

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине
Ниво студија: Мастер академске студије
Предмет: Физички параметри животне и радне средине
Број индекса: 487/2019

Ивана Д. Ташовић

**Штетно дејство нејонизујућег
електромагнетног зрачења**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **др Иван Мачужић - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада потребно је да студент анализира све типове и изворе електромагнетних зрачења, према њиховој јачини и фреквентном подручју у којем се манифестују. Посебну пажњу посветити тзв. нејонизујућем делу спектра електромагнетних зрачења. Анализирати и приказати податке о потенцијалним штетностима зрачења за људски организам и живи свет уопште. Приказати резултате истраживања штетног дејства микроталасних зрачења као и зрачења у делу спектра које се користи у савременим телекомуникацијама.

Приказати основне елементе међународних препорука и прописа којима се дефинишу мере заштите које треба да спроведу сви учесници у процесу стварања електромагнетног зрачења, принципи за спречавање штетних утицаја као и дозвољене вредности електричних и магнетских поља.

Крагујевац

Ментор: _____

др Иван Мачужић

Велико хвала мом ментору проф. др Ивану Мачужићу на стрпљењу и великој помоћи у формулисању и изради мастер рада, смерницама и знањима које је поделио са мном.

Посебно хвала мојој породици и баки која је била уз мене, подржавала ме и пружала сву снагу и подршку кроз школовање и живот.

Abstract: *In the world we live in, electromagnetic radiation is everywhere, natural sunlight, lightning, cosmic rays, various electronic devices and apparatus, and there is no space on the Planet that they cannot reach. This, the living world and people are constantly exposed to radiation of different frequencies and wavelengths created by many human creations and inventions. In the last thirty years, numerous researches have been conducted in the world's laboratories and there has been no direct evidence that radiation is harmful to the human body, except in the case of radiation at short distances from radiation sources. This work analyzes the sources of electromagnetic radiation, their intensity and the frequency range in which they are manifested. Also, according to international recommendations and regulations, certain protection measures are proposed in the process of creating electromagnetic radiation. The principles for prevention of harmful effects and permissible values of electric magnetic fields, adopted by the International Association for Protection against Non-Ionizing Radiation (ICNIRP) and the EU, are stated.*

Keywords: *electromagnetic radiation, non-ionizing radiation, impact on health and quality of life*

Резиме: *У свету у којем живимо електромагнетно зрачење је свуда, природна сунчева светлост, муње, космички зраци, разни уређаји и апарати и не постоји простор на Планети до којих не допиру. Тако су живи свет и људи непрекидно изложени зрачењима различите фреквенције и таласних дужина настале многим људским креацијама и проналасцима. У последњих тридесет година обављена су бројна истраживања у светским лабораторијама и није се дошло до директних доказа да су зрачења штетна за људски организам, изузев уколико се ради о зрачењима на малим растојањима од извора зрачења. У раду се анализирају извори електромагнетних зрачења, њихова јачина и фреквентно подручје у којем се манифестују. Такође, према међународним препорукама и прописима предлажу се одређене мере заштите у процесу стварања електромагнетног зрачења. Наведени су принципи за спречавање штетних утицаја и дозвољене вредности електричних магнетних поља које су донели Међународно удружење за заштиту од нејонизујућег зрачења (ICNIRP) и ЕУ.*

Кључне речи: *електромагнетно зрачење, нејонизујуће зрачење, утицај на здравље и квалитет живота*

Садржај:

1. УВОД	1
2. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ЗРАЧЕЊА.....	4
2.1. ИСТОРИЈА ОТКРИЋА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ЗРАЧЕЊА	4
2.2. ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИ ТАЛАС И СПЕКТАР ЗРАЧЕЊА	10
2.2.1. Подела штетних електромагнетних зрачења	13
2.2.2. Термин „блиска“ и „далека“ зона електромагнетних поља	16
2.3. НЕЈОНИЗУЈУЋЕ ЗРАЧЕЊЕ	17
2.3.1. Извори нејонизујућих зрачења	17
3. ШТЕТНО ДЕЈСТВО НЕЈОНИЗУЈУЋЕГ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ЗРАЧЕЊА.....	19
3.1. МЕХАНИЗАМ ИЗЛАГАЊА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОМ ЗРАЧЕЊУ	20
3.2. УТИЦАЈ МИКРОТАЛАСНОГ ЗРАЧЕЊА НА ЗДРАВЉЕ ЉУДИ.....	21
3.2.1. Начин функционисања мобилних телефона	22
3.2.2. Заштита од електромагнетног зрачења у нашим домовима	25
3.3. БЕЖИЧНА ТЕХНОЛОГИЈА 5G МРЕЖА.....	26
3.3.1. Истраживање научника о биолошким и здравственим ефектима милиметарских таласа.....	28
3.4. УРЕЂАЈИ И СЕНЗОРИ ЗА МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ЗРАЧЕЊА	28
3.4.1. Сензор НАРДА 8059.....	29
3.4.2. Сензор НАРДА 8061.....	30
3.4.3. НАРДА решење за мобилни сензор	31
3.4.4. НАРДА SRM 3006.....	32
3.4.5. САТИМО FlashRed сензор	33
3.4.6. Сензор Rohde & Schwarz TS.....	34
Слика 31. Сензори Rohde & Schwarz TS [10].....	34
Слика 32. Сензор Rohde & Schwarz TS на постављеној локацији [10]	35
4. ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА И ПРОПИСИ У ОБЛАСТИ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ЗРАЧЕЊА У СРБИЈИ	36
4.1. МРЕЖА МОНИТОРИНГА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ЗРАЧЕЊА У ИТАЛИЈИ	39
4.2. НОРМЕ КОЛИМА СЕ ОГРАНИЧАВА ИЗЛАГАЊЕ ЉУДИ ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИМ ПОЉИМА	42
4.1.1. Норме дефинисане правилником о границама излагања нејонизујућим зрачењима у зонама повећане осетљивости	44
4.1.2. Норме за људску популацију дефинисане ICNIRP препоруком	46
4.1.2.1. Норме за техничко особље дефинисане ICNIRP препоруком	47
4.1.3. Норме за општу људску популацију дефинисане FCC препоруком.....	49
4.1.3.1. Норме за техничко особље дефинисане FCC препоруком.....	50
4.1.4. Норме за општу људску популацију дефинисане IEEE стандардом.....	51
4.1.4.1. Норме за техничко особље дефинисане IEEE стандардом.....	51
4.1.5. Норме за општу људску популацију дефинисане ARPANSA стандардом.....	52
4.1.5.1. Норме за техничко особље дефинисане ARPANSA стандардом.....	52
4.1.6. Упоредни преглед референтних граничних нивоа интензитета електричног поља.....	53
4.2. МЕТОДЕ ЗА МЕРЕЊЕ ИНТЕНЗИТЕТА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ЗРАЧЕЊА У ДРУГИМ ЗЕМЉАМА....	54
5. ЗАКЉУЧАК	58
6. ЛИТЕРАТУРА	60

1. Увод

Природа је човечанству подарила природну електромагнетну позадину коју емитује свемир и биљни свет. Сва разноликост живота на нашој Планети настала је, еволуирала и сада постоји захваљујући непрекидној интеракцији са различитим факторима околине, прилагођавајући се њиховом утицају и променама, користећи их у животним процесима а већина ових фактора је управо електромагнетне природе. Током читаве епохе еволуције живих организама, електромагнетно зрачење постоји у њиховом станишту – биосфери. Научници су непрестано откривали све више и више природног електромагнетног зрачења у различитим опсезима електромагнетног спектра. Електромагнетна поља и зрачење буквално продиру у читаву биосферу Земље и може се претпоставити да су сви домети природног електромагнетног спектра имали одређену улогу у еволуцији организма и да је то утицало на процесе њихове виталне активности.

Састоји се од врло слабих електромагнетних осцилација, чија учесталост узрокује хармонизацију свих система људског тела. Међутим, са развојем цивилизације управо је та природна позадина потиснута електромагнетним зрачењем које ствара човек. Човечанство све више ослобађа директне зависности од спољног окружења и повећава свој утицај на природу.

Уз помоћ радија и електронских уређаја, људска популација је створила невидљиву електромагнетну мрежу у којој се сви налазимо и која се непрестано повећава.

Моћни високонапонски далеководи, не мање снажне и бројне радио и телевизијске предајне станице, свемирски репетитори, електрични транспорт (електрични возови, трамваји и тролејбуси), сви они утичу на укупну слику утицаја електромагнетних поља. Више од стотину милиона људи не знајући, свакодневно долази у контакт са изворима електромагнетних поља. То се дешава и код куће и на послу, у шетњи или на одмору.

Последњих деценија, нарочито година све више смо окружени новим напреднијим дигиталним технологијама попут паметних уређаја који су условљени сталном повезаношћу са интернетом, па их људи несвесни потенцијалних последица држе непрестано повезаним.

Због просторне распрострањености нарочито се истичу јавни мобилни системи (GSM – *Global System for Mobile Communications*, DCS – *Digital Communication System*, UMTS – *Universal Mobile Telecommunication System*, LTE – *Long-Term Evolution*). Такође, не треба заборавити ни широко распрострањене WLAN (*Wireless Local Area Network*) мреже, као и друге системе (FM радио, телевизија, TETRA – *Terrestrial Trunked Radio*, DVB – *Digital Video Broadcasting*, CDMA – *Code division multiple access...*). Бежични радио-системи као основ за комуникацију користе емисију електромагнетних таласа. Последица тога је пораст нивоа електромагнетног зрачења у животном окружењу. Генерално, код становништва постоји страх од ефеката овог зрачења. Са друге стране, бежични системи су данас незаменљив део савременог живота и не могу се једноставно уклонити или заменити. Из тих разлога, од велике важности је потреба за објективним сагледавањем нивоа електромагнетног зрачења у животном окружењу (слика 1) [1].



Слика 1. Електромагнетна зрачења у окружењу [1]

Мобилни уређај у овом стању се понаша слично као и током разговора, повећавајући снагу емитованог зрачења. Свако домаћинство данас поседује разне изворе нејонизујућег зрачења попут: фрижидера, веш машине, машине за судове, електрични шпорет, апарат за кафу, микроталасну рерну, рачунар, мобилни телефон и друге електричне кућне уређаје, али, сви ови уређаји су прикључени у утичнице, а саме утичнице па чак и зидови су повезани жицама, напонима који стварају и шире електромагнетна поља која нису безазлена по наше здравље (слика 2). Поред тога, изложеност људи радио-фреквенцијским електромагнетним пољима потребно је редовно пратити, због очекиваног великог раста саобраћаја у будућим бежичним мрежама и планиране густе инсталације малих ћелија, са базним станицама постављеним ближе корисницима.



Слика 2. Електромагнетна зрачења у домаћинствима [1]

Радио-фреквенцијско електромагнетно зрачење спада у групу тзв. нејонизујућих зрачења. Потребно је истаћи разлику између нејонизујућих зрачења и јонизујућих зрачења, са обзиром да су ефекти које имају ова два типа зрачења потпуно различити, али се због коришћења термина “зрачење” често доводе у везу. Нејонизујућа зрачења су електромагнетна зрачења која имају енергију фотона мању од 12,4 eV и не могу да јонизују атоме и молекуле. Групи нејонизујућих зрачења, поред радио-фреквенцијског електромагнетног зрачења, припадају и видљива, ултраљубичаста и инфрацрвена светлост, као и електрична и магнетна поља ниских фреквенција [1].

Са друге стране, групи јонизујућих зрачења припада X-зрачење и зрачење радиоактивних материја. За разлику од нејонизујућих зрачења, јонизујућа зрачења могу да произведу јоне и проузрокују штетне ефекте по живот и здравље људи, као и по животну средину.

Постоји велика полемика да ли радиоефект и микроталасно нејонизујуће зрачење производи и друге ефекте осим термалног. Међутим, разна истраживања показују да је људски организам осетљив на ова зрачења и да она проузрокују разне негативне ефекте активирајући стресне механизме зрачењем, повећава се стрес коме смо свакодневно изложени, утиче на генетику, ДНК молекуле, репродуктивни систем, на нервни систем и могуће активности у будном стању и приликом спавања погоршавајући квалитет сна [1].

