

VISOKOFREKVENČNA ELEKTROMAGNETNA SEVANJA IN ZDRAVJE

Peter Gajšek

Povzetek. Naprave, ki so vir visokofrekvenčnih elektromagnetnih sevanj (VF EMS), so prodrle na vsa področja človekovega življenja in jih najdemo v telekomunikacijah, industriji, prometu, znanosti, medicini in v vsakem gospodinjstvu. Glede na množično izpostavljenost VF EMS bi lahko že majhni škodljivi učinki na zdravje povzročili velik javnozdravstveni problem. Številne raziskave kažejo, da lahko VF EMS nad določenim pragom jakosti škodujejo človeškemu zdravju. Raziskave, ki bi lahko pojasnile vprašanje zdravstvenih tveganj zaradi kronične izpostavljenosti šibkim jakostim, pa so pogosto protislovne in pomanjkljive. V tem preglednem članku je predstavljeno trenutno stanje stroke na področju zdravstvenih tveganj v povezavi z izpostavljenostjo VF EMS doma in v okolju.

UVOD

Hitri tehnološki razvoj, udobje in želja po mobilnosti večajo uporabo različnih brezžičnih sistemov. Brezžični sistemi so elektronska komunikacijska omrežja, ki za prenos informacij ne uporabljajo vodnikov, ampak poteka prenos v obliki elektromagnetnih sevanj po zraku. Prva praktična raba brezžičnih sistemov sega v konec 19. in začetek 20. stoletja, predvsem za prenos govora na dolge razdalje, s časom se je njihova raba tako za prenos govora kot tudi slike širila. Izjemen napredek in razširjenost pa so različni brezžični sistemi doživeli v zadnjih 20 letih z uvedbo mobilne telefonije.

Vse večja uporaba različnih brezžičnih naprav pomeni tudi dodatno umeščanje različnih virov VF EMS v okolje. S tem so povezani negotovost in vprašanja glede njihovih vplivov na okolje in zdravje ljudi. Predvsem zaradi stalnega uvajanja novih tehnik, ki omogočajo vse hitrejši prenos podatkov, se pospešeno pripravljamo na peto generacijo mobilne telefonije (5G).

SEVALNE OBREMENITVE V OKOLICI VIROV IN TIPIČNE IZPOSTAVLJENOSTI

Številne raziskave o VF EMS v okolju so pokazale, da so sevalne obremenitve zaradi baznih postaj in drugih visokofrekvenčnih virov EMS na človeku dostopnih mestih precej pod zakonsko določenimi mejnimi vrednostmi [1–3].

Na višini 1 m nad tlemi sevalne obremenitve dosejajo največ nekaj odstotkov mejnih vrednosti, v povprečju pa so nižje od enega odstotka. Mejne vrednosti bi bile presežene na razdalji le nekaj metrov neposredno pred anteno. Če se nahajamo vsaj 1 meter zunaj glavnega snopa antene bazne postaje, mejne vrednosti niso presežene.

VIRI VISOKOFREKVENČNIH ELEKTROMAGNETNIH SEVANJ

Bazne postaje mobilne telefonije

Antena bazne postaje oddaja visokofrekvenčni signal, ki je v snopu bistveno močnejši kot zunaj njega. Tako kot pri žepni svetilki je tudi snop antene zelo ozko prostorsko usmerjen. Glavni snop je navadno za nekaj stopinj nagnjen navzdol in pri precejšnji oddaljenosti (od 50 do 400 m) od antene bazne postaje doseže tla. Da je sevanje bazne postaje ozko usmerjeno, kaže tudi spodnja slika. Z rdečo je obarvano območje, kjer so mejne vrednosti za 1. območje presežene. To območje je le ozek pas pred anteno v njeni višini, torej več 10 m nad tlemi.

Vsaka bazna postaja pokriva le omejeno območje okrog stolpa. Zunaj tega območja so jakosti signalov premajhne, da bi mobilni telefoni sploh delovali. Ko se moč signala tako zmanjša, se telefon samodejno poveže s sosednjo bazno postajo. Če sosednje bazne postaje ni, telefon »izgubi« signal in zveza ni več mogoča.

Na območju okrog bazne postaje, ki je dostopno javnosti, so značilne sevalne obremenitve precej nižje od najstrožjih mednarodnih standardov in priporočil. Le v neposredni bližini antene v njenem glavnem snopu so mejne vrednosti lahko presežene. Tipične sevalne obremenitve okrog baznih postaj na območjih, dostopnih človeku, dosejajo manj kot odstotek dovoljenih vrednosti. V večini primerov so signali baznih postaj v bivalnem okolju primerljivi z ravnimi signalov radijskih in televizijskih oddajnikov [4].

Mobilni telefon

Mobilni telefoni so radijski oddajniki zelo majhnih moči, ki oddajajo in sprejemajo VF EMS v področju mikrovalov (med 800 in 2500 MHz). Med uporabo se navadno neposredno dotikajo ušesa ali glave. V desetih letih smo trikrat zamenjali tehnologijo: prva je bila NMT, leta 1991 so sledili GSM-telefoni, zdaj uporabljamo UMTS- in LTE-telefone. Zadnji sevajo od pet- do desetkrat manj, saj se je tehnika k sreči razvijala tako, da se je sevanje manjšalo. UMTS-telefoni, katerih največja oddajna moč je 0,25 W, delujejo običajno

na frekvenci 2.100 MHz, LTE-telefoni delujejo z največjo močjo 0,2 W na frekvencah okrog 800 in 1800 MHz, medtem ko GSM-telefoni delujejo z največjo oddajno močjo 2 W na frekvenci 900 MHz.

