektromagnetického záření v Evropě a České republice. Dále popisuje legislativu a závěr práce je zaměřen na využití elektromagnetického pole v lékařství.

Klíčová slova

Elektromagnetické pole, ionizující záření, neionizující záření, SAR (specifická míra absorpce) expoziční limity, translační energie, radioterapie, hypertermie

Abstract

This thesis examines the influence of electromagnetic fields on the human body and discusses the emergence and development of the theory of electromagnetic field. REVIEW presents former and current standards of electromagnetic radiation in Europe and the Czech Republic. It also describes the legislation and the conclusion of the work is focused on the use of electromagnetic fields in medicine.

Key words

Electromagnetic fields, ionizing radiation, non-ionizing radiation, SAR (specific absorption rate) exposure limits, translational energy, radioterapie, hyperthermia

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce je legální.

V Plzni dne 5.6.2013

Daniel Furik

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Marcele Ledvinové, Ph.D. za odborné rady, vstřícnost a systematické vedení práce.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	10
1 VZNIK A VÝVOJ TEORIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE.....	11
1.1 VELIČINY ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE A JEJICH JEDNOTKY	12
1.2 MAXWELLOVY ROVNICE	14
1.3 SPEKTRUM ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ.....	15
1.3.1 Neionizované záření.....	15
1.3.2 Ionizující záření	19
2 LEGISLATIVA.....	24
2.1 VÝVOJE POŽADAVKŮ A VZNIK LEGISLATIVY	24
2.2 LEGISLATIVA V ČESKOSLOVENSKU.....	26
2.3 LEGISLATIVA PO VSTUPU DO EVROPSKÉ UNIE	26
2.4 LEGISLATIVA EVROPSKÉ UNIE	27
3 STUDIE VLIVU NEIONIZUJÍCÍHO ELEKTROMAGNETICKÉ POLE A ZÁŘENÍ VE FREKVENČNÍM PÁSMU 0 HZ A 300 GHZ NA LIDSKÝ ORGANISMUS	28
4 SHRUTÍ INTERAKCE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE A LIDSKÉHO ORGANIZMU	33
5 APLIKACE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE V LÉKAŘSTVÍ.....	37
5.1 TERMOTERAPEUTICKÁ LÉČBA.....	37
5.1.1 Hypertermie.....	38
ZÁVĚR.....	43
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
SEZNAM PŘÍLOH.....	46

Seznam symbolů a zkratek

Q	Elektrický náboj $[C]$
ρ	Objemová hustota náboje $[Cm^{-3}]$
σ	Plošná hustota náboje $[Cm^{-2}]$
τ	Lineární hustota náboje $[Cm^{-1}]$
I	Elektrický proud $[A]$
E	Intenzita elektrického pole $[Vm^{-1}]$
D	Elektrická indukce $[Cm^{-2}]$
H	Intenzita magnetického pole $[Am^{-1}]$
B	Magnetická indukce $[T]$
J	Proudová hustota $[Am^{-2}]$
ϵ	Permitivita $[Fm^{-1}]$
μ	Permeabilita $[Hm^{-1}]$
γ	Konduktivita $[Sm^{-1}]$
Ψ	Elektrický indukční tok $[C]$
Φ	Magnetický indukční tok $[Wb]$
U	Elektrické napětí $[V]$
R	Elektrický odpor $[\Omega]$
λ	Vlnová délka $[m]$
f	Frekvence $[Hz]$
c	Rychlost světla ve vakuu

Úvod

Elektromagnetické pole je základní teorií pro velkou škálu elektrotechnických disciplín. Toto pole má tendenci nás pronásledovat všude, kam se pohneme, aniž bychom si toho byli vědomi. Základní kameny pro tuto problematiku položili M. Faraday a J. C. Maxwell již v polovině minulého století, avšak vývoj moderní vědy a techniky v posledních pár letech, především rozvoj počítačů, výrazně posunul teorii elektromagnetického pole k nové, vyšší dimenzi vědeckého pochopení a technického využití. Tato evoluce vedla k formulaci metod, jimiž lze vyřešit i velmi náročné problémy z odvětví silnoproudé i sdělovací techniky, které byly v minulosti jenom pouhým snem.

Všechno má své klady a zápory, což platí i pro elektromagnetické pole, které za jistých okolností může způsobovat zdravotní problémy anebo naopak za řízených a odborných vedení v lékařství může i značně pomoci v léčení zhoubných onemocnění. V dnešní době bylo zrealizováno postupným monitorováním mnoho studií zabývajících se škodlivostí elektromagnetických účinků na člověka a zapříčinily tak vznik norem, které mají za cíl nepřekročit hranice možných škodlivých následků.

Ve své bakalářské práci se věnuji teorii elektromagnetických vln, legislativám zabývajícím se vlivem elektromagnetického pole na lidský organismus v České republice a Evropské unii, zásadním interakcím elektromagnetického pole na lidský organismus a v poslední části aplikacím elektromagnetického pole v lékařství.

1 Vznik a vývoj teorie elektromagnetického pole

Na elektromagnetických jevech se postupně pracuje od konce 18. Století. Na odkrývání zákonitostí těchto jevů se podílela celá řada významných fyziků, jako např. Ch A. Coulomb, A. Volta, A. M. Ampère, H. Ch. Oersted, J. F. Biot, F. Savart, G. S. Ohm a G. R. Kirchhoff. Zdrojem nových představ byly experimentální objevy Michaela Faradaye (1791 – 1867), který roku 1831 objevil zákon elektromagnetické indukce. Silná Faradayova intuice se snažila vysvětlit jejich fyzikální podstatu. Faradayova revoluční myšlenka ve fyzice lišící se od newtonovské představy o působení “do dálky“ naznačila, že celý prostor cosi vyplňuje, co zprostředkuje působení od místa k místu; jedná se tedy o působení “do blízka“ a to konečnou rychlostí. Faraday nebyl dostatečně matematicky školen a svoje představy tedy nedokázal matematicky vyjádřit. Tohoto úkolu se ujal James Clerk Maxwell (1831-1879), který Faradayovy poznatky geniálním způsobem zobecnil a matematicky uspořádal. Na jeho počest se dnes nazývají Maxwellovy rovnice.

Nebylo lehké dospět k vyhovující představě o fyzikální podstatě elektromagnetického pole. Starší teorie elektromagnetických jevů (např. Ampérova) předurčovaly, že sídlem energie jsou náboje, proudovodiče a magnety. Na rozdíl od Faraday-Maxwellovy teorie poukazují, že tuto energii je třeba nalézt v okolí nábojů, proudovodičů a magnetů. Fyzikové se pokoušeli vysvětlit tuto skutečnost pomocí mechanických modelů. Předpokládali, že prostor je vyplněn jistou hypotetickou látkou – nazývali ji éter – a byli toho mínění, že v okolí elektrických a magnetických jevů dochází k jejímu neobvyklému stavu, obdobnému stavu mechanické napjatosti. Za doby Maxwellovy byly skládány různé modely éteru; hlubší průzkum však vždy ukázal, že tento model nevyhovuje. Pojem „éter“ nahrazen přesnějším pojmem „elektromagnetické pole“.

V době Faradaye a Maxwella se sice nepodařilo dostatečně vysvětlit fyzikální podstatu elektromagnetického pole, ale bylo zřejmé, že elektromagnetické pole reálně existuje (tj. nezávisle na našem vědomí) a že se nejedná o pouhý prázdný prostor, v němž probíhají elektrické a magnetické jevy. Postupem času přišly další poznatky, o které se zasloužili zejména H. Hertz, O. Heaviside, J. H. Poincaré, P. N. Lebeděv a další – a především speciální teorie relativity formulovaná v r. 1905 A. Einsteinem ukázaly, že elektromagnetické pole má vlastnosti hmoty (tj. je nositelem energie a má hmotnost a tedy i hybnost a pro tyto veličiny platí zákony zachování), tedy ty nejdůležitější vlastnosti, které se vztahují ke každé látce. Dospělo se tak k poznatku, že elektromagnetické pole je jednou z forem hmoty.[1]

1.1 Veličiny elektromagnetického pole a jejich jednotky

Elektrický náboj Q

Elektrický náboj Q je skalární veličinou. Jednotkou je coulomb [C]. Má kvantový charakter (tj. je roven celistvému násobku elementárního náboje $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$), avšak v technických aplikacích k tomu nepřihlížíme.

Náboj Q může být rozložen:

-prostorově v objemu V , s objemovou hustotou

$$\rho = \frac{dQ}{dV} \quad [\text{Cm}^{-3}] \quad (1.1)$$

-plošně na ploše S , s plošnou hustotou

$$\sigma = \frac{dQ}{dS} \quad [\text{Cm}^{-2}] \quad (1.2)$$

-lineárně na křivce l , s lineární hustotou

$$\tau = \frac{dQ}{dl} \quad [\text{Cm}^{-1}] \quad (1.3)$$

- nebo může být diskrétní (tj. soustředěn v bodu).

Elektrický proud I

Elektrický proud I je skalární veličina, jejíž jednotkou je ampér [A]. Tvoří ho uspořádaný pohyb elektrických nábojů. Projde-li průřezem vodiče S za čas t náboj Q , prochází jím elektrický proud

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} \quad [\text{A}] \quad (1.4)$$

Intenzita elektrického pole E

Intenzita elektrického pole E je vektorová veličina, jež charakterizuje elektrické pole.

Definujeme ji jako sílu působící na nepohybující se jednotkový bodový náboj.

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_e}{Q} \quad [\text{Vm}^{-1}] \quad (1.5)$$

Kde \mathbf{F}_e je elektrická síla působící na náboj Q .

Elektrická indukce D

$$\mathbf{D} = \varepsilon \cdot \mathbf{E} \quad [\text{Cm}^{-2}] \quad (1.6)$$

Veličina ε charakterizuje elektrické vlastnosti prostředí a nazýváme ji permitivita.

Intenzita magnetického pole H

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \cdot \mathbf{B} \quad [\text{Am}^{-1}] \quad (1.7)$$

Veličina μ charakterizuje magnetické vlastnosti prostředí a nazýváme ji permeabilita.

Magnetická indukce B

Magnetická indukce B je vektorová veličina, která charakterizuje magnetické pole.

$$\mathbf{F}_m = Q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad [\text{N}] \quad (1.8)$$

\mathbf{F}_m je magnetická síla, která působí na náboj Q , jenž se pohybuje rychlostí \mathbf{v} .

Jednotkou magnetické indukce je tesla [T]

Proudová hustota J

$$\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E} \quad [\text{Am}^{-2}] \quad (1.9)$$

Veličina γ se nazývá konduktivita neboli měrná elektrická vodivost.

Elektrický indukční tok

$$\Psi = \int_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} \quad [\text{C}] \quad (1.10)$$

Magnetický indukční tok

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad [\text{Wb}] \quad (1.11)$$

Elektrický proud

$$I = \int_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} \quad [\text{A}] \quad (1.12)$$

1.2 Maxwellovy rovnice

Maxwellovy rovnice jsou základní zákony v makroskopické teorii elektromagnetického pole. Mají tvar integrální, jenž popisuje elektromagnetické pole v určité prostorové oblasti, a tvar diferenciální, popisující pole v určitém bodu této oblasti.[1]

	Integrální tvar	Diferenciální tvar
I. Maxwellova rovnice	$\oint_c \mathbf{H} d\mathbf{l} = \mathbf{I} + \frac{d\Psi}{dt}$	$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$
II. Maxwellova rovnice	$\oint_c \mathbf{E} d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$	$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
III. Maxwellova rovnice	$\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{S} = Q$	$\text{div } \mathbf{D} = \rho$
IV. Maxwellova rovnice	$\oint_S \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0$	$\text{div } \mathbf{B} = 0$

Tab. 1.1 – Úplná soustava Maxwellových rovnic [1]

I. Maxwellova rovnice

I. MR, neboli zákon celkového proudu, v integrálním tvaru ukazuje, že zdrojem magnetického pole není pouze vodivý proud, ale také časově proměnný indukční tok Ψ , jenž vytváří tzv. posuvný (Maxwellův) proud $\frac{d\Psi}{dt}$.

II. Maxwellova rovnice

II. MR, neboli Faradayův indukční zákon, matematicky popisuje, že existence časově proměnného magnetického pole je počátkem vzniku elektrického pole. Z diferenciálního tvaru lze odvodit, že toto vzniklé pole je vírové ($\text{rot} \mathbf{E} \neq 0$). Smyčku c lze chápat jako fiktivní (pak jí proud ovšem neprochází), anebo jako vodič o odporu R . V tomto případě skrze ni protéká indukovaný proud:

$$i(t) = \frac{u_i}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.13)$$

Směr indukovaného proudu určuje Lenzovo pravidlo: indukovaný proud je vždy takového směru, že svým magnetickým polem zabraňuje časové změně magnetického toku, který způsobil jeho vznik.

III. Maxwellova rovnice

III. MR, neboli Gaussova věta, říká, že elektrický indukční tok D libovolnou vně orientovanou uzavřenou plochou S je roven celkovému volnému náboji v prostorové oblasti V ohraničené plochou S .

IV. Maxwellova rovnice

IV. MR, neboli zákon spojitosti magnetického indukčního toku, ukazuje, že magnetický indukční tok libovolnou orientovanou uzavřenou plochou S se rovná nule.