Да би се контролисао утицај електромагнетног зрачења на људе, у оквиру међународних стандарда, као и у домаћој регулативи, дефинисане су норме којима се ограничава излагање електромагнетним пољима која потичу од телекомуникационих уређаја. Овим нормама дефинисане су границе, исказане кроз базична ограничења и изведене референтне граничне нивое, преко којих људи не смеју бити изложени електромагнетним пољима. Да би се у пракси проверило да ли је испоштован овај услов спроводе се мерења, а понекад и прорачуни, интензитета електромагнетног поља у околини предајника бежичних радио-система.

Дозвољене вредности електромагнетних емисија установљене су на основу обимних истраживања спроведених последњих тридесетак година. Установљене граничне вредности за радио-фреквенцијско електромагнетно зрачење засноване су углавном на истраживањима утицаја топлотног и стимулативног ефекта на људско тело.

Убрзани развој бежичних телекомуникационих сервиса и услуга изазива све већу пажњу и бојазан у јавности да електромагнетно зрачење које настаје као последица коришћења ових сервиса и услуга, може угрозити здравље опште популације. С обзиром на то, Регулаторна агенција за електронске комуникације и поштанске услуге (*PATEL*) је покренула иницијативу за развој система за праћење нивоа електромагнетног зрачења у животној средини о чему ће бити више речи у наставку рада.

2. Основне карактеристике електромагнетног зрачења

Космос представља значајан извор зрачења за људе на планети Земљи. Зрачење или радијација представља пренос енергије електромагнетним таласима на даљину, без посредства материје. Проласком кроз материју фреквенција остаје константна, али се због промене таласне дужине мења и брзина ширења електромагнетних таласа. Радијација има двоструку природу:

- корпускуларну – зрачење које се преноси путем честица (неутрони, протони и електрони);
- таласа – електромагнетно зрачење.

Електромагнетно зрачење су таласи енергије са електричним и магнетним особинама, који настају вибрацијом и акцелерацијом електричних набоја. Доза зрачења коју неки човек прима зависи од радиоактивности земљишта и ваздуха краја у коме живи, као и од намирница и воде које уноси у свој организам [1].

Штетно електромагнетно зрачење може се поделити на: јонизујуће и нејонизујуће зрачење, односно оно које поседује енергију потребну за јонизацију атома или молекула и оно које то не поседује. Проласком кроз материју зрачење предаје енергију атомима и молекулима који је чине, изазивајући избацивање електрона из њихове путање око језгра. У живим системима ово производи ланчану реакцију која може довести до активације различитих ћелијских механизма и као последицу имати деградацију и одумирање ћелија и ткива.

Зрачење је енергија и увек честа питања за човечанство, колико је заправо штетно по нас? Сви желе да знају о биолошким ефектима зрачења. Зрачење емитују мобилни телефони, торњеви за мобилне телефоне, Wi-Fi сигнали, ТВ и радио торњеви, микроталасне пећи и многи други. Такође, познато је да узрокују значајне биолошке ефекте на људско тело и здравље животиња [1].

У даљем наставку рада биће приказане основне карактеристике електромагнетног зрачења, извори, здравствене ризике, стандарде и мере предострожности.

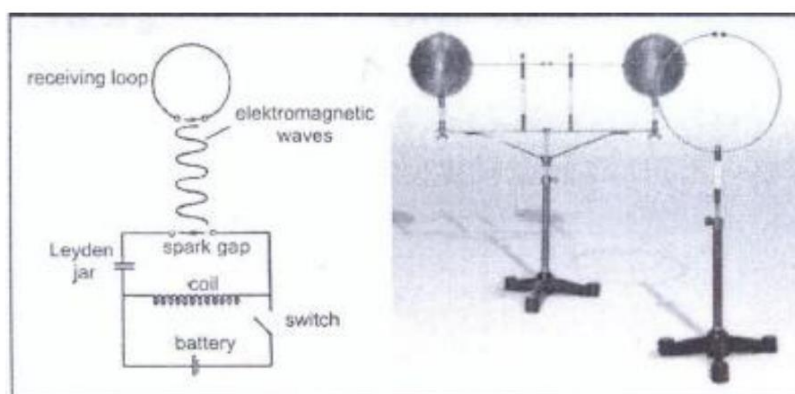
2.1. Историја открића електромагнетног зрачења

Почетком 19. века откриће електромагнетних таласа било је можда највеће теоријско достигнуће физике. Први наговештај била је неочекивана веза између електричних појава и брзине светлости. Дански физичар (*Hans Cristian Oersted* 1777-1851) и енглески физичар (*Michael Faraday* 1791-1867) изнели су теорију о недељивости електричног и магнетног поља. 1846. године енглески научник (*James Clarc McWell* 1831–1879) објавио је комплетну теорију електромагнетног поља, објашњавајући у целини основе електричних и магнетних појава. Математички је представио теорију електромагнетног поља математички у облику касније названих Максвелових једначина, које се такође могу изразити речима у облику следећих реченица:

- Линије сила електричног поља имају порекло и завршавају се у електричним наелектрисањима.
- Линије сила магнетног поља су затворене криве.
- Променљиво магнетно поље доводи до стварања електричног поља.
- Узрок су променљиво електрично поље и електрични набоји у кретању магнетних поља.

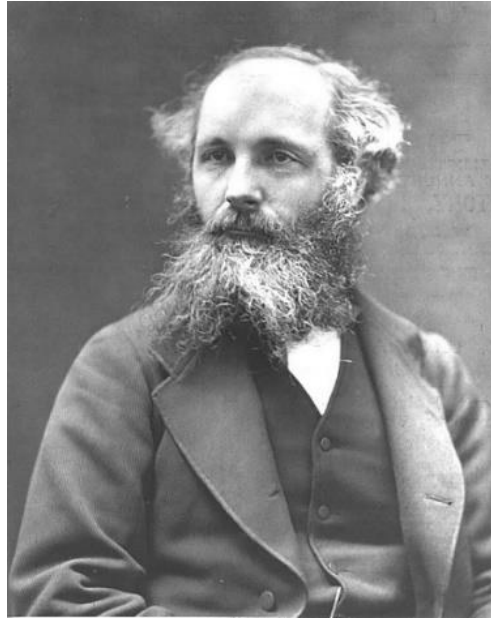
Из Максвелових једначина следи да су електрицитет и магнетизам различите манифестације једне електромагнетне силе. Ни електрично поље ни магнетно поље неће ићи нигде за себе, али као што је Максвел описао, промена магнетног поља ствара промену електричног поља и обрнуто. Промене у овим пољима у простору око неке расподеле електричних наелектрисања могу се, уколико су испуњени одређени услови, манифестовати и као електромагнетни таласи који се шире константном брзином светлости кроз свемир. Максвел закључује да су светлосни таласи такође електромагнетни таласи. Експерименталну потврду Максвелових постулата дао је 1887. године немачки физичар (*Heinrich Hertz* 1857-1894).

У његову част, јединица за мерење фреквенције електромагнетних таласа (једна осцилација у секунди) названа је Херц (Hz). У свом експерименту Херц је могао да пренесе заиста јак електрични набој са једне бакарне жице на другу бакарну жицу која је била удаљени неколико метара један од другог. На слици 3 приказани су плашт и конструкција првог Херцовог осцилатора [1].



Слика 3. Шема и конструкција Херцовог осцилатора [1]

Херц је доказао оно што је Максвел теоретизовао: „да се електромагнетни таласи крећу брзином светлости (што потврђује да су ЕМ таласи врста светлости и обрнуто) и пронашао начин да произведу електрично и магнетно поље, у секунди у простору око антене, стварајући тако електромагнетни талас који се креће баш онако како је претпоставио Максвел“, (слика 4). Електромагнетни таласи добијени у Херцовом експерименту имали су таласну дужину од приближно 1m, што је милион пута веће од таласних дужина видљиве светлости, а својства ових таласа (одраз, угиб, сметње) одговарала су својствима светлости.

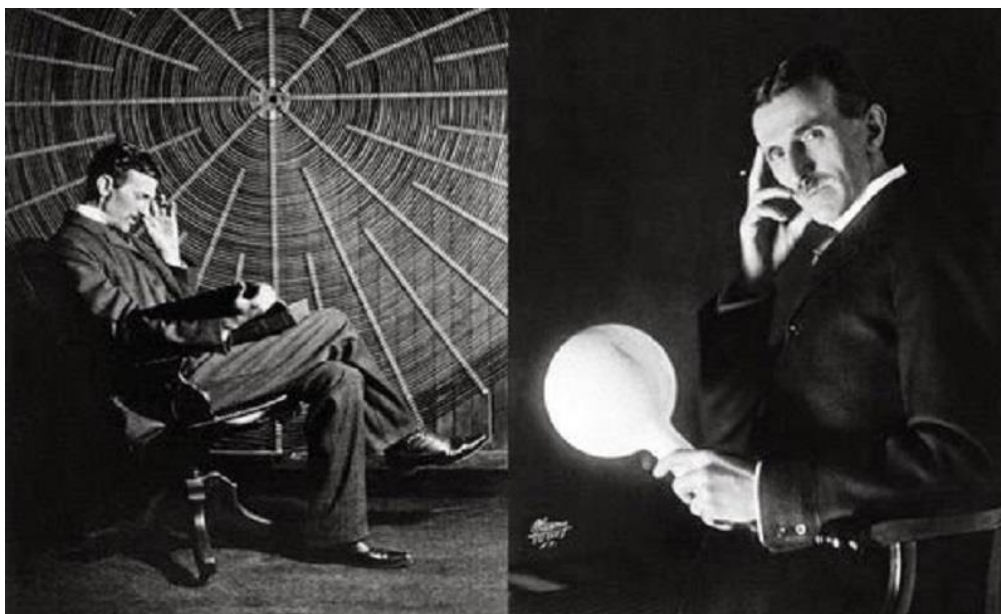


Слика 4. *James Clerk McWell (13.06.1831 – 5.09.1879), шкотски научник у области математичке физике [1]*

Немачки физичар *Heinrich Rudolf Hertz* (слика 5.) користио је теорију Максвела за радио таласе. Јединица фреквенције радио таласа названа је херц, у част Хајнриха Херца. Показао је сва својства електромагнетних таласа јер ти таласи не захтевају никакав медијум за своје кретање.



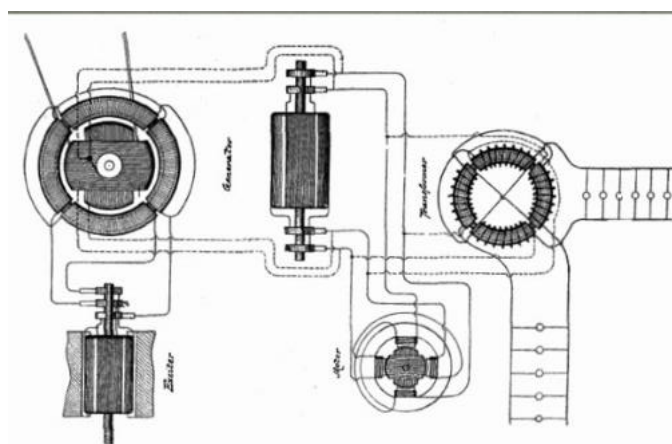
Слика 5. *Heinrich Rudolf Hertz (22. фебруар 1857 - 1. јануар 1894) немачки физичар који је први закључно доказао постојање електромагнетних таласа које је теоретизовала електромагнетна теорија светлости James Clerk McWell. [1]*



Слика 6. – Никола Тесла (10.07.1856 – 7.01.1943) [2]

Никола Тесла је био бриљантан проналазач, научник и инжењер који је заслужан за више од 700 патената (слика 6). Најпознатији је по открићу наизменичне струје, али његов рад је такође допринео напретку на пољу бежичне комуникације, ласера, Х-зрака, роботике, расвете, итд. Године 1886. Тесла у Њујорку оснива своју компанију, *Тесла електрично осветљење и производња*. Првобитни оснивачи се нису сложили са Теслом око његових планова за увођење мотора на наизменичну струју и на крају је остао без финансијера и компаније. Тесла је потом радио у Њујорку као обичан радник од 1886. до 1887. године да би се прехранио и скупио новац за свој нови подухват.

