

Pregled virov elektromagnetnih polj in njihovi učinki na ljudi ali kaj poleg 5G nas bi še utegnilo zanimati

Tomi Mlinar, Boštjan Batagelj

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko,
Katedra za informacijske in komunikacijske tehnologije, Laboratorij za sevanje in optiko
E-pošta: tomi.mlinar@fe.uni-lj.si

An overview of the sources of electromagnetic fields and their effects on people, or what else besides 5G might be of interest to us

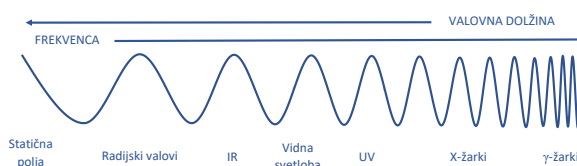
Abstract. In this paper, all groups of electric, magnetic and electromagnetic fields of the non-ionizing part of the spectrum are briefly covered. As the paper shows, we have both natural and man-made resources that have mainly positive effects for users, but when used inappropriately, the effects can be negative, sometimes even fatal. The article shows that, in addition to popular wireless communications (5G in recent years), which are most often under public scrutiny, there are also other modern technologies (e.g. LED blue light) or natural sources of electric and magnetic fields (e.g. Sun radiation), which should not be ignored and their use also poses a certain risk to the user if he/she is exposed to them for too long or uses them in an inappropriate way. The analysis of experimental and epidemiological studies carried out on individual segments of the frequency spectrum shows that we mainly lack epidemiological as well as experimental studies on mm-waves. From a technological point of view, it would make sense for experimental studies to be carried out today for all technological innovations that will be incorporated into future technologies. In this way, we will avoid uncertainty and have answers to most challenges when these technologies become widely available.

1 Uvod

Namen tega prispevka je osvežiti vedenje o električnih, magnetnih in elektromagnetnih poljih, ki obkrožajo sodobnega človeka. V okolju, kjer se tehnologija hitro razvija in so še posebej aktualne brezžične komunikacije (zadnja leta 5G), je prav, da zajamemo na enem mestu vse vire in jim damo primerno težo, torej da uravnoteženo obravnavamo ves spekter virov neionizirnega sevanja (slika 1). Ta se razteza od frekvence 0 Hz (statična polja) pa do meje UV-sevanja.

Vire v frekvenčnem spektru v grobem delimo v dve skupini: naravne vire (izhajajo iz narave) in umetne vire (ustvaril jih je človek). V tem prispevku se omejujemo predvsem na umetne vire, iz dveh razlogov, ker: a) umetne vire izdelujemo in umeščamo v prostor ljudje in b) ker smo z razvojem tehnologij in zgoščevanja umetnih virov vedno bolj pozorni na njihov vpliv na človeka. Ta vpliv je v največji meri pozitiven, lahko pa je tudi

negativen oziroma škodljiv, če se ne držimo priporočil proizvajalca in mednarodno sprejetih norm.



Slika 1. Elektromagnetni spekter (meja med ionizirnim in neionizirnim sevanjem je nekje pri UV-sevanju)

2 Viri električnih, magnetnih in elektromagnetnih polj

Med naravne vire električnih, magnetnih in elektromagnetnih polj štejemo npr. zemeljsko magnetno polje (različnih jakosti, odvisno na katerem delu zemlje se nahajamo) in elektromagnetno sevanje sonca, ki vsebuje zelo širok spekter valovanj oz. frekvenc. Spodnji del svetlobnega sevanja predstavljajo infrardeči valovi, valovnih dolžin okrog 800 nm do 1 mm, zgornji del pa ultravijolični žarki, ki obsegajo valovne dolžine med 10 in 400 nm in predstavljajo mejo med neionizirnim in ionizirnim sevanjem (npr. sevanje X-žarkov).

Na naravne vire v glavnem ne moremo vplivati, lahko pa poskrbimo za ustrezno zaščito pred nekaterimi. Npr. pred sončnim elektromagnetnim sevanjem se lahko zaščitimo tako, da se mu ne izpostavljam.

