

Dejan Živković,
dipl. inž.

Slavica Vukelić,
dr med.

Institut za medicinu rada ZPM VMA,
Beograd

ELEKTRIČNA I MAGNETSKA POLJA VEOMA NISKE FREKVENCIJE OKO VIDEO DISPLEJ TERMINALA

UDC: 621.317.3/4:621.397.46

Rezime:

U radu su prikazane izmerene vrednosti gustine magnetskog fluksa i jačine električnog polja veoma niskih frekvencija (VLF) oko 42 tipa video displej terminala. Rezultati merenja su pokazali da izmerene vrednosti gustine magnetskog fluksa (5 nT – 210 nT) i jačine električnog polja (0,1 V/m – 6,0 V/m) ne prelaze dopuštene vrednosti, prema međunarodnim preporukama, za profesionalnu izloženost i za izlaganje opšte populacije.

Ključne reči: video displej terminal, električno i magnetsko polje, merenja i zaštita.

VLF ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS AROUND VIDEO DISPLAY TERMINALS

Summary:

The aim of this work was to investigate the magnetic flux density and the electric field intensity of the very low frequency (VLF) band around 42 video display terminals. The results of measurement showed that the magnetic flux density (5 nT – 210 nT) and the electric field intensity (0,1 V/m–6,0 V/m) at the distance of 30 cm of the screen did not exceed levels for professional exposure and levels for living environment from international guidelines.

Key words: video display terminal, electric field, magnetic field, measurement and protection.

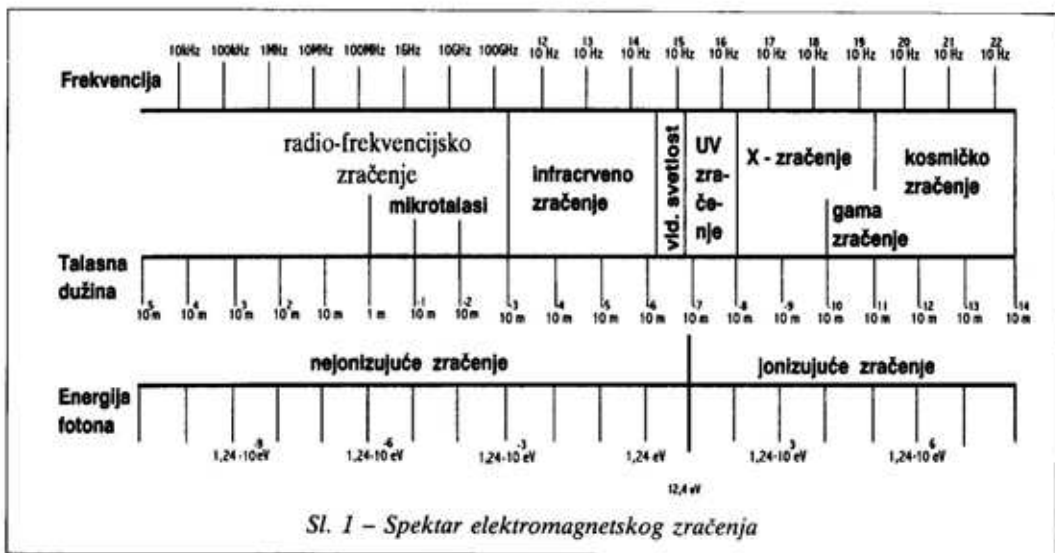
Uvod

Video terminal (VT ili Video Display Terminal – VDT, Video Display Unit – VDU) jeste uređaj za vizuelno predstavljanje informacija iz računara koji se sastoji od ekrana i tastature. Povezan je sa centralnim računarom ili je deo personalnog računara. Zahvaljujući popularnosti personalnih računara, VDT su postali sastavni deo ne samo radne već i životne sredine. Po podacima istraživača danas oko 150 miliona ljudi u svetu koristi personalni računar u toku rada. Korisnici

VDT se najviše žale na mišićnoskeletne poremećaje i disfunkciju organa vida koje često prate glavobolja i opšti zamor, dok se promene na koži javljaju ređe.

Video displej terminali (sa katodnom cevi) potencijalno su izvor elektromagnetskog zračenja, jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja (slika 1).

Jonizujuće zračenje pri apsorbovanju u materijalu može promeniti atomsku strukturu materijala istiskujući elektrone iz atoma. Jonizujuće zračenje uključuje X zračenje, gama zračenje i kratkotalasno ultravioletno (UV) zračenje.