Први електромотор на наизменичну струју без четкица је успео да конструише 1887. године, и демонстрирао га пред „Америчким друштвом електроинжењера“ 1888. године, што је приказано на слици 7. Исте године је развио принципе свог Теслиног калема и почео рад са Џорџом Вестингхаусом (*George Westinghouse*) у лабораторијама његове фирме „*Westinghouse електрична и производна компанија*“ који би омогућили пренос наизменичне струје на великим удаљеностима [2].



Слика 7. Електромагнетни индукциони мотор наизменичне струје [2]

Априла 1887. године Тесла почиње истраживање онога што ће касније бити названо Х-зрацима користећи вакуумску цев са једним коленом (сличну његовом патенту). Овај уређај је другачији од других раних цеви за Х-зраке јер није имао електроду-мету. Савремен израз за феномен који је разлог оваквог дејства уређаја је „пробојно зрачење“. До 1892. године је Тесла већ био упознат са радом немачког физичара Вилиема Рентгена (*Wilhelm Conrad Röntgen*) и његовим проналаском ефеката Икс-зрака које је 8. новембра 1895. произвео и регистровао електромагнетне зраке, данас већ познате као Х-зраке или рендгенске зраке (слика 8).



Слика 8. *Wilhelm Conrad Röntgen* (27.03.1845 – 10.02.1923) [2]

Тесла није признавао постојање опасности од рада са Х-зрацима, приписујући оштећења на кожи озону пре него, до тада непознатом зрачењу.

Никола Тесла је конструисао свој чувени електромотор 1887. године (слика 9). Највећу примену има његов асинхрони електромотор који може радити користећи монофазну или трофазну струју. Ради на принципу обртног електромагнетног поља (Тесла је открио обртно електромагнетно поље 1882. године). Мотор има два главна дела: статор и ротор. Статор на унутрашњој страни има три одвојена калема (кола). Ротор се налази унутар на осовини. Има облик малог цилиндра са омотачем од паралелних бакарних шипки. На крају тих шипки се налази по један бакарни прстен који их повезује. Када се струја пропусти кроз калемове статора настаје обртно магнетно поље. То магнетно поље индукује струју у проводницима ротора и тада се ротор понаша као електромагнет. Пратећи ротационо магнетно поље, ротор се креће кружно са нешто мањим бројем обртаја. Тај мањи број обртаја настаје због тога што постоји треће његове осовине. Како се ротор не мора обртати са истим бројем обртаја у минути, овај мотор се назива асинхрони-Теслин електромотор који је изузетно једноставан и у томе је његово савршенство. Ротор му се прикључује на посебну струју па нема колектора и четкице. Поред једноставности ради готово бешумно. Има још једну изузетну особину, а то је степен користног дејства од 95%. То је до сада најбоља машина која претвара електричну енергију у механички рад [2].



Слика 9. *Теслин асинхрони електромотор [2]*

Једно од најзначајнијих открића 19. века, обртно магнетно поље открио је наш научник у Будимпешти 1882. године. На том открићу заснива се рад Теслиног трофазног електромотора који је он конструисао у Америци 1887. године, чиме је отворен пут модерној цивилизацији. Магнетно поље које се обрће у датом простору са сталном угаоном брзином између три независна намотаја кроз које теку трофазне струје назива се обртно магнетно поље. На принципу обртног магнетног поља заснива се рад асинхроних и синхроних мотора [2].

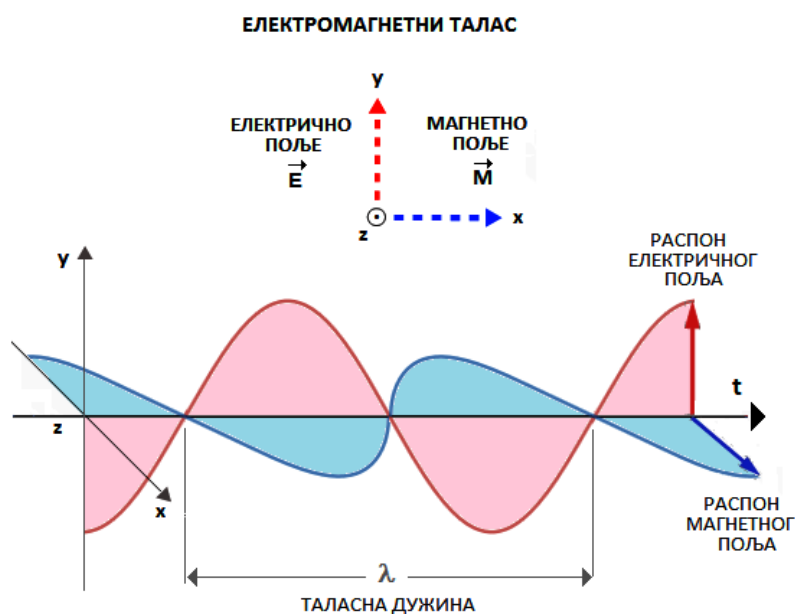
Теслин трансформатор је уређај за добијање струје високе фреквенције и високог напона. Струје високе фреквенције из високог напона који се добијају помоћу Теслиног трансформатора могуће је добити струје фреквенције од 12 милиона Hz и напона до 5 милиона V. Због тога се Теслин трансформатор користио тридесетих година двадесетог века за добијање напона који се могу користити у нуклеарним реакцијама (разбијање атомског језгра). То су чинили амерички нуклеарни физичари 1928-1932. године, уз помоћ Теслиног трансформатора потопљеног у уљу. Теслине струје нису опасне за човека зато што имају високе фреквенције и теку по површини коже. Због тога се ове струје користе у медицини за лечење.

Разни уређаји који користе обртно магнетно поље: индуктивни мотор, обртни трансформатори и алтенатор за високе фреквенције, начин за повећање јачине електричних осцилација, полифазни системи, систем за пренос електричне енергије посредством наизменичних струја на велике раздаљине (1888), Теслин трансформатор, његова светска радио станица и други начини за појачање јачине електричних осцилација (укључујући пренесено пражњење кондензатора и Теслин осцилатор), електротерапија Теслиним струјама, турбина без лопатица, бифиларни намотај, Телегеодинамика, Теслин ефекат и Теслино електростатичко поље, систем бежичне комуникације (први корак према проналазку радија) и радиофреквентни осцилатори, цеви за X-зраке које користе процес кочења зрачења, ређај за јонизоване гасове, уређаји за емитовање јаких поља, уређај за емитовање зрака са наелектрисаним честицама,

методе за обезбеђивање екстремно малог нивоа отпора проласку електричне струје (претеча суперпроводности), кола за појачања напона, уређаји за пражњење високих напона, системи за улично осветљење, уређаји за заштиту од грома, Теслин компресор, Теслин упаљач, Теслине пумпе и динамичка теорија гравитације [2].

2.2. Електромагнетни талас и спектар зрачења

Електромагнетно зрачење је талас који се сам шири у свемиру или кроз материју, а има и електричне и магнетне компоненте које осцилирају у фази нормално (под углом од 90°) једна према другој и у смеру ширења таласа или енергије (слика 10). С обзиром на учесталост ових осцилација, формиран је спектар електромагнетног зрачења који садржи инфрацрвено, видљиво, ултраљубичасто, X и гама зрачење. Иначе, појам „зрачење“ означава енергију у облику таласа или субатомских честица у покрету које емитују атоми или друга тела, када она прелази из вишег у ниже енергетско стање. Може се класификовати као јонизујуће или нејонизујуће, у зависности од утицаја на атом.



Слика 10. Електромагнетни талас [3]

Електромагнетни таласи садрже у себи и електричну и магнетску компоненту поља која осцилују ортогонално једна на другу и у односу на правац простирања таласа. На слици 10 је приказан равански поларисан електромагнетни талас. Најчешће је електромагнетно зрачење неполарисано што значи да електрично, односно магнетско поље осцилују у свим могућим равнима нормалним на правац простирања. [3]

Величине које карактеришу све периодичне појаве, па и електромагнетне таласе су таласна дужина λ [m] и фреквенција f [Hz = 1/s]. Таласна дужина је најмање растојање између две тачке таласа које осцилују у истој фази. Таласна дужина, фреквенција и брзина простирања електромагнетног таласа c су повезани релацијом: $c = \lambda \cdot f$. У вакууму, а приближно и у ваздуху се електромагнетни таласи простиру брзином светлости која је константна и износи: $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s. Практичан израз за израчунавање таласне дужине у метрима на основу познате фреквенције у MHz је:

$$\lambda \text{ [m]} = 300 / f \text{ MHz}$$

На основу фреквенције, односно таласне дужине електромагнетно зрачење се дели у више категорија. Ове категорије се разликују по одређеним карактеристикама и применама. Термин „зрачење“ обично се односи на јонизујуће зрачење које има довољно енергије за јонизовање атома или молекула, док нејонизујуће зрачење нема довољно енергије. У природи постоји радиоактивни материјал који емитује јонизујуће зрачење и до сада је релативно добро истражен, са свих аспеката, укључујући и његов утицај на живе организме. Међутим, последњих година све већа пажња се посвећује проучавању нејонизујућег зрачења због чињенице да се околина све више „загађује“ овим зрачењем. Ако у неком простору постоји електромагнетно поље, то још увек није довољно за формирање електромагнетног таласа, јер захтева додатне услове. Из тог разлога, термин зрачење се често односи само на стања која дозвољавају емисију електромагнетних таласа, мада се само стање електромагнетног поља у неком простору може сматрати стањем енергетског зрачења из система наелектрисања створеног тим пољем. Имајући ово на уму, електромагнетно зрачење можемо поделити у две групе: природно и техничко зрачење [3].

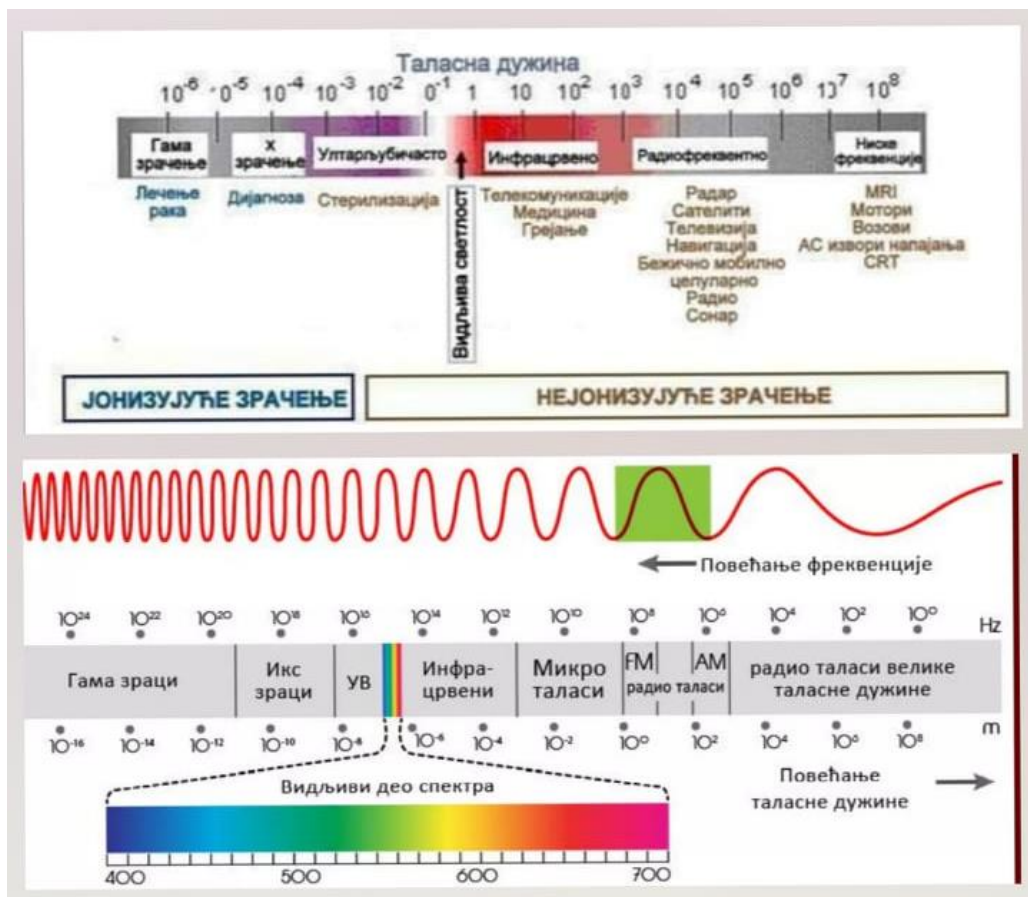
Природно зрачење укључује:

- Земљино магнетно поље (приближно 45 μT);
- неутрално електрично ваздушно поље;
- Земљина резонантна фреквенција (приближно 10 Hz);
- променљиво атмосферско поље (0-30 Hz);
- космичке и земаљске микроталасе;
- радио таласи са сунца и из свемира;
- Инфрацрвено зрачење;
- светлосно зрачење;
- РТГ и гама зрачење и
- корпускули зрачења.