Z Maxwellových rovnic lze dokázat, že magnetické pole je nezřídlové (magnetické indukční čáry jsou uzavřené, poněvadž neexistuje žádný volný magnetický náboj). Elektrické pole je naopak zřídlové.[1]

1.3 Spektrum elektromagnetického záření

Dílčí druhy elektromagnetického vlnění se od sebe liší např. vlnovou délkou, schopností pronikat hmotou nebo vznikem. Najdeme u nich ale také spoustu společných vlastností. Všechny se ve vakuu šíří stejnou rychlostí jako světlo tj. $(3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$, všechny mají magnetickou a elektrickou složku, které se nedají oddělit. Jednotlivá spektra při šíření podléhají ohybu vlnění, interferenci a v neposlední řadě také disperzi.

1.3.1 Neionizované záření

U neionizujících záření nedochází k ionizaci materiálu, protože nemá dostačující energii. Při zmíněném typu záření vzniká nízkofrekvenční elektromagnetické pole, které působí na lidský organismus stimulačně. Lidský organismus je řízen mozkiem pomocí elektrických impulsů o velmi nízké hodnotě. Elektromagnetické pole může za jistých okolností ovlivnit přenos informace v mozku a způsobovat tak například stres.

Nejzávažnějším problémem nízkofrekvenčních elektromagnetických polí jsou pulzní pole, které mohou způsobit srdeční arytmii. Naproti tomu u vysokofrekvenčních elektromagnetických polí se můžeme setkat pouze s ohřevem lidské tkáně.

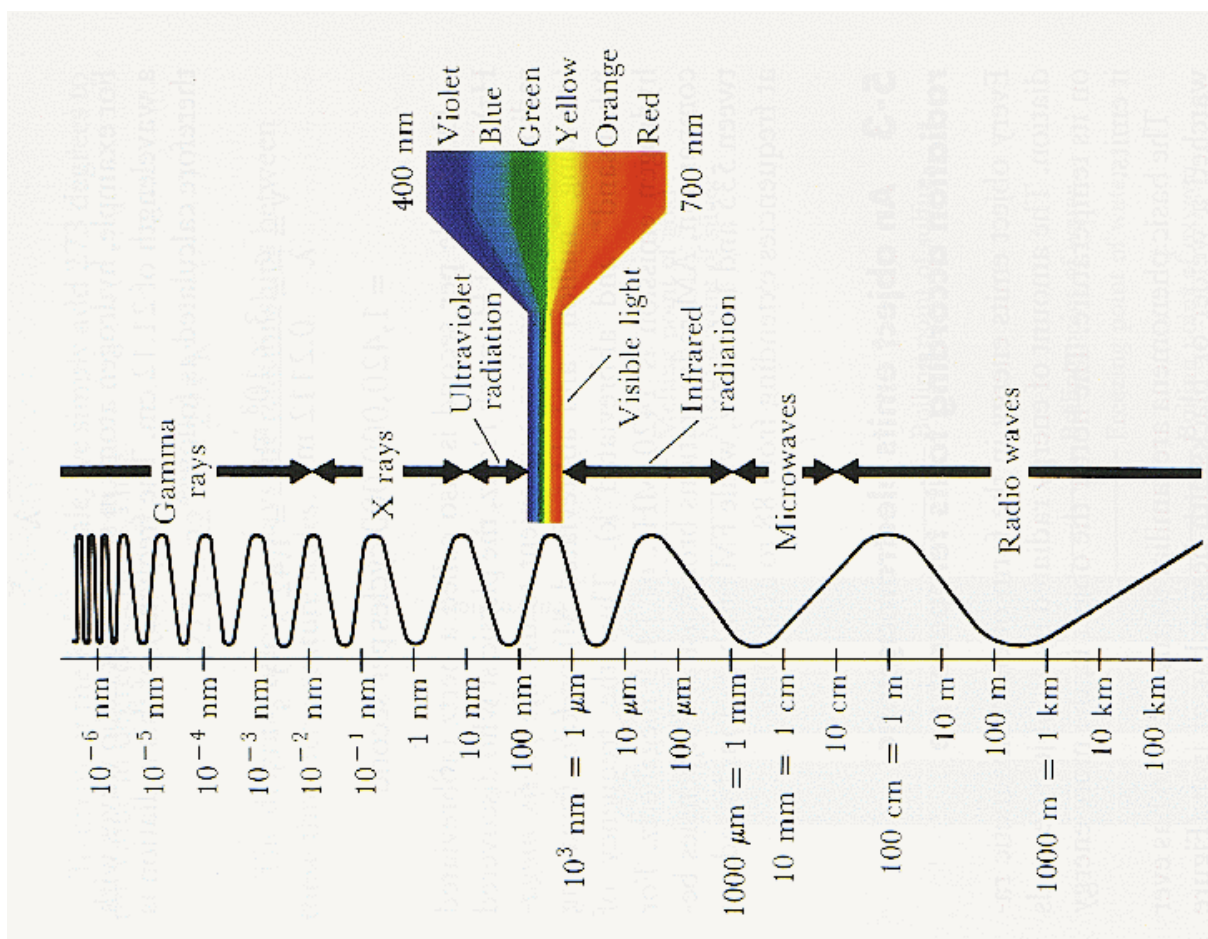
V současné době platí v České republice norma 106/2010 Sb., která upřesňuje a doplňuje některé pojmy (např.: koherentní a nekoherentní záření nebo frekvenční rozsah záření). Stanovuje také způsob hodnocení pracovních podmínek při práci spojené s expozicí optického

záření, zjišťování úrovně optického záření, rozsah minimálních opatření ochrany zdraví před neionizujícím zářením.

Neionizující záření zahrnuje oblast záření a polí elektromagnetického spektra, do kterého patří ultrafialové záření (UV), viditelné světlo, infračervené záření (IR), mikrovlny a radiové vlny.[2]

„Maxwellova duha“

Z teorie elektromagnetického vlnění poprvé vyplynulo, že světlo je elektromagnetické vlnění. Vzhledem k tomuto poznatku se říká spektru elektromagnetických vln seřazených podle vlnové délky „Maxwellova duha“. Je schématicky naznačena na obrázku 1.2.



Obr. 1.2 Maxwellova duha [3]

Technické vlny

Největší vlnovou délkou vykazují tzv. technické vlny, někdy se můžeme také setkat s označením nízkofrekvenční vlny. Jedná se o elektromagnetické vlny, které vznikají v různých technických zařízeních. Jejich vlnová délka se pohybuje v řádech několika desítek

až tisícovek kilometrů. Na základě toho si můžeme představit např. elektrický obvod připojený do běžné rozvodné sítě. Frekvence střídavého proudu je 50 Hz. Ze vztahu mezi frekvencí a vlnovou délkou můžeme určit jejich vlnovou délku:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8}{50} = 6\,000\,000\,m$$

Rozhlasové a televizní vlny

Elektromagnetické vlny, které přenášejí rozhlasové a televizní vysílání se označují jako rozhlasové a televizní vlny. Jejich vlnová délka se nachází v intervalu 10^4 až 10^2 m.

Vzniku tohoto typu vln je v tzv. oscilačních obvodech jako důsledek přeměny energie elektrického pole na energii magnetického pole. V tomto rozmezí vlnových délek také nalezneme elektromagnetické vlny, které používají mobilní telefony.

Mikrovlny

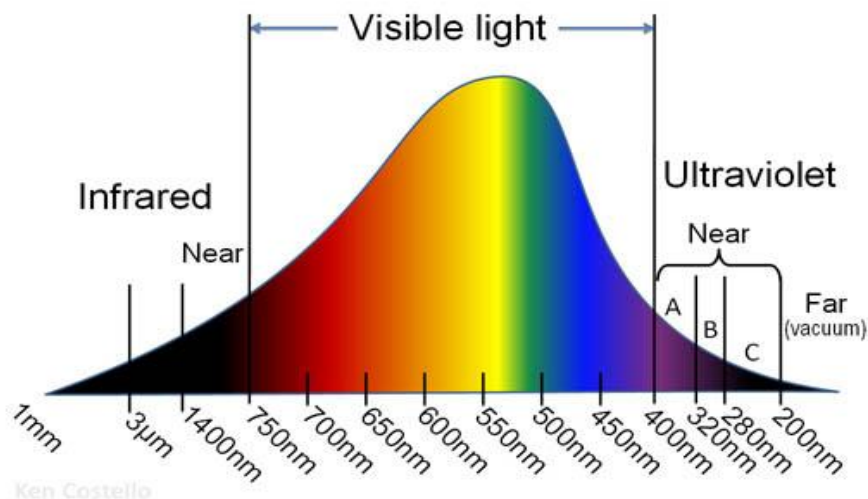
Jsou to elektromagnetické vlny ležící v intervalu 10^{-2} m až 10^{-4} m. Mají rozsáhlé využití v technické praxi. Najdeme je v radarové technice ke zjišťování polohy a vzdálenosti letících těles, v moderní komunikační technice se používají k bezdrátovému propojení počítačů. Jejich použití nalezneme i v běžném životě a to při ohřevu v mikrovlnné troubě, kdy mikrovlnné záření je v pokrmu schopno rozkmitat částice, zejména molekuly vody, stejně jako při „klasických“ způsobech šíření tepla.

Infračervené záření

V roce 1800 se zabýval jeden z nejvýznamnějších astronomů všech dob William Herschel sérií pokusů, při kterých studoval teplotní účinky dílčích částí slunečního záření. Dospěl k závěru, že teplota v oblasti, kde dopadá modré světlo, je menší než teplota v oblasti, kam dopadá červené světlo a dokonce, že v oblasti těsně za červenou hranou spektra (mimo oblast viditelného záření) je teplota ještě vyšší. Infračervené záření vyzařují prakticky všechna tělesa, což umožňuje využití v dalekohledech pro noční vidění nebo v tzv. termovizi. Uplatnění infračerveného záření nalezneme také v meteorologii (lepší průchod skrz zakalená prostředí např. mlha,...). Rozsáhlé použití bylo nalezeno i v elektronice – veškerá dálková ovládání v sobě obsahují diodu, která vyzařuje v infračervené oblasti pokyny např. pro změnu programu, ovládání hlasitosti, atd.

Světlo

Světlo je elektromagnetické vlnění, které jsme schopni vnímat lidským okem. Jeho vlnové délky leží v intervalu 390 – 790 nm. Z obrázku 1.3 je patrné, že viditelné světlo leží mezi vlnovými délkami ultrafialového záření a infračerveného záření.



Obr. 1.3 Viditelné světlo [4]

Ultrafialové záření

Ultrafialové záření objevil německý fyzik Johann Wilhelm Ritter v roce 1861. Jeho předmětem zkoumání byla existence neviditelného záření za modrým koncem spektra. Při experimentování rozkladu chloridu stříbrného vlivem slunečního světla v různých částech slunečního spektra (rozkládá se na chlor a tmavé stříbro). Dospěl k závěru, že nejrychleji reakce proběhne až za modrým koncem spektra, kde není očima nic viditelné. Zdrojem záření UV jsou tělesa s vysokou teplotou (např. Slunce, další hvězdy nebo elektrický oblouk). Ultrafialové záření zapříčiňuje ionizaci vzdušného kyslíku (= podílí se na vzniku ozónu), má chemické účinky (zčernání fotocitlivé vrstvy), biologické účinky (zhnědnutí pokožky, ve velkých dávkách může způsobit i rakovinu kůže).

Název	Zkratka	Vlnová délka v nanometrech
Blízké	NUV	400 nm – 200 nm
UVA, dlouhovlnné, „černé světlo“	UVA	400 nm – 320 nm
UVB, středovlnné	UVB	320 nm – 280 nm
UVC, krátkovlnné, dezinfekční	UVC	pod 280 nm
DUV, hluboké ultrafialové	DUV	pod 300 nm
Daleké, řidčeji „vzduchoprázdňé“ (vakuum)	FUV, VUV	200 nm – 10 nm
Extremní nebo „hluboké“	EUV, XUV	31 nm – 1 nm

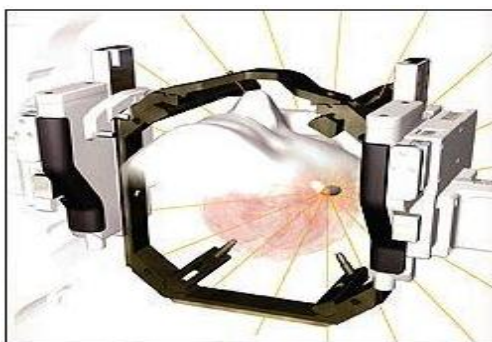
Tab. 1.2 – Rozdělení ultrafialového záření [5]

Rentgenové záření

Rentgenové záření objevil německý fyzik Wilhelm Conrad Röntgen v roce 1895 při zkoumání vlastností katodového záření (=záření tvořené svazkem urychlených elektronů). Tento typ záření po dopadu na kovovou elektrodu vyvolá vznik nového elektromagnetického záření, které Röntgen nazval paprsky X. Paprsky X se vyznačují velkou energií a tudíž jsou schopny procházet neprůhlednými předměty. Rentgenové záření má vlnové délky v rozmezí 10 nm až 1 pm. V praxi se s rentgenovým zářením nejvíce setkáme v lékařství (RTG tomografie, skiografie, atd.).

