

Dejan D. Krstić

**ELEKTROMAGNETNA ZRAČENJA U
ŽIVOTNOJ SREDINI**

Niš, 2020. god.

Autor
dr Dejan D. Krstić,
Fakultet zaštite na radu, Niš

Naslov
ELEKTROMAGNETNA ZRAČENJA U ŽIVOTNOJ SREDINI

Prvo izdanje, Niš, 2020.

Izdavač
Fakultet zaštite na radu, Niš
18000 Niš, Černojevića 10a

Za izdavača
Dekan fakulteta, profesor dr Momir Prašćević

Recenzenti
Profesor dr Dejan Petković,
Fakultet zaštite na radu, Niš
Profesor dr Vera Markoivić,
Elektronski fakultet, Niš

Odlukom Naučno-nastavnog veća Fakulteta zaštite na radu u Nišu, odluka br. 03-52/10 od 17.01.2020. god, kvalifikovano kao osnovni udžbenik

Tehnička obrada
Autori

Korice
Rodoljub Avramović

Štampa
Unigraf X-copy, Niš

Tiraž
100 primeraka

ISBN 97-86-6093-093-6

CIP- Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije

537.531(075.8)
614.87:537.531(075.8)

КРСТИЋ, Дејан, 1969-

Elektromagnetna zračenja u životnoj sredini / Dejan D. Krstić. - 1. izd. - Niš : Fakultet zaštite na radu, 2020 (Niš : Unigraf X-copy). - 340 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 100. - Napomene i bibliografske reference uz tekst. - Bibliografija: str. 317-325. - Registar.

ISBN 978-86-6093-093-6

a) Електромагнетско зрачење

COBISS.SR-ID 283118604

PREDGOVOR

Zaštita života i zdravlja ljudi kao i životne sredine od štetnog delovanja nejonizujućeg zračenja jedna je od važnijih aktivnosti države. Zakonom o zaštiti od nejonizujućeg zračenja i podzakonskim aktima Republika Srbija je definisala izlaganja nejonizujućeg zračenja, odnosno bazična ograničenja i referentne granične nivoe izlaganja stanovništva električnim, magnetskim i elektromagnetnim poljima različitih frekvencija. Analizirajući i upoređujući standarde usvojene u različitim državama može se zaključiti da postoje velike razlike u usvojenim vrednostima graničnih dozvoljenih nivoa. Da li je jedan Amerikanac višestruko otporniji na dejstvo zračenja od jednog Grka ili Belgijanca? Jedini zaključak je da savremeni standardi nisu obuhvatili i uzeli u obzir sva biološka istraživanja i da je i dalje jak uticaj proizvođača tehničkih i telekomunikacionih uređaja na državne organe u fazi definisanja standarda. Dosadašnja istraživanja su pokazala zabrinutost oko uticaja nejonizujućeg zračenja na zdravlje ljudi koje se prvenstveno zasniva na brojnim epidemiološkim studijama. Takve studije sve više nalaze vezu između oboljenja i određenih karakteristika izvora, njima pridruženih talasa i prosečnih vrednosti elektromagnetnih polja u urbanom čovekovom okruženju.

Rezultati mogu ukazati samo na verovatan uzročnik (npr. nejonizujuće zračenje) pošto postoji mnogo uzročnika koji se mogu uticati na zdravlje pojedine osobe i otežati zaključivanje u istraživanju. Pri tome treba imati u vidu da epidemiolozi ne stvaraju polja nejonizujućeg zračenja u kojima se nalaze ispitni uzorak, niti mogu da kontrolišu uzroke oboljenja na način kako to čine istraživači u laboratorijama. Zbog toga je na istraživačima da pravilnom postavkom istraživanja obuhvate najveći broj mogućih faktora koji kod savremenog čoveka mogu ugroziti zdravlje, a za to im indikacije i dobar izbor parametara i faktora uticaja mogu dati istraživači koji rade na ćelijskim kulturama *in vivo* i *in vitro* eksperimentima. Sve u svemu savremena medicinska istraživanja su multidisciplinarna i uključuju istraživače koji se bave i fizikom polja i tehnologijom uređaja, preko biologa, biohemičara, lekara raznih specijalnosti pa do sociologa i psihologa.

Život u uslovima nepoznavanja ili delimičnog poznavanja svih faktora štetnosti kojima se okružio savremeni čovek i koji imaju negativan uticaja na život i zdravlje razumno preporučuje mere predostrožnosti i zaštite u cilju boljeg, kvalitetnijeg i sigurnijeg načina života. Zadnjih nekoliko godina povećalo se interesovanje za uticaj nejonizujućih elektromagnetnih polja na zdravlje čoveka pa je i napredak nauke evidentan kroz hiljade objavljenih novih naučnih radova koji polako osvetljavaju tamna mesta čovekovog poimanja života i zdravlja.

Živimo u svetu vrlo brzih tehnoloških promena. Mnogi uređaji koji proizvode elektromagnetna polja dolaze na tržište bez dovoljne prethodne kontrole uticaja na životnu sredinu. Razlog tome je težnja proizvođača da se što pre proizvod ponudi tržištu i omogući komercijalizacija zbog trke sa konkurencijom i težnje za što većim profitom.

S druge strane, u principu je nemoguće naučno dokazati nepostojanje negativnih učinaka nekog proizvoda. Naime, neki učinci mogu biti kumulativni, tj. njihovo postojanje se

može otkriti tek nakon dužeg vremenskog perioda. Osim toga, mnoga istraživanja daju statističke rezultate koji dobivaju na težini tek povećanjem broja uzoraka i ponavljanjem. Naučna zajednica treba da ima ključnu ulogu u informisanju stanovništva i birokratskih struktura koje donose zakone o graničnim vrednostima izlaganja elektromagnetnog polja. Često dolazi do sukoba interesa jer istraživanja u ovom području dobrim delom financiraju velike firme čiji proizvodi su izvor elektromagnetnog polja.

Pored svih negativnih uticaja, ne treba zaboraviti i pozitivna korisna dejstva i učinke nejonizujućih elektromagnetnih polja. Elektromagnetna polja i talasi različitih frekvencija i karakteristika se danas široko primenjuju u stomatologiji, lečenju čira i probavnih smetnji, kardiovaskularnih bolesti, neuroloških poremećaja i dr. Elektromagnetna polja izazivaju sintezu proteina stresa što se može iskoristiti u dijagnostičke i čak terapijske svrhe. Zanimljiva je i primena elektromagnetnog polja u elektrohemoterapiji i genskoj terapiji. Elektromagnetna polja se koriste kod lečenja rana i zarastanja kostiju. Poznato je da jednosmerne struje mogu izazvati smanjenje tumora. Različita elektromagnetna polja mogu značajno ubrzati regeneraciju perifernih živaca. Takođe se koristi i kod lečenja hroničnih rana. Time se ubrzava zarastanje rana i smanjuju troškovi lečenja.

Svakim danom sa kojim bolje odgonetamo uticaj i mehanizme delovanja elektromagnetnih polja na biološke subjekte smo bliže korišćenju ovih saznanja u poboljšanju kvaliteta čovekovog života.

LITERATURA

- [1]. D. Petković, D. Krstić, Elektrostatika, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Niš, 2005.
- [2] F. Barnes, B. Greenebaum, Handbook Of Biological Effects Of Electromagnetic Fields. *Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields*, III ed., CRC Press, 2007.
- [3] D. M. Veličković, *Elektromagnetika - prva sveska*. Elektronski fakultet, Niš, 1999.
- [4] D. Petković, D. Krstić, V. Stanković, Elektromagnetni talasi i zračenje, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Niš, 2008.
- [5] D. Petković, D. Krstić, V. Stanković, Stacionarno električno polje i jednosmerna struja. Fakultet zaštite na radu u Nišu, Niš, 2010
- [6] D. J. Veličković, *Elektromagnetna zračenja*. Urednik D. Krstić, Punta, Niš, 1998.
- [7] Dejan Krstić, Uticaj elektromagnetnih zračenja reda GHz na biološko tkivo, doktorska disertacija, Fakultet zaštite na radu u Nišu, april 2010.
- [8] Carlo Rovelli, *Seven Brief Lessons on Physics*, Adelphi Edizioni S.p.A., Milano, 2014.
- [9] FOTI, Privredno društvo za upavljanje rizicima od električnog polja, <http://www.foti.co.rs/>, Available June 1, 2016].
- [10] Wikipedia, Electromagnetic radiation, Available at https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation
- [11] IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans / Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields, Volume 80, ISBN 978-92-832-1280-5, 2002.
- [12] Hansson Mild i sar., Hansson Mild, K., Berglund, A. & Forsgren, P.G. (1991) [Reducing 50 Hz magnetic fields from a built-in transformer station.] (Undersökningsrapport 24), Umeå, Arbetsmiljöinstitutet
- [13] Polk, C. & Postow, E., eds (1995) *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*, 2nd Ed., New York, CRC Press
- [14] Portier, C.J. & Wolfe, M.D., eds (1998) *Assessment of Health Effects from Exposure to Power-line Frequency Electric and Magnetic Fields*, NIEHS Working Group Report (NIH Publication No. 98-3981), Research Triangle Park, National Institute of Environmental Health Sciences
- [15] Stuchly, M.A. & Lecuyer, D.W. (1989) Exposure to electromagnetic fields in arc welding. *Health Phys.*, 56, 297–302
- [16] Pravilnik o elektromagnetnoj kompatibilnosti, ("Sl. glasnik RS", br. 13/2010).
- [17] Antonije R. Đorđević, Dragan I. Olčan, Ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2012.
- [18] Vera Markovic, Dejan Krstić, Darko Zigar, Dejan Petković, "Modelovanje prodrlih elektromagnetnih polja od telekomunikacionih sistema i njihov uticaj na bioloske sisteme", 29. simpozijum o novim tehnologijama u postanskom i telekomunikacionom saobraćaju - PosTel 2011, 2011, pp. 259-268.
- [19] M.V. Chari, S.J. Salon, *Numerical Method in Electromagnetism*, Academi Press, 2000, California, USA.
- [20] F.GuStrau, D. Manteuffel, *EM Modeling of Antennas and RF Components for Wireless Communication Systems*, Springer -Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