За природно зрачење, које је као и све део јединственог електромагнетног спектра, користи се једноставан израз „зрачење“. У свакодневној комуникацији, појам електромагнетно зрачење односи се на технички произведена електрична и магнетна поља. Главни извори техничког зрачења су:

- електростатичка поља,
- електране и уређаји,
- радио и телевизијски предајници,
- електрични уређаји у индустрији и домаћинствима,
- железничка и трамвајска електрична мрежа,
- телекомуникациона мрежа,
- радарске инсталације,
- Инфрацрвено зрачење,
- ултразвучно зрачење и
- рендген.

У физици постоји појам који јасно дефинише специфичности електромагнетног зрачења, који се назива спектар електромагнетног зрачења (слика 11) [3].



Слика 11. Спектар електромагнетног зрачења [3]

Спектар електромагнетног зрачења представља преглед свих таласних дужина и фреквенција електромагнетног зрачења. Максимална величина таласне дужине електромагнетног зрачења ограничена је величином свемира, док је минимална таласна дужина мања од димензија атомског језгра.

1. *Радио таласи* имају највеће таласне дужине (а најмање енергије), у распону од неколико стотина метара до неколико милиметара (таласне дужине веће од неколико стотина метара не доспевају до површине земље). Пошто је енергија овог зрачења мања од најмањег дела енергије који може да прими било која честица, радио зрачење слабо делује са материјом због чега пролази без већих сметњи кроз зидове и друге неметалне објекте. У металу постоје слободни електрони који под дејством радио таласа почињу усмерено да се крећу и индукују неку струју у проводнику - антена. Ова карактеристика је и определила основну намену радио таласа - бежичне комуникације: радио, ТВ, WiFi.

2. *Микроталаси* су део електромагнетног спектра чије су таласне дужине реда величине милиметра. Енергија микроталаса има вредности коју могу да апсорбују (упију) диполни молекули (померено + у односу на - наелектрисање) у течностима. На овај начин се појачава термичко кретање молекула, што се одражава на повећање температуре. Овај принцип је искоришћен за конструкцију микроталасних пећница, које греју храну у целој запремини, а не директним преносом топлоте од површине ка унутра.

3. *Инфрацрвено зрачење* је топлотно зрачење. Таласне дужине инфрацрвеног зрачења простиру се од 1 nm до 750 nm. Инфрацрвено зрачење може да наведе молекуле да појачају вибрационо и ротационо кретање, па материја апсорбује повећавајући свој топлотни садржај. Загрејане супстанце емитују инфрацрвено зрачење, ослобађајући се на тај начин вишка енергије, због чега се смањује интензитет вибрационог и ротационог кретања молекула (хлађење). Неке животиње (змије) имају способност детекције инфрацрвеног зрачења што им омогућује лов на топлокрвне животиње и у мраку. "*Night vision*" су детектори инфрацрвеног зрачења који слику из домена инфрацрвених таласа пребацују у видљиви део спектра, па се могу користити за осматрање извора топлоте и ноћу. Нашли су примену у војсци и полицији.

4. *Видљива светлост* је део спектра који можемо опазити чулом вида. Таласне дужине видљиве светлости имају вредности од 380nm до 760nm. Свака таласна дужина је једна боја, па таласи већих таласних дужина остављају утисак црвене боје, док смањењем таласних дужина доживљај боја прелази преко наранџасте, жуте, зелене и плаве до љубичасте боје. Ово се јасно може видети када се сунчева светлост прелама на заосталим капљицама кише у ваздуху и креира природну појаву коју називамо дуга. Енергија видљиве светлости је довољна да побуди електроне у молекулима и атомима да промене своје енергетско стање (пређу на виши енергетски ниво), на чему почива хемија људског ока, која нам омогућује да видимо светлост.

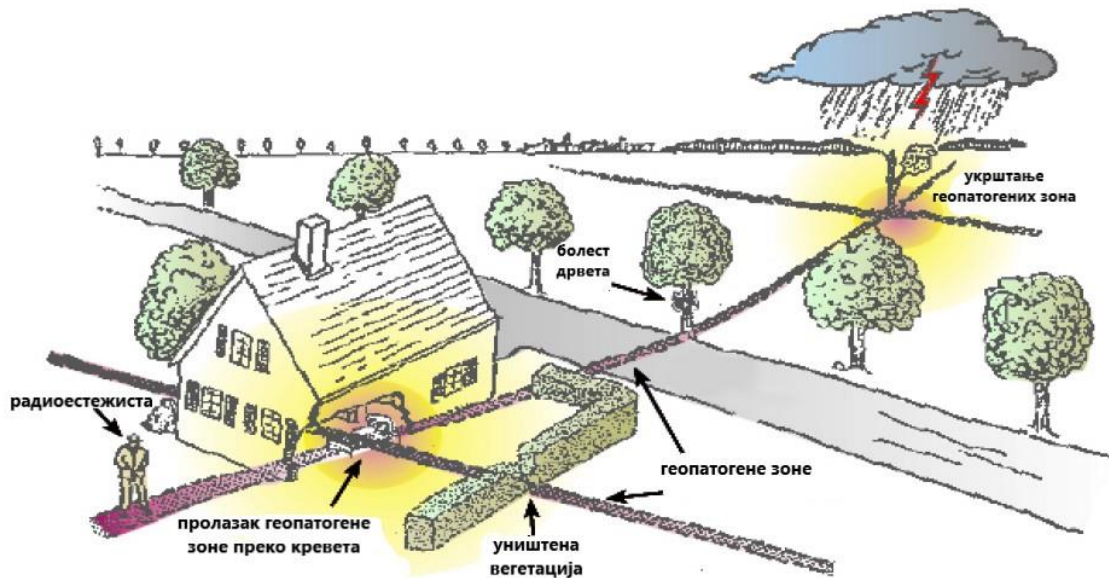
5. *Ултраљубичаста светлост* је део електромагнетног спектра чије таласне дужине леже у области између видљиве светлости и X зрачења (380 nm-100 nm). Сунце емитује око 10 %, од укупног зрачења, у области ултраљубичасте светлости. Енергије овог зрачења могу да изазову јонизацију атома и на тај начин им значајно промене особине и понашање. Ултраљубичасто зрачење је одговорно и за кидање међумолекулских веза, деструкцију ткива и ДНК. Формирање слободног кисеоника и озонског омотача у атмосфери, који апсорбује ултраљубичасто зрачење, омогућило је развој живота на копну. Способност ултраљубичастог зрачења да уништава ћелијски садржај се данас користи као основ за стерилизацију медицинских инструмената код одређених врста стерилизатора. Са друге стране, ово зрачење је одговорно за настанак промена боје коже при сунчању као и оштећење исте. Ултраљубичасто зрачење је најчешћи узрок рака коже.

6. *X и γ (гама) зрачење* имају таласне дужине чије су вредности мање од 100 nm. Једним делом се преклапају по таласним дужинама, али се разликују по месту настанка. Исход X зрака је атом док γ зрачење потиче из језгра атома. Имају способност јонизације атома, избијајући чак и чврсто везане електроне. Управо због велике енергије слабо делују са молекулима и атомима у целини и имају велику продорност. Ово зрачење пролази кроз мека ткива уз мале губитке, док кроз кости пролази теже. Ова особина је искоришћена за добијање слика скелета и унутрашњих органа у медицинској дијагностици. Велика способност јонизације и деструкције ткива користи се у медицинској терапији за уништавање ћелија рака [3].

2.2.1. Подела штетних електромагнетних зрачења

Геопатогена зрачења су штетна зрачења чији се извори налазе испод површине земље. Њихову појаву може да изазове све оно што пресеца, раслојава или на било који други начин ремети природне хомогености Земљиних слојева (слика 12). У ову групу зрачења спадају:

- зрачење подземних водених токова;
- зрачење руда и минерала;
- зрачење геолошких пукотина (лома);
- зрачења настала распадањем органских материја.



Слика 12. Геопатогена зрачења [4]

Космичка зрачења су облик геопатогеног зрачења који је присутан на сваком месту Земљине површине, у одређеном геометријском распореду. Ова мрежна зрачења настају интеракцијом космичких сила са Земљиним гравитационим и магнетним пољима (слика 13). Линеје мрежних космичких зрачења нису штетне саме по себи, али постоји могућност да се на њих пренесе сноп штетних зрачења неког другог порекла, формирајући чворове. Космичка зрачења формирају следеће мреже:

- Хартманова глобална мрежа (правац С-Ј и И-З);
- Каријева глобална мрежа (правац С-И и Ј-З).



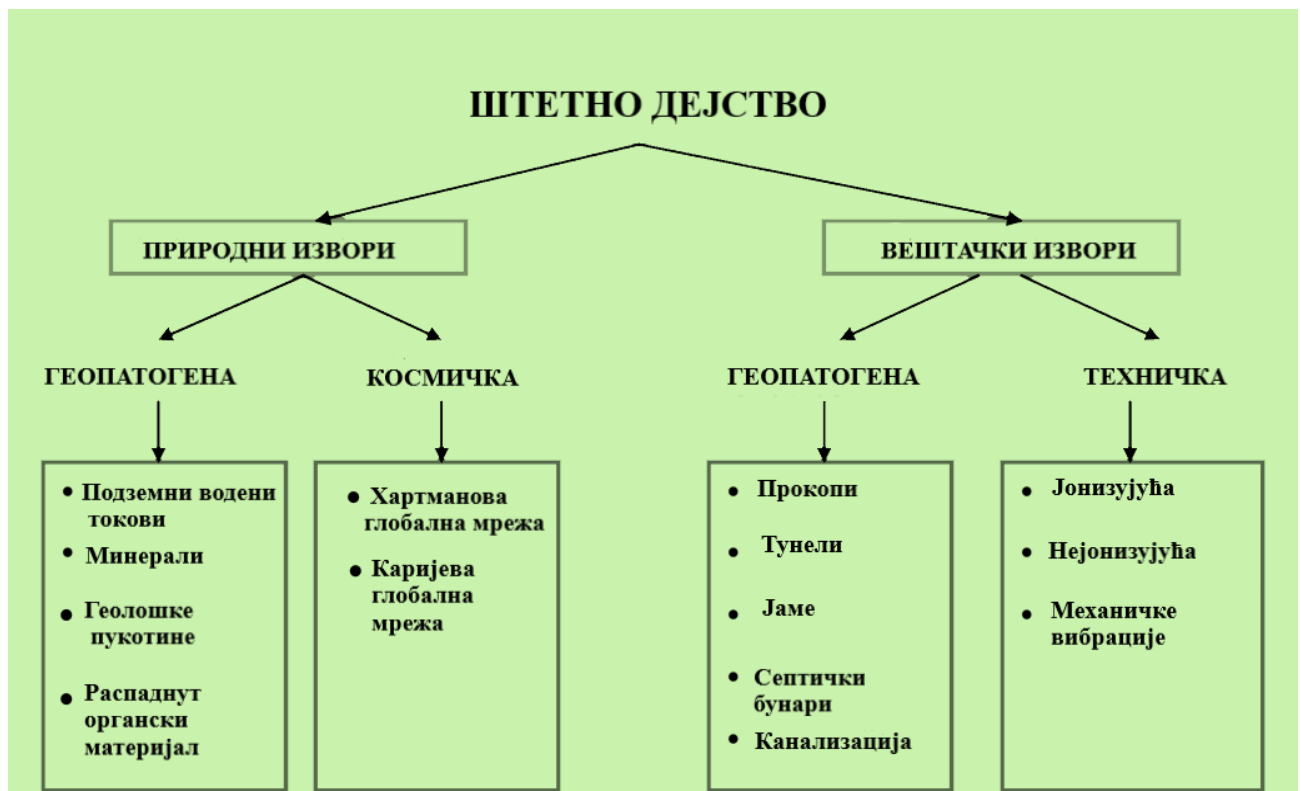
Слика 13. Космичка зрачења [4]

Техничка зрачења - са почетком индустријализације и појавом нових техничких уређаја различитог порекла и намене, појавили су се и нови технички извори зрачења.