Gama záření

Záření gama bylo objeveno roku 1900 Paulem Villiardem. Vzniká v atomovém jádře při dějích, které doprovázejí vznik záření alfa a beta. Je vysoce pronikavé, do materiálů proniká lépe než záření alfa nebo záření beta. Pro pohlcení gama záření je nejvhodnější materiál s vyšším atomovým číslem a hustotou. Jeho využití najdeme v řadě odvětví (sterilizace nástrojů, ošetřování jídla – zabíjí bakterie, atd.) a především v lékařství pro tzv. Lekselův gama nůž – ničí rakovinotvorné buňky.[6]



Obr. 1.4 Znárodnění ozáření pacienta pomocí gama nože [7]

1.3.2 Ionizující záření

Ionizující záření je záření emitované radioaktivními nuklidy, které představuje tok hmotných částic resp. fotonů. Při průchodu hmotou vyvolává tento typ záření intenzivní ionizaci – zvýšený vznik iontů prostředím, kterým prochází. Pro ionizující záření se můžeme setkat s názvy jaderné záření a radioaktivní záření. Název jaderné záření je správný, obsahuje však pouze záření vznikající při radioaktivních přeměnách. Naopak název radioaktivní záření je zavádějící, protože ionizující záření samo o sobě není radioaktivní. Každou jednotlivou ionizací či excitací se energie ionizující částice zmenší o hodnotu příslušné ionizační nebo

excitační energie. Protože ta představuje jen malou část původní energie částice, vytváří každá částice podél své trajektorie velké množství iontů, elektronů a excitovaných stavů. Částice tak předává látce svoji energii postupně, až nakonec ztratí schopnost dále ionizovat a excitovat – dochází k absorpci částice. Pokud záření prochází dostatečně silnou vrstvou látky, tak odevzdají všechny částice látce veškerou energii a záření je v látce absorbováno úplně. Je-li vrstva látky slabší, záření se neabsorbuje úplně, jistá míra záření látkou prochází, za cenu snížení intenzity a energii. Ionizující záření skládající se z proudu nabitých částic ztrácí při průchodu hmotou energii při srážení s molekulami či atomy. Zároveň dochází k elektromagnetické interakci s elektrony, jejímž výsledkem je ionizace a excitace.[8]



Mezinárodní výstražný symbol, označující zdroj ionizovaného záření.



Nový doplňkový výstražný symbol ionizujícího záření schválený dne 15. února 2007 Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA) a Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO). Klasický žluto-černý symbol radioaktivity nahrazuje jen v určitých případech.

Obr. 1.5 Symboly označující zdroj ionizovaného záření [5]

Pro ionizující záření platil v České republice zákon č. 18/1997 Sb., který byl změněn a doplněn zákonem č. 13/2002 Sb.

Tento zákon ustanovuje [9]:

Způsob využívání jaderné energie a ionizujícího záření a podmínky vykonávání činností souvisejících s využíváním jaderné energie a činnosti vedoucích k ozáření systém ochrany osob a životního prostředí před nežádoucími účinky ionizujícího záření povinnosti při přípravě a provádění zásahů vedoucích ke snížení přírodního ozáření a ozáření v důsledku radiačních nehod zvláštní požadavky pro zjištění občanskoprávní odpovědnosti za

škody v případě jaderných škod podmínky zajištění bezpečného nakládání s radioaktivními odpady výkon státní správy a dozoru při využívání jaderné energie, při činnostech vedoucích k ozáření a nad jadernými položkami.

1.3.2.1 Druhy ionizujícího záření

Ionizující záření dělíme dle propustnosti různými materiály, a to na přímo a nepřímo ionizující záření. Přímo ionizující záření se skládá z nabitých částic, které mají dostatečnou energii k tomu, aby zapříčinily ionizaci. Nepřímo ionizující záření je složeno z nenabitých částic, které prostředí neionizují, ale při interakci s prostředím uvolňují sekundární přímo ionizující částice. Ionizace prostředí je utvářena těmito sekundárními částicemi.

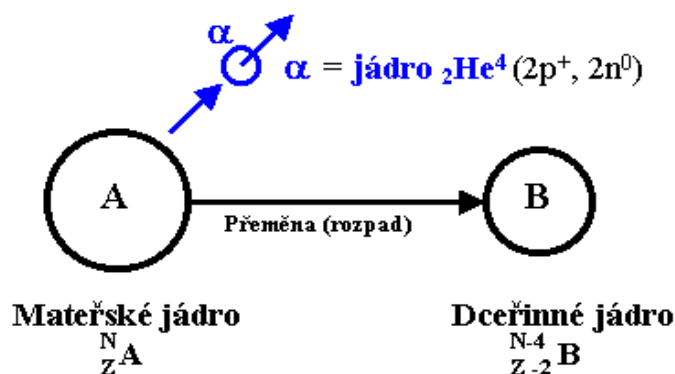
α částice

Alfa částice se skládá ze dvou protonů a ze dvou neutronů a značí se He^{+2} . Na základě těchto hodnot odpovídá z chemické tabulky prvku helium, ze kterého byl odstraněn elektronový obal.

Záření alfa obsahuje čárové spektrum, což znamená, že každý radionuklid emituje částice alfa pouze o určitých energiích. Částice alfa nesou dva elementární elektrické náboje, a tudíž při průchodu prostředím velmi silně ionizují a rychle ztrácejí svoji energii.

Když se částice zpomalí natolik, že může zachytit elektrony z okolí a přeměnit je na neutrální atomy hélia, nastává prudký pokles ionizační schopnosti α částic. Má velkou vazebnou energii a svojí velikostí záření je nejslabším zářením, které se dá odstínit listem papíru. Vykazuje malou pronikavost, ale silné ionizační účinky na okolí.

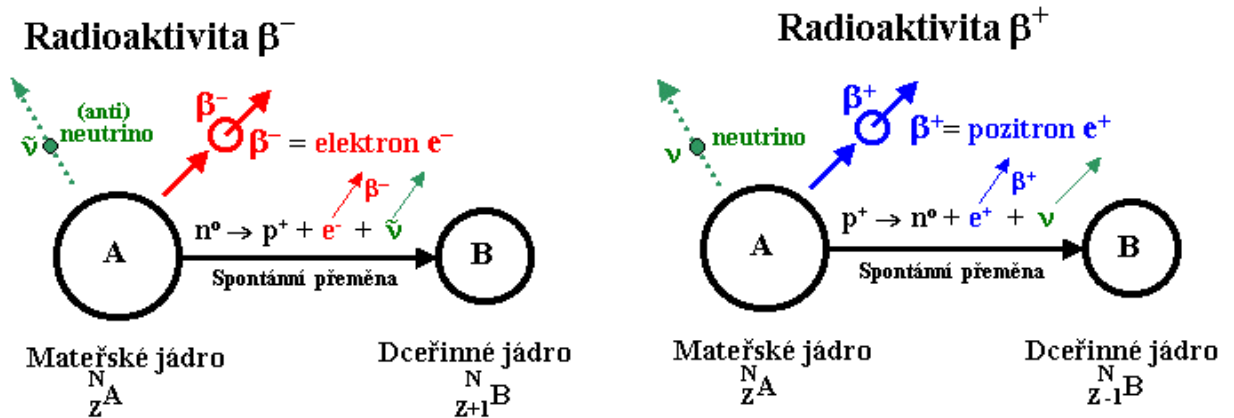
Radioaktivita α



Obr. 1.6 – Základní schéma radioaktivity alfa [10]

β záření

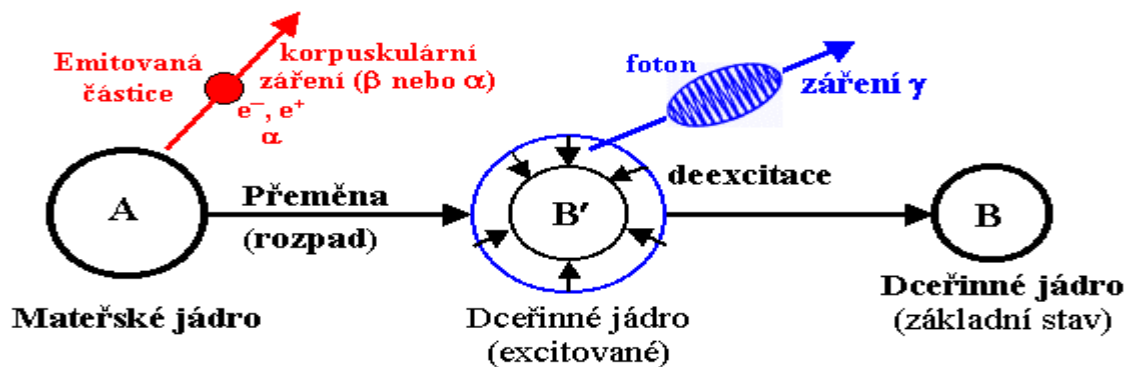
Beta záření je další druh jaderného záření a je pronikavější než alfa částice. Je složeno z rychle letících elektronů: ${}^0_{-1}\beta$ neboli ${}^0_{-1}e^-$ nebo pozitrony (částice lišící se od elektronu pouze opačným znaménkem elektrického náboje: ${}^0_{+1}\beta$ neboli ${}^0_{+1}e^+$). Jeho vznik je zapříčiněn přeměnou mnoha radionuklidů, např. ${}^{32}\text{P}$, ${}^{90}\text{Sr}$,... Na jejich odstínění stačí 1 mm silný kovový plech nebo vrstva vzduchu silná minimálně 1 m.



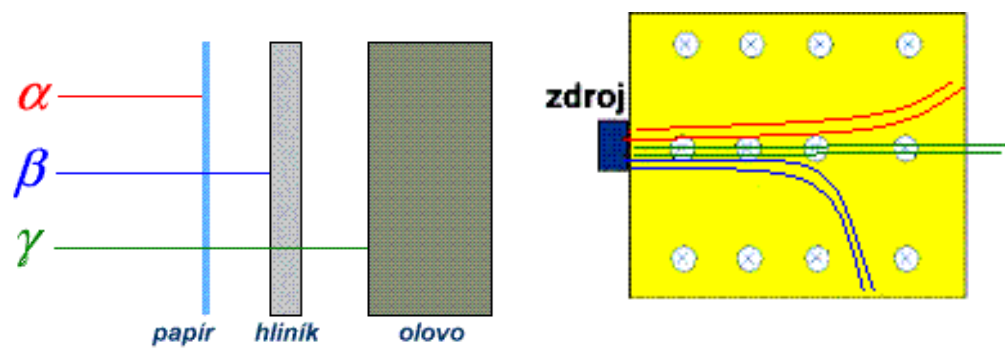
Obr. 1.7 – Základní schéma radioaktivity β [10]

γ záření

Gama záření vykazuje velmi krátkou vlnovou délku. Nejčastěji je vyzařováno spolu s alfa a beta zářením při rozpadu radioaktivních jader. Mezi nejznámější gama záření se řadí ${}^{60}\text{Co}$, ${}^{137}\text{Cs}$,... Záření gama má čárové spektrum a na základě toho tedy daný radionuklid emituje pouze fotony s určitými energiemi, které jsou pro jeho přeměnu charakteristické. Gama záření není ovlivňováno magnetickým ani elektrickým polem. Jeho ionizace je menší než u alfa a beta záření, z toho vyplývá, že je méně nebezpečné pro živé organismy a člověka.



Obr. 1.8 Typické schéma radioaktivní přeměny jádra A na excitované jádro B' a jeho následné deexcitace za vyzáření fotonu záření γ [11]



Obr. 1.9 – Propustnost a lom jednotlivých záření [8]

2 Legislativa

2.1 Vývoje požadavků a vznik legislativy

Při zpětném nahlédnutí do minulosti nebyla možnost podrobného zkoumání vzhledem k nevyvinutým přístrojům a znalostem člověka. Tomu tedy přímo úměrně odpovídala úroveň ochrany vědců a vynálezců. Elektromagnetické pole je, až na relativně úzkou část spektra, neviditelné. Tento fakt zabránil většímu zájmu hledat způsoby účinné ochrany proti neznámému. Další zásadní důvod byl pokus o utajení, což se vztahovalo především k vojenskému využití. Například ve 40. letech minulého století – vývoj radaru, či zkoumání nukleárních reakcí. V těchto dobách se výzkum soustředil do utajených prostor a vědci sami, v návaznosti na své předchozí výsledky ze zkoumání, vyvíjeli pravidla a prostředky ochrany. Při výzkumech nadkritických množství čistého plutonia Pu238 v letech 1945 a 1946 došlo ke dvěma úmrtím. Bylo ozářeno několik lidí, z nichž dva podleli 9. a 16. den po incidentu následkem ozáření neutrony. Těchto špatných pokusů bylo v minulosti nespočet a za zmínku stojí také testy v atmosféře a jejich následné použití jaderných zbraní v Japonsku, které byly živým příkladem nezvratných a neléčitelných změn v lidském organismu. Důkladný průzkum a následná opatření začaly zajišťovat akademické ústavy, vysoké školy a vývojové laboratoře velkých firem. Při uvedení výsledků zkoumání do praxe, bylo nutno nastavit pravidla používání vzniklých zařízení, na státní a později na mezinárodní úrovni. Vznikly instituce jako Úřad jaderné bezpečnosti, Telekomunikační úřad či, v té době již existující, Světová zdravotnická organizace při OSN a začalo se společně výzkumnými ústavami pracovat na vytvoření platných norem, limitů a doporučení pro výrobce a uživatele nových či stávajících zařízení. K těmto institucím později přibývaly orgány starající se o dohled nad plněním přísných požadavků. Vzhledem k evoluci poznání se neustále přehodnocují a doplňují již existující limity.

Z předchozích informací tedy vyplývá, že výzkum jednotlivých částí spektra neprobíhal současně. Pro jednoduchost tedy rozdělím další popis vývoje do tří částí.