Za ocenjevanje bioloških učinkov VF EMS ter s tem za omejevanje izpostavljenosti se uporablja lokalna omejena SAR 2 W/kg, porazdeljena po tkivu mase 10 g v 6-minutnem intervalu. Ta količina se imenuje stopnja specifične absorpcije (SAR) in se hkrati uporablja kot merilo za oceno bioloških učinkov. Določena je s količino moči, absorbirane v biološkem tkivu (W/kg).

Ko uporabljamo mobilni telefon, nastane okrog glave, ušesa in roke območje sevanja. Porazdelitev stopnje specifične absorpcije (SAR) v glavi se razlikuje od mobilnika do mobilnika. Tipične vrednosti SAR pametnih telefonov znašajo nekje med 0,5 in 1,1 W/kg [5]. Pred nakupom lahko podatek o SAR posameznega telefona preverimo na spletnih straneh proizvajalcev in pri neodvisnih organizacijah. Razlika v vrednostih med najslabšim in najboljšim mobilnikom je lahko tudi desetkratna. Veliko lahko naredimo, če se odločimo za telefon z najnižjo vrednostjo, čeprav v Evropi vsi telefoni ustrezajo evropskim standardom, ki pravijo, da je mejna vrednost pri 2 W/kg.

Pri uporabi mobilnega telefona je najbolj obremenjena površina glave – sevalna obremenitev. SAR se proti notranjosti glave manjša. Če z numeričnim modelom, ki mora biti tudi eksperimentalno potrjen, ugotovijo, da je SAR porazdeljena v 10 g tkiva v glavi in vratu pod 2 W/kg, je mobilni telefon uspešno opravil test in je pripravljen za prodajo na trgu. Ta mejna vrednost že upošteva dodatni varnostni faktor, ki je uveden zaradi preventivnega varovanja zdravja. Na evropskem trgu morajo vsi mobilni telefoni ustrezati tej mejni vrednosti in produktnim standardom SIST EN 50568.

Drugi viri EMS

Z radiodifuzijo označujemo brezžični prenos zvoka in slike v obliki radijskih in televizijskih programov. Da lahko do radijskega in televizijskega sprejemnika prispe ustrezni signal, so potrebni radijski in televizijski oddajniki. Zaradi boljšega pokrivanja so ponavadi nameščeni na vrhu hriba, delujejo pa že več desetletij. V zadnjem času se je sistem analognih televizijskih oddajnikov nadgradil z digitalnimi oddajniki DVB-T, ki zagotavljajo boljša sliko in zvok in omogočajo večji izkoristek frekvenčnega prostora.

Oddajne moči FM-oddajnikov v frekvenčnem območju med 87 in 108 MHz so od nekaj 10 do nekaj 1000 W. V veliki večini so oddajniki nameščeni na oddajnih centrih zunaj urbanih območij, zaradi razmeroma neusmerjenih anten pa lahko v bližnji okolici povzročajo znatne sevalne obremenitve.

Srednjevalovni oddajniki imajo oddajne moči tudi do več 100 kW, oddajne antene pa so visoke tudi 100 m.

Oddajna moč oddajnika DVB-T je lahko zelo različna, saj je odvisno, kakšno območje mora s svojim signalom pokriti. Na velikih oddajnih centrih znašajo oddajne moči do 5 kW, manjši oddajniki za zagotavljanje pokrivanja na manjšem območju, kar se zlasti uporablja v hribovitih območjih, pa znašajo nekaj 10 do nekaj 100 W. Oddajniki DVB-T delujejo v UHF-območju med 470 in 800 MHz [6].

Omrežje WiFi doma pogosto prispeva največji delež k sevalnim obremenitvam. WiFi-naprave delujejo pri frekvencah 2, 4 in 5 GHz, tipična oddajna moč pa je do 200 mW.

Res je, da vrednosti z oddaljenostjo od dostopne točke WiFi hitro upadajo; v bližini dostopne točke je izmerjena električna poljska jakost dosegla vrednosti do 60 V/m, na razdalji 20 cm pa le še 4 V/m, vseeno pa je prispevek WiFi-ja k skupnim sevalnim obremenitvam doma lahko zelo pomemben. Poleg WiFi-ja pomemben delež sevalnih obremenitev prispeva tudi telefon DECT [7].

Ker so oddajne moči WiFi-dostopnih točk majhne, so v okolju sevalne obremenitve zaradi javnih WiFi omrežij, ki so pogosta v turističnih krajih in mestnih središčih, zanemarljive.