Umetni viri električnih, magnetnih in elektromagnetnih polj obsegajo širok elektromagnetni spekter in jih je precej več kot »le« v zadnjih desetletjih popularne brezžične komunikacije. Slednje se nahajajo v delu spektra od nekaj 100 MHz do nekaj GHz.

Med umetne vire električnih, magnetnih in elektromagnetnih polj štejemo naslednje [1]:

- 1) statična električna in magnetna polja,
- 2) nizkofrekvenčne vire,
- 3) visokofrekvenčne vire,
- 4) infrardeče (IR), svetlobno in ultravijolično (UV) sevanje.

Zgoraj naštetih skupine virov so razvrščene po naraščajoči frekvenci, od enosmernih/statičnih (0 Hz), do izmeničnih (frekvence do 10^{16} Hz).

2.1 Statična električna in magnetna polja

2.1.1 Statična električna polja

Statična električna polja imajo frekvenco 0 Hz. Njihova jakost in smer se s časom ne spreminjata.

Statično električno polje se izraža v voltih na meter (V/m). V zemeljskem ozračju je vrednost električnega polja okrog 100 V/m v lepem vremenu in do nekaj 1000 V/m ob nevihtah. Med hojo po sintetičnih neprevodnih preprogah se ustvarijo potenciali do 500 kV/m. Visokonapetostni enosmerni daljnovodi lahko proizvajajo električna polja večja od 20 kV/m. Pri električnih vlakih, gnanih z enosmernim tokom, lahko izmerimo statična električna polja do 300 V/m.

2.1.2 Statična magnetna polja

Statična magnetna polja imajo frekvenco 0 Hz. Njihova jakost in smer se s časom ne spreminjata. Za ustvarjanje statičnih magnetnih polj se navadno uporabljajo magneti. Določene medicinske naprave, kot npr. naprave za medicinsko resonančno slikanje (ang. Magnetic Resonance Imaging - MRI) ustvarjajo sorazmerno močna magnetna polja, ki so precej močnejša od zemeljskega magnetnega polja.

Statično magnetno polje se izraža v enotah Tesla (T). Zemeljsko magnetno polje ima jakosti od 30 do 70 μ T, običajni hišni magneti nekaj mT, medtem ko MRI dosega vrednosti od 1,5 do 10 T.

2.2 Nizkofrekvenčni viri

Med nizkofrekvenčne vire štejemo tista časovno spremenljiva električna in magnetna polja, katerih delovna frekvenca se nahaja med 1 Hz in 100 kHz. Takšno polje ima dve komponenti, električno polje, ki nastane zaradi električnega naboja in magnetno polje, ki nastane, ko se ti električni naboji gibljejo po vodniku, kar predstavlja električni tok. Električno polje merimo v V/m, magnetno polje pa v A/m.

Najpogostejši viri polj v tem frekvenčnem področju so električni aparati, ki so priključeni na omrežno napetost in je njihova delovna frekvenca 50 ali 60 Hz. Med vire polj nizkih frekvenc spadajo tudi električni daljnovodi. Spremenljiva električna polja nizkih frekvenc nastanejo zaradi izmeničnega toka, ki ga generirajo elektrarne. Viri električnih polj so visokonapetostni daljnovodi, viri magnetnih polj pa indukcijske peči in varilni stroji [2].

2.3 Visokofrekvenčni viri

V to skupino spadajo viri elektromagnetnih polj, katerih delovne frekvence se nahajajo med 100 kHz in 300 GHz. Pogosto jih označujemo tudi z besedo radiofrekvenčni (RF) viri. Pri teh virih merimo gostoto pretoka moči elektromagnetnega valovanja, ki jo označujemo z enoto W/m^2 .

Med visokofrekvenčne ali radiofrekvenčne vire uvrščamo mnogo tehnologij, kot so npr. prizemna in satelitska televizija, radio, vremenski, letalski, vojaški in drugi radarji, Wi-Fi, Bluetooth in vse generacije brezžičnih omrežij (0G do 5G). V to področje spadajo tudi nekatere medicinske naprave (npr. delno MRI), naprave za kuhanje (npr. mikrovalovna pečica) in naprave za brezžično polnjenje (npr. Applov Qi).

