



Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach
Prírodovedecká fakulta
Ústav fyzikálnych vied

Ján DEGRO

Školské experimenty s analyzátorom v elektromagnetického poľa

Environmentálne vzdelávanie vo vyučovaní fyziky



Práca je určená pre študentov učiteľstva v kombinácii s fyzikou a pre ďalšie vzdelávanie učiteľov fyziky a taktiež pre každého záujemcu o životné prostredie.

Obsah

Úvod	3
1. Analyzátor HF 35C	4
2. Experimentálne úlohy	5
2.1 Určenie hustoty energie EMP v exteriéri, mimo bytu a školy.	5
2.2 Určenie hustoty energie EMP v interiéri, vnútri bytu a školy.....	6
2.3 Určenie hustoty energie EMP v okolí mikrovlnnej rúry.	7
2.4 Určenie hustoty energie EMP v okolí bezšnúrového telefónu.....	9
2.5 Určenie hustoty energie EMP v okolí mobilného telefónu.	10
2.6 Určenie hustoty energie S EMP v okolí wifi vysielача.....	11
3. Hygienické normy	12
Literatúra	13

Titul: Školské experimenty s s analyzátorom vf. elektromagnetického poľa.

Autor: doc. RNDr. Ján Degro, CSc.

Vydanie: Prírodovedecká fakulta, Univerzita P. J. Šafárika, Košice 2008

Učebný text bol spracovaný v rámci projektu KEGA č. 3/5272/07

Úvod

Téma vf elektromagnetických polí je dnes veľmi *aktuálna* najmenej z dvoch hľadísk:

- *Za prvé:* pretože veľa ľudí má dnes prístroje, ktoré pracujú na základe vf EMP napr. mobilné telefóny, bezšnúrové telefóny, mikrovlnky, wifi.
- *Za druhé:* kvôli rôznym, často opačným názorom na bezpečnosť resp. škodlivosť elektromagnetického žiarenia prezentovaných v médiach (televízia, rádio, časopisy) internet [1-6].

Aby sme ukázali na *súvislosť medzi fyzikou a denným životom* v tematickom celku Elektromagnetické polia (EMP) môžeme začať diskusiu so žiakmi otázkami ako sú napr. tieto: Aké sú zdroje vysokofrekvenčného (vf) elektromagnetického poľa? Nachádzajú sa nejaké vo vašom okolí? Môže byť vf EMP škodlivé pre vaše zdravie? Sú mobil, bezšnúrový telefón, mikrovlnná rúra bezpečné? Čo sa môže stať, ak vyžarovanie EMP je silné? Sú nejaké národné normy pre intenzitu vyžarovania elektromagnetického poľa? Akou veličinou charakterizujeme EMP z hľadiska kvality životného prostredia? Aký prístroj potrebujeme, ak by sme chceli merať vf EMP? *Najčastejšie otázky žiakov sú:* Je môj mobil, bezšnúrový telefón bezpečný? Je mikrovlnka bezpečná? Ako sa môžem chrániť?

Diskusia na uvedené témy je efektívnejšia, viac zaujme, ak ju doplníme experimentmi. Napriek tomu, že profesionálne merania vf elektromagnetických polí sú náročné a taktiež prístroje sú drahé, existuje možnosť ako premerať elektromagnetické polia vo svojom okolí. Na tento účel je potrebný prístroj HF35C, ktorý vyrába firma Gigahertz Solutions. Táto firma vyrába okrem profesionálnych prístrojov, aj lacnejšie pre obyvateľov zaujímajúcich sa o danú problematiku.

Cieľom tejto brožúrky je prezentovať námety na „jednoduché“ pilotné experimenty s meračom HF35C v lokálnom životnom prostredí žiaka, ktoré by mohlo možné realizovať v prostredí školy resp. doma.

Naše experimenty sú rozdelené do dvoch skupín. Prvú skupinu tvoria experimenty interiéru (vnútri bytu, školy) a v exteriéri (vonku), takzvané pozadie. Druhú skupinu experimentov tvoria merania elektromagnetických polí v okolí prístrojov: mikrovlnka, bezšnúrový telefón, mobilný telefón a wifi vysielateľ.