-
-
- [21] K. Kunz and R. Luebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, 1993, CRC Press.
- [22] D. Krstić "The influence of electromagnetic radiation in GHz bend on biological tissue"; in Serbian. [PhD thesis], Niš: University of Niš, Faculty of Occupational Safety, April 2010.
- [23] T. Weiland, "Time domain electromagnetic field computation with finite difference methods". *International Journal of Numerical Modeling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 9:259-319, 1996.
- [24] FDTD Method, Available at <http://www.remcom.com/xf7-fdtd-method/>
- [25] Visible Human Project, U.S. National Library of Medicine, National Institutes of Health, Available at: <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/applications.html>
- [26] D. Krstić, D. Zigar, D. Sokolović, at all, "The study of biological effects of electromagnetic mobile phone radiation on experimental animals by combining numerical modeling and experimental research", *Microwave review*, Vol. 18 (2), pp. 9-16, 2012.
- [27] National Radiological Protection Board, "Advice on Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0-300GHz)", Vol. 15(2), 2004.
- [28] <http://www.foti.co.rs/>
- [29] <http://www.kathrein.de/en>
- [30] K. Foster, J. Schepps, H. Schwan, "Microwave dielectric relaxation in muscle", *Biophys. J.*, 29:271-281, 1980.
- [31] E. Jordan, *Electromagnetic Waves and Radiating Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1950, p. 132.
- [32] A. Hizal, Y. Baykal, „Heat potential distribution in an inhomogeneous spherical model of a cranial structure exposed to microwaves due to loop or dipole antennas,“ *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 26, pp. 607-612, Aug. 1978.
- [33] A. Niess, H. Dickhuth, H. Northoff, E. Fehrenbach, „Free radicals and oxidative stress in exercise: immunological aspects“. *Exerc Immunol Rev*;5: 22-56, 1999.
- [34] A. Shapiro, R. Lutomirski, H. Yura, „Induced fields and heating within a cranial structure irradiated by an electromagnetic plane wave,“ *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 19, pp. 187-196, Feb. 1971.
- [35] A. Sheppard, „Magnetic field interactions in man and other mammals: an overview, in Magnetic Field Effect on Biological Systems, Tenforde,“ T. S., Ed., *Plenum Press*, New York, p. 33, 1979.
- [36] Z. Friedenberg, M. Harlow, C. Brighton, „Healing of non-union of the medial malleolus by means of direct current,“ *J. Trauma*; 11: 8831, 1971.
- [37] C. Bassett, „Biological significance of piezoelectricity,“ *Calc. Tiss. Res.* ; 1: 252, 1968.
- [38] S. Orfanidis. *Electromagnetic Waves and Antennas*. www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa, ECE Department Rutgers University, 2008.
- [39] A. Rosen, "Microwave applications in cancer therapy, cardiology and measurement techniques: A short overview," *IEEE MTT-S Newslett.*, pp. 1720, Fall 1990.
- [40] NICT, Research on technology to evaluate compliance with RF protection guidelines, <http://emc.nict.go.jp/bio/phantom>
- [41] A. Guy, J. Lehman, J. Stonebridge, „Therapeutic applications of electromagnetic power,“ *Proc. IEEE*, vol. 62, pp. 5575, 1974.

- [42] A. Manolis, P. Wang, N. Estes, "Radio frequency catheter ablation for cardiac tachyarrhythmias," *Annu. Int. Med.*, vol. 121, no. 6, pp. 452-461, Sept. 1994.
- [43] K. Stangel, S. Kolnsberg, D. Hammerschmidt, B. Hosticka, H. Trieu, W. Mokwa, "A programmable intraocular CMOS pressure sensor system implant," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 36, no. 7, pp. 1094-1100, July 2001.
- [44] K. Takahata, A. DeHennis, K. Wise, Y. Gianchandani, "A wireless microsensor for monitoring flow and pressure in a blood vessel utilizing a dual-inductor antenna stent and two pressure sensors," *Proc. 17th IEEE Int. Conf. Microelectromechanical Systems (MEMS)*, Jan. 2529, pp. 216-219, 2004.
- [45] O. Akar, T. Akin, K. Najafi, "A wireless batch sealed absolute capacitive pressure sensor," *Sens. Actuator A*, vol. 95, pp. 2938, 2001.
- [46] I. Belyaev, V. Shcheglov, E. Alipov, V. Ushakov, "Non-thermal effects of extremely high frequency microwaves on chromatin conformation in cells in vitro: dependence on physical, physiological and genetic factors," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, pp. 2172-2179, 2000.
- [47] IEEE, "Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio frequency Electromagnetic fields," *IEEE Standard C 95.1-1991*, 1999.
- [48] S. Roy, L. Ferrara, A. Fleischman, E. Benzel, "Microelectromechanical systems and neurosurgery: a new era in a new millennium," *Neurosurgery*, vol. 49, pp. 779, 2001.
- [49] E. Bormusov, U. P. Andley, N. Sharon, et al., "Non-Thermal Electromagnetic Radiation Damage to Lens Epithelium" *Open Ophthalmology Journal*, Vol 2, pp.102-106, 2008.
- [50] Italian National Research Council - Institute for Applied Physics "Calculation of the Dielectric Properties of Body Tissues in the frequency range 10 Hz - 100 GHz", Available at: <http://nirEMP.ifac.cnr.it/tissprop/htmlclie/htmlclie.htm>.
- [51] H. Bruns, H. Singer, T. Mader, "Field distributions of a hand-held transmitter due to the influence of the human body," in *Proceedings of the 9th Symposium on electromagnetic compatibility*, (Zurich, Switzerland), pp. 10-14, 1993.
- [52] A. Pilla, R. Schmukler, J. Kaufman, G. Rein, "Electromagnetic modulation of biological processes: consideration of cell-waveform interaction," in *Interactions between Electromagnetic Fields and Cells*, A Chiabrera, C Nicolini, HP Schwan (eds.) Plenum Press, NY, 1985; 423-436.
- [53] A. Taflove, "Advances in Computational Electrodynamics: The Finite Difference Time Domain Method," *Artech House*, 1998.
- [54] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, electromagnetic fields (up to 300 GHz)-ICNIRP guidelines," *Health Phys.*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, 1998.
- [55] K. Karimullah, K. Chen, D. Nyquist, "Electromagnetic coupling between a thin-wire antenna and a neighboring biological body: Theory and experiment," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 28, pp. 1218-1225, Nov. 1980.
- [56] U.S. National Library of Medicine, National Institute of Health, "The Visible Human Project," http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html, July 2005.
- [57] S. Zivanovic, K. Yee, K. Mei, "A subgridding algorithm for the time domain finite-difference method to solve Maxwell's equations," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 38, pp. 471-479, Mar. 1991.
- [58] K. Umashankar, A. Taflove, S. Rao, "Electromagnetic scattering by arbitrary shaped three-dimensional homogeneous lossy dielectric objects," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 34, pp. 758-766, June 1986.

-
-
- [59] C. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- [60] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), *Health physics* 74(4):494-522;1998.
- [61] Pravilnik o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad pri izlaganju elektromagnnetnom polju, „Službeni glasnik RS“, 117/12.
- [62] A. Agarwal, F. Deepinder, R.K. Sharma, G. Ranga, J. Li. “Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study”, *Fertil Steril*. 2008;89(1):124-8.
- [63] IEEE, „IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques,“ *IEEE Std*. 1528-2003, 2003.
- [64] M. Kanda, et al, „Formulation and Characterization of Tissue Equivalent Liquids Used for RF Densitometry and Dosimetry Measurements,“ *IEEE Trans, on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 52, No. 8, pp. 2046-2056, 2004.
- [65] A. Guy, „Analyses of Electromagnetic Fields Induced in Biological Tissues by Thermographic Studies on Equivalent Phantom Models,“ *IEEE Trans, on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 19, No. 2, pp. 205-214, 1968.
- [66] K. Ito, et al, „Development and Characteristics of a Biological Tissue-Equivalent Phantom for Microwaves,“ *Electron. Commun. Jpn. Pt. I-Commun.*, Vol. 84, No. 4, pp. 67-77, 2001.
- [67] S. Neuder, „A finite element technique for calculating induced internal fields and power deposition in biological media of complex irregular geometry exposed to olanewave electromagnetic radiation,“ in *Proc of Symposium on Biological E. ects and Measurements of Radio Frequency/Micromaves*, (Rockville, MD, USA), pp. 170-190, Feb 1977.
- [68] R. McIntosh, R. McKenzie, A. Carratelli, „The Numerical Evaluation of a SAR Measurement Phantom at the Telstra Research Laboratories,“ *Workshop on Applications of Radio Science (WARS) conference WARS'02*, in Leura, NSW, Australia, Feb 2002.
- [69] T. Kobayashi, et al, „Dry Phantom Composed of Ceramics and Its Application to SAR Estimation,“ *IEEE Trans, on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 41, No. 1, pp. 136-140, January 1993.
- [70] H. Chuang, „Numerical computation of fat layer effects on microwave near-field radiation to the abdomen of a full-scale human body model,“ *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 45, pp. 118-125, Jan. 1997.
- [71] J. Wang, O. Fujiwara, „Comparison and evaluation of electromagnetic absorption characteristics in realistic human head models of adult and children for 900 MHz mobile telephones,“ *IEEE Trans. Microw. Theory Teach*, vol. 51, pp 996-971, 2003.
- [72] J. Wang. *Generalized Moment Methods in Electromagnetics*. Wiley, 1991.
- [73] H. Tamura, et al, „A Dry Phantom Material Composed of Ceramic and Graphite Pow-der,“ *IEEE Trans, on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 39, No. 2, pp. 132-137, May 1997.
- [74] J. Chang, et al, „A Conductive Plastic for Simulating Biological Tissue at Microwave Frequencies,“ *IEEE Trans, on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 42, No. 1, pp. 76-81, 2000.
- [75] H. Schwan, „History of the genesis and development of the study of low energy electromagnetic fields,“ in *Biological Effects and Dosimetry of Non-Ionizing Radiation*, M. Grandolfo, S. Michaelson, A. Rindi, New York: Plenum, pp. 1-17, 1981.