2.4 IR, vidna in UV svetloba

2.4.1 Infrardeče sevanje

Infrardeče (ang. Infrared – IR) ali toplotno sevanje zajema valovne dolžine med 780 nm in 1 mm. V elektromagnetnem spektru se nahaja med vidno svetlobo in mikrovalovi.

Naravna vira infrardečega sevanja sta sonce in ogenj, umetni viri pa so infrardeči grelniki, infrardeče savne in laserji.

Vdorna globina IR-sevanja je odvisna od valovne dolžine. Valovi IR-A prodirajo globoko v telo, medtem ko valovi IR-C bolj površinsko.

2.4.2 Vidna svetloba

Valovna dolžina vidne svetlobe se giblje med 380 in 780 nm. Na spodnji meji se dotika IR-sevanja na zgornji pa UV-sevanja.

Največji naravni vir svetlobe je Sonce, umetni viri svetlobe pa so različne vrste svetilk, varilni obloki in laserji.

2.4.3 Ultravijolično sevanje

Ultravijolično (ang. Ultraviolet – UV) sevanje obsega valovne dolžine od 100 do 400 nm. Ta spekter je razdeljen na tri dele, UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm) in UV-C (100–280 nm).

Sonce je največji vir naravnega UV-sevanja. Človeku škodljivo je UV-sevanje krajših valovnih dolžin, UV-B in UV-C. K sreči Zemljino ozračje v celoti absorbira sevanje UV-C in večino sevanja UV-B. Prisotnost slednjega se na Zemlji razlikuje od več dejavnikov: geografske širine, letnega časa, ure v dnevu... Umetni viri UV-sevanja so aparati za obločno varjenje, UV-svetila za sterilizacijo, naprave za polimerizacijo zob in solariji.

3 Učinki virov električnih, magnetnih in elektromagnetnih polj

Študije, ki obravnavajo vplive elektromagnetnih polj na človeka, se navadno specializirajo za ocenjevanje posameznih, zelo ozkih učinkov na človeka. Ti vplivi lahko teoretično povzročijo manjše neprijetnosti ali hujše bolezni.

Po vrsti vplivov elektromagnetnih polj na človeka raziskovalci obravnavajo naslednje morebitne učinke: spremembe na/v koži, spremembe na/v očeh, vpliv na presnovo glukoze, preobčutljivost na elektromagnetna polja in nastanek raznih benignih ali malignih tvorb v telesu.

Po vrsti raziskav, ki se navadno opravljajo, poznamo dve glavni skupini: (i) eksperimentalne (na izbranem primeru) in (ii) epidemiološke (raziskave na obsežni populaciji in v daljšem časovnem obdobju).

3.1 Učinki statičnih polj

3.1.1 Učinki statičnih električnih polj

Statična električna polja zaradi visoke prevodnosti človeškega telesa ne prodirajo vanj. Električno polje

inducira površinski električni naboj, ki se pri dovolj veliki jakosti kaže kot odziv človeških dlak.

Prag zaznave pri ljudeh je odvisen od mnogih dejavnikov in je med 10 in 45 kV/m.

Močna električna polja enosmernih visokonapetostnih vodov naelektrijo delce v zraku. Raziskave kažejo, da ni povečanega tveganja za zdravje ob prisotnosti (vdihovanju) takšnih delcev. Edini zaznan vpliv na zdravje zaradi statičnih električnih polj je stres (mikro šoki), ki ga povzroča daljša izpostavljenost takšnim mikro razelektritvam. Več o statičnih poljih najdemo v literaturi [3].

3.1.2 Magnetno resonančno slikanje (MRI)

Znanih je več mehanizmov, s katerimi lahko statična polja vplivajo na biološke sisteme. Pri človeku izpostavljenost statičnim magnetnim poljem vpliva na električno nabite delce v krvi, ko se premikajo skozi polje. Magnetna sila lahko pospeši ali zmanjša hitrost gibanja teh delcev. En primer je zmanjšanje pretoka krvi po žilah, drugi pa je vpliv preko zapletenih elektronskih interakcij, ki lahko vplivajo na hitrost specifičnih kemičnih reakcij v telesu.