Tabela 1. Primerjava sevalnih obremenitev raznih visokofrekvenčnih virov elektromagnetnega sevanja (EMS)

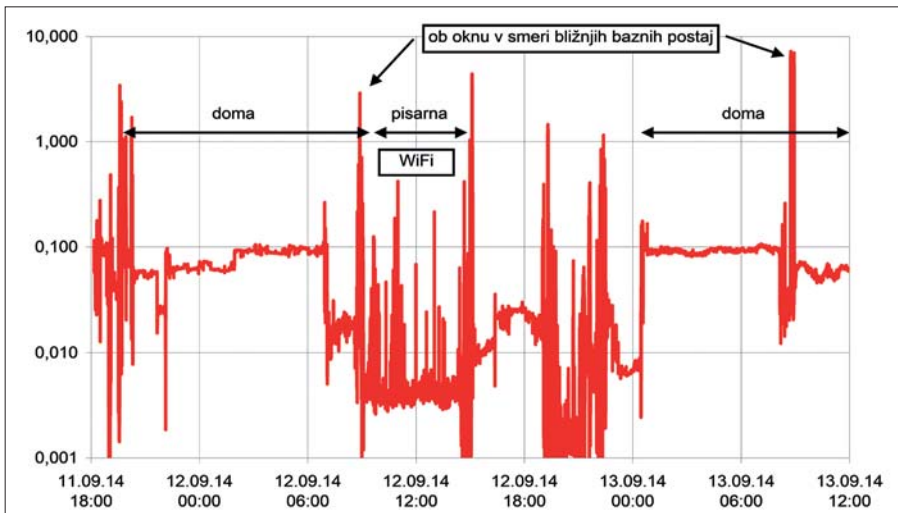
Karakteristike EMS	TV-oddajnik (VHF)	RA-oddajnik (UKV)	Bazna postaja	Mobilni telefon
Oddajna moč [W]	do 400.000	do 100.000	do 50	do 2
Frekvenca [MHz]	174–216	88 –108	900	900
Oddaljenost merilnega mesta [m]	1500	1500	50	0,03
Dovoljene mejne vrednosti [%]	do 10*	do 25*	do 2,5*	do 60**

* Vrednost, izražena v % dovoljene mejne vrednosti po Uredbi o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju za 1. območje varstva pred sevanji [10]. Meritve VF EMS zaradi oddajnikov v okolju so bile opravljene 1,5 m nad tlemi

** Ker v Sloveniji nimamo predpisane mejne vrednosti SAR za telefone, je vrednost izražena v % dovoljene mejne vrednosti po smernicah Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji

Osebna izpostavljenost

Vzročno povezavo med izpostavljenostjo določeni snovi in boleznijo, simptomi ali smrtjo dokazujemo z epidemiološkimi raziskavami in eksperimenti na živalih. Iskanje povezave med vzrokom in posledico je lahko zelo zahtevno, posebej zato, ker različne izpostavljenosti povzročajo enake bolezni in ker nas pogosto zanima vpliv šibkejšega povzročitelja, katerega vpliv je treba prikazati ločeno od vpliva močnejšega. Odgovori na vprašanja, ali je določena snov zdravju škodljiva, so zato posebej pri iskanju šibkih vplivov povzročitelja na zdravje človeka, zelo težavni. Narediti je treba več raziskav na različnih skupinah ljudi in z različnimi metodami in šele potem presojati, ali so bili dokazi dovolj močni za sklepanje o tem, kako nevarna je kaka snov. Ena največjih težav pri raziskovanju vpliva izpostavljenosti EMS na zdravje človeka je gotovo določanje izpostavljenosti. Če je pri epidemiološki raziskavi izpostavljenost definirana napačno, so lahko povsem napačni tudi dobljeni rezultati, ki govorijo o tveganju: prešibki ali celo premočni. Najustreznejši način določanja izpostavljenosti EMS za epidemiološke raziskave so trajne meritve osebne izpostavljenosti [3].



Slika 1. Tipične izpostavljenosti prebivalca, ki živi v stanovanjski hiši, 100 m oddaljeni od več baznih postaj različnih operaterjev. Na takšnih razdaljah od baznih postaj so sevalne obremenitve v spalnicah, ki se nahajajo v višjih nadstropjih hiše, najvišje. V spalnici dosega vrednosti 0,1% mejnih vrednosti za 1. območje varstva pred sevanji. Ob oknu, ki je obrnjeno proti baznim postajam, so vrednosti višje in dosežejo do 7 % mejnih vrednosti za 1. območje varstva pred sevanji. Na delovnem mestu v pisarni so prispevki WiFi dostopne točke in prenosnega računalnika najpomembnejši vir, ki dosega do 0,5 % mejnih vrednosti za 1. območje varstva pred sevanji

Primerjalna raziskava [3], opravljena v več državah EU, je pokazala, da povprečna izpostavljenost ljudi visokofrekvenčnim EMS doma in v okolju znaša med 0,1–0,26 V/m, kar je med 0,001 in 0,01 % mejne vrednosti glede na mednarodna priporočila ICNIRP.