- [76] K. Ogawa, et al, „A High-Precision Real Human Phantom for EM Evaluation of Handheld Terminals in a Talk Situation,“ *Proc. Int. IEEE Antennas and Propagation Symp.*, Vol. 2, pp. 68-71, July 2001.
- [77] H. Hall, P. Chadwick, „Assessment of SAR from In-Vehicle Radio Devices Using a Novel Measurement System,“ *Proc. Joint Meeting of Bioelectromagnetics Society and the European Bioelectromagnetics Association*, (CD-ROM), Dublin, Ireland, June 19-24, 2005, 10-1, pp. 89-90.
- [78] P. Hall, Y. Hao. *Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications*. Artech House, 2006.
- [79] Y. Okano, et al, „The SAR Evaluation Method by a Combination of Thermographic Experiments and Biological Tissue-Equivalent Phantoms,“ *IEEE Trans, on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 48, No. 11, 1996, pp. 2094-2103, 2000.
- [80] R. Holland, L. Simpson, K. Kunz, „Finite-difference analysis of EMP coupling to lossy dielectric structures,“ *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 22, pp. 203-209, Aug. 1980.
- [81] R. Ishido, et al, „A Study on the Solid Phantoms for 3-6 GHz and Evaluation of SAR Distributions Based on the Thermographic Method,“ *Proc. 2004 Int. Symp. Electromagnetic Compatibility, EMC'04*, Sendai, Japan, Vol. 3, B3-2, pp. 577-580, June 2004.
- [82] World Health Organization, "Electromagnetic Fields" (300Hz to 300 GHz), Geneva: WHO, 1993.
- [83] J. Lin, „Safety Standards for Human Exposure to Radio Frequency Radiation and their Biological Rationale,“ *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 4., pp. 22-26, December 2003.
- [84] D. Krstić, V. Marković, N. Nikolić, B. Đindjić, S. Radić, D. Petković, M. Marković, „Biološki efekti zračenja bežičnih komunikacionih sistema,“ *Acta Medica Medianae*, Vol. 43, No 4, UDK 61, YU ISSN 0365-4478, pp. 55-63, Oktobar 2004.
- [85] J. Lin, „Evaluating Scientific Literature on Biological Effects of Microwave Radiation,“ *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 5., pp. 34-37, March 2004.
- [86] CENELEC, „Consideration for Evaluation of Human Exposure to Electromagnetic Fields (EMP's) from Mobile Telecommunication Equipment (MTE) in the Frequency Range 30 MHz-6 GHz,“ *CENELEC Standard ES 59005*. Oct. 1998.
- [87] B. Hartmut, „Computation of Electromagnetic Fields using Integral Methods,“ *International PhD-seminar Computation of Electromagnetic Fields*, Budva / Serbia & Montenegro, 23-28 September 2004.
- [88] Y. Nikawa, M. Chino, K. Kikuchi, „Soft and Dry Phantom Modeling Material Using Silicone Rubber with Carbon Fiber,“ *IEEE Trans, on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 44, No. 10, Part 2, pp. 1949-1952, 1996.
- [89] AARONIA AG, *Spectran manual*, 2005.
- [90] ANSI „Safety Level with respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 300 kHz to 100 GHz,“ *ANSI Standard C95.1-1982*, 1982.
- [91] ARRL, „RF Radiation and Electromagnetic Field Safety,“ *Handbook for Radio Amateurs*. EPI1980, 1996.
- [92] G. Mur, „Absorbing boundary conditions for the finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic field equations,“ *IEEE Trans. Electromag. Compat*, vol. EMC-23, pp. 377-382, Nov. 1981.
- [93] K. Aberegg, A. Taguchi, A. Peterson, „Application of higher-order vector basis functions to surface integral equation formulations,“ *Radio Science*, vol. 31, pp. 1207-1213, Sept. 1996.

-
- [94] F. Gustrau, D. Manteuffel, *EM Modeling of Antennas and RF Components for Wireless Communication systems*. Springer, 2006.
- [95] C. Durney, H. Massoudi, M. Iskander, *Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook*,“ Brooks Air Force Base-USAFSAM-TR-85-73, 1986.
- [96] K. Foster, H. Schwan, „Dielectric Properties of Tissues and Biological Materials: A Critical Review,“ *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, Vol. 17, No, 1, pp. 25-104, 1989.
- [97] K. Foster, „Electromagnetic field effects and mechanisms“. *IEEE Eng Med Biol*;15: 50–55, 1995.
- [98] D. Petković, D. Krstić, V. Stanković, „The Effect Of Electric Field On Humans In The Immediate Vicinity Of 110 kV Power Lines,“ *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection* Vol. 3, No 1, 2006, pp. 63 – 72.
- [99] <http://fluidproperties.nist.gov/cvht.html>
- [100] R. Higdor, „Absorbing boundary conditions for difference approximations to the multi-dimensional wave equations,“ *Math. Comp*, vol. 47, pp. 437-459, 1986.
- [101] R. Graglia, „The use of parametric elements in the moment method solution of static and dynamic volume integral equations,“ *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 36, pp. 636-646, May 1988.
- [102] J. Reilly. Peripheral nerve stimulation by induced electric currents: exposure to timevarying magnetic fields. *Med Biol Eng Comp*; 3: 101–109, 1989.
- [103] T. Vaughan, J. Weaver, „Energetic constraints on the creation of cell membrane pores by magnetic particles“. *Biophys J*; 71: 515–522, 1995.
- [104] G. Margules, S. Doty, A. Pilla, „Impedance of Living Cell Membranes“ in the *Presence of Chemical Tissue Fixative. Adv. in Chem., A. C. S.*, 188:461-484, 1980.
- [105] L. Geddes, L. Barker, „The Specific Resistance of Biological Material A Compendium of Data for the Biomedical Engineer and Physiologist,“ *Medical and Biological Engineering*, Vol. 5, pp. 271-293, 1967.
- [106] M. Stuchly, S. Stuchly, „Dielectric Properties of Biological Substances tabulated,“ *Journal of Microwave Power*, vol. 15, pp. 19-26, 1980.
- [107] F. Duck, *Physical Properties of Tissue: A Comprehensive Reference Book*. New York: Academic Press, 1990.
- [108] S. Frank, B. Greenebaum. *Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields*. Third Edition, CRC Press, 2006.
- [109] C. Gabriel, „Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies,“ *Brooks Air Force Technical Report, AL/OE-TR-1996-0037*, 1996.
- [110] J. Behari, P. Rajamani, "*Electromagnetic Field Exposure Effects (ELF-EMP and RFR) on Fertility and Reproduction*," BioInitiative 2012, Sec. 18, pp.1-37, 2012.
- [111] C. Gabriel, T. Chan, E. Grant, „Admittance Models for Open-Ended Coaxial Probes and Their Place in Dielectric Spectroscopy,“ *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 39, No. 12, pp. 2183-2200, 1994.
- [112] I. Fejes, Z. Zavacki, J. Szollosi, J. Koloszar Daru, L. Kovacs, A. Pal, “*Is there a relationship between cell phone use and semen quality?*” *Arch Androl*. 2005;51, 385-393.
- [113] Baste V et al, “*Radiofrequency electromagnetic fields; male infertility and sex ratio of offspring*”,*Eur J Epidemiol* 23(5):369-77, 2008.

- [114] C. Rezazadeh, C. Gabriel, „Changes in the Dielectric Properties of Rat Tissue as a Function of Age at Microwave Frequencies,” *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 46, 2001, pp. 1617-1629.
- [115] T. Benson, C. Christopoulos, D. Thomas, J. Paul, S. Greedy, P. Sewell, D. McKirdy, A. Vuković, „General material models for electromagnetic field-tissue interaction,” *Mikrotalasna revija*, pp. 30-33, 2005.
- [116] N.P. Singh, R.E. Stephens, “X-ray induced DNA double strand breaks in human sperm”, *Mutagenesis*, 1998;13:75-79.
- [117] Zakon o zaštiti od nejonizujućeg zračenja (Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/2009).
- [118] Pravilnik o izvorima nejonizujućih zračenja od posebnog interesa, vrstama izvora, načinu i periodu njegovog ispitivanja (Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/09).
- [119] Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima (Službeni glasnik Republike Srbije, broj 104/2009).
- [120] Pravilnik o sadržini evidencije o izvorima nejonizujućih zračenja od posebnog interesa (Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/09).
- [121] Pravilnik o sadržini i izgledu obrasca izveštaja o sistemskom ispitivanju nivoa nejonizujućeg zračenja u životnoj sredini (Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/09).
- [122] Pravilnik o uslovima koje moraju da ispunjavaju pravna lica koja vrše poslove sistemskog ispitivanja nivoa nejonizujućeg zračenja, kao i način i metode sistemskog ispitivanja u životnoj sredini (Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/09).
- [123] Pravilnik o uslovima koje moraju da ispunjavaju pravna lica koja vrše poslove ispitivanja nivoa zračenja izvora nejonizujućih zračenja od posebnog interesa u životnoj sredini (Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/09).
- [124] R. Stam, “Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields),” Laboratory for Radiation Research, National Institute for Public Health and the Environment, May 2011, Netherlands.
- [125] Pravilnikom o preventivnim merama za bezbedan i zdrav rad pri izlaganju elektromagnetskom polju
- [126] Pravilnik o prethodnim i periodičnim lekarskim pregledima zaposlenih na radnim mestima sa povećanim rizikom, "Sl. glasnik RS", br. 120/2007, 93/2008 i 53/2017.
- [127] Jackson W. Massey, Cemil S. Geyik, Jungwook Choi, Hyun-Jae Lee, Natcha Techachainiran, Che-Lun Hsu¹, Robin Q. Nguyen, Trevor Latson, Madison Ball, and Ali E. Yilmaz, AustinMan Electromagnetic Voxel, Available at <http://web.corral.tacc.utexas.edu/AustinManEMVoxels>
- [128] J. W. Massey and A. E. Yilmaz, "AustinMan and AustinWoman: High-fidelity, anatomical voxel models developed from the VHP color images," *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Orlando, FL, 2016, pp. 3346-3349. doi: 10.1109/EMBC.2016.7591444
- [129] CST Studio Suite, “HUGO Human Body Model,” 2005, <https://www.cst.com/Content/Applications/Article/HUGO+Human+Body+Model>.
- [130] IT’IS Foundation, “High-Resolution Whole-Body Human Models of the Virtual Population,” 2010, <http://www.itis.ethz.ch/services/human-and-animal-models/human-models/> (current 5 May 2011).
- [131] V. Hombach, et al, „The Dependence of EM Energy Absorption Upon Human Head Modeling at 900 MHz,” *IEEE Trans, on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 44, No. 10, pp. 1865-1873, 1996.