Са напретком технологије и потрошачке електронике, штетност ових зрачења се из дана у дан повећава, али се истовремено повећава и еколошка свест људи. То подручје је дуго времена било занемаривано, па чак и намерно игнорисано од стране великих компанија које су биле главни извор зрачења. Техничка зрачења се могу поделити у следеће групе:

- а) нејонизујућа: електрична (струја), електронска. Нејонизујућа зрачења су електромагнетна зрачења са енергијом мањом од 12,4 eV. Ово зрачење нема довољно енергије да изазове јонизацију у живим организмима. Природни извори нејонизујућег зрачења су ретки и изразито слаби. То су Сунце, удаљени пулсари, остали свемирски извори и земаљски извори (муња). Развојем електричних уређаја, густина електромагнетне енергије око нас је много већа од природних нивоа.
- б) јонизујућа: алфа зраци (језгро хелијума), бета зраци (електрони) (-), неутрони (ненаелектрисане честице), гама и X зраци (електромагнетна енергија);
- в) механичке вибрације: превозна средства, рад на тешким машинама, ултразвучне вибрације, неисправних машина и апарата.

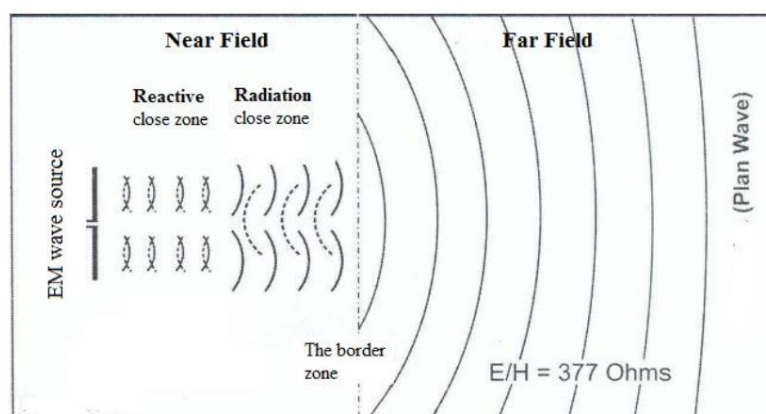
На слици 14. приказана је шема природних и вештачких извора зрачења.



Слика 14. Штетно дејство извора зрачења [4]

2.2.2. Термин „блиска“ и „далека“ зона електромагних поља

Електромагнетни таласи генерисани од вештачких техничких уређаја (предајника) напајају се коаксијалним каблом или таласоводом до одговарајуће антене преко које се електромагнетна енергија преноси у слободни простор. Ако су испуњени услови да је антена добро прилагођена, са једне стране, електричној импеданси кабла, а са друге стране карактеристичној импеданси слободног простора, наелектрисане честице на површини антене се углавном шире према споља антене, стварајући тако електромагнетни талас који путује кроз слободни простор. Електрична и магнетна поља немају исте карактеристике у близини извора зрачења и на одређеној удаљености. Када бисмо могли да замрзнемо кретање електромагнетног таласа који путује у слободном простору, то би изгледало као на слици 15 [4].



Слика 15. Приказ ближег и даљег електромагнетног поља [4]

Унутар блиске зоне налазе се: реактивна блиска зона и блистава блиска зона у непосредној близини антене. У реактивној блиској зони енергија се не зрачи већ се обнавља и поново емитује током узастопних осцилација. Реактивна блиска зона веома је важна када се анализирају електромагнетна поља фреквенцијског опсега на којима раде ручни радио и мобилни телефони, на нивоима енергије од само неколико вати. У блиској зони зрачења врши се акумулација енергије и зрачење. Иако се снага у далеком подручју дисипира са даљином, може се повећати или чак остати у близини зону све док удаљеност од антене не буде ближа далекој зони. У блиској зони, односи између електричног и магнетног поља нису ни константни ни пропорционални, и зато морају бити мерено одвојено.

Електромагнетно поље у далекој зони је врло конзистентно и овде се примењују основна правила да је електрично поље увек нормално на смер ширења, док је магнетно поље увек нормално и на електрично поље и на смер ширења. У далеком пољу електромагнетног поља, где су односи између електричног и магнетног поља константни, могуће је измерити само електрично поље и израчунати га из магнетног поља (што у блиском пољу није могуће).

Колико је извор близу, „ближе поље“ се одређује таласном дужином или фреквенцијом појединачног извора зрачења. Говори се о „далеком пољу“. Што је фреквенција већа, таласна дужина је краћа и обрнуто. Из овога се може закључити да је таласна дужина на фреквенцијама напонских мрежа веома велика (6000 km за 50 Hz и 5000 km за 60 Hz).

Електрична и магнетна поља у овом опсегу делују независно и тако се мере. Будући да је таласна дужина 6000/5000 km, зрачење 50/60 Hz много веће од релевантних растојања од поља извора. На далеководу од 60 km од 60 Hz, снаге 500 MV, мери се зрачење на само 1 MV, што је врло мали удео пренете енергије [4].

2.3. Нејонизујуће зрачење

Нејонизујућа зрачења обухватају веома широк интервал електромагнетног зрачења таласних дужина (од 10^2 nm па до 10^4 km). Овај интервал се може поделити на области оптичког зрачења и област радиотехнике и зрачења електричних уређаја који раде на наизменичну струју. Оптичко зрачење обухвата интервал таласних дужина од 10^2 nm до неколико милиметара, и у њега убрајамо ултарљубичасто, видљиво и инфрацрвено зрачење [5].

Зрачења у области радиотехнике и електричних уређаја обухвата преостали део спектра (од неколико милиметара до 10^4 km). Како фреквенције струје могу бити у веома широком интервалу погодније је да се подела ове области изражава у херцима (Hz). У овом делу спектра убрајају се следеће области: област ниских фреквенција, област средњих фреквенција, област високих фреквенција, област ултра-високих фреквенција, област хипер фреквенција. Нејонизујућа зрачења обухватају још ласерско зрачење и ултразвук (фреквенција звучних таласа изнад 20 kHz).

Нискофреквентно зрачење јесте нејонизујуће зрачење опсега између 0 и 10 kHz. Део нискофреквентног опсега између 0 и 300 Hz јесте зрачење екстремно ниских фреквенција.

Високофреквентно зрачење обухвата опсег нејонизујућег зрачења од 10 kHz до 300 GHz. Део високофреквентног опсега између 300 GHz и 300 GHz назива се радиофреквентно зрачење. Део радиофреквентног опсега између 300 MHz и 300 GHz јесте микроталасно. Ово зрачење се примењује за радио и телевизију, радар, и остале радиофреквентне микроталасне комуникационе уређаје, за поморске и ваздухопловне радио навигацијске уређаје.

Средњефреквентни опсег, који обухвата таласне дужине мање од 200 m, препуштен је експериментима и радио аматерима. Фреквенције од посебног интереса за целуларне комуникације су у опсегу од 800 до 900 MHz, док је опсег фреквенција персоналних комуникација од 1700 до 2200 MHz. Фреквенција од 2,45 GHz је резервисана за индустријске, научне и медицинске уређаје, а највише за микроталасне пећнице. Фреквенције опсега (3-300 GHz) се користе за радар, мобилни радио и сателитске потребе.

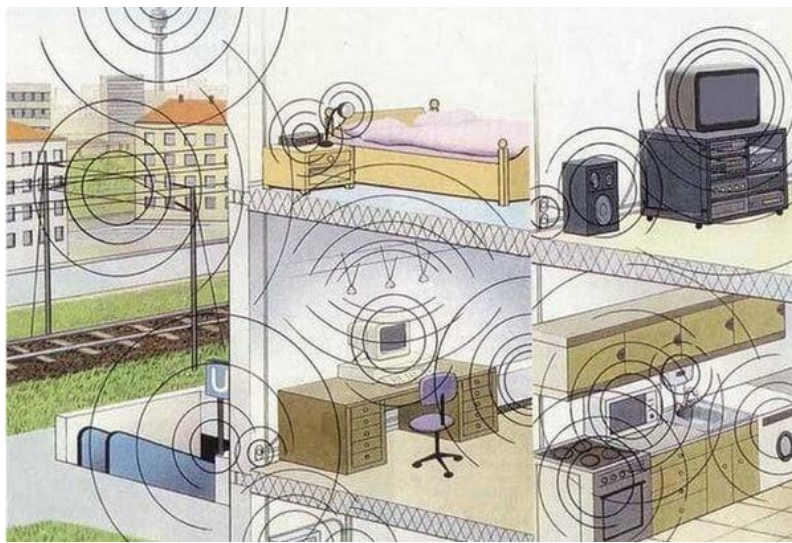
За електромагнетно поље, у ком се простира електромагнетно зрачење, једна од најзначајнијих физичких карактеристика јесте јачина електричног поља, која представља силу која делује на јединично наелектрисање [5].

2.3.1. Извори нејонизујућих зрачења

По дефиницији, извор нејонизујућег зрачења је уређај, инсталација или објект који преноси или може преносити нејонизујуће зрачење. Такви уређаји су извори среће у свакодневном животу, од простора у којем живимо и радимо до савремених средстава комуникације (слика 16).

Електрична и магнетна поља ствара Земља својим магнетизмом, соларним активностима и атмосфером током стварања муња и електричних олуја. Земља ствара

статичко магнетно поље, оријентисано у правцу југ-север. Густина флукса земаљског магнетног поља варира од $20 \mu\text{T}$ до $60 \mu\text{T}$, у зависности од географске ширине и састава земљине коре, нпр. магнетно проводљиве руде или локалне планине. Просечна густина магнетног флукса земаљског магнетног поља је $40 \mu\text{T}$. Занимљиво је приметити да покрети човека унутар земаљског магнетног поља индукују електрично поље у телу. На пример, трчање брзином од приближно 8 m/s ствара унутрашње електрично поље од $400 \mu\text{V/m}$. Такво електрично поље може бити индуковано магнетним пољем ниске фреквенције од $20 \mu\text{T}$. Свему томе можемо додати и како природни биолошки процеси стварају електрична и магнетна поља у телима људи или животиња. Ова поља су првенствено резултат срчане активности, као и мишића, и у много мањој мери зависе од активности мозга или нерава. Све живе ћелије стварају електрична поља. Генерално, снага електричног поља срца је до 50 mV/m , а мозга и других виталних органа до 5 mV/m .