Sl. 1 – Spektar elektromagnetskog zračenja

Nejonizujuće zračenje ne menja atomsku strukturu ljudskog tela i uključuje frekvencije počev od ultravioletnog (UV) zračenja do elektromagnetskog zračenja ekstremno niskih frekvencija (ELF – extremely low frequencies).

Video displej terminal emituje: X zračenje, optičko zračenje (UV, vidljivo i infracrveno – IC zračenje), radio-frekvencijsko zračenje, elektromagnetska polja veoma niskih i ekstremno niskih frekvencija (VLF – very low frequencies i ELF – extremely low frequencies), kao i statičko električno polje [1–3].

Cilj ovoga rada bio je da se ispita izloženost korisnika VDT promenljivim električnim (E) i magnetskim (M) poljima veoma niskih frekvencija (3 kHz–30 kHz).

Elektromagnetska polja

Elektromagnetsko polje sastoji se od dva nerazdvojiva polja – električnog i magnetskog polja. Elektromagnetsko polje u nekom domenu postoji ako na malu naelektrisanu česticu naelektrisanja q ,

koja se kreće brzinom v , deluje Lorenzova sila oblika:

$$F = q \cdot E + q \cdot v \times B$$

gde je:

E – vektor jačine električnog polja,
B – vektor magnetske indukcije. Vektori E i B su funkcije položaja tačke, u kojoj se posmatra polje, i vremena.

Električne i magnetske pojave potiču od istih uzročnika, a to su elementarne naelektrisane čestice. Jedina razlika je što se električni efekti javljaju samo kada se naelektrisane čestice kreću u odnosu na posmatrača.

Električno polje

Naelektrisanja deluju silama jedna na druge. Za opis ovog delovanja dogovorom je uveden pojam električnog polja. Sistem naelektrisanja stvara u svim tačkama prostorno električno (E) polje, a bilo koje drugo naelektrisanje osetiće silu ako se nađe u tom prostoru. Sila F koja

tačkasto deluje na naelektrisanje q , koje se nalazi u električnom polju jačine E , jeste:

$$F = q \cdot E$$

Jedinica za jačinu električnog polja u SI sistemu je N/C (njutn po kulonu), ali se u praksi daleko češće koristi ekvivalentna jedinica V/m (volt po metru).

U bilo kom provodnom materijalu, u koji spada i živa materija, pod dejstvom električnog polja dolazi do kretanja naelektrisanja u obliku električne struje. Ova struja opisuje se preko vektora gustine struje J čiji je intenzitet jednak struji koja prolazi kroz jedinicu površine normalnu na pravac struje. Osnovna jedinica za gustinu struje je A/m^2 , a za najveći broj provodnika srazmerna je vektoru jačine električnog polja E u toj tački. Taj se odnos može prikazati izrazom:

$$J = \sigma \cdot E$$

Koeficijent σ naziva se specifična provodnost, a njena jedinica je $\frac{A/V}{m}$, mada se najčešće koristi S/m (simens po metru).

Magnetsko polje

Magnetsko polje stvaraju naelektrisanja koja se kreću. To polje deluje silom na druga naelektrisanja, ali samo na ona koja se kreću. Sila F koja deluje na električno naelektrisanje q , koje se kreće brzinom v u polju magnetske indukcije B data je izrazom:

$$F = q \cdot v \times B$$

Osnovna jedinica za magnetsku indukciju (gustinu magnetskog fluksa)

može se izvesti iz gornje relacije i to je $N \cdot s/C \cdot m$. U SI sistemu ova jedinica se naziva tesla i obeležava se sa T .

Jedinica za jačinu magnetskog polja je A/m . Za linearne magnetske materijale veza vektora magnetske indukcije i vektora jačine magnetskog polja prikazana je relacijom:

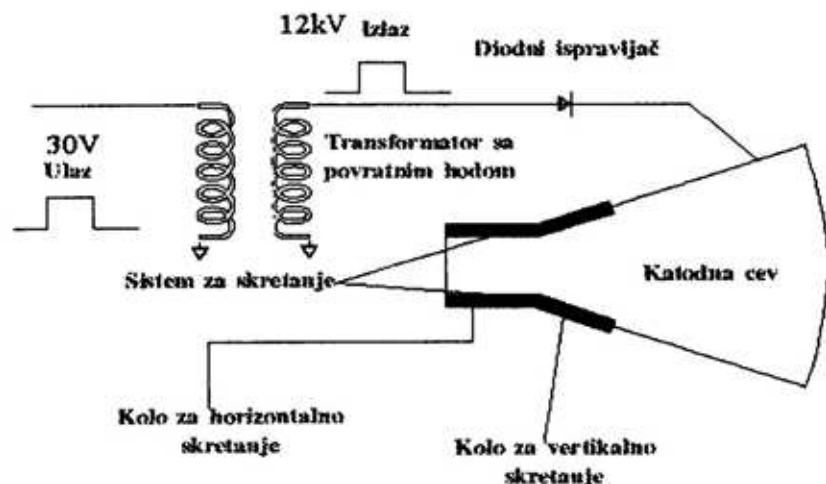
$$B = \mu \cdot H$$

Veličina μ naziva se magnetska permeabilnost sredine. Jedinica za magnetsku permeabilnost je N/A^2 , ali je uobičajeno da se koristi ekvivalentna jedinica H/m (henri po metru). Za većinu bioloških materijala magnetska permeabilnost jednaka je permeabilnosti vakuuma μ_0 ($\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} H/m$).

Teorijsku osnovu za sve klasične teorije o elektromagnetskim poljima predstavljaju tzv. Maksvelove jednačine, koje su sveobuhvatne, ali i teško rešive za složene sisteme kao što su biološka tela [4].

Princip rada video displej terminala

Katodna cev (CRT – cathode ray tube), koja jednim svojim krajem formira ekran, obično funkcioniše pri visokim naponima i to između 11 kV i 18 kV za crnobeke ili monohromatske jedinice. Mnogo viši naponi (preko 25 kV) prisutni su kod jedinica u boji. Katodna cev oslobađa elektrone koji se ubrzavaju ka ekranu. Slika na ekranu VDT nastaje projektovanjem elektronskih snopova koji se po ekranu pomeraju po horizontalnoj ili vertikalnoj osi. Ovo horizontalno i vertikalno skeniranje kontrolisano je pomoću kalemova za horizontalno i vertikalno skretanje, tako da svaki put kada se snop kreće preko ekrana na odgovarajući način



Sl. 2 – Presek video displej terminala

se pomera pomoću deflekcionijskih kaleмова za horizontalno i vertikalno skretanje. Veoma niske frekvencije potiču od struje u kalemu za vertikalno skretanje i javljaju se na izlazu transformatora sa povratnim hodom, tj. povratnom spregom – flyback transformator (slika 2). VLF električna i magnetska polja VDT ne razlikuju se sa prednje strane televizijskog ekrana [3, 5].

Opis merenja i rezultati

Izvršeno je merenje E i M polja VLF opsega oko 42 tipa VDT. VLF EM polja merena su tako što su posebno merena električna, a posebno magnetska polja, tj. gustina magnetskog fluksa – magnetska indukcija.

E polje i gustina M fluksa VLF mereno je na udaljenosti 30 cm od centra ekrana i na 5 cm iznad i bočno od spoljašnjih površina VDT. U normalnom radnom položaju rukovalac VDT je udaljen više od 30 cm od ekrana, ali se merilo u uslovima najmanjeg rastojanja.

Merenje je obavljeno instrumentom HI-3603 VDT/VLF Survey Meter, firme Holaday Industries, Inc., SAD. Instrument ima približno ravan odziv i meri efektivnu vrednost jačine E polja u opsegu 2 do 300 kHz, tj. gustine magnetskog fluksa u opsegu od 8 do 3000 kHz. Pri merenju jačine električnog polja sonda instrumenta je držana paralelno ravni ekrana, a upotrebom odstoynika obezbeđeno je da sonda bude udaljena 30 cm od ekrana. Pri merenju magnetske indukcije sonda instrumenta je držana u ravni normalnoj na površinu ekrana, a odstoynici su obezbedili da centar sonde bude udaljen 30 cm od ekrana. Linije sila električnog i magnetskog polja prikazane su na slici 3.

Rezultati merenja na 30 cm od ekrana dati su u tabeli 1, a zatim i na slikama 4 i 5.

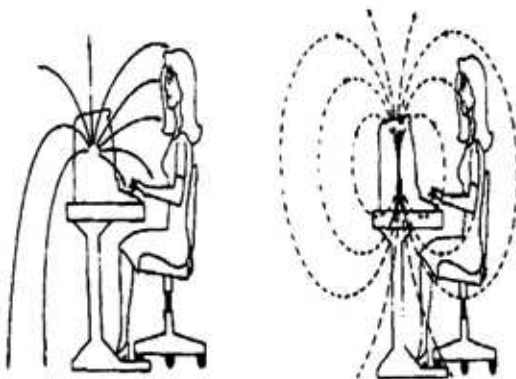
Karakteristika mernog uređaja jeste da posebno meri E polje, a posebno gustinu magnetskog fluksa. Frekventni odziv sonde pokriva frekventni opseg spektra zračenja od VDT [6].