V první části se budu zabývat nejdéle zkoumanými paprsky X (Roentgenovo záření). Důvod velkého nástupu této části spektra byl ve využití pro lékařské účely, a proto také byla snadno zkoumána a její aplikace vyvíjeny a regulovány. Výzkumy při vlivu na lidský organismus při rozdílných dávkách zjistily, že je relativně dobře pozorovatelné. V druhé světové válce se zabývali paprsky X i nacisté. Jejím hlavním cílem bylo sterilizace negermánských ras. Později se jejich využití rozšířilo do oblasti klasického průmyslu,

například v podobě defektoskopie svárů. V lékařských aplikacích je nutné chránit pacienty přísnou evidencí počtu zákroků za rok a samozřejmě také pracující lékaře, pohybující se v dosahu rentgenových zařízení různými technickými a stavebními překážkami popřípadě osobními dozimetry. Vzdělání lékařů a jejich následná proškolení vedou k maximální bezpečnosti při práci se zmíněnými přístroji. U některých oblastí např. u radiobiologie, radioterapie a využívání tzv. gama nože je oblast ochrany poměrně náročná a vyvíjí se. Pro tyto specifické přístroje existují normy, na jejich výrobu, přepravu a instalaci náplně. Náplň tvoří speciální radioizotop chemického prvku např. kobaltu.

Druhou část zaujímá bezpodmínečně celá oblast ionizovaného záření. Nejčastěji se s tímto druhem záření setkáme v oblasti jaderné energetiky. První reaktor byl pojmenován neutronovým milířem a byl řízen ručně v podzemí university uprostřed města. Na základě zkušeností, ke kterým přispělo i několik havárií s různým dopadem na zdraví a životní prostředí vede k vývoji reaktorů tzv. IV. generace, které budou ve svém provozu zcela automatické v potřebách dochlazování při nouzové odstávce. Tyto soběstačné procesy budou fungovat bez potřeby energie dodané zvenčí, jen na fyzikálních principech (termodynamika, gravitace,...).

Třetí část tvoří oblast neionizujícího záření, která nepředstavovala ještě do konce minulého století viditelné ohrožení. Bylo to dáno zejména tím, že elektromagnetické záření v této části spektra působí na lidskou tkáň pouze tepelnými účinky. Můžeme tedy říct, že do 80. let minulého století existovaly silné zdroje elektromagnetického záření pouze v podobě vysílačů obehnaných v jisté vzdálenosti plotem. Pro tyto a stávající vojenské použití byly zhotoveny předpisy o ochraně zdraví a používání ochranných pomůcek pro obsluhu. S nástupem miniaturizace a moderních technologií se zařízení vyzařující elektromagnetické záření dostávají lidem do rukou, kapes a v budoucnu s evolucí nových zdrojů energie i pod kůži do bezprostřední blízkosti tkáně. Zde pak radiové vlny vysílající o určitém výkonu zapříčiňují ohřev svého okolí.

Dnes platné normy stanovují hranice, při jejichž splnění je jejich užití bezpečné. Jednou z oblastí, kde je třeba stanovit přísná pravidla používání, jsou kosmetické a dermatologické zařízení, které přímo působí na pokožku člověka. Jedná se hlavně o solária a kosmetické lasery pracujících v oblastech IR, viditelného a UV záření.

2.2 Legislativa v Československu

Bývalá Československá socialistická republika byla první zemí, která v roce 1965 ustanovila hygienické limity pro elektromagnetické pole nejen pro profesionální oblast, ale také pro občany země. Hlavním důvodem zavedení norem a limitů nebylo jenom je vydávat, ale především je dodržovat. V oblasti pracovních podmínek a životního prostředí došlo k jistému zlepšení. Výsledky studií, které byly provedeny kontrolními hygienickými měřidly na rozdílných pracovištích rozhlasových stanic a vysílačů, se staly důkazem. Na základě toho se tehdejší Československá socialistická republika držela několik let o krok napřed ve srovnání s jinými zeměmi Evropy.

V 90 letech platila v České republice vyhláška ministerstva zdravotnictví České republiky č. 408/1990 Sb., o ochraně před elektromagnetickým zářením, která měla maximální povolené hodnoty pro intenzitu elektrického pole 4,3 V/m (což odpovídá hustotě zářivého toku 49 mW/m²). [12] V roce 2001 byla tato vyhláška nahrazena nařízením vlády č. 480/2000 Sb. a později pak vládním nařízením č. 1/2008 Sb., o ochraně před neionizujícím zářením, která platí dodnes. [13]

2.3 Legislativa po vstupu do Evropské unie

V roce 2002 vstoupily v České republice v platnost nové právní předpisy, kterými byla provedena harmonizace práva v oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření s právem EU/ES a transpozice relevantních právních předpisů. Základním právním předpisem, kterým bylo zavedeno "evropské" právo do našeho právního řádu byl zákon č. 13/2002 Sb., kterým byl doplněn a změněn zákon č. 18/1997 Sb., tzv. atomový zákon. [14]

Přípustné hodnoty a normy

Pro zaměstnance hygienických stanic a pracovníky některých firem, kteří jsou téměř denně vystavováni účinkům elektromagnetického záření, je dána referenční hodnota magnetické indukce 5*10⁻⁴ Tesla (500 mikrottesla). Pro obyvatelstvo činí hodnota 10⁻⁴ Tesla (100 mikrottesla). U opuštěné evropské přednormy ENV 50166/1955 dosahovaly hodnoty u zaměstnanců 2*10⁻³ Tesla a obyvatel 5*10⁻⁴ Tesla. [15]

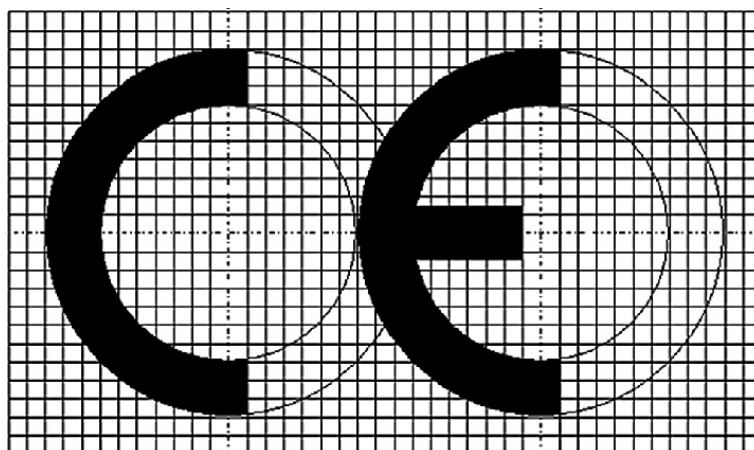
Pro pracovníky, kteří pracují v oboru lékařství, kde se frekvence pohybují okolo 27 MHz v diatermii, stanovila vyhláška č. 408/1990 Sb. mezní hustotu zářivého toku 238,7 W/m² (300V/m), která je ustanovena pro expozici v jedné osmihodinové směně po dobu 4,8 minuty

nebo i kratší. Pro expozici, která byla delší než 4,8 minuty za směnu by byla hodnota nepřímo úměrná době expozice pro osmi hodinovou expozici ve směně, která činí $2,387 \text{ W/m}^2$ (30V/m). Platnost vyhlášky č. 480/1990 Sb. vypršela roku 2000 kvůli snaze sjednocení hygienických norem s Evropskou komisí a jejím doporučením pro Evropské unie.

Nařízení vlády č. 480/2000 Sb. zavedlo referenční hodnotu zářivého toku 10 W/m^2 , která se vztahuje pro nepřetržitou dobu expozice po šesti minutách i delší. Po zúžení doby pod šest minut je referenční hodnota nepřímo úměrná době expozice a stoupá se zkrácenou dobou expozice až do hodnoty 1000 W/m^2 . [16]

2.4 Legislativa Evropské unie

V současné době platí pro všechny státy Evropské unie Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/108/EC, která vyšla v platnost dne 20. 7. 2007. Jedná se o směrnici, která udává každému výrobcí, prodejci, či distributorovi, aby veškeré elektronické přístroje splňovaly tzv. harmonizované evropské normy v oblasti EMC (elektromagnetická kompatibilita) ustanovené Evropským výborem pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC. Nejedná se o normy zavazující, ale dodržení jejich technických požadavků dává předpoklad, že daný výrobek, či zařízení splňuje požadavky Směrnice. [17] K dosažení finálního bodu Směrnice musely členské státy EU postupně přijmout a prezentovat národní zákony, předpisy a opatření, které budou naplnění těchto zásad legislativně zajišťovat. Proto veškeré přístroje dodržující požadavky Směrnice jsou označena symbolem, viz obrázek 2.1. Takto označená zařízení vyjadřují shodu výrobku s příslušnými ustanoveními vydané Evropským výborem pro normalizaci.



Obr. 2.1 – Vzor grafické podoby označení CE (pomocná mřížka není součástí vyobrazení) [5]

3 Studie vlivu neionizujícího elektromagnetického pole a záření ve frekvenčním pásmu 0 Hz a 300 GHz na lidský organismus

V roce 1997 začala zpracovávat Světová zdravotnická organizace (WHO) výzkumný projekt, jehož cílem bylo získat dostatek poznatků k definitivnímu rozhodnutí, zda kromě dvou krátkodobých účinků expozice elektromagnetickému poli ve frekvenčním intervalu 0 Hz – 300 GHz (ohřívání tkáně a dráždění nervové soustavy) existují účinky rozdílné, například dlouhodobé, způsobující závažná onemocnění jako je rakovina, Alzheimerova nebo Parkinsonova choroba.

Nemalé finanční prostředky, uvolněné na tento výzkum způsobily, že počet výzkumných pracovníků zabývajících se tímto tématem se zmnohonásobil a s tím také narostl i počet publikací a zpráv věnovaných tématu „elektromagnetické pole a zdraví“. Soubor vědeckých poznatků o vlivu elektromagnetického pole na člověka se rozšířil do té míry, že nejistoty, které mimo jiné vedly k více než stonásobným rozdílům ve standardech stanovených nebo praktikovaných v různých zemích světa, byly ve velké míře odstraněny. Nejdůležitější otázky, které byly předmětem výzkumného projektu WHO a na které se podařilo během minulých deseti let najít odpověď, je možné shrnout do čtyř bodů:

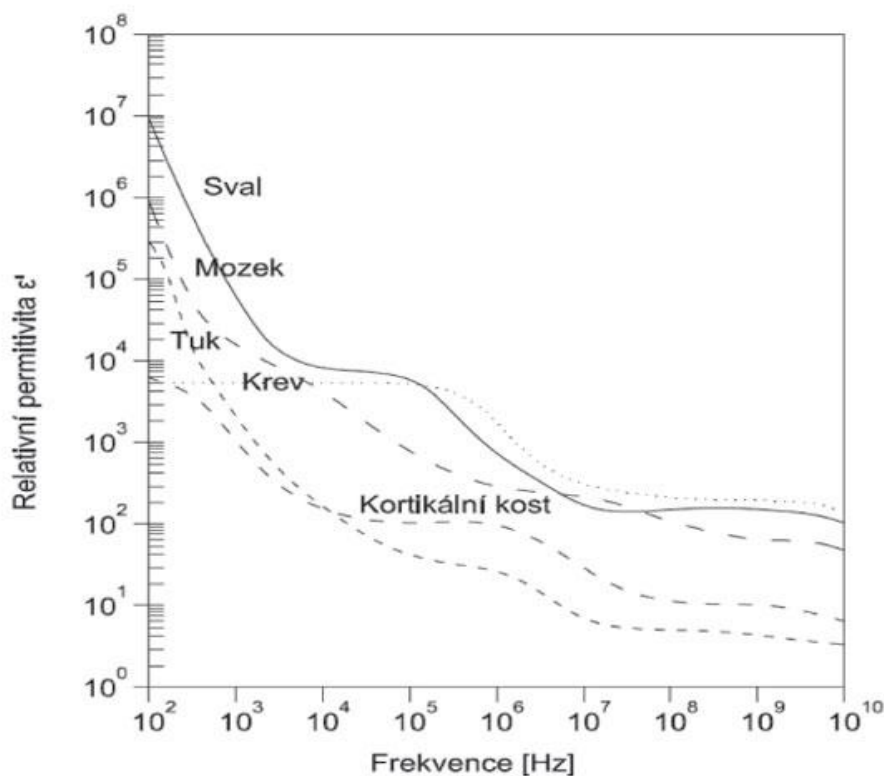
- a)** Může vznikat zdravotní nebezpečí z expozice elektromagnetických vln v závislosti na jejich modulaci (impulzní, amplitudová, frekvenční)?
- b)** Zapřičiňuje expozice člověka elektromagnetickým polím s intenzitou pod limity ICNIRP 1998, avšak působícím po dlouhý časový úsek, rakovina nebo jiná závažná onemocnění jako je Alzheimerova nebo Parkinsonova choroba?
- c)** Vyskytují se osoby přecitlivělé k působení elektromagnetického pole, jejichž zdraví poškozuje i expozice elektromagnetickému poli s intenzitou hluboko pod limity ICNIRP 1998 [18]? (Tato údajná vlastnost obdobná alergii na chemické nebo biologické látky získala název „elektromagnetická hypersenzitivita“.)
- d)** Je možné, že vznikla spojitost mezi výskytem akutní dětské leukémie a expozicí magnetickému poli u vedení vysokého napětí?