Слика 16. *Извори нејонизујућег зрачења у домаћинству [5]*

Типични интензитети око електричне опреме у просечном домаћинству при уклањању 30 cm од извора су следећи: електрична сијалица 2 V/m , електрични сат 15 V/m , усисивач 16 V/m , фен за косу 40 V/m , миксер 50 V/m , фрижидер 60 V/m . Просечна јачина магнетних поља у близини најчешћих извора (уређаји на растојању од 30 cm), фрижидер $0,25 \mu\text{T}$, електрични шпорет $4,0 \mu\text{T}$, фен за косу $7,0 \mu\text{T}$, пегла $1\text{-}10 \mu\text{T}$, електрична мешалица $10 \mu\text{T}$, електрична пећ $17 \mu\text{T}$, усисивач $20 \mu\text{T}$, електрични бријач (на 3 cm од извора) $1500 \mu\text{T}$.

Мобилни телефони су микроталасни уређаји мале снаге који примају и преносе сигнале од и до базних станица релативно велике снаге. Већина мобилних телефона ради на фреквенцијама између 800 MHz и 2 GHz . Примена виших фреквенција користиће се у блиској будућности. У близини антена за мобилне телефоне, које се налазе на високим стубовима или на врховима високих зграда, могуће је бити изложен електромагнетним пољима веће јачине од дозвољених граница (слика 17). У подручју уобичајеног и нормалног приступа око стубова антене, дозвољене границе неће бити прекорачене, али је неопходно ограничити приступ опште популације крововима зграда у којима су антене инсталиране [5].



Слика 17. Радио антене и стубови [5]

3. Штетно дејство нејонизујућег електромагнетног зрачења

Електрични водови, јаки уређаји за радио преношење стварају електромагнетно поље које је вишеструко веће од дозвољеног нивоа. Да би се заштитили људи, развијени су посебни санитарни стандарди, укључујући и оне који забрањују изградњу стамбених и других објеката у близини јаких извора зрачења. Често су опаснији извори слабог електромагнетног зрачења, које траје дужи временски период. Ови извори углавном укључују аудио-видео опрему, кућне апарате. Мобилни телефони, микроталасне пећнице, рачунари и телевизори имају најзначајнији утицај на људе. Телефони и микроталасне пећнице раде кратко време (у просеку 1 до 7 минута), телевизори не наносе значајну штету, јер обично се налази на довољној удаљености од људи. Проблем електромагнетног зрачења из персоналних рачунара прилично је акутан из неколико разлога:

- рачунар има два извора зрачења одједном (монитор и системску јединицу);
- корисник рачунара је практично лишен могућности рада из даљине;
- веома дуго време излагања.

Чињеница да телевизори емитују јаче поље, али деца (главна категорија корисника сет-топ бок уређаја) не могу да се одмакну од екрана на довољној удаљености због кратких жица, распореда намештаја, или слика једноставно постаје врло мала, опасност од последица је већа. Стари телевизијски пријемници су посебно опасни њихова електромагнетна позадина је неколико пута већа од оне модерних светских брендова (*Sony, LG, Panasonic* итд.). После 5-8 сати проведених испред таквог телевизора (што није реткост у нашим породицама) дете добија грозницу, температура брзо расте и појављује се главобоља. У овом случају, децу треба одмах извести из подручја покривања електромагнетним тереном, по могућности споља. Симптоми брзо нестају након престанка излагања електромагнетном зрачењу [5].

Опсег фреквенција електромагнетних таласа забележених у овом тренутку се протеже од 0 - 310^2 Hz. Овај опсег одговара спектру електромагнетних таласа са таласном

дужином која варира од 10-14 m до бесконачности. Према таласној дужини, спектар електромагнетних таласа се конвенционално дели на осам опсега.

Разлика у фреквенцијама емитованим у различитим опсезима настаје услед разлике у микроскопским изворима зрачења. Главни извори електромагнетног зрачења у савременом људском животу су:

- електрични транспорт - трамваји, тролејбуси, електрични возови.
- далеководи - градска расвета, високонапонски водови.
- кућни електрични уређаји.
- ТВ и радио станице - антене за емитовање.
- сателитске и хелијске комуникације - антене за емитовање.
- радари.
- лични рачунари.

Сваки од наведених извора ствара електрична и магнетна поља у различитим фреквенцијским опсезима од 0 до 1000 Hz. У овом случају се стварају такве вредности магнетне индукције и јачине електричног поља које у неким случајевима далеко премашују максимално дозвољене норме [5].

3.1. Механизам излагања електромагнетном зрачењу

Електромагнетни таласи мењају окружење на радном месту испуњавајући ваздух позитивно наелектрисаним јонима. Експериментални подаци како домаћих тако и страних истраживача указују на високу биолошку активност електромагнетних поља у свим фреквенцијским опсезима [5].

На релативно високим нивоима зрачења електромагнетног поља, савремена теорија препознаје топлотни механизам деловања. На релативно ниском нивоу, уобичајено је говорити о нетермалној или информационој природи дејства на тело. Механизми деловања електромагнетног зрачења у овом случају још увек су слабо разумени. На биолошки одговор утичу следећи параметри електромагнетног поља:

- интензитет електромагнетног поља;
- фреквенција зрачења;
- трајање изложености;
- модулација сигнала;
- комбинација фреквенција електромагнетних поља;
- учесталост деловања.

Комбинација наведених параметара може дати значајно различите последице на одговор озраченог биолошког објекта. Електромагнетно зрачење може бити посебно опасно за децу, труднице, људе са болестима централног нервног, хормоналног, кардиоваскуларног система, алергичаре, особе са ослабљеним имунитетом. Особе које су дуго у зони електромагнетног зрачења жале се на слабост, раздражљивост, брзи замор, слабљење памћења и поремећај спавања. Тренутно наука квантитативно није доказала директну везу између нивоа електромагнетних поља и онколошких и других врста морбидитета. Међутим, квалитативно се може пратити таква веза: на местима где су људи изложени електромагнетном зрачењу чешће се откривају карциноми и поремећаји кардиоваскуларног и аутономног нервног система.

Свима је јасно да електромагнетно зрачење представља стварну претњу по људско здравље. Испоставило се да су електромагнетна и радијациона поља блиска по

неким својим параметрима. То су доказали и руски и страни научници. Истраживања спроведена у овим областима врло обећавају, а њихове резултате је сада чак тешко представити и процијенити [5].

3.2. Утицај микроталасног зрачења на здравље људи

Микроталасно зрачење је део електромагнетног спектра. Спада у групу нејонизујућих зрачења. Микроталасна поља емитују радарски системи, системи за телекомуникацију у пријему и предаји поштанских информација, телевизијског и радио програма, телевизијске антене, мобилни телефони, телевизори, компјутери, микроталасне пећи у домаћинству итд. Због савременог начина живота људи су стално изложени деловању електромагнетних поља и с разлогом се поставља питање колико то штетно утиче на здравље [5].

Експериментални резултати и клиничка испитивања указују на специфичне утицаје микроталасног зрачења на биолошке системе. Зрачење изазива оштећења ткива и поремећаје функција многих органских система, чак делује и на генетски материјал. Оштећења настају при дуготрајној изложености микроталасним пољима. Промене изазване зрачењем понекад су дискретне и неспецифичне, сличне променама које настају при дејству других агенса. Често су латентне и могу се манифестовати тек када се наруши равнотежа система. Увек су кумулативне, а ефекте је могуће очекивати након дуготрајног излагања, због тога се ефектима микроталасног зрачења не поклања одговарајућа пажња, а могући штетни утицаји се занемарују [5].

Организам је најосетљивији на спољашње утицаје у периоду раста и развоја због интензивне деобе ћелија, непотпуно или недовољно развијених регулационих заштитних механизма. Експерименти на животињама показали су да излагање микроталасном зрачењу у раном периоду изазива успорени раст, смањење метаболизма, заустављање функционисање ћелија и смрт ембриона у зависности од укупно апсорбоване дозе. Биохемијска, хистолошка и функционална испитивања указују на оштећења централног нервног система.

На микроталасно зрачење посебно је осетљив хипоталамус. Хипоталамус је одговоран за регулацију многих физиолошких процеса, па се претпоставља да су неки поремећаји функција других система последица промена у њиховој централној контроли. Испитиване су више интегративне функције мозга и установљено је да је код зрачених животиња дошло до поремећаја у памћењу и учењу [6].

Упозоравајући су резултати који указују на повећање експресије онкогена који учествују у контроли раста ћелије. Краткотрајне појаве неких онкогена добијене су код људи који су били на малим дистанцама од извора микроталасног зрачења као што су екрани персоналних компјутера и телевизора, микроталасне пећи и мобилних телефона. Посебно ризичној групи припадају људи који су професионално изложени зрачењу. При дуготрајном, вишегодишњем излагању утицају зрачења код њих су уочени: поремећај пажње, смањење концентрације, тешкоће у памћењу, поспаност, главобоља, као и значајне промене биоелектричне активности коре великог мозга регистроване на ЕЕГ-у.

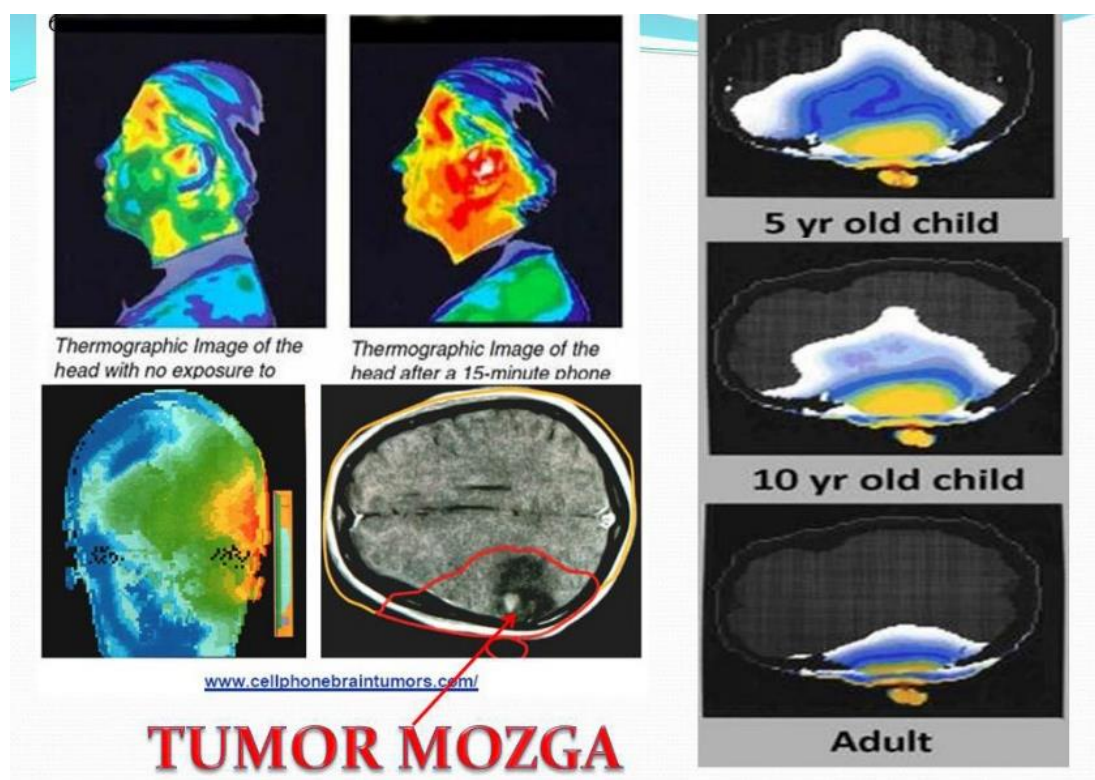
Живот савременог човека лакши је и комфорнији захваљујући развоју техничких достигнућа, али је његово здравље истовремено угрожено штетним деловањем електромагнетних поља. То се тешко може избећи, али је добро имати свест о томе и избегавати излагања зрачењу кад год је могуће. Због тога је утицај микроталасног зрачења у данашњем свету истовремено и медицински и еколошки проблем. Као саставни део нашег живота, мобилни представља неопходну алатку за текуће животне обавезе и комуникацију [6].