Tabela 1

Rezultati merenja gustine magnetskog fluksa i jačine električnog polja

Redni broj terminala	B(nT)	E(V/m)
1	50	2,5
2	5	2,0
3	50	1,5
4	28	3,5
5	47	0,2
6	56	0,1
7	52	0,2
8	97	0,4
9	100	0,3
10	73	0,4
11	16	0,6
12	61	1,5
13	15	0,5
14	36	2,5
15	210	1,5
16	230	6,0
17	110	0,1
18	35	2,0
19	7	2,0
20	120	2,0
21	41	1,0
22	36	2,0
23	9	1,5
24	144	2,0
25	86	5,0
26	90	4,0
27	120	3,0
28	85	3,0
29	160	5,0
30	155	3,0
31	17	4,0
32	210	2,0
33	36	1,5
34	75	4,7
35	39	2,2
36	130	5,0
37	68	0,2
38	62	0,2

Redni broj terminala	B(nT)	E(V/m)
39	54	0,2
40	50	0,2
41	91	0,2
42	18	0,4



Sl. 3 - Linije sila E i M polja

Rezultati merenja upoređeni su sa međunarodnim preporukama i standardima. Za normativne vrednosti korišćene su referentne (gornje dozvoljene) vrednosti iz preporuka Međunarodne komisije za zaštitu od nejonizujućeg zračenja (IC-NIRP) iz 1998. godine, čiji je izvod dat u tabeli 2 [7].

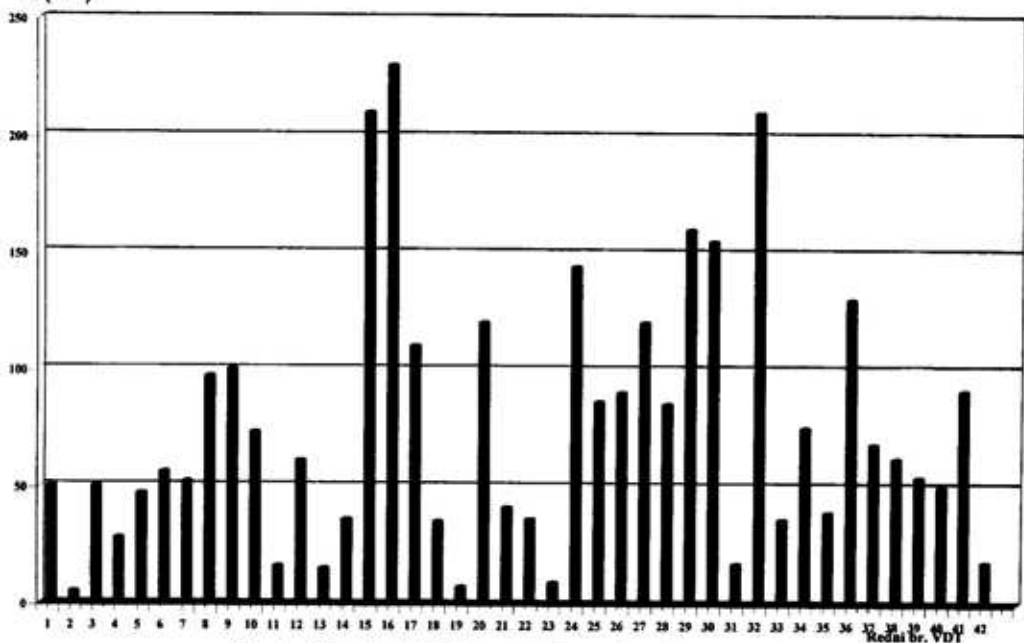
Iz tabele 1 vidi se da su se rezultati merenja gustine M fluksa kretali od 5 nT do 210 nT, a rezultati merenja jačine E polja od 0,1 V/m do 6,0 V/m.

Na rastojanju 5 cm od gornjih i bočnih površina terminala izmerene vrednosti su se kretale od 0,3 V/m do 1150 V/m za jačinu E polja, a za gustinu M fluksa od 18 nT do 2000 nT.