1. Analyzátor HF 35C

Digitálny vysokofrekvenčný analyzátor elektromagnetických polí (EMP) HF35C (high frequency analyzer), obr.1., umožňuje meranie EMP medzi 800 MHz a 2,5 GHz. Tento frekvenčný rozsah je dôležitý, lebo pokrýva mobilné telefóny (GSM800, GSM1900, TDMA, CDMA, AMPS, iDEN), bezšnúrové telefóny (2,4 GHz), mikrovlnky (2,45 GHz), ako aj technológie generácii UMTS (3G) alebo Bluetooth, ktoré sa dnes intenzívne rozvíjajú. Všetky frekvencie, ktoré sú medzi tým, sú zahrnuté tiež.

Analyzátor HF35C pozostáva zo základného meracieho prístroja a sondy - senzora (obr.1.). Senzor vF žiarenia je logaritmicko-periodická anténa. Má výbornú vlastnosť, tzv. „smerovosť“ (directionality). To znamená, že je možné pomocou nej zamerať zdroj emisie žiarenia, teda zistiť s ktorého smeru prichádza žiarenie. Poznať smer skade prichádza žiarenie je dôležitý predpoklad pre efektívne tienenie.

Hodnoty zobrazené na displeji meracieho prístroja ukazujú hustotu energie elektromagnetického poľa S v $\mu\text{W}/\text{m}^2$ v priestore antény (priestorový integrál tykadla antény zo smeru antény). Prepínač nastavenia rozsahov poskytuje dve možnosti $199 \mu\text{W}/\text{m}^2$ a $1999 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Prepínač módu merania umožňuje merať strednú hodnotu signálu (mittelwerte) a maximálnu hodnotu (peak werte; odporúčané nastavenie). V prístroji je možnosť zapnúť zvukovú analýzu hodnotenia signálu.



Obr.1. Analyzátor HF35C.

Existuje veľa možností ako použiť analyzátor. Pretože veľa detí na Slovensku má mobilný telefón, mnoho rodín vlastní mikrovlnu rúru a bezšnúrový telefón, úrady používajú wifi, rozdelili sme úlohy do dvoch skupín:

(A) Prvá skupina:

- Určenie hustoty energie S v exteriéri, mimo bytu a školy.
- Určenie hustoty energie S v interiéri, vnútri bytu a školy.

(B) Druhá skupina:

- Určenie hustoty energie S v okolí mikrovlnnej rúry.
- Určenie hustoty energie S v okolí bezšnúrového telefónu.
- Určenie hustoty energie S v okolí mobilného telefónu.
- Určenie hustoty energie S v okolí wifi vysielача.

Po realizácii experimentov porovnajte namerané hodnoty s hygienickými normami.

Počas experimentov s uvedenými prístrojmi nech sú ostatné prístroje vypnuté.

2. Experimentálne úlohy

2.1 Určenie hustoty energie EMP v exteriéri, mimo bytu a školy.

Exteriér – vonku. Pozadie. Pohybujte sa pomaly v okolí domu, školy a pozorujte digitálny displej analyzátoru vo vašej ruke. Ruku s prístrojom majte pred telom, ruka je mierne natiahnutá. Prístroj je najprv vo vodorovnej polohe. Potom otáčajte rukou v rôznych smeroch. Pokúste sa zistiť hodnoty hustoty energie S v rôznych smeroch. Nájdite miesta s rôznou úrovňou žiarenia EMP. Namerané hodnoty zaznačte do vopred pripravených tabuliek, alebo si ich môžete zapísať aj priamo do náčrtku miesta vášho bydliska resp. školy, ktorú si sami nakreslíte a vyznačíte meracie miesta. Zaznačte si aj podmienky experimentu.

Na toto miesto napíšte svoj odhad, aké hodnoty hustoty energie očakávate:
najmenšia:najväčšia:.....