Na podlagi primerjave rezultatov osebne izpostavljenosti je Gajšek s sodelavci [4] razvrstil izpostavljenost ljudi doma in v okolju v tri kategorije:

višja izpostavljenost, ki je posledica uporabe različnih virov neposredno ob telesu in lahko dosega izpostavljenosti blizu mejnih vrednosti: mobilni telefon (GSM, UMTS, LTE), brezžični telefon DECT in drugi brezžični vmesniki. Ta kategorija je najpomembnejša za ugotavljanje tveganja;

srednja izpostavljenosti, ki je posledica uporabe različnih virov blizu telesa in je precej (vsaj 10-krat) pod mejnimi vrednostmi: WiFi-usmerjevalniki, bazne postaje DECT, elektronske varuške, vmesniki Bluetooth, druge brezžične prenosne in nadzorne naprave. Ta kategorija je omejeno uporabna za ugotavljanje tveganja, vendar je le v nekaterih okoliščinah lahko relevantna za raziskave (izpostavljenost otrok WiFi in elektronskim varuškam);

nizka izpostavljenost, ki je posledica uporabe različnih virov v okolju in je daleč (vsaj 100-krat) pod mejnimi vrednostmi: TV in radijski oddajniki, radarji, bazne postaje GSM, UMTS, LTE, GSM-R, TETRA in WiMAX. Ta kategorija je zelo omejeno uporabna za ugotavljanje tveganja (razen za raziskovanje morebitnih zapoznelih vplivov EMS zelo nizkih jakosti na prebivalstvo).

Primerjalna analiza [8] osebne izpostavljenosti v 23 državah sveta je pokazala, da povprečna izpostavljenost visokofrekvenčnim EMS doma in v okolju ne presega 0,52 V/m, kar je 0,034 % mejne vrednosti glede na mednarodna priporočila ICNIRP.

K povprečnim sevalnim obremenitvam ravno tako v večini primerov največ prispeva uporaba mobilnega telefona in telefona DECT (19–63 % vseh povprečnih sevalnih obremenitev), medtem ko bazne postaje mobilne telefonije prispevajo 3–17 % vseh povprečnih sevalnih obremenitev. Med sevalnimi obremenitvami zaradi mobilnega telefona dominira prispevek v sistemu GSM, in sicer 16–56 %, v sistemu LTE 1–10 % ter v sistemu UMTS manj kot 2 %. Iz rezultatov meritev vidimo, da so uporabniki izpostavljeni najvišjim sevalnim obremenitvam zaradi sevanja mobilnih telefonov v sistemu GSM. Pomembno je dejstvo, da so precej manjšim, tako povprečnim kot tudi maksimalnim trenutnim vrednostim, izpostavljeni uporabniki sistema DCS in UMTS. Vrednosti EMS za sistem UMTS so precej nižje, ker so oddajne moči telefona v sistemu UMTS nižje od oddajnih moči v sistemu GSM, zaradi višje

frekvence delovanja tega sistema pa so tudi dovoljene višje mejne vrednosti. Iz tega sledi, da je bolje uporabljati mobilni telefon v načinu UMTS kot GSM, saj so sevalne obremenitve v mobilni telefoniji UMTS nekajkrat manjše [9].

Tako k maksimalnim kot tudi k povprečnim sevalnim obremenitvam največ prispevajo tiste naprave, ki se med uporabo nahajajo v neposredni bližini telesa uporabnika. Na prvem mestu je to mobilni telefon v GSM-sistemu, ki bistveno presega sevalne obremenitve vseh drugih virov EMS, vključno z baznimi postajami. V splošnem je na podeželju izpostavljenost manjša kot v mestih. Vendar to ne velja za mobilne telefone, saj je na podeželju izpostavljenost v sistemu GSM večja kot drugje, ker so bazne postaje bolj redko umeščene v prostor kot v mestih in je zato za prenos signala potrebna večja oddajna moč telefona. V primerih, ko je sta v bližini uporabnika še radijski ali televizijski oddajnik, je izpostavljenost lahko višja od izpostavljenosti zaradi vseh ostalih virov.

Meritve elektromagnetnih sevanj v okolju v Sloveniji [1] so pokazale, da so sevalne obremenitve na vseh izmerjenih lokacijah precej pod mejnimi vrednostmi, ki jih določa Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [10]. Maksimalna trenutna izmerjena vrednost sevalnih obremenitev zaradi baznih postaj je znašala približno 11,2 % zakonsko določenih mejnih vrednosti, povprečna vrednost pa manj kot 1 % mejnih vrednosti.

VPLIVI NA ZDRAVJE

Nepoznavanje in neotipljivost EMS pri ljudeh vzbujata zaskrbljenost, saj menijo, da izpostavljenost EMS iz različnih virov (visokonapetostni daljnovodi, radarji, mobilni telefoni, bazne postaje in gospodinjski aparati ...) lahko pomeni zdravstveno tveganje, še posebej pri otrocih.

Dejstvo je, da lahko EMS visokih jakosti povzroča akutne negativne vplive na zdravje. Izpostavljenost nizkim jakostim EMS in zapoznani učinki izpostavljenosti zaenkrat niso dokazani, niso pa znani niti fizikalni mehanizmi vpliva. Le nekaj epidemioloških raziskav statistično nakazujejo možnost zvečanja ogroženosti z nekaterimi oblikami raka.

Negativni vplivi na zdravje so poslabšanje zdravstvenega stanja ali celo bolezni, medtem ko sami biološki učinki nimajo nujno zaznavnih vplivov na zdravje [11]. Visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja nad določenim pragom pa nedvomno imajo nekatere biološke učinke.

Raziskave na zdravih prostovoljcih ne kažejo, da bi izpostavljenost visokofrekvenčnim EMS šibkih jakosti, ki so nižje od znanstveno potrjenih mejnih vrednosti, zaznavno škodovala zdravju. Izpostavljenost višjim jakostim, ki je lahko nevarna, pa je omejena z mednarodnimi priporočili ter domačo zakonodajo [10–13].