Analiza rezultata i zaključak

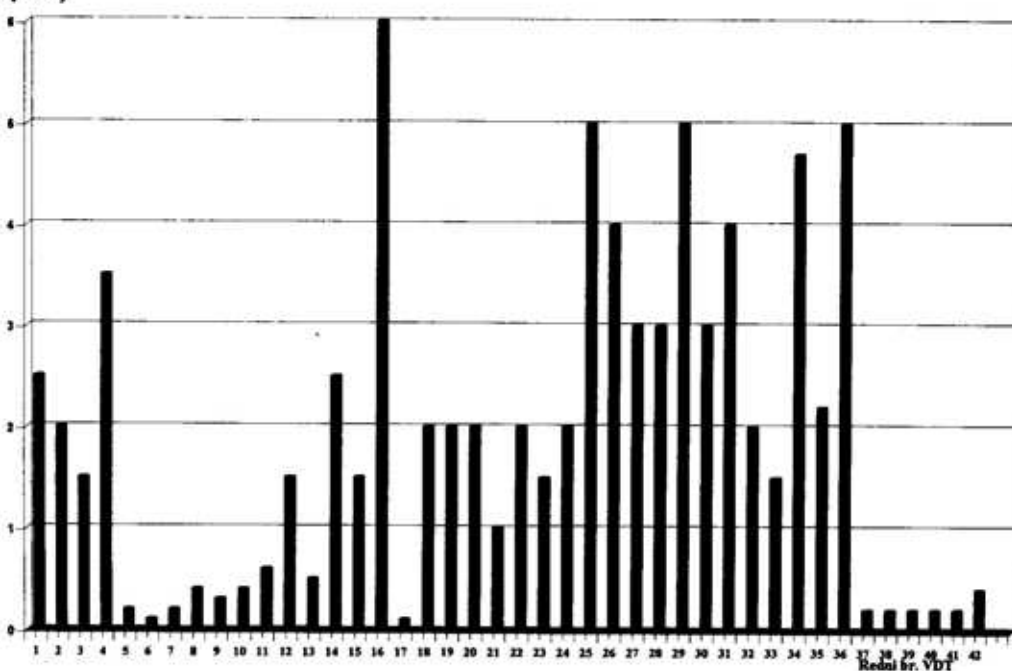
Poređenjem dobijenih rezultata i normativnih vrednosti iz tabele 2 može se uočiti da izmerene jačine E polja (od

B(nT)



Sl. 4 – Gustina M fluksa na 30 cm ispred terminala

E(V/m)



Sl. 5 – Jačina E polja na 30 cm ispred terminala

Tabela 2

Izvod iz preporuka ICNIRP

Frekventni opseg	Jačina E polja (V/m)		M indukcija (μT)	
	prof.	opšta pop.	prof.	opšta pop.
do 1 Hz	–	–	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^4$
1–8 Hz	20000	10000	$2 \cdot 10^5/f^2$	$4 \cdot 10^4/f^2$
8–25 Hz	20000	10000	$2,5 \cdot 10^4/f$	$5000/f$
0,025–0,82 kHz	500/f	250/f	25/f	5/f
0,82–65 kHz	610	250/f	30,7	6,25
0,065–1 MHz	610	87	2,0/f	6,25

0,1 V/m do 6 V/m) i gustine M fluksa (od 5 nT do 210 nT) na 30 cm od ekrana ne prelaze dopuštene vrednosti za profesionalnu izloženost (za jačinu E polja je 610 V/m, a za gustinu M fluksa 30 700 nT) i za izlaganje opšte populacije (za jačinu E polja je 87 V/m, a za gustinu M fluksa je 6250 nT) [7].

Na rastojanju 5 cm od bočnih i gornjih površina terminala izmerena jačina E polja samo na jednom terminalu (i to na 5 cm od gornje površine) prelazi granicu za profesionalnu izloženost, dok kod 13 terminala ovo polje premašuje i dopuštenu vrednost za izlaganje opšte populacije. Izloženost na ovim mernim mestima je povremena i javlja se u kratkom intervalu. Izmerene vrednosti gustine M fluksa, na istom rastojanju, ne prelaze normativne vrednosti za profesionalnu izloženost i za izlaganje opšte populacije.