Miesto pre náčrt, okolia a tabuľku:

2.2 Určenie hustoty energie EMP v interiéri, vnútri bytu a školy.

Interiér – dnu. Pozadie. V rôznych izbách bytu, triedach školy zopakujte rovnakú procedúru ako v predchádzajúcom prípade. Počas týchto meraní sú prístroje využívajúce vf EMP vypnuté. Pokúste sa nájsť nejaké zdroje žiarenia, ak existujú. Ak nenájdete žiadny zdroj vf EMP, merajte S v niektorých izbách vášho bytu resp. niektorých triedach. Meracie body vyberte na základe kvalitatívnych experimentov. Namerané hodnoty zaznačte do vopred pripravených tabuliek, alebo si ich môžete zapísať aj priamo do náčrtku vášho bytu resp. školy, ktorú si sami urobíte a vyznačíte meracie miest. Zaznačte si aj podmienky experimentu.

Potom otvorte okno (pozor, aby ste nevypadli, vystrčte ruku s prístrojom vonku a zmerajte S približne 0,5 m pred každým oknom bytu, resp. triedy.

Na toto miesto napíšte svoj odhad, aké hodnoty hustoty energie očakávate:

najmenšia:najväčšia:.....

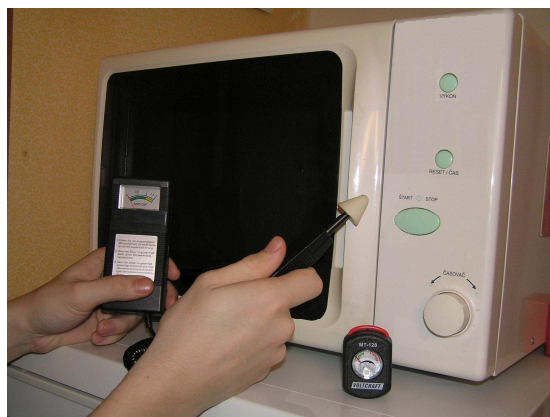
Miesto pre náčrt bytu, izieb a tabuľku:

2.3 Určenie hustoty energie EMP v okolí mikrovlnnej rúry.

Upozornenie! Mikrovlnná rúra (MR) nesmie pracovať, keď je prázdna. Pred každým experimentom vložte do vnútra pohár s cca. 0,5 l vody a dvere MR zatvorte.

Kontrola MR: Za týmto účelom použite niektorý z testerov mikrovlniek, tie slúžia na jednoduché overenie bezpečnosti chodu mikrovlnky, teda či nám z prístroja neuniká žiarenie vonku. Na trhu sú dnes dostupné testery napr. MV1AK alebo MT28, obr.2.. Sú lacné a určené pre domáce použitie.

Keď je MR zapnutá, chyt'te čiernu sondu prístroja MW1AK a jej biely koniec priložte na okraj dvierok MR (obr.2.). Sondou pohybujte pomaly okolo dvierok a taktiež okolo miest spojov, prípadne miesta poškodenia MR. Sledujte pritom ručičku detektora. Ak ručička ostane v zelenom poli, tak iba malá časť energie unikne z MR (alebo žiadna), ak je ručička v žltom poli, tak treba prestať používať MR a odniesť do servisu odborníkom. Ak je MR v poriadku pokračujte experimentmi s vĺ analyzátorom.



Obr. 2. Mikrovlna rúra v kuchyni a detektory mikrovln MW1AK (vľavo) and MT-128 (vpravo).

Predpoveď:

Zakrúžkujte možnosť, ktorú očakávate:

Dostane sa energia - žiarenie vonku z MR? áno nie.

Experiment s HF 35C realizujte v dvoch krokoch:

Krok 1: Kvalitatívny experiment.

- Zapnite MR. Držte pred sebou vĺ analyzátor, anténa je orientovaná smerom k MR. Pohybujte sa pomaly po kuchyni, resp. v priestore, kde sa nachádza MR a sledujte display analyzátora.
- Na základe experimentov určite niekoľko meracích bodov v kuchyni. Môžete vybrať miesta, kde vy alebo členovia vašej rodiny trávia veľa času, napr. miesta, kde sedíte pri stole, alebo pred sporákom, kde sa varí. Môžu to byť aj body, kde zistíte vysoké hodnoty hustoty energie.
- Nakreslite pôdorys kuchyne. Označte polohy MR a polohy meracích bodov, ktoré ste si zvolili.