Pri MRI se s pomočjo močnih statičnih magnetnih polj in elektromagnetnih polj nizkih in visokih frekvenc ustvari slika opazovanega objekta. Ta metoda je uveljavljena v medicini, ki v relativno kratkem času poda dobre informacije o različnih organih in drugi strukturah v telesu.

Splošna populacija (pacienti) se navadno zadržuje v območju naprav MRI le kratek čas, pa vendar organizacija ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) priporoča določene preventivne ukrepe tako za paciente kot za delavce (zdravnike, medicinske sestre). Primarno je potrebna zaščita pred statičnimi magnetnimi polji. Pri delu se lahko pojavita vrtoglavica in slabost, ki sta posledica majhnih električnih tokov v organu za ravnotežje (ušesu). Ta organ pošilja možganom drugačne informacije kot čutilo za vid, kar povzroča nelagodje. ICNIRP priporoča, da obremenitev celotnega telesa ne sme preseči 4 T, za nadzorovan način delovanja pa je zgornja meja izpostavljenosti celega telesa 8 T [4, 5].

3.2 Učinki nizkofrekvenčnih virov

Pri izpostavljenosti poljem virom nizkih frekvenc se električna polja in tokovi generirajo v notranjosti telesa in vplivajo na bioelektrične procese, ki že potekajo v telesu. Poleg tega nizkofrekvenčna električna polja delujejo na površinski naboj telesa.

Nad določeno stopnjo izpostavljenosti, ko je presežen prag [6], lahko inducirana notranja polja povzročijo učinke (ki so reverzibilni) na celice v telesu, kot je npr. šibka svetloba, ki utripa na robu vidnega polja, električni naboj na površini kože pa lahko povzroči dvig las ali dlak. Stimulacija živcev ali mišic s takšnimi polji lahko ravno tako povzroči učinke, kot je npr. mravljinčenje. Višje vrednosti nizkofrekvenčnih polj na človeka lahko povzročijo nereverzibilne (trajne) posledice, kot so opekline kože.

V preteklosti so se raziskave dolgoročnega vpliva nizkofrekvenčnih polj na ljudi osredotočale na pojav

levkemije pri otrocih, vendar korelacija ni bila nikoli znanstveno potrjena. Podobno velja za rakava obolenja pri odraslih, Parkinsonovo bolezen, multiplo sklerozo, vpliv na sposobnost razmnoževanja ali srčno-žilne bolezni.

3.3 Učinki visokofrekvenčnih virov

Določeni visokofrekvenčni viri so z nami že približno sto let (npr. radio), nekaj desetletij pa delujejo tudi že močno razširjene tehnologije mobilnih komunikacij. V teh desetletjih se je izdelalo na stotine raziskav in edini potrjeni učinek visokofrekvenčnih polj na človeški organizem je segrevanje izpostavljenega dela telesa. Glede na ta učinek so postavljene tudi priporočene mejne vrednosti [7]. Mehanizem je naslednji: elektromagnetni val prodre v telo (višja kot je frekvenca, manjša je vdorna globina) in povzroči vibriranje polarnih molekul v notranjosti. Nastane trenje in s tem toplota. Do določene mere lahko telo samo regulira temperaturo, od določenega praga naprej pa ne več in takrat lahko nastanejo posledice, kot je vročinski udar ali opekline.

Mejne vrednosti so določene glede na vrednosti, ki kažejo na pojav neželenih učinkov, čemur je dodan še varnostni faktor. Osnovne mejne vrednosti so izražene s stopnjo specifične absorpcije (ang. Specific Absorption Rate - SAR), ki se podaja v W/kg. Iz osnovnih mejnih vrednosti so potem izpeljane referenčne mejne vrednosti [7]. Če izmerimo vrednosti, ki so pod mejnimi, pomeni da smo precej pod vrednostmi, ki bi lahko povzročile nezaželene učinke. Navadno merimo gostoto pretoka moči v W/m^2 .