Može se konstatovati da EM polja opadaju sa povećanjem rastojanja i da se treba udaljiti od zadnje i bočnih strana VDT. Neki stručnjaci smatraju da druga radna mesta oko VDT treba da budu udaljena najmanje 1 m od zadnje i bočnih strana VDT. Činjenica je i da monohromatski ekrani proizvode slabija polja od ekrana u boji, a da veličina polja ne zavisi

od veličine ekrana (tj. dužine njegove dijagonale) već od unutrašnjeg dizajna kalemova, kao i karakteristika električnih komponenti.

Električna polja mogu se efikasno umanjiti korišćenjem elektrostatičkih oklopa od provodnog materijala (bakar ili aluminijum). Potrebno je da se linije električnog polja završavaju na oklopu umesto da protiču kroz prostor koji treba da se zaštiti. Čak i jednostavan metalni štit spojen sa nultim potencijalom daje dobru zaštitu.

Međutim, magnetska polja ELF i VLF opsega nije lako eliminisati. Nisko-frekventna magnetna polja lako prolaze kroz sloj aluminijuma, bakra ili čelika, a da pri tome dolazi do malog slabljenja polja. Tako se došlo na ideju o zaštitnom omotaču, tj. barijeri napravljenoj od tzv. Mu metala. Ova barijera se postavlja oko kalemova za skretanje snopa i flyback transformatora – transformatora sa povratnom spregom, a unutar VDT. Mu metal predstavlja leguru od nikla, gvožđa i drugih provodnih materijala koji se odlikuju dobrom magnetskom permeabilnošću. Svakako da zastupljenost elementa u sastavu legure određuje konačne karakteristike Mu metala, potrebnu debljinu ili postupak proizvodnje. Veoma je bitno da se barijera od Mu metala postavi na odgovarajući način. Važno je istaći da neadekvatna ugradnja ove barijere može dovesti do iskrivljenja slike, a ponekad može doći čak i do povećanja polja umesto do njegovog smanjenja. Zbog toga ove barijere treba da postavljaju stručna lica koja su za to obučena. Oblik barijere zavisi od tipa VDT i ponekad je potrebno mnogo vremena da bi se eksperimentalno odredila optimalna konfiguracija. Pri nestručnoj instalaciji barijere kod ekrana sa

katodnom cevi može doći i do povređiva-
nja ljudi, tj. postoji opasnost od električ-
nog udara, jer je u okruženju prisutan
visoki napon.

Neki proizvođači krenuli su drugim
putem, tj. modifikovali su svoje VDT
tako da proizvode slabija magnetska po-
lja, što su postigli postavljanjem kompen-
zacijskih kalemova oko kalemova za skre-
tanje snopa elektrona, tako da se javlja
suprotno magnetsko polje. Kada se dva
suprotna polja susretu eliminiše se naj-
veći deo zračenja. Ovi tzv. low radiation
VDT, takođe, mogu u sebi imati ekstra-
motače oko flyback transformatora i si-
stema za skretanje [3, 8–10].

Može se zaključiti da E i M polja na
mestu rukovaoca-operatora, pri radu sa
ispitivanim VDT, ne prelaze dopuštene
vrednosti.

Literatura:

- [1] Lim SY, Santer SL, Schnorr TM. Occupational Health Aspects of Work With Video Display Terminals. Environmental and Occupational Medicine. Third edition. Philadelphia: Lippincott-Raven publishers; 1998.
- [2] Harrington JM, Gardiner K. Occupational Hygiene. Second edition. Oxford: Blackwell Science; 1995.
- [3] U.S. Department of Health and Human Services. NIOSH Publications on Video Display Terminals, Cincinnati, Ohio: NIOSH; 1999.
- [4] Clayton RP, Keith WW, Syed AN. Introduction to electro-magnetic fields. Third edition. Cambridge: WCB/McGraw-Hills; 1998.
- [5] Visual Display Terminals and Workers' Health. WHO offset publication No 99. Geneva: World Health Organization; 1987.
- [6] HI-3603 VDT/VLF Survey Meter User's Manual, Holaday Ind. Inc., Minesota, 1992.
- [7] ICNIRP Guidelines. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields – up to 300 GHz. Health Phys 1998; 74 (4):494–521.
- [8] Kirsner RS, Miami MD, Federman DG. Video Display Terminals: Risk of Electromagnetic Radiation. 1998; <http://www.sma.org/jansmj98/text.htm>
- [9] Occupational Safety and Health Administration. Working Safely with Video Display Terminals. Volume 3092. Washington: OSHA; 1997.
- [10] Occupational Safety and Health Administration. Health & Safety Guidelines for Video Display Terminals in the Workplace, Oregon: OSHA; 1998.