Krok 2: Kvantitatívny experiment.

- Zmerajte časovú závislosť hustoty energie S vo vybraných bodoch. Ideálne je ak budete traja. Jeden žiak drží vĺ analyzátor v jednom z vybraných meracích bodov. Druhý žiak natáča video displeja analyzátora počas chodu MR. Tretí žiak zapne MR na určitú dobu napr. 60s (nezabudnúť dať dovnútra pohár z vodou). Počas merania nesmie stáť pred prístrojom žiadna osoba.
- Zopakujte procedúru vo všetkých vybraných polohách.

- Zaznamenané videa (dáta) preneste do počítača a analyzujte pomocou tabuľkového kalkulátora napr. Excell.
- *Analýza videa:* Spustite video na počítači. Zastavujte video v určitých časových intervaloch, v ktorých odčítate čas t_i v sekundách a hustotu energie S_i v $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Dvojice (t_i, S_i) zapíšte do tabuľky v programe Excell.
- Zostrojte graf závislosti $S = f(t)$.
- Porovnajte merané hodnoty s normami.

Mesto pre náčrt pôdorysu kuchyne:

Tieniace vlastnosti kovového obalu MR. (Upozornenie: MR je vypnutá počas tohto experimentu).

- Vložte vypnutý mobil do vypnutej MR. Zatvorte dvere MR. Zatelefonujte na mobil umiestnený v mikrovlnnej rúre a počúvajte, či zvoní.
- Vložte zvoniaci mobil do MR. Zatvorte dvere MR a merajte S v okolí MR.

Miesto pre záznam experimentálnych výsledkov:

2.4 Určenie hustoty energie EMP v okolí bezšnúrového telefónu

Motivácia: Bezšnúrový telefón pozostáva zo základnej stanice a samotného slúchadla. Základnú stanicu napájame napätím 230 V zo zástrčky. So slúchadlom sa môžeme pohybovať po celom byte a telefonovať. Umožňujú nám to mikrovlny s frekvenciou 2,45 GHz. Základná stanica a slúchadlo majú vysielateľ a prijímač.

Experiment realizujte v dvoch krokoch.

Krok 1: Kvalitatívny experiment.

- Zapnite základnú stanicu bezšnúrového telefónu (BT), obr.3., do siete. BT bude je v pohotovostnom režime, netelefonujeme, slúchadlo je vypnuté. Držte pred sebou vF analyzátor, anténa je orientovaná smerom k základnej stanici BT. Pohybujte sa pomaly po miestnosti, kde sa nachádza základná stanica BT a sledujte display analyzátoru.
- Na základe experimentov určite niekoľko meracích bodov v miestnosti. Môžete vybrať miesta, kde vy alebo členovia vašej rodiny trávia veľa času, napr. miesta, kde sedíte pri stole, alebo miesta, kde nájdete výrazné anomálie.
- Nakreslite pôdorys miestnosti so základnou stanicou BT napr. chodba, pracovňa. Označte polohu základnej stanice a polohy meracích bodov, ktoré ste si zvolili.

Krok 2: Kvantitatívny experiment.

- Zmerajte časovú závislosť hustoty energie S vo vybraných bodoch. Ideálne je ak budete dvaja. Jeden žiak drží vF analyzátor v jednom z vybraných meracích bodov. Druhý žiak natáča video displeja analyzátoru ak je základná stanica BT zapojená do zástrčky. Počas merania nesmie stáť pred prístrojom žiadna osoba.
- Zopakujte procedúru vo všetkých vybraných polohách.
- Zaznamenané videa (dáta) preneste do počítača a analyzujte pomocou tabuľkového kalkulátora.
- *Analýza videa:* Spustite video na počítači. Zastavujte video v určitých časových intervaloch, v ktorých odčítate čas t_i v sekundách a hustotu energie S_i v $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Dvojice (t_i, S_i) zapíšte do tabuľky v programe Excell.
- Zostrojte graf závislosti $S = f(t)$.
- Porovnajte merané hodnoty s normami.