Ko VF EMS pri širjenju skozi prostor naletijo na človeka ali drugo živo snov, se jih določen del v tej snovi absorbira. Znano je, da se VF EMS zelo dobro absorbirajo v snovi, ki vsebuje veliko vode, absorbirana energija pa se pri dovolj visokih jakostih skoraj v celoti spremeni v toploto.

Visokofrekvenčna EMS (med 1 MHz in 10 GHz) prodrejo v izpostavljeno tkivo in pri dovolj visoki jakosti zaradi absorbirane energije v tkivu proizvajajo toploto ter s tem povzročijo njegovo segrevanje. Vdorna globina je odvisna od frekvence in je večja pri nižjih frekvencah. Visokofrekvenčna EMS, višja od 10 GHz, se absorbirajo na površini kože, pri tem pa zelo malo energije prodre podnjo.

Osnovna dozimetrična veličina za VF EMS nad 10 GHz je gostota pretoka moči (S) v vatih na kvadratni meter (W/m^2) ali za šibka polja v milivatih na kvadratni meter (mW/m^2). Znano je, da izpostavljenost gostoti pretoka moči nad $1000 W/m^2$ škoduje zdravju, saj lahko povzroči katarakto in opekline na koži [14].

Takojšnji vplivi elektromagnetnega sevanja

Vsi ugotovljeni in znanstveno potrjeni vplivi VF EMS na zdravje so nedvomno povezani s segrevanjem. Pojav segrevanja pod vplivom VF EMS lahko opazujemo na primeru mikrovalovnih pečic, ki v nekaj trenutkih segrejejo hrano. Sevalne obremenitve, ki smo jim navadno izpostavljeni v okolju, pa so mnogo nižje od tistih, ki bi bile potrebne za zaznaven dvig temperature.

Termični učinki: VF EMS so preučevali v povezavi z živalmi, vključno s primati. Prvi znaki škodljivih posledic za zdravje, ki so jih z naraščanjem jakosti EMS opazili pri živalih, se izražajo v obliki zmanjšane vzdržljivosti in sposobnosti za izvajanje miselnih nalog. Opravljene raziskave kažejo na to, da se škodljivi učinki lahko pojavijo pri osebah, ki so sevanjem izpostavljene s celim telesom ali pa le lokalizirano, če temperatura tkiva naraste za več kot $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Možni negativni učinki vključujejo spremembo vedenjskih vzorcev, pojav očesne katarakte, škodljive vplive na reproduktivno funkcijo ter različne psihološke in termoregulacijske odzive. Ti učinki so dobro raziskani in so znanstvena podlaga za omejevanje poklicne in splošne izpostavljenosti prebivalstva VF EMS [15].

Netermični učinki: Nekatere raziskave so pokazale, da lahko VF EMS vplivajo na telesna tkiva in organe tudi pri jakostih, ki so prenizke, da bi povzročile značilno segrevanje (t.j. pri nizkih vrednostih SAR). Vendar pa znanstveniki v nobeni izmed ponovitev teh raziskav niso potrdili negativnih vplivov na zdravje pri izpostavljenostih pod mednarodno sprejetimi mejnimi vrednostmi. Je le nekaj dokazov o netermičnih učinkih na celice kot posledici absorpcije VF EMS pri jakostih, pri katerih ne opazimo zvišanja telesne temperature [7, 16]. Ti učinki vključujejo spremembe v električni aktivnosti možganov, spremembe v aktivnostih encimov ter spremembe mobilnosti ionov, ki so odgovorni za prenos informacij v celice tkiva. Noben rezultat teh raziskav ni bil neodvisno ponovljen, zato ne moremo trditi, da VF EMS pri izpostavljenostih pod mejnimi vrednostmi pomenijo tveganje za človekovo zdravje. Ob tem moramo poudariti, da biološki učinek, ki smo ga morda opazili v izoliranih celicah zunaj človeškega telesa, ne pomeni nujno dokaza o vplivu na zdravje.

V povezavi z možnimi netermičnimi učinki Svetovna zdravstvena organizacija (SZO) ugotavlja, da nobena raziskava ni dokazala negativnih vplivov na zdravje pri jakostih, ki so pod dovoljenimi mejnimi vrednostmi, kljub dejstvu, da lahko VF EMS vplivajo na biološke sisteme pri jakostih, ki so premajhne za zaznavni dvig temperature.

SZO in Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) menita, da rezultati opravljenih raziskav o netermičnih učinkih ne dajejo zanesljive podlage za oblikovanje mejnih vrednosti.

Nespecifični simptomi: Nekateri ljudje naj bi bili posebej občutljivi za izpostavljenost VF EMS. Pripisujejo ji zbadanje in bolečine v tkivih, glavobole, slabosti, depresije, motnje pri spanju, utrujenost ter celo krče in epileptične napade. Avtorji raziskave [7] ugotavljajo, da ob upoštevanju znanstvenih meril ti rezultati raziskav niso ugotovili nobene povezave med sevanjem baznih postaj in pojavom akutnih nespecifičnih simptomov.