-
- [132] J. Wiart, et al, „Children Head RF Exposure Analysis,“ *Proc. Joint Meeting of Bioelectromagnetics Society and the European Bioelectromagnetics Association*, (CD-ROM), Dublin, Ireland, June 19-24, 2005, 12-8, pp. 146-147.
- [133] Italian National Research Council, „An Internet Resource for the Calculation of the Dielectric Properties of Body Tissues,“ Institute for Applied Physics, Italian National Research Council, <http://nirEMP.ifac.cnr.it/tissprop/>.
- [134] P. Harrison, P. Arosio, „The ferritins: molecular properties, iron storage function and cellular regulation“ *Biochim. Biophys. Acta* 1275: 161–203, 1996.
- [135] P. Goggans, A. Kishk, A. Glisson, „Electromagnetic scattering from objects composed of multiple homogeneous regions using a region-by-region solution,“ *Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 42, pp. 865-871, June 1994.
- [136] P. Clarke, TG St. Pierre. „Quantitative 1/T2 mapping of hepatic iron overload: a single spin echo imaging methodology“ *Magn. Reson. Imaging* 18: 431–438, 2000.
- [137] G. Bartzokis, T. Tishler, I. Shin, P. Lu, J. Cummings, Brain ferritin iron as a risk factor for age at onset in neurodegenerative diseases. *Ann. NY Acad. Sci.* 1012: 224–236, 2004.
- [138] St. Pierre, TG, PR Clark, W Chua. Anusorn Single spin-echo proton transverse relaxometry of iron loaded liver. *NMR Biomed.* 17: 446–458, 2004.
- [139] J. Kirschvink, “Comments on Constraints on biological effects of weak extremely low-frequency electromagnetic fields.” *Phys. Rev. A* 46: 2178–2184, 1992.
- [140] J. Lin, „Cellular-Phone Radiation Effects on Cancer in Genetically Modified Mice,“ *IEEE Antenna's and Propagation Magazine*, vol. 44, no. 6, pp. 165-168, December 2002.
- [141] J. Kirschvink, „Microwave absorption by magnetite: a possible mechanism for coupling nonthermal levels of radiation to biological systems“ *Bioelectromagnetics* 17: 187–194, 1996.
- [142] R. Casiday, R. Frey. Iron Use and Storage in the Body: Ferritin and Molecular Representations. <http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/LabTutorials/Ferritin/Ferritin.html>
- [143] A. Christ, W. Kainz, E.G. Hahn, K. Honegger, M. Zefferer, E. Neufeld, W. Rascher, R. Janka, W. Bautz, J. Chen, B. Kiefer, P. Schmitt, H.-P. Hollenbach, J. Shen, M. Oberle, D. Szczerba, A. Kam, J.W. Guag, and N. Kuster, “The Virtual Family--development of surface-based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations,.” *Physics in medicine and biology*, vol. 55, Jan. 2010, pp. N23-38.
- [144] M. Jensen, Y. Rahmat-Samii, „EM interaction of handset antennas and a human in personal communications,“ *Proc. IEEE*, vol. 83, pp. 7-17. Jan. 1995.
- [145] O. Gandhi, J. Chen, D. Wu, „Electromagnetic absorption in the human head for mobile telephones at 835 and 1900 MHz. „ in *Proc. Int. EMC Symp.* Rome, Italy, pp. 1-5, Sept. 1994.
- [146] P. Bielli. A. Leoni, P. Massaglia, A. Schiavoni, S. Dionisi, F. Grimaldi, P. Parente, „Expousrc to hand-held transceiver radiation: Evaluation models and measurements,“ presented at the *6th Nordic Digital Mobile Radio Commun. Seminar*, Stockholm, Sweden, June 1994.
- [147] A. Watanabe, M. Taki. T. Nojima., O. Fujiwara, „Characteristics of the SAR distributions in a head exposed to electromagnetic field radiated by a hand-held portable radio,“ *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol. 44, pp. 1874-1883, Oct. 1996.
- [148] A. Schiavoni, G. Richiardi., P. Bielli, „SAR evaluation into an anatomically based model of the human head generated by different types of cellular phones,“ in *EMC'96*, Rome, Italy, pp. 182-187, Sept. 1996.

- [149] C. Kuster, Q. Balzano, C. Lin, Eds, „Mobile Communication Safety,“ ser. *Telecommunications Technology and Applications*. London, U. K. : Chapman & Hall, 1996.
- [150] K. Kunz, R. Luebbers. *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetic*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1993.
- [151] A. Van Amelsfort, An analytical algorithm for solving inhomogeneous electromagnetic boundary-value problems for a set of coaxial circular cylinders. Ph. D. Thesis, Eindhoven University, The Netherlands, 1991.
- [152] A. Taflove, “Computational Electrodynamics - The Finite Difference Time Domain Method. Norwood. MA: Artech House, 1995.
- [153] M. Okoniewski, M. A. Stuchly, „A Study of the Handset Antenna and Human Body Interaction,“ *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 44, No. 10, pp. 1865-1873, 1996.
- [154] O. Gandhi, G. Lazzi, C. Furse, „Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 Mhz,“ *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp. 1884-1897, Oct. 1996.
- [155] O. Gandhi, G. Kang, „Some present problems and a proposed experimental phantom for SAR compliance testing of cellular telephones at 835 and 1900 MHz,“ *Phys. Med. Biol.*, vol. 47, pp. 1501-1518, 2002.
- [156] A. Tinniswood. C. Furse, O. Gandhi, „Computations of SAR distribution for two anatomically based models of the human head using CAD files of commercial telephones and the parallelized FDTD code,“ *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, pp. 829-833, June 1998.
- [157] O. Gandhi, G. Lazzi, G. Tinniswood, G. Yu, „Comparison of numerical and experimental methods for determination of SAR and radiation patterns of hand-held wireless telephones“ *Bioelectromagnetics*. vol. 20, pp. 93-101, 1999.
- [158] G. Richiardi, V. Vezzari, A. Schiavoni, P. Bertotto, P. Bielli, „Numerical representation of cellular phones: Procedure and accuracy,“ in *EMC '98*. Rome, Italy, pp. 184-189.
- [159] A. Schiavoni, P. Bertotto, G. Richiardi, P. Bielli, „SAR Generated by Commercial Cellular Phones – Phone Modeling, Head Modeling, Measurement ,” *IEEE Trans. on MW Theory and Technique*, Vol 48, No. 11, Nov. 2000.
- [160] C. Gabriel, S. Gabriel, E. Corthout, „The Dielectric properties of biological tissues: I Literature survey,“ *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 41, pp. 2231-2249, 1996.
- [161] W. Riadh Habash, „Electromagnetic Fields and Radiation“ – *Human Bioeffects and Safety*, Marcel Dekker, NY, 2002.
- [162] P. Adair „Constraints of thermal noise on the effects of weak 50 Hz magnetic fields acting on biological magnetite“. *Proc Natl Acad Sci USA*; 91: 2925–2929, 1994.
- [163] J. Moulder. Biological studies of power-frequency fields and carcinogenesis. *IEEE Eng Med Biol*; 15: 31–40, 1995.
- [164] Antonije R. Đorđević, Dragan I. Olćan, Ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2012.
- [165] International journal, Total quality management & excellence, YUSQ – Quality and standardization association of Serbia & Montenegro, Belgrade, 2006.
- [166] Ministarstvo finansija i privrede, Pravilnik o elektromagnetnoj kompatibilnosti, Republika Srbija, Beograd, 2012.