Miesto pre náčrt pôdorysu miestnosti:



Obr.3. Bezšnúrový telefón.

Poznámka: Experiment zopakujte aj so zapnutým slúchadlom, počas telefonovania a výsledky porovnajte.

2.5 Určenie hustoty energie EMP v okolí mobilného telefónu.

Experiment realizujte v dvoch krokoch.

Krok 1: Kvalitatívny experiment.

- Položte *vypnutý* mobilný telefón (MT) na stôl. Zmapujte hustotu energie elektromagnetického poľa v okolí MT.
- Položte *zapnutý* mobilný telefón na stôl (nezvoní ani neprijíma signál). Zmapujte hustotu energie elektromagnetického poľa v okolí MT.
- Položte *zvoniaci* telefón na stôl do zvislej (vodorovnej) polohy. Zmapujte hustotu energie elektromagnetického poľa v okolí MT.
- *Merania realizujte nasledovne:* Držte pred sebou vF analyzátor, anténa je orientovaná smerom k MT. Pohybujte sa pomaly po miestnosti, kde sa nachádza MT a sledujte display analyzátora. Údaje si zapíšte.
- Kvalitatívne analyzujte namerané údaje.

Krok 2: Kvantitatívny experiment.

- *Zvoniaci* telefón postavte na stôl do zvislej polohy. Vo vami navrhnutej vzdialenosti na stole, napr. 1,5 m, umiestnite vF analyzátor. Fotoaparát možno upevniť na stojan, tak aby ste mohli zaznamenať video displeja analyzátora počas zvonenia. Zmerajte časovú závislosť hustoty energie S vo vybraných bodoch. Počas merania nesmie stáť pred prístrojom žiadna osoba.
- Zaznamenané videa (dáta) preneste do počítača a analyzujte pomocou tabuľkového kalkulátora.
- *Analýza videa:* Spustite video na počítači. Zastavujte video v určitých časových intervaloch, v ktorých odčítate čas t_i v sekundách a hustotu energie S_i v $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Dvojice (t_i, S_i) zapíšte do tabuľky v programe Excell.
- Zostrojte graf závislosti $S = f(t)$.
- Porovnajte merané hodnoty s normami.

Miesto pre výsledky:

Poznámka:

- Experimenty realizujte pre rôzne situácie napr. ak telefonujete, MT iba prijíma signál.
- Porovnajte žiarenie okolo bezšnúrového a mobilného telefónu.

2.6 Určenie hustoty energie S EMP v okolí wifi vysielача.

Motivácia: Pre uľahčenie spojenia počítača s Internetom sa v mnohých inštitúciách napr. školy, letiská používa bezdrôtové pripojenie na Internet tzv. wifi (wireless fidelity). Pre nadviazanie spojenia počítač (najčastejšie notebook) a siete internet sa používa vf elektromagnetické pole. Na strane internetovej siete je anténa – vysielateľ, ktorý vyžaruje vf pole do priestoru. Na strane notebooku je prijímač. To je pre príjem signálu. Ak však my chceme do siete posilať informácie, musí byť na strane Internetovej siete aj prijímač a na strane počítača vysielateľ vf poľa. Anténa wifi vysielача z internetu je na obr.4. Anténa u notebooku je umiestnená pozdĺž obrazovky. Notebook je vysielateľ a prijímač vf žiarenia ak má zapnuté wifi.



Obr. 4.
Wifi vysielateľ.

Realizácia experimentu:

- Zistíte, či vaša škola má bezdrôtové pripojenie na Internet – wifi sieť. Môžete to zistiť tak, že sa spýtate učiteľa, alebo budete hľadať na chodbách wifi vysielача (obr.4), alebo použijete prístroj V-LAN Finder (obr.5). Je to prístroj určený na zisťovanie prítomnosti wifi lokálnych sietí.
- Nakreslite plán školy a vyznačte v ňom polohy vysielачov.
- Použitím vf analyzátoru určte hustotu energie S v okolí wifi vysielачov.
- Použitím vf analyzátoru určte hustotu energie S v okolí notebooku, keď má zapnuté wifi.
- Namerané údaje si zapíšte a porovnajte s hygienickými normami.