Ad a) Na základě měření a pozorování víme, že tepelné účinky vysokofrekvenčního elektromagnetického pole jsou závislé jen na efektivních hodnotách jeho složek. Modulace tohoto pole by se mohla projevit tehdy, kdyby se při absorpci vysokofrekvenční energie v tkáni těla uplatnily nelineární procesy, které by dopadající vlnu zcela nebo částečně demodulovaly. V tkáni by se v takovém případě kromě vysokofrekvenčního proudu zjistily i proudy (elektrická pole) s frekvencí modulace. Při nízké úrovni frekvence by tyto proudy stejně jako kontaktní proudy dráždily nervovou soustavu, což by bylo nezbytné zhodnotit paralelně s ohříváním tkáně.

V roce 1999 vytvořila Světová zdravotnická organizace k tomuto tématu speciální seminář v Erice na Sicílii [19], kterého se účastnilo skoro 200 odborníků z celého světa. Závěr z tohoto semináře by vyzněl negativně: při intenzitách vysokofrekvenčního pole, které nepřekračují limity ICNIRP 1998 [18], nelze očekávat ani při absorpci jakýmkoli způsobem modulovaného elektromagnetického pole jiné účinky, než tepelné. Nejdrastičtější případ modulace elektromagnetické vlny je bezesporu sled velmi krátkých ostrých impulsů, běžně využívaných v přehledových radarech. Takové impulsy mají za následek při dostatečné intenzitě pole sluchový vjem (mikrovlnné „slyšení“). Počáteční interpretace, že slyšený zvuk dokazuje netepelné působení elektromagnetického pole, se však ukázala být mylnou: vnímaný zvuk vzniká v důsledku částečného zahřátí (nejvýše o několik desítek miliontin stupňů) mozku, které generuje zvukovou vlnu. Ta se dostane k zvukovým receptorům zevnitř.

Modulace nepřidává k tepelným účinkům pole žádné další specifické působení. Přeměna energie elektromagnetického vysokofrekvenčního záření v teplo zůstává jediným zjištěným potenciálně škodlivým vlivem absorpce vysokofrekvenční energie v tkáni těla. Praktický důsledek tohoto závěru se týká i hledání problematiky, která zůstala otevřená: nemá smysl studovat vždy znovu po zavedení nějaké nové technologie přenosu informací její potenciálně odlišná zdravotní rizika.

Technologie GSM, UMTS, WiFi, digitální přenos informací využívají elektromagnetické vlny, pro jejichž vlastnosti platí Maxwellovy rovnice a její kvantové interakce s látkou, počítaje to živou tkáň, Schroedingerovou rovnicí. Valberg poukazuje ve své publikaci také na to, že nezávislost působení vysokofrekvenčního pole na modulaci znamená, že i rizika z dlouhodobého působení vysokofrekvenčních polí emitovaných anténami základnových stanic na člověka je třeba vzít v úvahu i skutečnost, že vysílání rozhlasových stanic VKV a televize je v provozu déle než padesát let, aniž se dospělo k nějakým nepříznivým účinkům šířených elektromagnetických vln. Z toho vyplývá, že dlouhodobé nepříznivé účinky slabých elektromagnetických vysokofrekvenčních polí neexistují.[20]



Obr. 3.1 – Permittivita tkáně v závislosti na frekvenci pole [21]

Ad b) Kvanta elektromagnetického pole s frekvencí do 300 GHz mají energii zhruba stokrát menší, než je energie tepelného pohybu molekul v živé tkáni. Na základě tohoto tvrzení lze říci, že při absorpci vysokofrekvenční energie v tkáni těla se jedná pouze o tepelné účinky. To znamená, že absorpce fotonu zvýší vnitřní energii molekuly (většinou jde o energii rotace molekuly, u větších molekul o energii vibrační), ta však při srážce s jinou molekulou tuto energii ztratí. Přitom se buď zvýší rotační energie této další molekuly, nebo se srážka projeví zvýšením translační energie (rychlosti pohybu) této molekuly. Změny energie rotace, vibrace nebo pohybu molekuly zapříčiněné absorpcí kvanta elektromagnetického pole jsou ve srovnání s energií předávanou při srážkách molekul při tepelném pohybu velmi nepatrné a v žádném případě nemohou způsobovat změnu struktury molekuly. Molekuly, které jsou důležité pro životní funkce, musejí být dostatečně robustní, aby se jejich struktura nezměnila ani při tepelných srážkách mezi molekulami, natož při absorpci alespoň stokrát méně energetických kvant elektromagnetického záření.

Z těchto studií vyplývá, že žádný ověřený výsledek, který by dokazoval poškození molekuly v buňkách živé tkáně, neexistuje. Tepelné působení zůstává i po více než padesáti letech používání zařízení emitující vysokofrekvenční pole jeho jediným zjištěným potenciálně škodlivým faktorem. [20]

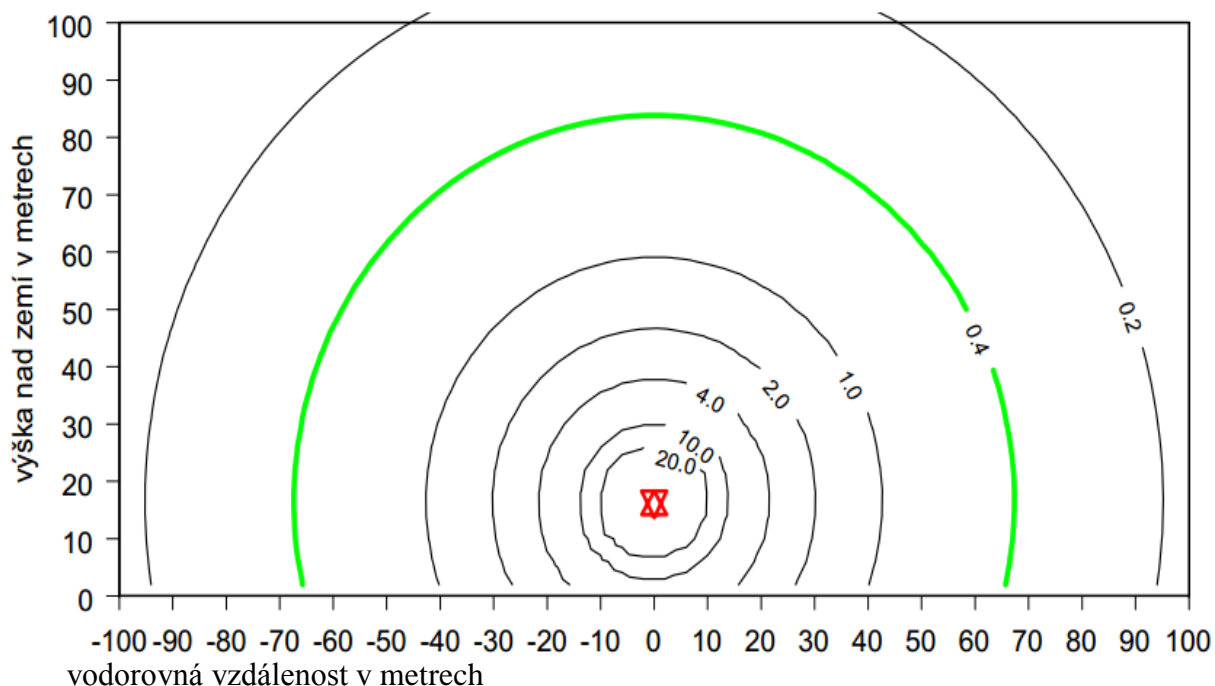
Ad c) Představa o hypersenzitivitě (přecitlivělosti) některých lidí k elektromagnetickému poli je mylná. Dochází k plýtvání veřejnými penězi už déle než třicet let, ale co je horší, vytváří podmínky pro psychogenní onemocnění lidí, citlivých nikoli k elektromagnetickému poli, nýbrž ke zprávám o jeho zhoubném působení. Při provádění výzkumů s lidmi tzv. elektrohypersenzitivními, se za celou dobu nepodařilo dokázat příčinnou souvislost jejich potíží s přítomností a intenzitou elektromagnetického pole, kterému jsou vystaveni. Mezinárodní seminář Světové zdravotnické organizace [22] se konal v říjnu 2004 v Praze a zúčastnilo se ho 152 osob, které došli k jednoznačnému závěru a to, že nebyla zjištěna příčinná souvislost mezi ohlašovanými potížemi a expozicí elektromagnetickému poli.

Název elektromagnetická hypersenzitivita (EHS, Electromagnetic HyperSensitivity) byl proto nahrazen neutrálním názvem idiopatická environmentální nesnášenlivost (IEI, Idiopathic Environmental Intolerance). Jedním z důvodů, proč se tento výsledek ignoruje, je okolnost, že nebylo oficiálně vyhlášeno také vysvětlení ohlašovaných potíží. V roce 1995 publikovaly, tři švédští profesori vysvětlení v přehledném článku, že jde o psychosomatický syndrom.[20]

Ad d) *Mezinárodní agentura pro boj proti rakovině (IARC) zařadila v roce 2002 nízkofrekvenční magnetické pole mezi možné karcinogeny (kategorie 2B). Je to nejnižší stupeň zařazení – neznamena například, že karcinogenita tohoto faktoru byla prokázána. Zařazení se opírá o epidemiologické studie, které ukázaly nepatrně vyšší incidenci dětské leukémie u dětí, které bydlely nebo bydlí v blízkosti vedení velmi vysokého napětí (VVN). Pro jiné druhy rakoviny nebylo zvýšení incidence v blízkosti vedení VVN zjištěno.*

Dr. Draper k zjištění, že zvýšená incidence dětské leukémie se našla ještě ve vzdálenosti 200 m – 600 m od vedení: „Nemyslíme, že je možné, aby magnetické pole s takto nízkými intenzitami mohlo mít příčinný vliv na dětskou leukémii“.

David Grant, vědecký ředitel výzkumu leukémie ve Velké Británii: „Zvýšená rizika u těch, kteří bydlí dál než 60 metrů od vedení, je obtížné vysvětlit, je však krajně nepravděpodobné, že je způsobuje jakékoliv zbytkové pole nebo jiná expozice související s vedením vysokého napětí. Není vyloučeno, že jde o statistický artefakt“.[23]



Obr. 3.2 – Magnetická indukce – mikrottesla (vedení 3x110 kV, proud 3x1240 A) [23]

Epidemiologické studie nemohou dokázat vzniklou spojitost mezi dětmi žijících v dosahu velmi vysokého napětí a jejich následné onemocnění leukémií. Nedospělo se ani k závěrům karcinogenního vlivu při pokusech na zvířatech vyskytujících se u vedení vysokého napětí. Ve vědecké komunitě převládá nyní mínění, že nalezená velmi slabá, byť signifikantní korelace mezi magnetickým polem v blízkosti vedení vysokého napětí a výskytem dětské leukémie je způsobena jevem označovaným i v češtině slovem „bias“, tedy nadřováním, nebo neodhaleným rušivým vlivem („konfounderem“). V každém případě lze prohlásit, že příčinná souvislost mezi slabým magnetickým nízkofrekvenčním polem a větším výskytem dětské leukémie nebyla prokázána.

Později se objevily i nové domněnky, například vliv iontů, které z korónového výboje na drátech odnáší vítr do značné vzdálenosti. Můžeme tedy říci, že je velmi nepravděpodobné, že nějakým mechanismem by tyto ionty způsobovaly dětskou leukémií. Naproti tomu s jistotou víme, že magnetické pole od proudu v drátech vysokého napětí je v uvedené vzdálenosti menší než pozadí zapříčiněné rozvodem elektrického proudu v bytech. A to je nezávislé na vzdálenosti od vedení vysokého napětí.

4 Shrnutí interakce elektromagnetického pole a lidského organismu

Při rozboru účinků elektromagnetického pole v souvislosti s řešením jeho vlivu na lidský organismus a na prostředí, kde člověk žije, vždy záleží na indukci magnetického pole, tvaru pole, kmitočtu, individuální citlivosti a na řadě dalších fyziologických faktorů. Magnetická indukce je statická, tak i časově proměnná, vzniká od působení vnějšího magnetického pole a má vliv na pohybující se náboje (včetně iontů) Lorentzovými silami, které způsobují elektrické pole a ve vodivém materiálu následně elektrické proudy. Tato interakce se stává základním kamenem ve změnách vyvolaných magnetickým polem na proudění kapalin, včetně krve. Časově proměnná (pulzní) magnetická pole budí ve vodivém materiálu (tkáni) elektrická napětí a v závislosti na materiálu zde protékají elektrické proudy různé intenzity. Spočtená napětí zdaleka nedosahují potenciálu buněčné membrány vzhledem k jejím parametrům, ale dochází k ovlivnění receptorů na povrchu buněk indukovaným proudem a tím ke spuštění postupných biochemických dějů. Živá tkáň je ovlivňována magnetickým polem třemi způsoby, a tak dochází ke spuštění mechanismu, který dále rozvíjí biologické reakce na všech úrovních.