-
- [167] N. Rubtsova, Yu. Paltsev, S. Perov and E. Bogacheva, "Dosing as intensity-time dependence criterion in the EMF hygienic rating in Russia", *Electromagnetic Biology and Medicine*, Vol. 37, No. 1, 2018, pp.43-49.
- [168] S. Perov, Q. Balzano, N. Kuster "Merger of Two Different Dosimetry Rationales Progress" In *Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, Moscow, Russia, August 18-21, 2009, pp.157-160.
- [169] I. V. Bukhtiyarov, N. B. Rubtsova, Yu. P. Paltsev, L. V. Pokhodzey, S. Yu Perov "Electromagnetic field as human health risk factor: EMF safety ensuring by hygienic standardization" *PIERS Proceeding*, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013, pp. 1077-1081.
- [170] N. Rubtsova, Yu, Paltsev, L. Pokhodzey, S. Perov, A. Tokarskiy "Main principles of electromagnetic field occupational exposure risks management in Russia", *Occup Environ Med*, Vol.75(Spl2), 2018 pp. A420.
- [171] Sćepan S. Miljanić, Udžbenik nuklearne hemije, Univerzitez u Beogradu, Fakultet fizičke hemije, 2008.
- [172] Jones AL, Oatway WB, Hughes JS, Simmonds JR. Review of trends in the UK population dose. *J Radiol Prot* 2007; 27(4):381-90.
- [173] Hug K, Grize L, Seidler A, Kaatsch P, Schüz J. Parental occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and childhood cancer: a German case-control study. *Am J Epidemiol* 2010; 171(1):27-35.
- [174] Pérez-Castejón C, Pérez-Bruzón RN, Llorente M, Pes N, Lacasa C, Figols T, et al. Exposure to ELF-pulse modulated X band microwaves increases in vitro humanastrocytoma cell proliferation. *Histol Histopathol* 2009; 24(12):1551-61.
- [175] Jahandideh S, Abdolmaleki P, Movahedi MM. Comparing performances of logistic regression and neural networks for predicting melatonin excretion patterns in the rat exposed to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2010; 31(2):164-71.
- [176] Burdak-Rothkamm S, Rothkamm K, Folkard M, Patel G, Hone P, Lloyd D, et al. DNA and chromosomal damage in response to intermittent extremely low- frequency magnetic fields. *Mutat Res* 2009; 672(2): 82-9
- [177] Focke F, Schuermann D, Kuster N, Schär P. DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure. *Mutat Res* 2010; 683(1-2):74-83.
10. Ruiz-Gómez MJ, Martínez-Morillo M. Electromagnetic fields and the induction of DNA strand breaks. *Electromagn Biol Med* 2009; 28(2):201-14.
- [178] Balassa T, Szemerszky R, Bárdos G. Effect of short- term 50 Hz electromagnetic field exposure on the behavior of rats. *Acta Physiol Hung* 2009;96(4): 437-48.
- [179]. Krstić D, Djindjić B, Kocić G, Petković D, Radić S, Sokolović D. Medical Aspects and harmful effects of 50 Hz electromagnetic field on biological systems. *Acta Medica Medianae* 2003; 42(4): 11-15.
- [180] Krstić D, Marković V, Nikolić N, Djindjić B, Radić S, Petković D, Marković M. Biological effects of exposure to mobile communication systems. *Acta Medica Medianae* 2004; 43(4): 55–63..
- [181] University of Colorado Boulder, Interactive Simulations for Science and Math, https://phet.colorado.edu/_m/en/
- [182] Jugović, Z.; Pecarski, D. „Uticaj Sunčevog zračenja na zdravlje stanovništva“ Fakultet za Biofarming, Sombor, 2009.

[183] Gržetić, I. „UV indeks i Dobsonov spektrofomometar“, Univerzitet u Beogradu, Hemijski fakultet, Beograd, 2011.

[184] ICNIRP, Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation. Health Physics, Vol.87 (2004), 2, pp.171-186

[185] Babić, R. R.; Stanković-Baboć, G.; Marjanović, A.; Babić, N. „Doze, rizici i posledice ultraljubičastog zračenja, Centar za radiologiju KC Niš, Medicinski fakultet Niš, Niš, 2016.

[186] Antonijević, N. „Određivanje zaštitnog faktora preparata za zaštitu od Sunca spektroskopskom metodom, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet – Departman za fiziku, Novi Sad, 2006.

DODATAK 1

ELEKTROMAGNETNE VELIČINE I JEDINICE

Simbol	Naziv veličine	Jedinica	Simbol	Osnova jedinice
q, Q	Količina naelektrisanja	Kulon - <i>Coulomb</i>	C	A·s
I	Jačina električne struje	Amper - <i>Ampere</i>	A	A (= W/V = C/s)
J	Gustina električne struje	Amper po metru kvadratnom	A/m ²	A·m ⁻²
$\varphi, \Delta\varphi$	Potencijal, Razlika potencijala	Volt	V	J/C = kg·m ² ·s ⁻³ ·A ⁻¹
U, \mathcal{E}	Napon, elektromotorna sila	Volt	V	J/C = kg·m ² ·s ⁻³ ·A ⁻¹
R, Z, X	Električna otpornost, impedansa, reaktansa	Om - <i>Ohm</i>	Ω	V/A = kg·m ² ·s ⁻³ ·A ⁻²
ρ	Specifična otpornost	Om po metru	$\Omega \cdot m$	kg·m ³ ·s ⁻³ ·A ⁻²
P	Električna snaga	Vat - <i>Watt</i>	W	V·A = kg·m ² ·s ⁻³
C	Kapacitivnost	Farad - <i>Farad</i>	F	C/V = kg ⁻¹ ·m ⁻² ·A ² ·s ⁴
Φ_E	Fluks električnog polja	Volt metar	V·m	kg·m ³ ·s ⁻³ ·A ⁻¹
E	Jačina električnog polja	Volt po metru	V/m	N/C = kg·m·A ⁻¹ ·s ⁻³
D	Električna indukcija	Kulon po metru kvadratnom	C/m ²	A·s·m ⁻²
ε	Dielektrična konstanta	Farad po metru	F/m	kg ⁻¹ ·m ⁻³ ·A ² ·s ⁴
χ_e	Električna susceptansa	Bez dimenzija	1	1
G, Y, B	Konduktansa, admitansa, susceptansa	Simens - <i>Siemens</i>	S	Ω^{-1} = kg ⁻¹ ·m ⁻² ·s ³ ·A ²
σ	Provodnost	Simens po metru	S/m	kg ⁻¹ ·m ⁻³ ·s ³ ·A ²
B	Magnentna indukcija	Tesla	T	Wb/m ² = kg·s ⁻² ·A ⁻¹ = N·A ⁻¹ ·m ⁻¹
Φ_m, Φ_B	Magnentni fluks	Veber - <i>Weber</i>	Wb	V·s = kg·m ² ·s ⁻² ·A ⁻¹
H	Jačina magnentnog polja	Amper po metru	A/m	A·m ⁻¹
L	Induktivnost	Henri - <i>Henry</i>	H	Wb/A = V·s/A = kg·m ² ·s ⁻² ·A ⁻²
μ	Permeabilnost	Henri po metru	H/m	kg·m·s ⁻² ·A ⁻²
χ	Magnentna susceptibilnost	bezdimeziono	1	1

DODATAK 2

Od Maksvelovih jednačina do elektromagnetnih talasa

Maxwell se nije potrudio da i eksperimentalno dokaže postojanje elektromagnetnih talasa, možda zbog toga što je bio potpuno ubeđen u savršenost zaključaka do kojih je došao čisto matematičkim putem, a možda i zbog toga što su većini njegovih savremenika ti zaključci bili tako neobični da njegove ideje uopšte nisu shvatali ozbiljno.

Zasluga što je dokazano postojanje elektromagnetnih talasa pripada *Hertzu*. Pomoću najskromnijih uređaja i vrlo jednostavnim ogledima *Hertz* je između 1886. i 1888. godine eksperimentalno potvrdio celu *Maxwellovu* teoriju.

Hertzov dipol je najjednostavniji sistem za zračenje (emitovanje) elektromagnetnih talasa. Sastoji se kratkog tankog provodnika na čijim krajevima se nalaze male sfere koje imaju ulogu kapacitivnika koji se naizmenično pune i prazne, te u kratkom provodniku održavaju promenljivu struju. Izvor naizmeničnog napona se nalazi u centru dipola koji tako održava prinudne električne oscilacije. Ako je dipol postavljen kolinearno sa z -osom, tako da je generator u tački $z = 0$, magnetni vektor potencijal ima samo z komponentu, a električni skalar potencijal je jednak zbiru potencijala koji stvaraju kvazi-tačkasta naelektrisanja na krajevima dipola.

U vreme otkrića *Hertzovog* oscilatora niko nije pomišljao na bilo kakvu primenu. Primena je omogućena tek kad je *Brainly* konstruisao osetljiv uređaj za detekciju elektromagnetnih talasa proizvedenih *Hertzovim* oscilatorom (koherer). U isto vreme *Hertzovim* talasima se bave *Tesla* i *Popov*. Već 1895. godine *Popov*, pred članovima „Društva za fiziku“ prikazao prijemnik elektromagnetnih talasa nastalim atmosferskim pražnjenjem. Za tu svrhu zakačio je žicu za balon i to je, verovatno, prva žičana antena te vrste. Eksperimenti su nastavljeni i *Popov* je 1896. godine pomoću iste antene i telegrafskog pisača uspeo da na daljinu od 250 metara prenese dve reči „*Heinrich Hertz*“. Bio je to početak bežične telegrafije. Dve godine kasnije domet je bio već 9 kilometara.

U isto vreme, za bežični prenos je zainteresovan *Marconi*. Posle prvih eksperimenata i usavršavanja uređaja, uspeo je da ostvari prenos na daljinu od 14 km. Kako je to bio značajan uspeh, *Marconi* u Londonu osniva i svoju telegrafsku agenciju. On je i dalje nastavio svoja istraživanja i 1901. godine je pomoću žičanih antena (balon-žica) uspeo da premosti Atlantik, a već 1909. godine dobio je *Nobelovu* nagradu. Tako je na izvestan način učinjena nepravda onima koji su otkrivanju i primeni elektromagnetnih talasa bili pioniri. Nikoli Tesli je Vrhovni sud SAD tek 1943. godine posmrtno dodelio pravo da je on prvi pronalazač radio prenosa.