Мобилни телефон представља уређај за приступ и коришћење савремених технологија које би требало да нам олакшају и повећају квалитет живота. Али ову технологију можемо дефинисати као „доброг слугу“, али и као „лошег господара“.

Цела моћ савремене технологије и мобилних телефона, овде спадају и лаптопови, таблети, WiFi итд. је у томе што представљају мобилну алатку која је увек уз нас и тиме је технологија доступна од 00-24 h. У овоме се не види проблем, али он настаје када схватимо да сва мобилна технологија користи заправо бежични пренос сигнала или информације. Бежични сигнал ради на одређеним фреквенцијама које су у ствари погубне за људе, а то је нарочито изражено код мобилног телефона који носимо уз себе и што је најгоре по џеповима од панталона, кошуља, јакни, итд.

Проблем је још у томе да су та зрачења веома суптилна, што значи да је потребно да прође неколико година да би се доказало њихово штетно деловање. Та истраживања су на срећу, почела одавно да се спроводе и на корак смо до тога да ће зрачење мобилног телефона бити проглашено за изазиваче тумора (слика 18).

У Србији по статистици имамо 128 мобилних телефона на 100 становника, што је висок проценат коришћења ове технологије [6]



Слика 18. Приказ озрачености мозга у току коришћења мобилног телефона [6]

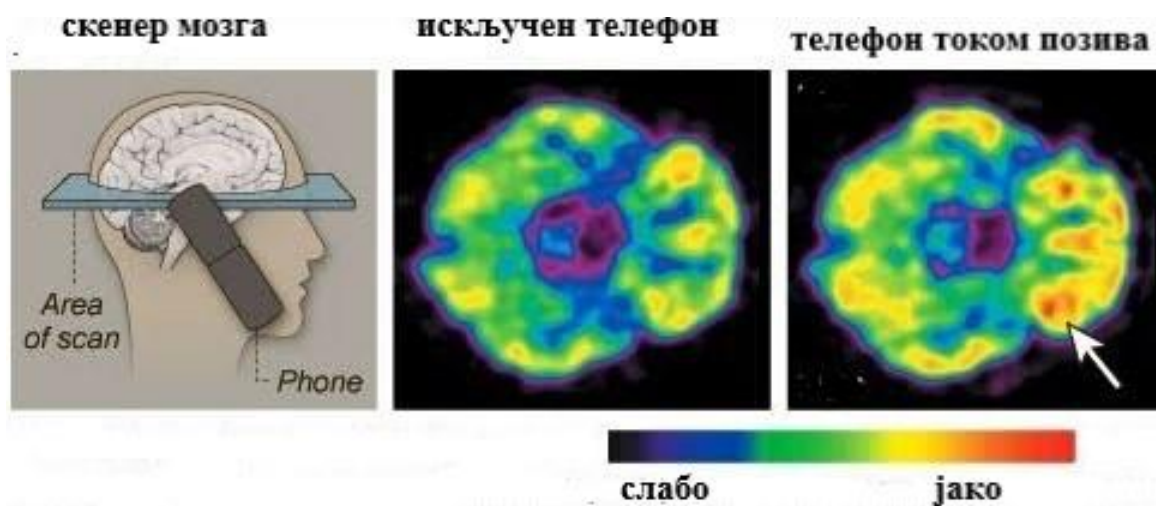
3.2.1. Начин функционисања мобилних телефона

Постоји изграђена мрежа антена или примопредајних станица које су близу једна другој. Зову се још и базне станице. Цела мрежа личи на саће или ћелије, па се још мобилни телефон зове ћелијски телефон или на енглеском „Cell phone“. Када разговарамо и у покрету смо, онда при прелазу из једне зоне у другу зрачење мобилног телефона се појачава, тако да је препорука да се не крећете до разговарате, ово се највише односи на вожњу колима, аутобусом итд. [6].

Мобилни телефон стално комуницира са базном станицом и ако га не користимо. Шаље сигнал потврде да је „на вези“ са базном станицом, што значи да умањено зрачи. Сада је јасније зашто се не препоручује да буде близу тела, односно по џеповима. Што је базна станица даље, то је снага мобилног телефона већа да би добацио до ње. Са друге стране више антена значи бољи сигнал и мање зрачење, мада је ово мач са две оштрице и питање је да ли имати једну јачу антену или више антена са слабијом снагом зрачења.

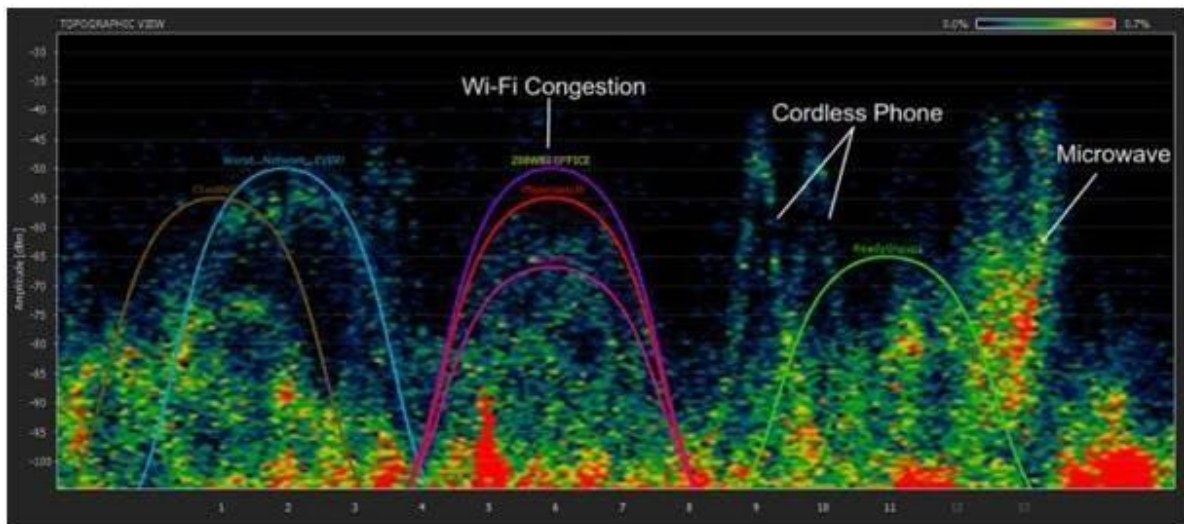
Почело је још 1901. године, када је из Енглеске и Америке послат први радио-телеграм, а касније, проналаском радија, телевизије, радара, разних електричних уређаја, посебно мобилних телефона и компјутера, милијарду становника изложено је тешким, по живот опасним последицама од електромагнетног зрачења. У сталној трци за профитом велике мултинационалне компаније на све могуће начине спречавају да у најширу међународну, као и у јавност огромног броја земаља се прикажу резултати текућих и одавно потврђених научних истраживања о смртним опасностима које доносе, у људској примени.

У једном истраживању, научници су тестирали 47 људи постављањем мобилних телефона на свако ухо. Оба телефона су била искључена у једном тесту, а у другом тесту је позив био утишан. После 50 минута, снимци мозга показали су повећану потрошњу глукозе у деловима мозга у близини активираног телефонског позива (слика 19) [6].



Слика 19. Приказ мозга током истраживања коришћења угашеног мобилног телефона и током разговора [6]

Мобилни телефони емитују јаче сигнале у ретко насељеним подручјима и тако представљају већи ризик за локално становништво како тврде шведски научници. Установили су да су базне станице у сеоским подручјима међусобно много удаљеније што се надокнађује емитовањем јачих сигнала мобилних телефона. Њиховим вишегодишњим истраживањем било је обухваћено 3.000 испитаника. Утврђено је да особе које живе у сеоским подручјима имају, у односу на становнике градова, три до четири пута већи ризик да оболе од рака мозга.



Слика 20. Сличност зрачења бежичних телефона, WiFi мреже и микроталасне пећнице [6]

На слици 20 је приказана сличност зрачења бежичне кућне везе WiFi, бежичних телефона и микроталасне пећнице. Стручњаци позивају на ограничење употребе мобилних телефона, посебно оних са слушалицама. Светска здравствена организација заједно са Европском комисијом је усвојила и одобрила следећа ограничења:

- SAR или специфични степен апсорције не би смео да пређе изнад 2 W/kg . Уређаји који испуњавају норму носе ознаку CE и SAR је истакнут на паковању мобилног телефона. Препорука је да при куповини гледате вредности SAR-а и купујете са мањом вредношћу, јер је здравље најважније.
- Инсталиране антене не би смеле да имају веће вредност снаге зрачења од граничних вредности које су дефинисане од стране СЗО и ЕК. Снага зрачења антена је податак од јавног значаја и мора бити јавно доступан, што се не би рекло по досадашњем искуству. Проблем је у томе што се базне станице постављају по школама, вртићима, болницама.

Пошто нико не може да боље чува наше здравље од нас самих и имамо обавезу да бринемо о нашем здрављу, требали бисмо да обратимо пажњу на следеће:

1. Када желите да телефонирате, погледајте јачину сигнала. Ако је сигнал преслаб, онда позив одложите до повољног сигнала. Ако је сигнал преслаб, а то значи да је базна станица далеко, тако да ће мобилни телефон зрачити више, а на тај начин озрачити и вас са већом количином нејонизујућег зрачења.
2. Најбоље би било користити опцију разговора преко звучника.
3. При куповини мобилног апарата, увек погледати SAR вредности на паковању и морају бити мање од 2 W/kg .
4. Не би требало да деца испод 12 година користе мобилни телефон осим у нужним ситуацијама.
5. Јављати се искључиво на треће звоно, јер је тада зрачење најмање.
6. При звању сачекати да се веза успостави, па ставити мобилни телефон на ухо [7].

3.2.2. Заштита од електромагнетног зрачења у нашим домовима



Слика 21. Извори зрачења у просечном домаћинству [7]

Извори електромагнетног зрачења у кући (слика 21):

Телефон поред кревета – психолози кажу да је спаваћа соба место за кревет и да је најбоље је уклонити све из ње. Али они брину о квалитету одмора и борби против стреса, а не о екологији куће. Стручњаци за заштиту животне средине саветују исто: у спаваћој соби не држите ништа осим будилице. Штавише, не остављајте ништа уз главу поред кревета, ни преносне рачунаре ни мобилне телефоне. Ово се односи и на радиотелефон, немојте га инсталирати да бисте могли да подигнете слушалицу без устајања. У старијим градњама станова утичнице се често налазе на врху кревета. Било који уређај прикључен на утичницу треба да се налази бар на 1.5 m од кревета.

Продужни кабал – један од најштетнијих феномена који се често може уочити у становима је истовремено повезивање неколико уређаја преко продужних каблова. Ово повећава електромагнетно зрачење а самим тим и ризик од кратких спојева. Реакција која се може десити може бити у виду слабости, посспаности или главобоље. Из безбедносних разлога не препоручује се истовремено повезивање више од два уређаја у једну утичницу.

Заплет жица – у модерним домовима је уобичајено имати много различитих извора светлости. Међутим, мора се схватити да је ожичење повезано са њима, што ствара „мрежу“ електромагнетног зрачења. Исто се може рећи и за снопове жица из многих електричних уређаја прикупљених на једном месту. У старим кућама моћан извор зрачења може бити напојни кабл развучен испод прозора на нивоу првог или трећег спрата.

Електрични уређаји иза зида – из неког разлога увек заборављамо на оно што је у суседству. У суседним просторијама такође постоје електрични уређаји и непожељно је да их гурају близу зидова спаваће собе или где је дететов кревет. Ово се односи, на пример, на фрижидере или микроталасне пећнице. Боље је да се одгурну од зида или помере, а да минимално растојање буде 1 м.