Obr.5.
W-LAN

Miesto pre náčrt školy:

3. Hygienické normy

Pred analýzou experimentálnych výsledkov sa zoznámte s hygienickými normami pre vĺ elektromagnetické pole. Slovenské národné normy v Zbierke zákonov č.325/2006, č. 329/2006 a č.534/2007 definujú požiadavky na zdravotné limity hustoty energie S vĺ žiarenia vo W/m^2 a hraničné zdravotné limity špecifického absorbovaného výkonu SAR (specific absorption rate) vo W/kg pre obyvateľov a zamestnancov. Zdravotné limity sú referenčné hodnoty, ktoré by sa nemali prekročiť. Slovenské normy sú založené na podkladoch Medzinárodnej komisie pre ochranu pred neionizujúcim žiarením - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

Tabuľka 1 ukazuje referenčné hodnoty hustoty energie S pre obyvateľov a zamestnancov.

Tab.1. Referenčné hodnoty hustoty energie S pre rovinnú vlnu [10, 11, 12].

Frekvenčný rozsah	S (W/m^2) zamestnanci	S (W/m^2) obyvatelia
10 MHz < 400 MHz	10	2
400 MHz < 2000 MHz	$f/40$	$f/200$
2 GHz < 300 GHz	50	10

Tabuľka 2 ukazuje referenčné hodnoty špecifického absorbovaného výkonu SAR pre rôzne časti tela.

Tab.2 Referenčné hodnoty SAR a hustoty energie S [10].

Frekvenčný rozsah	SAR (W/kg) Priemerná hodnota telo	SAR (W/kg) Lokálna hodnota, hlava	SAR (W/kg) Lokálna hodnota, horné/dolné končatiny	S (W/m^2)
10 kHz < 10 MHz	0,08	2	4	-
10 MHz < 10 GHz	0,08	2	4	-
10 GHz < 300 GHz				10

Literatúra

- [1] Holger Konig and Peter Erlacher 2001 Neviditeľná hrozba. Elektromagnetické pole kolem nás, Hell. (Translation from German language: Baubiologische Elektroinstallation, Verlag GmbH, Staufen bei Freiburg Breisgau, Germany)
- [2] Philip Chadwick and Zenon Sienkiewicz, 1999 Elektromagnetické polia, (Slovak version, translation from English language: Electromagnetic Fields) 2nd Edition WHO, Regional office for Europe, State Health Institute in Bratislava
- [3] Henry Lay 1999 Memory and Behavior, International seminar: “The Biological Effects, Health Consequences and Standards for Pulsed Radiofrequency Field”, at the Ettoll Majorare, Centre for Scientific Culture, Erice, Italy, November 21-25, p. 1-11.
- [4] Instruction manual of mobile phone 2006.
- [5] www.who.ch/emf
- [6] www.enviratest.com/home/
- [7] HF35C Instruction manual 2005 GIGAHERTZ SOLUTIONS GmbH, D-90579 Langenzenn, Germany, www.conrad.sk, www.conrad.de
- [8] MW1AK: Microwave detector Instruction manual 2007 Conrad electronic, GmbH, 8452 Hirschau, Germany.
- [9] MT-128: Microwave detector Instruction manual 2006 VOLTcraft 92242 Hirschau, Duitsland, Germany.
- [10] Statute book no.325/2006 part 113, p. 2026-2037: Government Resolution of Slovak Republic May 2006 about details, about requirements for exposure limits of electromagnetic fields of inhabitants.
- [11] Statute book no.329/2006 part 113, p. 2047-2061: Government Resolution of Slovak Republic May 2006 about details, about requirements for exposure limits of electromagnetic fields of employee.
- [12] Statute book no.534/2007 part 224, p. 3812-3816: Government Resolution of Slovak Republic August 2007 about details, about requirements for exposure limits of electromagnetic fields of inhabitants in environment.
- [13] ICNIRP, EMF guidelines, Health Physics 74,494-522 (1998)
- [14] www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/en/print.html