Događaji su se smenjivali sve brže. Najpre su brodovi počeli da koriste bežične veze, a 1920. godine u Nemačkoj je proradio prvi predajnik snage 2kW koji je emitovao muziku. Sledeće godine je u Francuskoj proradio još jedan predajnik. Njegovo komercijalno ime je bilo

„radiola“ i otuda sinonim „radio“ za svaki bežični prenos. U Velikoj Britaniji je 1922. godine osnovana kompanija *British Broadcasting Company* (BBC) koja je imala čak tri predajnika.

Kao u nekoj priči, sve je počelo čarolijom *Maxwellovih* jednačina.

			
<i>Eugène Désiré Branly</i> (1844 – 1940)	<i>Aleksander Stepanovich Popov</i> (1859 – 1906)	<i>Guglielmo Marconi</i> (1874 – 1937)	<i>Nikola Tesla</i> (1856 – 1943)

DODATAK 3

Istorija formulisanja Maksvelovih jednačina

Kao merljiva veličina, elektromagnetno polje definisano je vektorima jačine električnog polja \vec{E} , magnetne indukcije, \vec{B} i silom, \vec{F} , (*Lorentzova sila*) kojom deluje na probno (test) naelektrisanje, dq , koje se može kretati brzinom \vec{v} ,

$$d\vec{F}(\vec{r}, t) = dq(\vec{E}(\vec{r}, t) + \vec{v}(\vec{r}, t) \times \vec{B}(\vec{r}, t)) \quad (1)$$

gde je \vec{r} vektor položaja tačke u polju, a t vreme. Ova sila je jedini način da se utvrdi postojanje elektromagnetnog polja u nekom delu prostora. Naelektrisanja u mirovanju i/ili kretanju su prema (1), izvori polja. Makroskopski, izvore opisujemo zapreminskom gustinom naelektrisanja, $\rho(\vec{r}, t)$ i vektorom gustine struje, $\vec{J}(\vec{r}, t)$ koji su povezani zakonom o održanju količine naelektrisanja, zapravo jednačinom kontinuiteta,

$$\nabla \cdot \vec{J}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \rho(\vec{r}, t) \quad (2)$$

Osnovni vektori elektromagnetnog polja (\vec{E}, \vec{B}) povezani su u vremenu i prostoru. Jedna od tih veza je *Faradayev zakon* elektromagnetne indukcije.

Faraday je bio upoznat sa otkrićem danskog lekara i prirodnjaka *Örsted*a o magnetnom dejstvu električne struje i u svoju laboratorijsku svesku je zapisao: “*Pretvoriti magnetizam u elektricitet.*” Posle dužeg istraživanja, 1931. godine, on je otkrio tu zakonitost prirode, svega jedanaest godina nakon *Örsted*ovog otkrića.

Kako je 1881. godine *Helmholtz* rekao, “Bio je potreban jedan *Clark Maxwell*, jedan drugi čovek iste dubine i samostalnog pogleda, da bi u normalnim načinima sistematskog mišljenja podigao veliku zgradu, čiji plan je *Faradey* u svojim zamislima stvorio, koju je on tako jasno pred sobom video i za koju se potrudio da bude uočljiva njegovim savremenicima.” *Maxwellu* dugujemo matematički zapis zakona o elektromagnetnoj indukciji i, kako je zapisao: “*Faraday* je svojim duhovnim okom video kako linije sile prelaze ceo prostor, (dok su matematičari videli privlačne centre sila delovanja na daljinu. Kada sam *Faraday*eve ideje, kako sam ih razumeo, preveo na matematički jezik, našao sam da oba metoda uopšte dovode do istih rezultata, ali su poneki od metoda mogli bolje da se izraze *Faraday*evim načinom”.

$$\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B}(\vec{r}, t) \quad (3)$$

Na osnovu *Örsted*ovih eksperimenata *Ampere* dolazi do izvanredno jednostavne formule kojom daje najopštiji kvantitativni odnos između magnetnih polja u vakumu i stacioniranih električnih struja koje ta polja prouzrokuju. Ta formula je poznata kao *Ampereov zakon* o cirkulaciji vektora magnetnog polja i u diferencijalnom obliku glasi,

$$\nabla \times \vec{B}(\vec{r}, t) = \mu_0 \vec{J}(\vec{r}, t), \quad (4)$$

gde je konstanta proporcionalnosti μ_0 magnetska permeabilnost vakuma.

Na osnovu tih rezultata *Laplace* je došao do formule kojom je moguće izračunati magnetsku indukciju strujnog elementa. Formula je zato i dobila ime *Ampere-Laplaceov* obrazac.

U vezi sa fenomenima magnetnog polja u materijalnim sredinama *Ampere* je postavio teoriju mikrostruja koje danas zovemo *Ampereovim* strujama. Pošto se magnetna polja ovih struja pokoravaju istim zakonima kao i polja makrostruja, generalisani oblik *Ampereovog* zakona možemo zapisati na sledeći način

$$\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \vec{J}(\vec{r}, t), \quad (5)$$

gde je \vec{H} jačina magnetnog polja ili magnetizaciono polje,

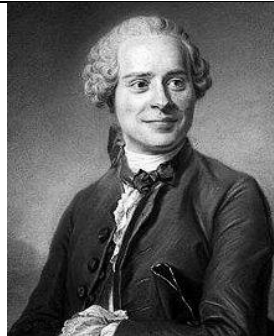




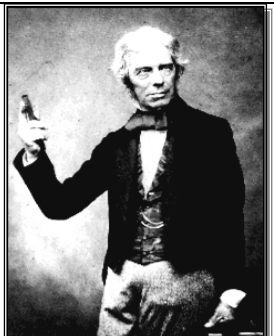
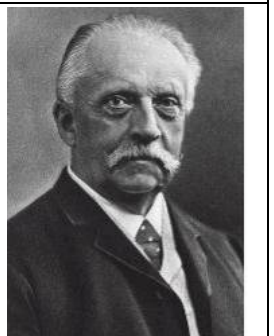
$$\vec{H}(\vec{r}, t) = \frac{1}{\mu_0} \vec{B}(\vec{r}, t) - \vec{M}(\vec{r}, t) \quad (6)$$

i gde je \vec{M} vektor gustine magnetskih momenata, makroskopska veličina kojom se karakteriše stanje namagnetisanosti materije.

U vakumu je $\vec{M} = 0$, a u linearnim i izotropnim sredinama između vektora \vec{M} i \vec{H} postoji linearna zavisnost, pa se veza između vektora \vec{B} i \vec{H} pojednostavljuje,

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \mu \vec{H}(\vec{r}, t) \quad (7)$$

gde je konstanta μ apsolutna magnetna propustljivost (permeabilnost) sredine.

			
Jean le Rond d'Alembert (1717 – 1783)	Pierre-Simon Laplace (1749 – 1827)	Siméon-Denis Poisson (1781 – 1840)	Christian Öersted (1777 – 1851)
			
Andre - Marié Ampéré (1775 – 1836)	Carl Friedrich Gauss (1777 – 1855)	Michael Faraday (1791 – 1867)	Hermann von Helmholtz (1821 – 1894)

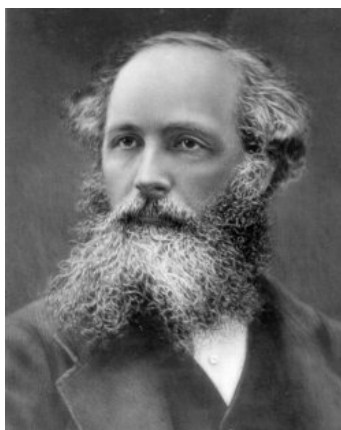
Međutim, lako je pokazati da je *Ampereov* zakon u slučaju vremenski promenljivih polja u suprotnosti sa jednačinom kontinuiteta. Kako za svaku vektorsku funkciju, \vec{F} (koja ima sve potrebne izvode) važi:

$$\nabla(\nabla \times \vec{F}(\vec{r})) = 0 \quad (8)$$

to je i

$$\nabla(\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t)) = \nabla \vec{J}(\vec{r}, t) \equiv 0 \quad (9)$$

što je tačno samo u slučaju stacionarnih polja. Da bi se otklonila ova protivurečnost, potrebno je korigovati *Ampereov* zakon tako da desna strana jednačine (5) bude bezizvorna u svim slučajevima.



James Clark Maxwell, (1831-1879)

Ponovo je *Maxwellova* genijalnost na delu. On uvodi vektor električnog pomeraja, $\vec{D}(\vec{r}, t)$ ili kako ga je sam nazvao, vektor električne indukcije,

$$\vec{D}(\vec{r}, t) = \epsilon_0 \vec{E}(\vec{r}, t) + \vec{P}(\vec{r}, t) \quad (10)$$

gde je ϵ_0 dielektrična propustljivost vakuma (slobodnog prostora) i gde je \vec{P} vektor intenziteta polarizacije čiji je intenzitet brojno jednak površinskoj gustini vezanih naelektrisanja. U vakumu je $\vec{P} = 0$, dok u linearnim i izotropnim sredinama između vektora \vec{D} i \vec{E} postoji linearna zavisnost, pa je

$$\vec{D}(\vec{r}, t) = \epsilon \vec{E}(\vec{r}, t), \quad (11)$$

gde je ϵ apsolutna dielektrična propustljivost sredine.