Nekatere raziskave kažejo, da se posamezniki v natančno nadzorovanih pogojih izpostavljenosti niso dosledno odzivali na VF EMS. Prav tako ni nobenega znanega fizikalnega mehanizma, ki bi pojasnil preobčutljivost na VF EMS. Raziskave na tem področju so zelo kompleksne, saj so v možne odzive na VF EMS vpleteni številni drugi subjektivni odzivi, ki niso neposredno povezani z učinki VF EMS.

Povezave med visokofrekvenčnimi EMS mobilnih telefonov ali baznih postaj in motnjami spanja, glavoboli ali drugimi splošnimi zdravstvenimi težavami ni bilo mogoče dokazati niti z eksperimentalnimi raziskavami na testnih osebah

niti z epidemiološkimi raziskavami. Spomin, odzivne sposobnosti in drugi vidiki kognitivnih sposobnosti niso bili prizadeti.

Namestititev bazne postaje pa v povezavi z zaskrbljenostjo glede možnih učinkov na zdravje lahko povzroči motnje spanja, pa čeprav je bazna postaja izključena. Zastiranje elektromagnetnih sevanj v spalnih prostorih s posebnimi zavesami ni privedlo do izboljšane kakovosti spanja. Glede vprašanja preobčutljivosti za EMS so čedalje pogostejši kazalniki, da ni povezave med izpostavljenostjo EMS in nespecifičnimi simptomi.

Prevladujoče znanstveno mnenje, ki ga podpira tudi SZO, je, da ni dovolj znanstveno potrjenih rezultatov raziskav, ki bi potrdili preobčutljivost na VF EMS in s tem nespecifične simptome.

Pozni vplivi elektromagnetnega sevanja

Številne epidemiološke raziskave so proučevale morebitno povezavo med izpostavljenostjo VF EMS nizkih jakosti in zapoznelimi učinki, vključno z večjo grožnjo raka. Vendar pa je zaradi zasnove in izvedbe teh raziskav njihove izsledke težko interpretirati. Vrsta avtorjev neodvisnih pregledov objavljenih znanstvenih raziskav so ugotovili [17, 18, 19], da ni jasnih dokazov o povezavi med izpostavljenostjo VF EMS in večjo grožnjo raka zaradi izpostavljenosti nekaterim virom EMS v okolju (bazne postaje). SZO je ugotovila [15], da ni prepričljivih znanstvenih dokazov o tem, da bi izpostavljenost VF EMS skrajšala življenjsko dobo pri ljudeh ali da bi VF-sevanja lahko povzročila raka. Vendar pa so potrebne dodatne raziskave.

Celovit in kritičen pregled vseh relevantnih raziskav kaže, da povezava med rakom in izpostavljenostjo EMS iz okolja zaradi oddajnih sistemov (bazne postaje) ni bila ugotovljena.

Rak

Doslej največja raziskava o vplivu sevanj mobilnih telefonov na razvoj raka v glavi in vratu *Interphone* je ugotovila, da lahko dolgotrajna pogosta uporaba mobilnega telefona zveča grožnjo nekaterih vrst tumorjev pri odraslih, v tkivih, ki so ob uporabi mobilnega telefona najbolj izpostavljena (gliom, meningiom, akustični nevrinom in *tumor* obušesnih žlez). Raziskava se je začela že v letu 2000 in vanjo je bilo vključenih skupno več kot 6.500 primerov tumorjev in več kot 7.000 posameznikov v kontrolni skupini. Kljub skrbnemu načrtovanju rezultati v veliko primerih kažejo celo zmanjšanje tveganja za nastanek nekaterih tumorjev pri uporabi mobilnikov. Večja ogroženost se je

pokazala samo pri dolgotrajni (več kot desetletni) intenzivni izpostavljenosti (več kot 1.600 ur pogovorov) za gliom in meningiom. Mednarodna agencija za raziskovanje raka (IARC) je na podlagi večletnih analiz in številnih raziskav [20] uvrstila visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja v skupino 2B, kar pomeni, da so možno karcinogena za ljudi (<https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>). Ta pregled raziskav se nanaša predvsem na možnost, da lahko izpostavljenost šibkim jakostim EMS povzroča zapoznele učinke, še posebno večjo ogroženost z rakom.

Glavni razlog za to odločitev so ugotovitve o večji grožnji glioma, maligne vrste raka na možganih, zaradi uporabe mobilnih telefonov. Poudariti je treba, da povezava med izpostavljenostjo visokofrekvenčnim EMS zaradi mobilnega telefona in rakom v glavi zaradi nekonsistentnosti pri ugotavljanju izpostavljenosti in pomanjkanja podpore v drugih potrebnih raziskavah (predvsem verjetne razlage osnovnih mehanizmov) ne dosega ali ne zadošča merilom za nedvoumno potrditev vzročne povezave. Zato je treba ugotovljeno povezavo med visokofrekvenčnimi sevanji mobilnih telefonov in možganskim tumorjem razumeti kot šibko, a vendar pozitivno.

Kritični pregled znanstvenih raziskav [7, 15] je privedel do zaključka, da je povezava med gliomom in akustičnim nevrinomom ter sevanjem mobilnih telefonov omejena, medtem ko je povezava med vsemi drugimi vrstami raka nezadostna za izoblikovanje končnih zaključkov.