Na področju visokih frekvenc je bilo največ epidemioloških študij [8] izvedenih na področju morebitnega nastanka možganskih tumorjev zaradi uporabe mobilnih telefonov. Niti takšne raziskave niti raziskave na živalskih celicah niso pokazale povezanosti med elektromagnetnimi polji in zdravjem in splošno veljaven zaključek (WHO, ICNIRP) je, da če je jakost izpostavljenosti elektromagnetnim poljem pod toplotnim pragom, škodljivih učinkov za zdravje verjetno ne bo. Tudi v Sloveniji obstaja več raziskav, ki so ovrednotile vplive električnih polj visokofrekvenčnih virov na okolje [9].

ICNIRP je v svojih smernicah [7], ki jih je izdal leta 2020, naredil določene spremembe, ki bodo ščitile uporabnike tudi kasneje, ko se bodo tehnologije še razvijale (npr. 6G). Te spremembe so za vire, ki delujejo na frekvencah nad 6 GHz, naslednje: (i) dodane so povprečne omejitve celotnega telesa, (ii) dodane so omejitve za kratko izpostavljenost (pod 6 minut) in (iii) zmanjšano je območje povprečenja.

3.4 Učinki svetlobe

3.4.1 Viri infrardečega sevanja

Zaradi naravnega odziva telesa na IR-sevanje se telo takšnemu sevanju navadno dobro prilagodi, še posebej občutljivo na IR-sevanje pa je oko. Vsi deli očesa so občutljivi na toplotne poškodbe. Daljša izpostavljenost očesa vročini lahko povzroči motnost leče ali katarakto. Pri toplotni obremenitvi je pomemben tudi čas trajanja izpostavljenosti.

Umetni viri IR-sevanja so IR-grelniki za ogrevanje prostorov in IR-savne. Oboji delujejo v daljnem infrardečem območju (IR-C). Temperatura na koži dosega temperature med 50 in 70 °C.

V letu 2013 je ICNIRP objavila priporočene mejne vrednosti za izpostavljenost vidni svetlobi in infrardečemu sevanju [10].

3.4.2 Vidna svetloba

Sonce vpliva na človeka na dva načina, kot svetloba na oči in kot vir toplote na vse dele telesa. Močna svetloba, kot je npr. opazovanje sončnega mrka brez zaščite, lahko poškoduje mrežnico in povzroči slepoto. Tudi močan laser lahko povzroči toplotno poškodbo mrežnice – opekline, kar vodi k lokalni izgubi vidnega polja. Z vsakdanjo uporabo mobilnih naprav (telefonov, tablic) narašča skrb zaradi svetlobe krajših valovnih dolžin – modre svetlobe.

Sodobno razsvetljavo predstavljajo pretežno svetilke LED (ang. Light Emitting Diode). Razmah teh svetilk je omogočila kombinacija visoko učinkovite modre LED in dodatka fosforja za generiranje bele svetlobe. Svetilke LED oddajajo v primerjavi z drugimi svetlobnimi viri precej večji delež modre svetlobe, ne oddajajo pa v UV delu spektra in zelo malo v IR delu spektra.

Modra svetloba zavira izločanje melatonina, ki uravnava ritem spanja in budnosti (cirkadiani ritem), nekatere raziskave pa celo trdijo, da ta svetloba pospešuje staranje mrežnice. ICNIRP je leta 2020 izdal komentarje na Vodila za ravnanje z mejnimi vrednostmi izpostavljenosti laserskim virom valovnih dolžin med 180 nm in 1 mm, ki jih je izdal leta 2013 [11, 12].

3.4.3 Viri ultravijoličnega sevanja

V majhnih količinah je izpostavljenost telesa valovom UV-B koristna, saj pomaga pri sintezi vitamina D. Izpostavljenost večjim količinam valovov UV-B lahko povzroči sončne opekline in staranje kože, v najslabšem primeru pa tudi kožnega raka. Tudi oči niso imune na vpliv UV-sevanja. Intenzivna izpostavljenost lahko povzroči vnetje roženice in razne poškodbe mrežnice. Pojavijo se lahko spremembe, kot je motnost leče (katarakta) in tudi očesni rak.