Izvodi vektora \vec{D} , \vec{E} i \vec{P} po vremenu dimenziono predstavljaju gustine struja

$$\frac{\partial}{\partial t} \vec{D}(\vec{r}, t) = \frac{\partial}{\partial t} \epsilon_0 \vec{E}(\vec{r}, t) + \frac{\partial}{\partial t} \vec{P}(\vec{r}, t) \quad (12)$$

Izvod vektora \vec{D} - se prema *Maxwellu* naziva gustina struje električnog pomeraja i sadrži dve, po prirodi, različite komponente. Prva komponenta, izvod vektora \vec{P} je gustina

struje polarizacije i nastaje kao posledica ograničenog kretanja vezanih naelektrisanja. Po prirodi se ne razlikuje od kondukcione struje pa tako stvara i magnetno polje. Druga komponenta, prvi sabirak u (12), iako dimenziono predstavlja gustinu struje, razlikuje se od kondukcione struje ili struje polarizacije. Postoji i u odsustvu materijalne sredine ($\vec{P} = 0$) i ne može se objasniti kretanjem ma kakvih naelektrisanih čestica. Ova komponenta se prema *Maxwellu* zove gustina struje pomeraja u vakumu, a suština njene prirode je istovetna sa prirodom samog elektromagnetnog polja.

Ono što čini suštinu jedne od najgenijalnijih naučnih hipoteza je da struja pomeraja pobuđuje magnetno polje po istom kvantitativnom zakonu kao i kondukcionalna struja, pa je i logična korekcija Ampereovog zakona,

$$\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \vec{J}(\vec{r}, t) + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D}(\vec{r}, t). \quad (13)$$

U stvari

$$\nabla \left(\vec{J}(\vec{r}, t) + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D}(\vec{r}, t) \right) = 0, \quad (14)$$

odakle, očigledno, sledi

$$\nabla \vec{D}(\vec{r}, t) = \rho(\vec{r}, t) \quad (15)$$

Maxwell je jednačinu (015) prvobitno iskazao kao postulat i na njoj je kao na "kamenu temeljcu" razvijao celu teoriju makroskopskih elektromagnetnih polja. U suštini *Maxwell* je tim postulatom matematički regulisao i dao kvantitativno nov sadržaj rezultatima *Faradayevog* eksperimenta sa peharom. Kako se pokazalo ovaj postulat je bio u savršenom skladu sa korigovanim *Ampereovim* zakonom i jednačinom kontinuiteta a predstavljao je generalizaciju *Gaussove* teoreme,

Kao što (015) sledi iz (014). tako i

$$\nabla (\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t)) = -\frac{\partial}{\partial t} \nabla \vec{B}(\vec{r}, t) \equiv 0 \Rightarrow \nabla \vec{B}(\vec{r}, t) = C^{ta} \quad (16)$$

Polje ne može biti neograničenog trajanja, pa je $C^{ta} = 0$ i prethodna jednačina je,

$$\nabla \vec{B}(\vec{r}, t) = 0, \quad (17)$$

zakon o konzervaciji magnetne indukcije. Jednačine divergencije (15 i 017) poznate su kao treća i četvrta *Maxwellova* jednačina, mada je potrebno primetiti da (015) sledi iz (14) a (0.17) sledi iz (03).

Matematičari i fizičari cenili su *Maxwellove* formule zbog njihove jednostavnosti i divili im se zbog njihove lepote. Veliki austrijski fizičar *Boltzman* bio je toliko njima oduševljen da je uzviknuo „*Da li je to bog pisao ove znakove*“.

$$\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B}(\vec{r}, t) \quad (18)$$

$$\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \vec{J}(\vec{r}, t) + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D}(\vec{r}, t) \quad (19)$$

$$\nabla \vec{D}(\vec{r}, t) = \rho(\vec{r}, t) \quad (20)$$

$$\nabla \vec{B}(\vec{r}, t) = 0 \quad (21)$$

Maxwellovim jednačinama potrebno je dodati jednačinu kontinuiteta, (2),

$$\nabla \vec{J}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \rho(\vec{r}, t) \quad (22)$$

i konstitutivne veze, (7, 11),

$$\vec{D}(\vec{r}, t) = \epsilon \vec{E}(\vec{r}, t), \quad (23)$$

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \mu \vec{H}(\vec{r}, t) \quad (24)$$

i *Ohmov* zakon u diferencijalnom obliku,

$$\vec{J}(\vec{r}, t) = \sigma \vec{E}(\vec{r}, t), \quad (25)$$

gde je σ specifična provodnost sredine.

DODATAK 4

Mihajlo Pupin – *Nauka i mašta*

Pre 160 godina, 9. oktobra 1854. u Idvoru, malom selu u Banatu, rođen je Mihajlo Pupin. Na zadnjim stranicama svog autobiografskog dela *Sa pašnjaka do naučenjaka* Mihajlo Pupin ovako piše:

„Pre pedeset godina, u društvu mladih pastira, posmatrao sam zvezde na crnom zastoru letnjeg neba, u ponoći. Tada mi se činilo da je svetlost tih zvezda pesma koja peva slavu Božiju. Da, li je nauka uticala da promenim ta svoja maštanja iz rane mladosti? Što ta svetlost danas govori umu mome? Odgovor na to pitanje rađao se celog mog života, i njegovo postepeno otkrivanje pružalo mi je najslađa ushićenja u mom životu. Faradej i Maksvel kazali su mi: da svetlost nastaje usled dejstva elektriciteta. ...elektroni i protoni (su)cigle iz kojih je sazidana materija; da je svetlost zračenje, ... sipanje u prostor električne energije iz atomskih građevina u kojima elektroni, svojim kretanjem, određuju oblik građevine i količinu energije.

Zvezda koja zrači svetlost, zrači električnu energiju, i... baca na nas jedan deo svoje rođene materije, mase svoje. Svaka usijana zvezda je žiža iz koje teče energija; energija koja život daje, i koja raskošno rasiplje taj život na sve strane prostora žednog energije. Ona rasiplje taj život iz svog sopstvenog srca da bi začedila nov život.....sve promenljive stvari podvrgnute su ćudima zakona o postupnom razvijanju, evoluciji, od onih sitnih cvetića u polju pa sve do Nebule Orijonove, kako se zove ona pojava na nebesima koja liči na vaseljenski oblak i u duše naše uliva strahopoštovanje. Ali se nikad ne menjaju, nikad ne stare zakoni kojima se pokoravaju zvezde i planete na svojim putevima po vaseljeni. Oni su nepromenljivi, besmrtni su.

Osnovni sastojci nevidljivog sveta, mikrokozma, elektroni u atomu, koliko je to nama poznato, nepromenljivi su i besmrtni. Čoveku je nepoznat proces pri kome bi se promenili elektroni i zakoni kojima se oni pokoravaju. Oni nisu proizvod nijednog procesa evolucije, postepenog razvića, koji je čoveku poznat. Da otkriju te nepromenljive zakone, kojima je podvrgnuta ova supstancija, taj nepromenljivi temelj vaseljene, to je najviša meta naučnog istraživanja.“

DODATAK 1

- APSORPCIJA, 98
Bazična ograničenja, 179, 180, 184
Bazna stanica, 71, 75
Blisko polje, 115
Brzi opšti pregled, 118, 120, 130, 132
CENELEC, 168, 228, 319
Četvrta Maksvelova jednačina, 29
Daleko polje, 116
Detaljno istraživanje (merenje), 118, 130
dielektričnu konstantu
dielektrična konstanta, 35, 36, 37, 149, 162
Divergencija, 21, 22, 23
Dozimetrija, 145, 152
Druga Maksvelova, 28
Efektivna površina antene, 91
Ekspozicija stanovništva, 224
električnog potencijala, 45
Elektromagnetna polja, 4, 7, 10, 31
Elektromagnetno zračenje, 5
Elektromagnetska kompatibilnost, 225, 227
elektrosmog, 217
fantomi, 162, 163, 164, 165, 207
FANTOMI, 162
FDTD Metod, 193
Frekvencija, 13, 115, 184
Gradijent, 21, 22
Helmholtzovoj teoremi
Helmholtzova teorema, 46
homogena
homogena sredina, 38
ICNIRP, 117, 129, 133, 135, 162, 168, 169, 170, 171, 172, 175, 176, 282, 317, 318, 325
Idealan izolator, 40
Idealni provodnik, 40
Impedansa antene, 85, 89
izotropna
izotropna sredina, 36, 37, 45, 48, 74, 87, 160, 211, 213
Jačina električnog polja, 63, 69, 115
Jačina magnetnog polja, 115
Jonizujuća elektromagnetna zračenja, 15
Karakteristična impedansa, 101, 244
Karakteristična impendansa, 115
Kirhofov zakon, 250
Koeficijent izloženosti, 116
Koeficijent pojačanja antene, 92
kompleksni oblik Maksvelovih jednačina, 34, 47
Laplasijan, 24
Magnetna indukcija, 70, 115
magnetna permeabilnost
magnetna permeabilnost, 35, 36
Maks Plank, 13, 254
Medicinska ekspozicija, 224
Merenje u jednoj tački, 125
Merenje u pet tačaka, 126
Merenje u tri tačke, 125
Metod konačnih elemenata, 191, 193
Metoda globus-termometra, 258
Metode radiometra, 258
Nabla operator, 21
nejonizujuća elektromagnetna zračenja, 15, 118, 130
Numerički model, 209
Plankov zakon zračenja, 254
Pointyngovog vektora
Pointyngovog vektora, 57, 74, 85, 87, 106, 107, 112
Polarizacija antene, 93
Poluprovodna sredina, 40
Profesionalna ekspozicija, 223
Propusni opseg antene, 94
Prva Maksvelova jednačina, 27, 28, 42
Računarska elektromagnetika, 186, 188
Reciprocitet antena, 92
Referentni granični nivoi, 181, 184
REFLEKSIJA, 98
Rotor, 21, 23
SAR, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 169, 180, 181, 182, 202, 204, 217, 318, 319, 322, 323
Skeniranje frekventnog opsega, 118, 121, 130, 134
specifična apsorpcija, 10, 147
specifična električna provodnost
specifična električna provodnost, 27, 35, 112
specifična stopa apsorpcije, 10
Stacionarno električno polje, 32
Stacionarno magnetno polje, 32
Statičko električno polje, 31
Statičko magnetno polje, 31
Stepen korisnog dejstva antene, 91
Štefan - Bolcmanov zakon, 252, 253