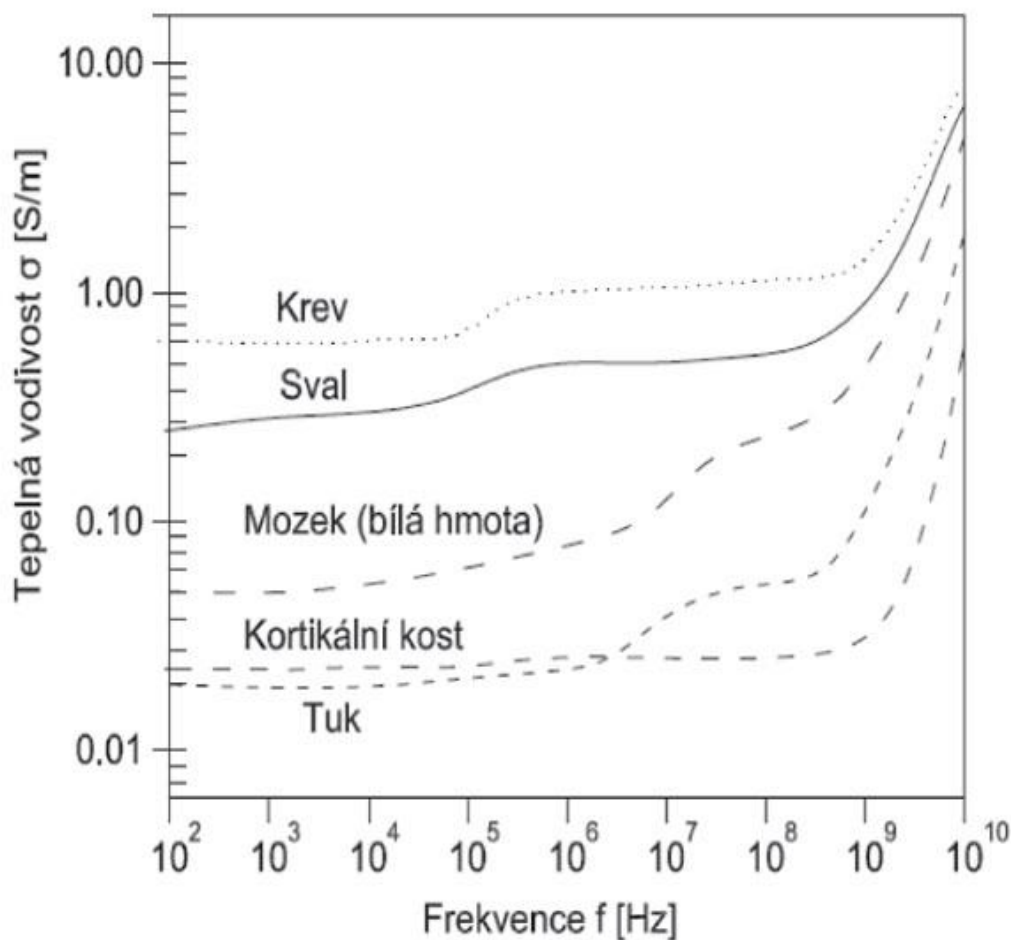
Elektronová interakce – vzniká na atomární a subatomární úrovni včetně reakce magnetického pole na úrovni elektronů. Na základě těchto interakcí se můžou projevit změny spinu elektronů, ale jen v případě využití výrazně magnetických polí.

Elektromechanický efekt – zapříčiňuje změny směru některých makromolekul, hlavně kyseliny ribonukleové a deoxyribonukleové, bipolárních molekul vody, změny aktivity některých enzymů a také ke změnám propustnosti buněčných membrán.

Magnetoelektrický efekt – jeho princip spočívá v indukci vířivých proudů a elektrických potenciálů na mikroanatomických, ale i větších strukturách živého organismu.[24]

$$I = \rho * r * f * \gamma^* * B \quad [A] \quad (1.14)$$

I – intenzita elektrického proudu; r – poloměr smyčky induktivní tkáně; ρ – hustota ztrát; f – kmitočet magnetického pole; γ^* - komplexní měrná vodivost tkáně; B – magnetická indukce



Obr. 4.1 – Vodivost tkáně v závislosti na frekvenci pole [21]

Dielektrické vlastnosti tkáně jsou značně frekvenčně závislé. Na nízkých frekvencích se hlavním zdrojem rozptylu stává nabíjecí schopnost buněčných membrán, které mají nízkou vodivost a kapacitanci cca $0,01 \text{ F/m}^2$. Buněčné membrány při nízkých frekvencích mají vysokou impedanci a elektrický proud teče především prostřednictvím mimobuněčného prostoru. Problém spočívá v nahromadění buněčných membrán, které vlivem dipólového momentu buněk vykazují velkou permeabilitu v důsledku hromadění tkáně. Při vyšších frekvencích teče elektrický proud i mimo jiné skrz nitrobuněčný prostor. Výsledkem se pak stává široký rozptyl tkáně v kmitočtovém rozsahu cca $0,1$ až 1 MHz . Například u frekvencí mikrovlnné trouby (100 až 300 GHz) v jisté části převažuje voda, která představuje asi 80% váhy měkké tkáně. Voda prochází dielektrikem při jejím rozptylu koncentrované na 25 GHz (při 37 °C), což způsobuje výraznější zvýšení vodivosti tkáně nad 1 GHz s odpovídajícím poklesem permitivity. V důsledku iontových efektů při nižší frekvenci vznikají jiné polarizační mechanismy. Z toho vyplývá, že se bude v buňce při konstantní magnetické

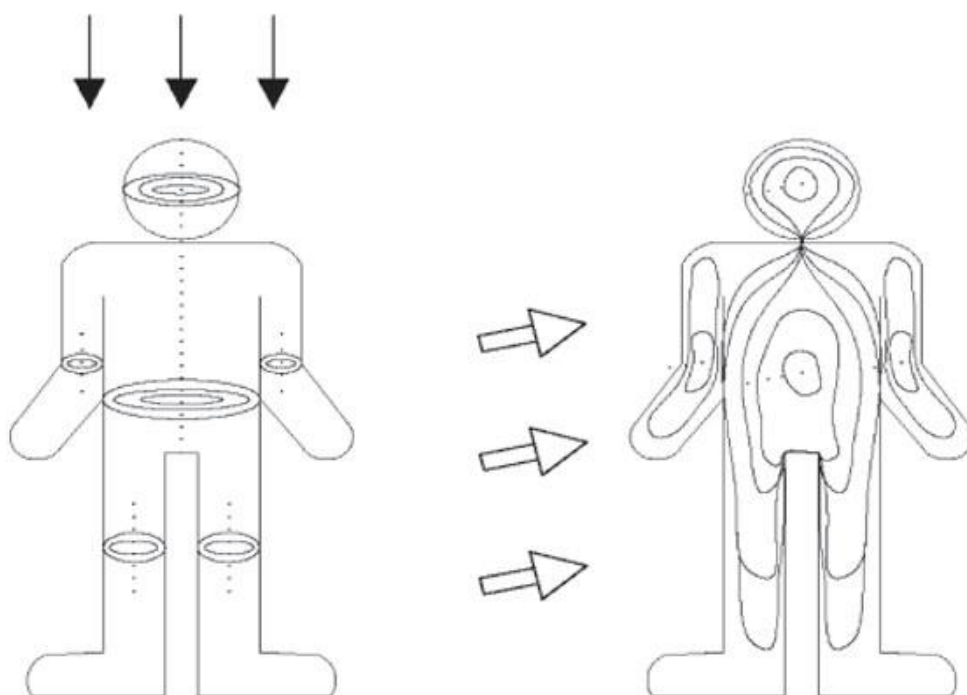
indukci a kmitočtu indukovat tím větší elektrický potenciál čím bude buňka delší. Odhadovaná elektrická pole v iontových kanálech buněčné membrány se pohybují kolem 10 nV/m. Za změny šíření vzruchů v nervových vláknech a změny v činnosti nervových buněk centrálního nervového systému jsou tedy zodpovědné indukované elektrické potenciály. Závislost mezi magnetickou indukcí, indukovanými elektrickými proudy a odpovídající biologickou odezvou organismu je znázorněna v tabulce č. 4.1.

Mag. indukce (mT) na hlavu	Mag. indukce (mT) na trup	Indukovaný proud (mA/m)	Biologická odpověď
250	60	1000	Možné extrasystoly a ventikulární fibrilace, značné zdravotní nebezpečí
25 - 250	6 - 60	100 - 1000	Změny v dráždivost centrálního nervového systému, možné zdravotní potíže
2,5 - 25	0,6 - 60	10 – 100	Výrazný terapeutický efekt, příznivý vliv na nervový systém, snadnější hojení ran a zlomenin
0,25 – 2,5	0,06 – 0,6	1 -10	Minimální biologický efekt
0,25	0,06	1	Žádný efekt

Tab. 4.1 – Biologické odpovědi na magnetické pole a indukovaný proud [24]

Průběh indukovaných proudů v těle člověka při dvou různých orientacích těla vzhledem ke směru časově proměnného magnetického pole je znázorněn na obrázku 4.2.

Jedním z hlavních problémů je expozice člověka v extrémně silném statickém magnetickém poli. Ve spojitosti s tímto problémem se zvažuje o zvýšení „mezí“ hodnoty 2 T stanovené ve Směrnici ICNIRP z roku 1995 pro statické magnetické pole a zavedení přesných pravidel pro práci ve velmi silném statickém magnetickém poli. V současné době je ustanovena omezení expozice zaměstnance ve statickém magnetickém poli na průměru 0,2 T v jednom dni.



Obr. 4.2 – Schematické znázornění uzavřených proudových smyček v těle [24]

Pokud se člověk nachází ve střídavém elektrickém poli, jeho povrch je vystaven nabíjení v rytmu pole. Vlivem stálého přítoku a odtoku náboje prochází tělem nepatrný, ale měřitelný proud, aniž by docházelo ke kontaktu s vodičem pod napětím. To je účinek elektromagnetické indukce. V těle člověka se výsledný indukovaný proud zvětšuje přímo úměrně ke kmitočtu střídavého pole. Střídavá magnetická pole mají stejné vlastnosti jako stejnosměrná magnetická pole – procházejí skoro všemi materiály s výjimkou speciálních kovových slitin.

Přímé účinky vyplývají z přímého vzájemného působení elektromagnetických polí s lidským tělem, nepřímé účinky jsou pak součástí interakce s objektem s různým elektrickým potenciálem a tělem člověka.

Základem celé této podstaty je porozumět expozičním podmínkám, které vyvolávají elektromagnetická pole a také znát kinetiku biologické odezvy a odtud hledat závěry pro diagnostiku problému.[24]

5 Aplikace elektromagnetického pole v lékařství

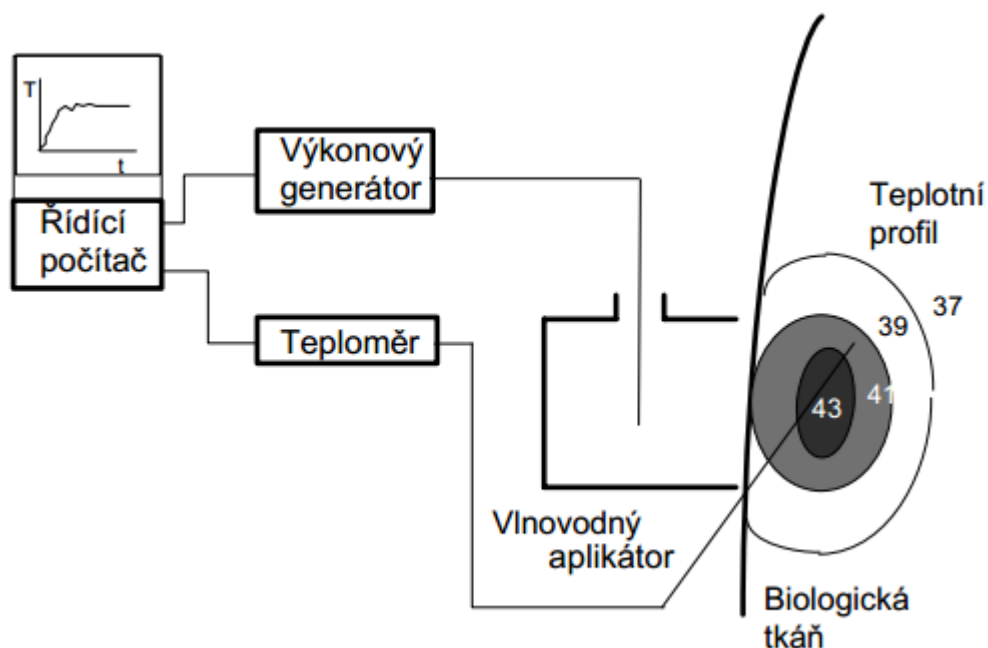
Lékařské aplikace mikrovlnné techniky jsou rozvíjeny již od první poloviny 20. století. Jedná se o tzv. diatermii, používanou pro léčbu revmatických onemocnění. Termoterapie (léčba teplem) je především využívána až do současnosti a možnosti využití přímého účinku mikrovln jsou zatím ve stádiu výzkumu. Pro léčbu nádorových onemocnění se začala využívat okolo roku 1980 tzv. hypertermie. Od roku 1990 lze zaznamenat využívání mikrovlnné termoterapie v urologii pro léčbu nezhoubného zvětšení předstojné žlázy u vnitřního pohlavního orgánu muže. V současnosti se v největším měřítku využívá metoda termoterapie hypertermická léčba nádorových onemocnění. Tato metoda je ve světě na mnoha pracovištích považována za zásadní ve srovnání s jinými způsoby léčby.

5.1 Termoterapeutická léčba

Správnost a bezpečnost aplikování termoterapie je závislá na vytvoření spolehlivého a důkladně prověřeného technického zařízení, jehož blokové uspořádání soupravy pro aplikování lokální termoterapie je znázorněno na obrázku č. 5.1. Vysokofrekvenční elektromagnetická energie je přiváděna od výkonového generátoru k aplikátoru mikrovlnným vedením, zpravidla koaxiálním kabelem. Absorbováním vyzářené elektromagnetické energie v biologické tkáni před otevřením aplikátoru vznikne teplotní rozložení, které je znázorněno izotermickými křivkami.