Delovna skupina ni kvantitativno ocenila tveganja, kljub temu pa je ugotovila, da določene epidemiološke raziskave med uporabniki mobilnih telefonov kažejo na 40 % zvečanje ogroženosti z gliomom med najbolj pogostimi uporabniki (povprečno vsaj 30 minut na dan v zadnjih 10 letih).

Dokazov za povezavo s kakršno koli drugo vrsto raka še ni oziroma so dokazi pomanjkljivi, prav tako pa dokazi o rakotvornosti pri otrocih še niso na voljo oziroma raziskave še potekajo. Prav tako so pomanjkljivi dokazi o negativnih vplivih na živali. Tovrstna klasifikacija bo omogočila financiranje dodatnih raziskav, ki bodo dale več odgovorov o zdravstvenih vplivih uporabe mobilnih telefonov.

Ker mobilni telefon uporabljamo neposredno ob telesu, so sevalne obremenitve precej višje (v povprečju dosežejo do 50 % mejne vrednosti) od tistih, ki smo jim lahko izpostavljeni v okolju zaradi baznih postaj (do nekaj % mejne vrednosti).

Rezultati raziskav na živalih, ki so jih opravili na več generacijah, ne podpirajo hipoteze o posebni občutljivosti v zgodnjih obdobjih razvoja. Pri otrocih

niso dokazali povezave med izpostavljenostjo visokofrekvenčnim sevanjem in akutnimi zdravstvenimi težavami. Ker je latentna doba rakavih bolezni dolga, vsesplošna uporaba mobilnih telefonov in drugih naprav pa razmerna kratka, ostaja vprašanje o njenih morebitnih poznih učinkih po več kot deset letih še naprej brez odgovora. To je predmet nadaljnjih raziskav. Trenutno ni mogoče dokončno odgovoriti niti na vprašanje, ali je zdravstveno tveganje zaradi dolgotrajne izpostavljenosti sevanjem mobilnih telefonov za otroke – bodisi zaradi starostno pogojenih razlik ali pa zaradi daljše življenjske izpostavljenosti – večje kot za odrasle. Seveda je iskanje odgovora tudi na to vprašanje intenzivno v teku, še posebej ker je ena od dozimetričnih raziskav na različnih modelih otroških glav pokazala, da so predvsem pri mlajših otrocih določena tkiva in predeli možganov med telefoniranjem lahko deležni večje obsevanosti kot pri odraslih.

Zaključek kritičnega pregleda znanstvenih raziskav je, da je povezava med določenimi vrstami raka v glavi ter sevanjem mobilnih telefonov majhna, medtem ko je povezava med vsemi drugimi vrstami raka in viri EMS iz okolja (bazne postaje) prešibka, da bi dopustila dokončne sklepe o škodljivih učinkih EMS nizkih jakosti.

ZAKLJUČEK

V zadnjih 50 letih je bilo veliko raziskav o vplivu elektromagnetnih sevanj na zdravje. Njihove rezultate je analizirala in kritično ovrednotila vrsta strokovnih organizacij, kot sta Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) in Svetovna zdravstvena organizacija (SZO). Prevladujoče znanstveno mnenje je, da sevalne obremenitve, ki so nižje od mejnih vrednosti mednarodnih priporočil ICNIRP, ne predstavljajo zdravstvenega tveganja za otroke in odrasle.

Obstaja tudi veliko število raziskav, ki poročajo o bioloških učinkih pri zelo nizkih jakostih. Največkrat so rezultati teh raziskav nenatančni in pomanjkljivi ali celo protislovni. Zato jih je treba strokovno ovrednotiti na podlagi znanstvenih kriterijev. Vnovično ovrednotenje je zelo pomembno tudi zato, ker lahko različne subjektivne razlage in mnenja o njih zavedejo javnost. To je še posebej razvidno pri poročanju o rezultatih raziskav netermičnih učinkov. Če ocenimo raziskave netermičnih učinkov po sprejetih znanstvenih merilih za ugotavljanje določenih učinkov, ugotovimo, da ne vzdržijo strogih preverjanj, ali pa jih v neodvisnem znanstvenem laboratoriju ni mogoče ponoviti in potrditi.

Visokofrekvenčna EMS visokih jakosti povzročajo vibriranje in trenje zaradi premikov in zasukov molekul v tkivu, kar ima za posledico segrevanje. Termične učinke lahko pričakujemo v primeru zadrževanja neposredno pred antenami na oddaljenosti do 1 m, niso pa mogoči pri nivojih, ki se običajno pojavljajo v okolju.

Za pojav negativnih učinkov na zdravje mora priti do izpostavljenosti nad določeno mejno vrednostjo. Znani nivo praga je izpostavljenost, ki je potrebna za dvig telesne temperature za najmanj 1°C. Sevalne obremenitve baznih postaj pa so v povprečju 100-krat nižje od znanstveno določene mejne vrednosti in ne morejo povzročiti zaznavnega zvišanja temperature.

V povezavi z baznimi postajami mobilne telefonije pa SZO zaključuje, da ob upoštevanju vseh dosedanjih rezultatov znanstvenih raziskav in dejstvu, da bazne postaje predstavljajo zelo nizke sevalne obremenitve, ne obstajajo prepričljivi dokazi, da bi lahko šibki signali EMS zaradi delovanja baznih postaj povzročali negativne vplive na zdravje.