Umetni viri UV-sevanja so solariji. Prve izvedbe le-teh so sevale v glavnem v spektru UV-A in zelo malo v delu UV-B. Zaradi dokazanih škodljivih učinkov UV-sevanja na kožo in oči, so solarije priredili tako, da zdaj sevajo mešanico UV-A in UV-B, ki je bliže naravnemu sončnemu sevanju. To omogoča krajše izpostavljenosti in hitrejšo porjavitve, seveda pa tudi enaka tveganja kot pri izpostavljenosti soncu.

ICNIRP je leta 2004 izdala Vodila za ravnanje z viri UV-sevanja in leta 2010 Stališče o zaščiti delavcev pred UV-sevanjem [13, 14].

4 Opravljene študije

Na virih električnih, magnetnih in elektromagnetnih polj znanstveniki že desetletja opravljajo dve vrsti študij: epidemiološke in eksperimentalne. Podroben pregled

lahko najdemo na EMF-Portal [15], pomembnejše raziskave pa so zajete v preglednici 1. Če se najprej osredotočimo le na epidemiološke raziskave v preglednici 1, opazimo, da je bilo na nizkofrekvenčnih virih (50/60 Hz) opravljenih 517 raziskav, na mobilnih telefonih 358 in na virih mm-valov le ena. Število opravljenih študij po vrsti vira precej pove o njegovi pomembnosti, kar pa ne pomeni, da se v prihodnje to ne bo spremenilo.

Preglednica 1. Pregled opravljenih raziskovalnih študij na virih električnih/magnetnih polj

VIR	EPIDEMIOLOŠKE ŠTUDIJE	EKSPERIMENTALNE ŠTUDIJE
Statična polja:	N/A	
--magnetna		1887
--električna		160
NF 50/60 Hz:	517	
--mag. polja		1904
--el. polja		367
VF do 3 GHz:	358	1547
--5G		401
mm-valovi* (nad 3 GHz):	1	827

*teoretično se spekter mm-valov začne pri 30 GHz.

Izmed epidemioloških študij, povezanih z vplivom virov nizki frekvenc (50/60 Hz), jih je bilo največ namenjenih raziskavam levkemije pri otrocih (99), čemur sledijo raziskave drugih rakov, možganskega (78) in raka dojke (64). Pri eksperimentalnih raziskavah, ki se osredotočajo ali na vpliv magnetnih polj ali na vpliv električnih polj nizkih frekvenc na človeka, jih je bila velika večina namenjena raziskovanju vpliva na zdravje, nato pa sledijo raziskave vpliva na DNK, celice in podobno.

Kot izhaja iz preglednice 1, je bilo opravljenih epidemioloških študij na visokofrekvenčnih virih (VF), kjer delujejo mobilne tehnologije, 358, približno polovica je bila namenjena raziskavi pojava možganskega in drugih oblik raka (skupaj 176). Eksperimentalne študije, ki so se opravljale na istih frekvencah (800–3000 MHz), jih je tretjina (652) raziskovala njihov vpliv na zdravje, nekaj manj (493) pa vpliv na spremembe DNK. Edina epidemiološka študija na frekvencah mm-valov, ki je bila zaključena leta 2018 [16], je bila opravljena na populaciji zaposlenih in je raziskovala povezanost vpliva virov mm-valov na pojav možganskih tumorjev. V preglednici 2 so eksperimentalne študije na mm-valovih podrobneje razdeljene po vrsti študije in njihovem številu.

Preglednica 2. Opravljene eksperimentalne študije na virih mm-valov

VRSTA ŠTUDIJE	ŠTEVILO ŠTUDIJ
medicinska/biološka	303
tehnološka/dozimterična	273
za terapevtske namene	16
drugo	143