Časový průběh teplot v centru a na okraji sledované oblasti je možné podle nároků snímat jedním i více teplotními čidly (např. termočlávkovými, termistorovými nebo optickými čidly) spojenými s centrálním teploměrem. Údaje z příslušného zařízení registruje počítač, který zastává funkci univerzální řídicí jednotky. Výkon vysokofrekvenčního generátoru je ovládán počítačem tak, aby se teplota v léčeném úseku navýšila na předepsanou hodnotu a ta pak byla udržována po veškerou plánovanou dobu.

Při klinických využitích je nezbytné alespoň jednu ze sond vložit invazivním způsobem pod povrch biologické tkáně. Taková to sonda má většinou podobu injekční jehly, do které je rozloženo několik čidel měřících teplotu ve svém nejbližším okolí – typicky tři až sedm. Je to z toho důvodu, že oblast nádorové tkáně není vhodné narušovat invazivními zákroky. Tudíž se většinou pro měření teploty využívá takovýto typ jehlové sondy.[25]



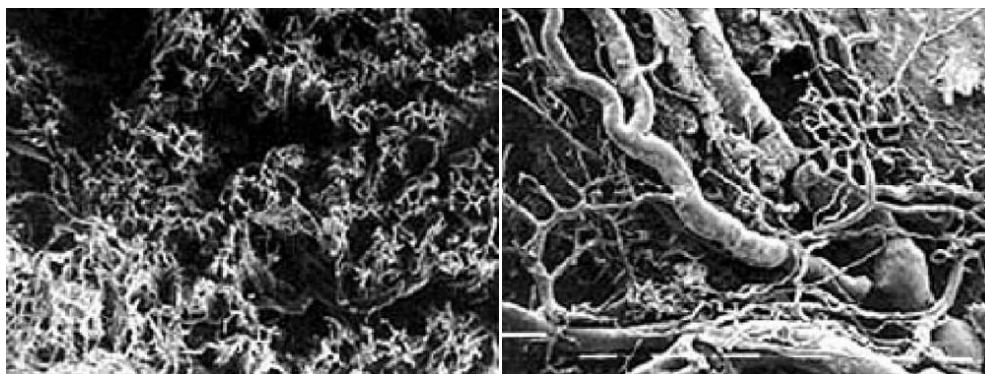
Obr. 5.1 Typické blokové uspořádání termoterapeutické soupravy [26]

Nedílnou součástí uspořádání termoterapeutické soupravy je měřič rozptýleného výkonu, který je schopen snímat úroveň vysokofrekvenční energie rozptýlené do okolí soupravy. Hustota tohoto výkonu by neměla překročit úroveň stanovenou hygienickou normou.

5.1.1 Hypertermie

Od 70. let 20. století se využívá na zvýšení efektu radioterapie hypertermie, která slouží k léčbě zhoubných nádorových onemocnění. Hypertermie se dle ohřívajícího objemu dělí na lokální, kdy se ohřívají povrchově uložená ložiska do hloubky 3 až 4 cm; regionální, kdy ohříváme hluboce uložené tkáně a orgány; intersticiální, kdy se aplikátory vkládají přímo do nádorem postižených tkání (např. mozek), intrakavitální, při které se zavádějí aplikátory do dutin (např. močový měchýř); a na hypertermii celotělovou, při níž se zvyšuje teplota celého těla.

Základní podstatou léčebného účinku hypertermie je destrukce nádorových buněk, které jsou zpravidla na tepelnou zátěž méně odolné než buňky zdravých tkání. Na obrázku č. 16 je vidět na mikroskopické úrovni zdravá a zmutovaná struktura kapilár.

*Normal Blood Vessels from Healthy Tissue**Mutated Blood Vessels from Cancerous Tissue**Obr. 5.2 Zdravá a zmutovaná struktura cévních kapilár v tkáni [25]*

Mezi zásadní dva mechanismy využívané při hypertermii patří:

Využití rozdílných reakcí zdravé a nádorové tkáně na umělé zvýšení teploty v jisté oblasti. Krevní průtok podkožím a svaem se až do 45 °C zvyšuje a tím se zdravá biologická tkáň brání proti dalšímu ohřívání a následnému teplotnímu poškození. Nádory mající průměr větší jak 2 cm podléhají zhroucení již při 41 °C a postupným zvyšováním teploty se přítok krve dokonce snižuje. Na základě tohoto faktu intenzivně stoupá teplota v nádorové tkáni, a tudíž u ní bezpodmínečně dochází k cílenému poškození. Vysvětlení projevu poškození nádorové tkáně, plyne ze základních vlastností nádorů, čímž je novotvoření kapilár krevního řečiště, které nemají schopnost reflektoricky reagovat na vyšší teplotu.

Další podstatnou skutečností je, že nádorová tkáň se vlivem charakteru svého řečiště ohřívá více než okolí zdravé tkáně. V kapilárním řečišti nádoru je zvyšována účinnost ohřevu tím, že tam není dostatek výživných látek a nedostatek kyslíku v nádorové tkáni.



Obr. 5.3 Odlišný průběh teploty ve zdravé a v nádorové tkáni za stejných podmínek ohřevu elektromagnetickým polem [25]

Jednou z nejdůležitějších zásad každé léčby je stanovení přiměřených terapeutických dávek. Při fyzikálních metodách léčby se navíc objevuje problém, jak určit vztah mezi velikostí dávky a měřitelnou fyzikální veličinou. Při hypertermii se stanovila dávka jako poměrná část buněk poškozených přehřátím. Stanovujícím faktorem pro určení velikosti aplikované dávky při hypertermie je teplota T , respektive její přírůstek za čas t . V klinické praxi je možné tento tepelný účinek kombinovat s onkologickými účinky, což vede k zásadnímu zlepšení výsledků.

5.1.1.1 Hypertermie v praxi a její klinické výsledky

Hypertermie jak už bylo zmíněno, zastává jednu z nejvíce aplikovaných metod termoterapie v současnosti. Hypertermie díky klinickým ověřením a získání technických a klinických zkušeností je považována na mnoha pracovištích ve světě za významnou pomocnou metodu k ostatním druhům léčby.

Podle rozsahu ohřevu a tomu závislou efektivní teplotu v prohřivaném objemu lidského těla rozdělujeme hypertermii na lokální (42 až 45 °C), regionální (42 až 43 °C) a celotělovou (40 až 42 °C).

Regionální hypertermie

Nejpodstatnější úlohu v onkologii tvoří beze sporu hypertermie regionální. Její obrovská výhoda je v tom, že řeší problémy při léčbě centrálně uložených nádorů nebo případy, kdy několik menších nádorů je rozloženo ve větší části a navíc vzniká podezření, že tato část obsahuje další ložiska, která nebyla diagnostikována. V častých případech léčby hypertermií se zvětšuje úspěšnost kombinací radioterapií ale i chemoterapií. Při léčbě je nezbytné dělat průběžnou kontrolu teplot životně důležitých orgánů (mozek, srdce atd.) a popřípadě je většinou dochlazovat.

Celotělová hypertermie

Celotělová hypertermie je z hlediska přípravy, průběhu a vyhodnocení nejnáročnější. Zde také dochází ke kombinaci radioterapií a chemoterapií. Vzhledem k náročnosti procesu léčby se vyžaduje u této metody dobře vyškolený a sehraný tým lékařů a techniků. Znovu je zde vyžadována kontrola teploty důležitých orgánů. Postupnými experimenty celotělové termoterapie obecně nebo hypertermie se dochází k závěru, že tyto metody se hodí i při léčbě jiných onemocnění. Například v zahraničí probíhá nyní výzkum aplikace hypertermie na léčbu choroby AIDS.

Podle statistik ESHO se odhaduje počet pacientů léčených hypertermií na více než 100 000. Výsledky léčby pacientů kombinací radioterapie a hypertermie ve srovnání se samotnou radioterapií uvádí tabulka (Tab. 5.1).

Studie	Počet pacientů	Úspěšná léčba	
		Radioterapie	Radiotermoterapie
Arcangeli	163	38%	74%
Overgaard	62	34%	67%
Kim	159	33%	80%
Kochegarov	161	16%	63%
Lindholm	72	29%	39%
Li	124	29%	54%
Severson	75	23%	61%

Tab. 5.1 Srovnání klinických výsledků léčby nádorového onemocnění radioterapií a radiotermoterapií [25]

Pro konkrétní příklad jedné klinické činnosti byla vybrána skupina 63 pacientů – 26 mužů, 37 žen. Věkové rozpětí se pohybovalo mezi 22 až 83 lety, průměrný věk všech pacientů byl 60,3 let. Rozměr nádoru byl maximálně 8 x 4 x 10 cm, nejmenší měly zhruba 1 cm. S ohledem na celkový stav pacientů bylo provedeno vyhodnocení odpovědi nádoru vždy v odstupě šesti měsíců po dokončení léčby. Celkové odeznění nádoru znamená vymizení nádoru. Jestliže došlo k tomu, že se objem nádoru zmenšil na méně než polovinu původního objemu a stav byl stabilní déle než šest měsíců, pak byl výsledek vyhodnocen jako částečná odezva nádoru. V ostatních případech byl výsledek vyhodnocen jako bez odezvy.

Úplná odezva	33 pacientů	52,4%
Částečná odezva	20 pacientů	37,1%
Bez odezvy	10 pacientů	15,9%

Tab. 5.2 Klinické výsledky radioterapie na Ústavu radiční onkologie v Praze [25]

Lokální komplikace vlastní léčby byly zpozorovány u pěti pacientů, tj. 8%. V tomto případě se jednalo o pacienty po náročné celkové léčbě nebo o pacienty ze starší věkové skupiny, ale i tyto dosažené výsledky léčby odpovídají údajům ze zahraničí. Lze tedy prohlásit, že i v ČR je možné sestavit tým odborníků schopných připravit technické vybavení pro klinické využití hypertermie a účinně ji aplikovat v klinické praxi.[25]

Závěr

Hlavním výstupem mé práce bylo zjištění interakce elektromagnetického pole na základě přečtených publikací z internetu. Vzhledem ke zrychlení vývoje v oblasti elektrotechniky a zároveň k ochraně lidského zdraví je bezesporu důležité vědět, jak ovlivňuje působení elektromagnetického pole lidský organismus. Související měření s touto problematikou jsou poměrně diskutabilní, protože mohou být snadno zkreslena jinými vlivy měnící se s ohledem na prostředí. Jelikož se tato měření mění a neustále vyvíjí, tak nezaručují jasnou odpověď, která by byla podstatným řešením vlivu elektromagnetického pole na lidský organismus. Má práce však tvoří naopak příznivou pomoc elektromagnetického pole, které je využito v oblasti lékařství v léčení zhoubných onemocnění.

Celá řada studií byla publikována o přímých a nepřímých účincích elektromagnetického pole. Přímé účinky vyplývají z přímé interakce elektromagnetických polí s lidským tělem, nepřímé účinky pak zahrnují interakce s objektem s rozdílným elektrickým potenciálem a tělem člověka. V současné době výsledky laboratorních a epidemiologických studií byly shrnuty do základních expozičních kritérií a referenčních úrovní pro praktické nebezpečí a i tyto jsou často diskutovány s prezentací na hlavní směry vztahující se na profesní a veřejné expozice.

Teplo a indukované proudy zatím zůstávají jedinými faktory, kterými elektromagnetické pole může poškodit lidský organismus. Kdy se toto zjištění projeví na celosvětové harmonizaci standardů, lze těžko předpokládat. Zájmy zajistit pokračování výzkumných prací a mnohdy záměrně šířené poplašné zprávy o rakovině mozku z mobilního telefonu a o leukémii z drátů vysokého napětí mohou totiž uplatnění vědeckých poznatků výrazně zdržet, jak je známo i z jiných oborů.[20]

Seznam použité literatury

- [1] MAYER, Daniel. *Teorie elektromagnetického pole*. 3. vyd., přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita Elektrotechnická fakulta, 2001, 357 s. ISBN 80-708-2826-9
- [2] Radiobiologie [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/uvod.html>.
- [3] [online]. [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: <http://praxis.pha.jhu.edu/pictures/emspec.gif>
- [4] [online]. [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: <http://www.chemistryland.com/CHM130W/10-ModernAtom/Spectra/ModernAtom.htm>
- [5] ŠTOCHL, Martin. Vývoj názorů elektromagnetického pole na lidský organismus. Plzeň, 2011. Bakalářská práce, Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická.
- [6] Gymhol: Spektrum elektromagnetického záření. [online]. [cit. 2013-06-02]. Dostupné z: http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/11_elmag/11_elmag.htm [7] [online]. [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: <http://zdravi.e15.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/terapie-gama-nozem-298587>
- [8] VAŠIČKOVÁ, Jana. Vliv ionizujícího záření na člověka. Brno, 2007. Bakalářská práce, Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta.
- [9] VYHNAL, Marek. Vliv elektromagnetického pole na lidský organismus. Plzeň, 2010. Bakalářská práce, Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická
- [10] [online]. [cit. 2013-05-24]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>
- [11] [online]. [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://cz7asm.wz.cz/fyz/index.php?page=zargam>
- [12] HRADIL, Radomil. Ekolist.cz [online]. [cit. 2013-05-24]. Vysokofrekvenční elektromagnetická pole – reálná hrozba pro lidské zdraví?. Dostupné z [www: <http://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/vysokofrekvencni/elektromagneticke-pole-realna-hrozba-pro-lidske-zdravi>](http://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/vysokofrekvencni/elektromagneticke-pole-realna-hrozba-pro-lidske-zdravi).
- [13] Ing. MUSIL, CSc. Jan; Mgr. PAFKOVÁ, Hana. Trokavec [online]. [cit. 2013-05-24]. Historie vývoje limitů. Dostupné z [www: <http:// trokavec.cz/clanky-o-radaru/domaci-clanky/nehazarduje-hlavni-hygienik-zbytecne/>](http://trokavec.cz/clanky-o-radaru/domaci-clanky/nehazarduje-hlavni-hygienik-zbytecne/).
- [14] Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. [cit. 2013-05-25] 1993. Vyhlášky státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Dostupné z [www: <http://sujb.cz/?c_id=894>](http://sujb.cz/?c_id=894).
- [15] Informace vydané Národní referenční laboratoří pro neionizujícího elektromagnetická pole a záření [online]. [cit. 2013-05-25] Dostupné z [www: <http://szu.cz/uploads/documents/cpl/NRL_Elektromag/NRL_13.pdf >](http://szu.cz/uploads/documents/cpl/NRL_Elektromag/NRL_13.pdf).
- [16] Sbírka právních předpisů, průvodce zákony v ČR [online]. [cit. 2013-05-25] Dostupné z [www: <http://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sezn?DR=HE&SORT=CP&ROK=0&HE=639>](http://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sezn?DR=HE&SORT=CP&ROK=0&HE=639).