Znanstveniki doslej niso našli nobenih dokazov o tem, da bi dolgotrajna izpostavljenost visokofrekvenčnim sevanjem pod mejnimi vrednostmi lahko povzročila kakršnekoli škodljive vplive na zdravje. Izjema so le mobilni telefoni, ki jih uporabljamo neposredno ob telesu in katerih sevalne obremenitve bistveno presegajo tiste iz okolja (npr. sevalne obremenitve zaradi baznih postaj).

Ključne mednarodne organizacije pri pregledu razpoložljivih objavljenih raziskav, ki v zelo omejenem obsegu kažejo na prisotnost različnih bioloških učinkov, niso uspele ugotoviti vzročne povezave med temi biološkimi učinki na celicah, živalih ali ljudeh ter možnimi posledičnimi vplivi na zdravje.

Če predpostavimo obstoj zapoznelih učinkov, kot je na primer rak, bi morali predvideti, da tveganje narašča z izpostavljenostjo. To pomeni, da tveganja ni le v primeru, ko izpostavljenosti ni. Družba pa se je odločila, da bo njen razvoj temeljil na sprejemljivem tveganju, to pomeni nenehnem tehtanju med tveganjem in koristmi, ali pa primerjanju z drugimi tveganji. V obeh primerih pa je treba kvantitativno oceniti tveganje, kar pa je za EMS nemogoče, saj tveganje še ni bilo potrjeno. Svetovna zdravstvena organizacija navaja, da vsi pregledi znanstvenih raziskav jasno kažejo, da sevalne obremenitve v celotnem frekvenčnem področju 0–300 GHz, ki so nižje od mednarodnih smernic ICNIRP, ne povzročajo poznanih negativnih vplivov na zdravje. Obstajajo pa še določene pomanjkljivosti v znanju, ki jih lahko zapolnimo le z visokokakovostnimi raziskavami, ki bodo nudile možnost za bolj natančno oceno tveganj za zdravje.

LITERATURA

1. Trček T, Valič B, Kotnik T, Gajšek P. Elektromagnetna sevanja v okolici baznih postaj nLTE. *Elektroteh Vestn* 2014; 81: 39–44.
2. Eeftens M, Struchen B, Birks LE, Cardis E, Estarlich M, Fernandez MF, et al. Personal exposure to radio-frequency electromagnetic fields in Europe: Is there a generation gap? *Environ Int* 2018, 121: 216–26.
3. Birks LE, Struchen B, Eeftens M, van Wel L, Huss A, Gajšek P, Kheifets L: Spatial and temporal variability of personal environmental exposure to radio frequency electromagnetic fields in children in Europe. *Environ Int* 2018, 117: 204–14.
4. Gajšek P, Ravazzani P, Wiart J, Grellier J, Samaras T, Thuroczy G: Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz-6 GHz). *J Exp Sci Environ Epidemiol* 2015, 25 (1): 37–44.
5. Joseph W, Frei P, Rössli M, Vermeeren G, Bolte J, Thuroczy G, et al. Between-country comparison of whole-body SAR from personal exposure data in urban areas. *Bioelectromagnetics* 2012, 33 (8): 682–94.
6. Dürrenberger G, Fröhlich J, Rössli M, Mattsson MO, EMF Monitoring-concepts, activities, gaps and options. *Int J Environ Res Public Health* 2014; 11 (9): 9460–79.
7. SCENIHR: Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, 2015. Pridobljeno na spletni strani https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf.
8. Rowley JT, Joyner KH. Comparative international analysis of radiofrequency exposure surveys of mobile communication radio base stations. *J Exp Sci Environ Epidemiol* 2012; 22 (3): 304–15.
9. Gajšek P, Struchen B, Valič B. RF exposure survey of children and adults: First results from Slovenia. *IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (RADIO)*, 2016. IEEE, ISBN 9781509025817.
10. Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. Ur l RS, št. 70/96.
11. Jauchem JR. Effects of low-level radio-frequency (3 kHz to 300 GHz) energy on human cardiovascular, reproductive, immune, and other systems: A review of the recent literature. *Int J Hyg Environ Health* 2008; 211: 1–29.
12. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 1998; 74 (4): 494–522.
13. EC: Council of the European Union. Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). *OJEU* 1999; (199): 59–70. Pridobljeno na spletni strani europa.eu.int/comm/health/ph/programmes/ph_fields_cr_en.pdf.
14. WHO: Electromagnetic fields and public health – Base stations and wireless technologies, Backgrounder 2006. Pridobljeno na spletni strani www.who.int/peh-emf.
15. WHO: Fact sheet No. 193: Electromagnetic fields and public health: Mobile telephones and their base stations. 2011. Pridobljeno na spletni strani www.who.int/peh-emf.
16. Baan R, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, et al. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol* 2011; 12 (7): 624–6.
17. Levitt BB, Lai H. Biological effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays. *Environ. Rev* 2010; 369–95.

18. Rööslī M, Frei P, Mohler E, Hug K. Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations. *Bull World Health Organ* 2010; 88 (12): 887–96. Pridobljeno na spletni strani www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2995180/pdf/BLT.09.071852.pdf.
19. Verschaeve L. Genetic damage in subjects exposed to radiofrequency radiation. *Mutation Res* 2009; 259–70.
20. IARC. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Non-ionizing radiation. Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields 2013; 102, 488 pp.