5 Sklep

Iz prispevka lahko potegnemo naslednje ugotovitve. Prva je ta, da nekateri viri umetnih elektromagnetnih polj uživajo precej preveliko pozornost in skrb javnosti. Druga se nanaša na mejne vrednosti, ki omejujejo prekomerno obremenjevanje okolja z elektromagnetnimi polji. Te niso postavljene glede na uporabljeno tehnologijo, pač pa glede na to, v katerem frekvenčnem področju viri delujejo. Ob mednarodna organa, ki pripravljata smernice za izpostavljenost elektromagnetnim poljem (ICNIRP in Mednarodni odbor za elektromagnetno varnost pri IEEE) v smernicah zajemata frekvenčna območja do 300 GHz. Zato moramo npr. trditev, da na tehnologiji 5G oz. uporabi le-te na frekvencah mm-valov še ni bilo izvedenih dovolj raziskav, da bi res vedeli, kako je s sevanjem, mogoče preoblikovati v trditev, da je delom spektra mm-valov (npr. na 28 GHz), kjer je res malo epidemioloških raziskav, potrebno nameniti več prostora. Tretja ugotovitev je namenjena temu, da nas poleg brezžičnih tehnologij obkrožajo tudi druge tehnološke novosti (npr. modra svetloba pametnih naprav, UV-sevanje umetnih virov, IR-ogrevanje...), ki se bolj ali manj množično uporabljajo, pa mogoče nikoli ne pomislimo na varno uporabo le-teh. Za zaključek velja poziv raziskovalcem, da je smiselno raziskave na razvijajočih tehnologijah v povezavi z njihovim vplivom na okolje/človeka, ki bodo (morebiti množično) uporabljene v prihodnosti, začeti izvajati že danes. Le tako bomo znanstveniki pripravljeni in s čisto vestjo pozdravili prihodnje, nedvomno koristne dosežke tehnike.

Zahvala

Delo je podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru projekta J2-3048 in raziskovalnega programa P2-0246.

Literatura

- [1] International Commission on Non Ionizing Radiation Protection: <https://www.icnirp.org/en/applications/index.html>,
- [2] Extremely low frequency fields like those from power lines and household appliances, 18. 7. 2022, https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinion_layman/en/electromagnetic-fields/index.htm#7
- [3] Environmental Health Criteria 232: Static Fields, World Health Organization, ISBN 92-4-157232-9. Geneva, 2006
- [4] ICNIRP Statement, Amendment to the ICNIRP »Statement on Medical Magnetic Resonance (MR) procedures: protection of patients«, Health Physics 97(3): 259-261, 2009
- [5] ICNIRP Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics 96(4): 504-514, 2009
- [6] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz), Health Physics 99(6):818-8361, 2010
- [7] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz), Health Physics 118(5): 483–524, 2020
- [8] EMF-PORTAL: <https://www.emf-portal.org/en>
- [9] BATAGELJ, Boštjan, HUMAR, Iztok. Vrednotenje električnega polja visokofrekvenčnih virov glede mejnih vrednosti iz predloga Uredbe o elektromagnetnem polju. Elektrotehniški vestnik. [Slovenska tiskana izd.]. 2018, letn. 85, št. 1/2, str. 7-12, ilustr. ISSN 0013-5852. <http://ev.fe.uni-lj.si/1-2-2018/Batagelj.pdf>
- [10] ICNIRP Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation, Health Physics 105(1):74-96, 2013
- [11] ICNIRP Statement, Comments on the 2013 ICNIRP Laser guidelines, Health physics 118(5):543–548, 2020
- [12] ICNIRP Guidelines on limits of exposure to Laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1,000 µm, HEALTH PHYSICS 105(3):271-295, 2013
- [13] ICNIRP Guidelines on limits of exposure to Ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation), HEALTH PHYSICS 87(2):171-186, 2004
- [14] ICNIRP Statement on protection of workers against Ultraviolet radiation, HEALTH PHYSICS 99(1):66-87, 2010
- [15] EMF-PORTAL: <https://www.emf-portal.org/en>
- [16] Vila J, Turner MC, Gracia-Lavedan E, Figuerola J, Bowman JD, Kincl L, Richardson L, Benke G, Hours M, Krewski D, McLean D, Parent ME, Sadetzki S, Schlaefer K, Schlehofer B, Schüz J, Siemiatycki J, van Tongeren M, Cardis E, INTEROCC Study Group: Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach [epidem.], Environ Int 119: 353-365, 2018