- [17] Encyklopedie EMC [online]. [cit. 2013-05-25] Směrnice Rady Evropské unie. Dostupné z www: <<http://radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node72>>.
- [18] Mezinárodní komise před neionizujícím zářením (ICNIRP ochranu): Pokyny k omezení expozice časově proměnným elektrickým, magnetickým a elektromagnetickým polím (do 300 GHz). Fyzika zdraví sv. 74, duben 1998, č. 4, str. 494-522
- [19] Mezinárodní seminář o biologických projevech pulzních radiofrekvenčních polí, jejich zdravotních důsledcích a standardech pro tato pole. Erice, Itálie, 21. - 27. listopadu 1999
- [20] Elektrotechnický magazín [online]. [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?1344&vliv_elektromagnetického_pole_na_lidsky_organismus_-_1%2F2
- [21] S. Gabriel SRW Lau a C. Gabriel: "Také dielektrické vlastnosti biologických tkání. 2. Měření v kmitočtovém rozsahu 10 Hz až 20 GHz "Fyzika v lékařství a biologii, sv. 41, no. 11, str. 2251-2269,1996
- [22] Elektromagnetická hypersenzitivita. Sborník mezinárodní seminář na EMF Přecitlivělost, Praha, Česká republika. 25. října -27, 2004. World zdravotnická organizace, Ed.: Kjell Hanson Mild Mike Repacholi, Emilie van Deventer, Paolo Ravazzani
- [23] Doc. RNDr. Luděk Pekárek, DrSc., Státní zdravotní ústav Praha: Nové poznatky důležité pro hodnocení možných nepříznivých vlivů elektromagnetického pole na člověka [online]. [cit. 2013-06-01]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/cpl/Materily_ze_seminaru/Materialy_2009/pekarek-19.3.pdf
- [24] Časopis stavebnictví [online]. [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/prostredi-budov-a-vliv-elektrickych-a-elektromagnetickych-poli-na-zdravi_N3901
- [25] MARTÍNEK, Ondřej. Vliv elektromagnetického pole na lidský organismus. Plzeň, 2008. Bakalářská práce, Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická
- [26] DVOŘÁK, Petr. Páskový aplikátor pro lokální termoterapii. Praha, 2007. Bakalářská práce ČVUT
- [27] Nařízení vlády, ochrana zdraví před neionizujícím zářením [online]. [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: https://osha.europa.eu/fop/czech-republic/cs/legislation/files/1_2008.pdf

Seznam příloh

Příloha 1	Modifikovaná proudová hustota [27]
Příloha 2	Měrný absorbovaný výkon SAR [27]
Příloha 3	Hustota zářivého toku [27]
Příloha 4	Referenční úrovně pro magnetickou indukci [27]
Příloha 5	Referenční úrovně pro hustotu zářivého toku [27]
Příloha 6	Referenční úrovně intenzity elektrického pole [27]
Příloha 7	Mezní referenční intenzita elektrického pole [27]
Příloha 8	Mezní referenční hodnota magnetické indukce [27]
Příloha 9	Mezní referenční hustota zářivého toku [27]

Příloha 1. Modifikovaná proudová hustota

Modifikovaná indukovaná proudová hustota J_{mod}^* - nejvyšší přípustné hodnoty			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	J_{mod} [A.m ⁻²]	frekvence f [Hz]	J_{mod} [A.m ⁻²]
300 – 10 ⁷	$\sqrt{2} \cdot 0,01$ ^{a)}	0 - 10 ⁷	pětkrát nižší než nejvyšší přípustná hodnota pro zaměstnance

Vysvětlivky:

a) Maximum absolutní hodnoty modifikované proudové hustoty v centrálním nervovém systému nesmí v žádném časovém okamžiku překročit nejvyšší přípustnou hodnotu. V ostatních časech trupu nesmí modifikovaná proudová hustota překročit pětinašobek nejvyšší přípustné hodnoty uvedené v tabulce č. 1, pokud je frekvence vyšší než 1 Hz

*Modifikovaná proudová hustota J_{mod} je definována jako proudová hustota, tj. proud tekoucí k rovinné ploše s obsahem 100 mm² dělený obsahem této plochy, která je modifikována filtrem s frekvenční charakteristikou $\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\beta + j2\pi f}{4\beta + j2\pi f} \cdot \frac{\alpha}{\alpha + j2\pi f}$, kde $\alpha = 2000 \pi \text{ s}^{-1}$, $\beta = 7 \text{ s}^{-1}$

a j je imaginární jednotka, tedy $j = \sqrt{-1}$.

Příloha 2. Měrný absorbovaný výkon SAR

Měrný absorbovaný výkon (SAR)^{b)} – nejvyšší přípustné hodnoty			
Platí od frekvence od 100000 Hz do 10 ¹⁰ Hz	Měrný absorbovaný výkon – SAR – průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a celé tělo	SAR průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně s výjimkou rukou, zápěstí, chodidel a kotníků	SAR průměrovaný přes kterýkoli šestiminutový interval a pro kterýchkoli 10 g ^{a)} tkáně rukou, zápěstí, chodidel a kotníků
zaměstnanci	0,4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
ostatní osoby	0,08 W/kg	2 W/kg	4 W/kg

Vysvětlivky:

- a) 10g tkáně uvedené v příloze č. 2 je třeba volit ve tvaru krychle, nikoli jako plochý útvar na povrchu těla.
- b) Pro expozici osob pulzům kratším než 30 μ s při frekvenci 300 MHz až 10 GHz se doporučuje zavést dodatečné omezení 10 mJ/kg průměrovaných pro 10 g tkáně pro měrnou absorbovanou energii.

Příloha 3. Hustota zářivého toku

Hustota zářivého toku S* - nejvyšší přípustné hodnoty			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]	frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]
> 10 ¹⁰ – 3.10 ¹¹	50	> 10 ¹⁰ – 3.10 ¹¹	10

Příloha 4. Referenční úrovně pro magnetickou indukci

Referenční úrovně pro magnetickou indukci B – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	B [T]	frekvence f [Hz]	B [T]
< 1	0,28*	< 1	0,056*
1 - 8	0,2 / f^2	1 - 8	0,04 / f^2
8 - 25	0,025 / f	8 - 25	0,005 / f
25 - 820	25.10 ⁻³ / f	25 - 800	0,005 / f
50	500.10 ⁻⁶	50	100.10 ⁻⁶
820 - 3.10 ³	30,7.10 ⁻⁶	800 - 3.10 ³	6,25.10 ⁻⁶
3.10 ³ - 65.10 ³	30,7.10 ⁻⁶	3.10 ³ - 150.10 ³	6,25.10 ⁻⁶
65.10 ³ - 10 ⁶	2 / f	150.10 ³ - 10 ⁶	0,92 / f
10 ⁶ - 10 ⁷	2 / f	10 ⁶ - 10 ⁷	0,92 / f
10 ⁷ - 4.10 ⁸	0,2.10 ⁻⁶	10 ⁷ - 4.10 ⁸	0,092.10 ⁻⁶
4.10 ⁸ - 2.10 ⁹	10 ⁻¹¹ . $f^{0,5}$	4.10 ⁸ - 2.10 ⁹	4,6.10 ⁻¹² . $f^{0,5}$
2.10 ⁹ - 3.10 ¹¹	0,45.10 ⁻⁶	2.10 ⁹ - 3.10 ¹¹	0,20.10 ⁻⁶

• amplituda

Příloha 5. Referenční úrovně pro hustotu zářivého toku

Referenční úrovně pro hustotu zářivého toku* S – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]	frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]
10 ⁷ - 4.10 ⁸	10	10 ⁷ - 4.10 ⁸	2
4.10 ⁸ - 2.10 ⁹	$f / 4.10^7$	4.10 ⁸ - 2.10 ⁹	$f / 2.10^8$
2.10 ⁹ - 3.10 ¹¹	50**	2.10 ⁹ - 3.10 ¹¹	10**

*Tato veličina je použitelná jen pro postupnou vlnu. V reaktivní zóně zdroje je nutné použít referenční úrovně pro E a B v přílohách č. 1 a 2.

**V intervalu frekvencí od 10 GHz do hodnoty 300GHz je hustota zářivého toku nejvyšší přípustnou hodnotou. Doba průměrování frekvence 10 GHz až 300 GHz je $T_s = 1,92 \cdot 10^{11} / f^{1,05}$, f je v hertzech, doba průměrování v minutách.

Příloha 6. Referenční úrovně intenzity elektrického pole

Referenční úrovně intenzity elektrického pole E – nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	E [V.m ⁻¹]	frekvence f [Hz]	E [V.m ⁻¹]
< 1	– ^{a)}	< 1	– ^{a)}
1 - 8	20000	1 – 8	10000
8 - 25	20000	8 – 25	10000
25 - 820	$5 \cdot 10^5 / f$	25 – 800	$2,5 \cdot 10^5 / f$
50	10000	50	5000
820 – $3 \cdot 10^3$	610	800 – $3 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^5 / f$
$3 \cdot 10^3$ – $65 \cdot 10^3$	610	$3 \cdot 10^3$ – $150 \cdot 10^3$	87
$65 \cdot 10^3$ – 10^6	610	$150 \cdot 10^3$ – 10^6	87
10^6 – 10^7	$610 \cdot 10^6 / f$	10^6 – 10^7	$87 \cdot 10^3 / f^{0,5}$
10^7 – $4 \cdot 10^8$	61	10^7 – $4 \cdot 10^8$	28
$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$	$4 \cdot 10^8$ – $2 \cdot 10^9$	$1,375 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$
$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	137	$2 \cdot 10^9$ – $3 \cdot 10^{11}$	61

Příloha 7. Mezní referenční intenzita elektrického pole

Mezní referenční intenzita elektrického pole E_{mez} (amplituda)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	E [V.m ⁻¹]	frekvence f [Hz]	E [V.m ⁻¹]
10^5	915	10^5	130
$10^5 - 10^6$	$0,438 \cdot f^{0,67}$	$10^5 - 10^6$	$0,0605 \cdot f^{0,67}$
10^6	4226	10^6	603
$10^6 - 10^7$	$4,3514 \cdot 10^5 / f^{0,035}$	$10^6 - 10^7$	$56,03 \cdot f^{0,17}$
10^7	1952	10^7	896
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	1952	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	896
$4 \cdot 10^8$	1952	$4 \cdot 10^8$	896
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$0,098 \cdot f^{1/2}$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$0,0448 \cdot f^{1/2}$
$2 \cdot 10^9$	4384	$2 \cdot 10^9$	1952
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	4384	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	1952

Příloha 8. Mezní referenční hodnota magnetické indukce

Mezní referenční hodnota magnetické indukce B_{mez} (amplituda)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	B [T]	frekvence f [Hz]	B [T]
10^5	$30 \cdot 10^{-6}$	10^5	$9,375 \cdot 10^{-6}$
$10^5 - 10^6$	$1,427 \cdot 10^{-3} / f^{0,335}$	$10^5 - 10^6$	$0,1619 \cdot 10^{-3} / f^{0,247}$
10^6	$1,385 \cdot 10^{-5}$	10^6	$5,3 \cdot 10^{-6}$
$10^6 - 10^7$	$0,001427 / f^{0,035}$	$10^6 - 10^7$	$0,1619 \cdot 10^{-3} / f^{0,247}$
10^7	$6,4 \cdot 10^{-6}$	10^7	$3 \cdot 10^{-6}$
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^8$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{-6}$
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$3,2 \cdot 10^{-10} \cdot f^{1/2}$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^{-10} \cdot f^{1/2}$
$2 \cdot 10^9$	$14,4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^9$	$6,4 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	$14,4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$

Příloha 9. Mezní referenční hustota zářivého toku

Mezní referenční hustota zářivého toku* S_{mez} (amplituda)			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
frekvence f [Hz]	S [$W \cdot m^{-2}$]	frekvence f [Hz]	S [$W \cdot m^{-2}$]
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	10000	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	2000
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$25 \cdot 10^{-6} \cdot f$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{-6} \cdot f$
$2 \cdot 10^9$	50000	$2 \cdot 10^9$	10000
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	50000	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	10000

*Tato veličina je použitelná jen pro postupnou vlnu. V indukční zóně zdroje je třeba použít mezní referenční úrovně pro E a B v přílohách č. 4 a 5.