Talas, 24, 59
Talasna dužina, 65, 115, 272, 276, 277, 281
Termovizijske metode, 259
Toplotno zračenje, 247, 263
TRANSMISIJA, 98
Treća Maksvelova jednačina, 28
Ukupni koeficijent izloženosti, 116
vektor električne indukcije, 8, 26, 40, 108,
331
vektor gustine magnetnog momenta, 8, 26
vektor jačine električnog polja, 8, 26, 27
vektor jačine magnetnog polja, 8, 26
vektor magnetne indukcije, 8, 26, 43
vektor polarizacije, 8, 26
vektorsko polje, 6
Vinov zakon, 253, 254, 255, 274
WHO, 168, 172, 319

SADRŽAJ

1. ELEKTROMAGNETNA ZRAČENJA	5
1.1 Pojmovna razgraničenja	5
1.2 Pojam skalarnih i vektorskih polja	6
1.3 Osnovne veličine elektromagnetnih talasa	7
1.4 Energija elektromagnetnih polja i talasa	8
1.5 Elektromagnetno zračenje atoma	12
1.6 Metafizika polja i energije.....	13
1.7 Jonizujuća i nejonizujuća zračenja	15
1.8 Elektromagnetna zračenja i život na zemlji	17
2. TEORIJA ELEKTROMAGNETNIH POLJA	19
KRATKA ISTORIJA ELEKTROMAGNETIZMA	19
2.1 Teorijske osnove skalarnih i vektorskih polja.....	19
Pomeraj.....	19
Vektor površine	20
Prostorni izvodi vektora polja	21
Nabla operator	21
Gradient	21
Divergencija	22
Rotor.....	23
Laplasov operator – Laplasijan	24
2.2 Maksvelove jednačine	26
2.3 Lokalni (diferencijalni) oblik Maksvelovih jednačina	29
2.4 Elektromagnetna polja u funkciji vremena	31
2.5 Predstavljanje polja pomoću kompleksnih vektora.....	33
2.6 Kompleksni oblik Maksvelovih jednačina	34
3. MATERIJALNE SREDINE I ELEKTROMAGNETNA POLJA	35
3.1 ELEKTROMAGNETNE osobine sredina	35
3.2 Podela sredina prema elektromagnetnim osobinama	36
3.3 Poluprovodne sredine	39
3.4 Granični uslovi za komponente električnog polja.....	40
3.5 Granični uslovi za komponente magnetnog polja	42
3.6 Granični uslovi za komponente strujnog polja.....	44
4. GENERISANJE ELEKTROMAGNETNIH TALASA.....	45
4.1 Potencijali elektromagnetnog polja.....	45
4.2 Potencijali prostoperiodičnih polja.....	47
4.3 Talasna jednačina za električno i magnento polje.....	48
4.4 Rešenja talasne jednačine.....	49
4.5 Integralna rešenja talasne jednačine	51
4.6 Karakteristike EM talasa	53
Zone prostiranja EM talasa	54
Polarizacija	58

5. IZVORI ELEKTROMAGNETNIH TALASA	61
5.1. Spektar elektromagnetnih zračenja	61
5.2. Izvori niskih učestanosti.....	66
5.3. Izvori visokih učestanosti – Radiofrekventni uređaji.....	70
5.4. Mobilni telefoni kao izvori EM zračenja	78
5.5. Bioinženjerski i bioimplantirajući uređaji kao izvori.....	80
5.6. Antene i prostiranje EM talasa	81
5.7. Parametri antena	85
5.8. Vrste antena i podela antena.....	94
6. ENERGIJA I PRENOS ELEKTROMAGNETNE ENERGIJE.....	97
6.1. REFLEKSIJA, TRANSMISIJA I APSORPCIJA EM TALASA	98
6.2. REFLEKTOVANA, PROPUŠTENA I APSORBOVANA ENERGIJA EM POLJA	106
6.3. PROSTIRANJE TALASA U POLUPROVODNOM MATERIJALU.....	107
7. METODE MERENJA ELEKTROMAGNETNIH POLJA I ZRAČENJA	115
7.1 MERENJE ELEKTROMAGNETNIH ZRAČENJA U OPSEGU NISKIH UČESTANOSTI.....	117
Propisi na kojima se zasniva merenje elektromagnetnih zračenja u opsegu niskih učestanosti	117
METODOLOGIJA MERENJA ELEKTROMAGNETNIH POLJA U OPSEGU NISKIH UČESTANOSTI.....	118
7.2 MERENJE ELEKTROMAGNETNIH ZRAČENJA U OPSEGU VISOKIH UČESTANOSTI.....	129
Propisi na kojima se zasniva merenje elektromagnetnih zračenja u opsegu visokih učestanosti	129
METODOLOGIJA MERENJA ELEKTROMAGNETNIH POLJA U OPSEGU VISOKIH UČESTANOSTI	130
8. DOZIMETRIJA NEJONIZUJUĆEG ZRAČENJA	145
8.1 SAR i indukovana gustina struje u tkivu.....	147
8.2 Određivanje SAR i dozimetrija EM zračenja.....	152
Tehnike merenja temperature za izračunavanje SAR	154
Merenja električnog polja unutar tela i izračunavanje SAR	160
Izračunavanje SAR a upotrebom fantoma	160
8.3. FIZIČKI ELEKTROMAGNETNI MODELI (FANTOMI).....	162
Tečni fantomi	163
Čvrsti i polučvrsti vlažni fantomi.....	164
Čvrsti suvi fantomi	165
Primeri fizičkih fantoma.....	165
9. STANDARDIZACIJA I NORMIRANJE ELEKTROMAGNETNIH ZRAČENJA	167
9.1 Međunarodni standardi zaštite od nejonizujućih zračenja	168
ICNIRP standard	168
REGULATIVA IZ OBLASTI EMZ	172
9.2 Nacionalna regulativa iz oblasti zaštite od nejonizujućih zračenja.....	177

Deklarisane vrednosti u skladu sa domaćim i međunarodnim propisima i standardima 180

10. METODI ZA PRORAČUN ELEKTROMAGNETNIH POLJA	185
10.1 Analitičke i numerički metode	186
10.2. NUMERIČKE METODE	188
11. MODELIRANJE ELEKTROMAGNETNIH KARAKTERISTIKA SREDINE	195
11.1 Dielektrične karakteristike bioloških sredina	195
11.2 Magnetne karakteristike bioloških tkiva	199
12. MODELIRANJE EM KARAKTERISTIKA IZVORA I BIOLOŠKIH OBJEKATA	201
12.1 MODELIRANJE IZVORA ZRAČENJA	201
12.2 MODELIRANJE ANTENA I ANTENSKIH SISTEMA	206
12.3 MODELIRANJE ČOVEKA U EM POLJU	207
Modeli tela čoveka	207
Model glave čoveka	209
13. MEHANIZMI DELOVANJA ELEKTROMAGNETNIH POLJA NA BIOLOŠKA TKIVA	213
13.1 BIOLOŠKA DEJSTVA ELEKTROMAGNETNIH POLJA i ZAŠTITA	217
13.2 FAKTORI KLASIFIKACIJE IZVORA I BIOLOŠKIH EFEKTA NEJONIZUJUĆIH ZRAČENJA	222
14. ELEKTROMAGNETNA KOMPATIBILNOST	225
14.1 Osnovni pojmovi iz elektromagnetne kompatibilnost	227
14.2 Izvori smetnji	228
14.3 Prenosni put smetnji	228
14.4 Prijemnik smetnji	229
14.5 Merenje smetnji	229
14.6 Ispitivanje elektromagnetne kompatibilnosti	230
Kompatibilnost sa napojnom mrežom	232
Imunost na kondukcionu trazijentu	232
Imunost na radiofrekvencijske smetnje	233
Emisija radiofrekvencijskih smetnji	233
Rezultati ispitivanja i oznake	233
15. ZAŠTITA OD EMZ	235
15.1 Administrativno-obrazovne mere	239
15.2 Tehničko-tehnološke mere i metode	241
16. INFRACRVENO - TOPLOTNO ZRAČENJE	247
Optička zračenja	247
16.1 Zakoni zračenja apsolutno crnog tela	249

Kirhofov zakon.....	250
Štefan - Bolcmanov zakon	252
Vinov zakon	253
Plankov zakon zračenja.....	254
16.2 Merenje, normiranje toplotnog zračenja	256
16.3 Procenjivanje štetnog dejstva toplotnog zračenja	261
16.4 Zaštita od toplotnog zračenja	262
Obrazovne-organizacione mere.....	263
Tehničko-tehnološke mere i metode zaštite	264
17. ULTRALJUBIČASTO ZRAČENJE.....	271
17.1 IZVORI ZRAČENJA	273
17.2 UTICAJ NA ČOVEKA I ŠTETNA DEJSTVA.....	274
17.3 MERENJE, NORMIRANJE I METODI ZAŠTITE	279
18. JONIZUJUĆE ZRAČENJE.....	285
18.1. OSNOVNE FIZIČKE KARAKTERISTIKE JONIZUJUĆIH ZRAČENJA	286
18.2 DOZIMETRIJSKE VELIČINE JONIZUJUĆEG ZRAČENJA	286
18.3. ALARA PRINCIP I GRANICE DOZA.....	291
18.4. MEHANIZAM DELOVANJA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA MATERIJU.....	293
18.5. IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA.....	297
18.6. BIOLOŠKIEFEKTI JONIZUJUĆIH ZRAČENJA.....	298
18.7. ZAŠTITNA OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA.....	306
18.8. ZAŠTITNA SREDSTVA.....	311
LITERATURA	315
Od Maksvelovih jednačina do elektromagnetnih talasa.....	327
Istorija formulisanja Maksvelovih jednačina	329
Mihajlo Pupin – Nauka i mašta	334
SADRŽAJ.....	337