Разводни орман – у сваком домаћинству постоји још један извор сталног повећаног зрачења, о коме мало људи размишља. Ово је разводна кутија. Без тога не може, а нема проблема ако његов задњи део „гледа“ у ходник или купатило. Али лоше је ако се током преуређења испоставило да је усредсређена на дневну собу или спаваћу собу [7].

3.3. Бежична технологија 5G мрежа

Појава телекомуникационе технологије пете генерације 5G у последње време је често у вестима пошто индустрија бежичне технологије подстиче контроверзне законе на државном и савезном нивоу како би убрзала примену ове технологије. Нови Закони би блокирали права локалних управа и њихових грађана да контролишу постављање базних станица „на прави начин“. У случају 5G мреже антене се могу постављати на стубове јавног осветљења и дистрибуције на сваких 10-20 кућа у урбаним подручјима. Према стручњацима из ове индустрије, чак 50.000 нових базних станица ће бити потребно само у Калифорнији, а 800.000 или више нових локација за станице широм земље (слика 22). Иако су се многи главни градови и локалне новине успротивили овом тренду, потенцијални ризици за здравље због ширења нових базних станица се игноришу [8].



Слика 22. Умреженост 5G мреже [8]

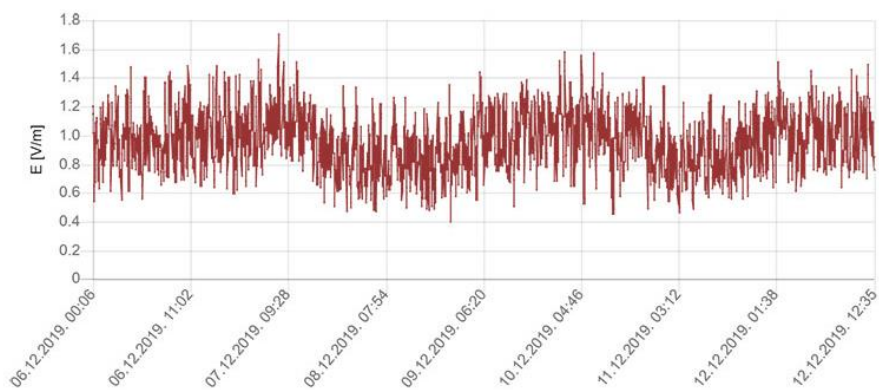
Милиметарски таласи могу преносити велике количине података на кратке удаљености. Преноси се могу усмерити у уске снопове и могу преносити податке великим брзинама (нпр. до 10 милијарди бита у секунди), са кратким кашњењима између преноса. Сигнале блокирају зграде, а лишће може апсорбовати већину њихове енергије. Такође, таласи се могу рефлектовати од металних површина. Иако антене могу бити

велике само неколико милиметара, антенски систем може се састојати од десетина или чак стотина антенских елемената [8].

Већина људи при самом спомињању 5G мреже помисле на електромагнетно зрачење које би могло бити опасно по здравље. Управо због тога је РАТЕЛ на крову зграде Научно технолошког парка монтирао електромагнетни сензор који прецизно мери укупну јачину електромагнетског поља, али је способан и да измери појединачне доприносе свих радио-извора по фреквенцијама, што је посебно zgodно код оваквих хибридних система (слика 23). Сензор непрекидно мери ниво поља, а резултати се интерактивно приказују на сајту и увек су јавно доступни (слика 24). Знајући да базна станица тренутно није озбиљније оптерећена резултате треба узети са резервом, али они свакако не указују на било шта алармантно [9].



Слика 23. РАТЕЛ-ов сензор за праћење јачине електромагнетног поља под утицајем 5G мреже [9]



Слика 24. РАТЕЛ-ов приказ мерења електромагнетног поља [9]

3.3.1. Истраживање научника о биолошким и здравственим ефектима милиметарских таласа

Милиметрски таласи углавном се апсорбују унутар 1-2 mm испод површине људске коже и у површинским слојевима рожњаче, који су примарна мета зрачења. Пошто кожа садржи капиларе и нервне завршетке, биофекти милиметарског зрачења могу се преносити молекуларним механизмима преко коже или преко нервног система. Термички ефекти јављају се када је густина снаге таласа већа од $5\text{-}10\text{ mV/cm}^2$. Такви милиметарски таласи високог интензитета делују почевши од осећаја топлоте праћен болом и физичким оштећењима при већим излагањем. Повишење температуре може утицати на раст, морфологију и метаболизам ћелија, индуковати производњу слободних радикала и оштетити ДНК. Максимална дозвољена изложеност коју FCC дозвољава за ширу популацију је $1,0\text{ mV/cm}^2$ у просеку током 30 минута за фреквенције од 1,5 GHz до 100 GHz. Ова смерница је усвојена 1996. године како би заштитила људе од акутног излагања термалним нивоима радиофреквентног зрачења. Међутим, смернице нису дизајниране да нас заштите од нетермалних ризика који се могу појавити код дуготрајног или дугорочног излагања радиофреквентном зрачењу.

Стога ће здравствене последице изложености 5G бити ограничене на нетермичке ефекте настале продуженим излагањем милиметарским таласима у комбинацији са излагањем ниско и средњопојасном радиофреквентном зрачењу. Нажалост, неколико студија је испитало продужену изложеност милиметарским таласима ниског интензитета, а ниједно истраживање није усредсређено на излагање милиметарским таласима у комбинацији са другим радиофреквентним зрачењем. Иако су биолошки ефекти милиметарског зрачења ниског интензитета проучавани деценијама, посебно у Источној Европи, резултати студија су често недоследни јер су ефекти повезани са многим факторима, укључујући учесталост, модулацију, густину снаге и трајање излагања, као и врсту ткива или ћелија које се истражују. Резултати се разликују у различитим студијама, показано је да милиметарски таласи индукују или инхибирају ћелијску смрт и појачавају или сузбијају ћелијску пролиферацију.

Важно је напоменути да, чак и уз мноштво пријављених биоефеката, ниједна студија није пружила доказе да зрачење милиметарских таласа ниског интензитета представља опасност за здравље људи. Заправо, ниједна од прегледаних студија са милиметарским таласима ниског интензитета није ни спровела процену здравствених ризика, мада се, с обзиром на бројне биоефекте и растућу употребу милиметарских технологија, овај истраживачки циљ чини врло разумним. Такви ефекти милиметарских таласа као промене брзине раста ћелије и осетљивости на УВ светлост, промене отпорности на биохемијске и антибиотске патогене бактерије, као и многе друге, потенцијално су важни за безбедносне стандарде, али чак је пријављено да локална и краткотрајна изложеност дају знатне ефекте. Такође треба схватити да биолошки ефекти дуготрајног или хроничног излагања милиметарским таласима целог тела или већег дела тела никада нису истражени. Сигурносна ограничења за ове врсте изложености заснивају се искључиво на предвиђањима таложења енергије и загревања услед милиметарског зрачења, али с обзиром на недавне студије овај приступ није нужно адекватан [9].

3.4. Уређаји и сензори за мерење електромагнетног зрачења

Са становишта мобилности сензора, тренутно на тржишту постоје четири врсте сензора којима се може мерити електромагнетно зрачење. То су:

- стационарни сензори;
- мобилни сензори;
- персонални сензори;
- портатилни сензори.

Стационарни сензори се инсталирају на одређену локацију и остају фиксирани на тој истој позицији у веома дугом временском периоду или током свог целокупног животног века. Ова врста сензора је позната и под називом фиксни сензор. Фиксни сензори измерене нивое шаљу на централну локацију (у централну базу података) где се они складиште и даље процесирају.

Мобилни сензори су уређаји који омогућавају мерење нивоа електромагнетног зрачења са возилом у покрету. Обично се мерења врше по унапред предефинисаним рутама. Персонални сензори су уређаји које користе појединачни физички корисници у циљу мерења нивоа електромагнетног зрачења у својим кућама и становима, али и на свим другим местима где проводе своје време.

Портатилни сензори се такође називају номадским сензорима који се инсталирају на локацијама од интереса, где људи раде одређен период времена (неколико дана, недеља или месеци) мерећи електромагнетно зрачење. Након тог периода сензори се транспортују и инсталирају на друге. Основна разлика портатилних сензора у односу на стационарне сензоре јесте у могућности њихове лакше преносивости и инсталације. Са становишта врсте мерења које се спроводи коришћењем неког сензора, тренутно на тржишту постоје две врсте сензора. То су:

- широкопојасни;
- селективни.

У оквиру овог поглавља описана су електромагнетна сензорска решења оних произвођача који поседују значајне референце, тачније реализоване пројекте имплементације мрежа сензора за мониторинг електромагнетних зрачења. Реализоване мреже сензора које су анализиране и разматране у оквиру овог дела рада по захтевима су слични сензорској мрежи коју РАТЕЛ планира да реализује на територији Републике Србије [10].

3.4.1. Сензор НАРДА 8059

На слици 25 приказано је комерцијално доступно решење НАРДА 8059. У питању је широкопојасни сензор. Код овог сензора, постоји могућност избора типа сонде на који начин се дефинише ширина спектра који се мери. Димензије сензора НАРДА 8059 су 112x112x730 mm и тежак је између 6.5 kg и 7.7 kg у зависности од верзије сензора и изабраних сонди. Овај сензор има могућност мерења електричног поља у широком опсегу учестаности и магнетног поља на ниским учестаностима. Могуће је сензор конфигурисати са највише две сонде. На пример, може се изабрати сонда која мери магнетно поље на учестаностима од 10 Hz до 5 kHz, и сонда која мери интензитет електричног поља на учестаностима од 100 kHz до 7 GHz [10].



Слика 25. Сензор НАРДА 8059 широкопојасни сензор [10]

Овај сензор има могућност да се набави са соларним напајањем и са батеријским напајањем. Да би се омогућила потпуна аутономија рада сензора, потребно је користити варијанту сензора са оба извора енергије. У случају само соларног напајања, аутономија рада овог сензора у лошим временским условима је већа од 80 дана. Сензор НАРДА 8059 поседује интерну меморију од 128 MB, као и 2G модем (GSM/GPRS) који омогућава трансфер измерених података од сензора до централног сервера, али и трансфер конфигурационих података од сервера до сензора уз помоћ специјализованог AMS-8059-SW-02 PC софтвера који долази у пакету са сензорима [10].

3.4.2. Сензор НАРДА 8061

На слици 26. је приказано комерцијално доступно решење НАРДА 8061. У питању је селективни сензор. Димензије сензора су 660x95x600 mm и тежак је око 34 kg. У оперативном раду може се изабрати до 20 фреквенцијских опсега између 100 kHz и 6 GHz који се могу селективно мерити. Опсези који се мере (са становишта централне учестаности и ширине опсега) могу се произвољно конфигурисати и током животног века сензора преконфигурисати произвољан број пута. Укупна вредност електричног поља се мери по све три осе засебно за сваки изабрани опсег и снима у локалну меморију НАРДА 8061 сензора. Капацитет локалне меморије је 1 GB. Као и у случају 8059 сензора, и овај сензор спада у стационарне сензоре, мада може бити премештан са локације на локацију током свог животног века.



Слика 26. *Селективни сензор Нарда 8061[10]*

Сензор 8061 се, као и 8059 варијанта, са становишта напајања може набавити у две варијанте. У првој варијанти, сензор 8061 може бити напајан преко соларног напајања са акумулаторском батеријом у случају неповољних временских услова, а у другој варијанти може бити напајан коришћењем стандардног АС прикључка електромреже. Сензор се може испоручити са обе врсте напајања истовремено. Сензор поседује и 2G модем (GSM/GPRS) који омогућава трансфер мерених података од сензора до централног сервера, али и трансфер конфигурационих података од сервера до сензора уз помоћ AMS-8061-SW-02 PC софтвера. Захваљујући томе, овај сензор се лако може интегрисати у било који систем за складиштење и презентацију измерених података. Поседује функционалност смс алармирања као што су: прекорачење дозвољене границе за јачину електромагнетног поља, капацитет батерије је пао испод конфигурисаног прага, интерна меморија је пуна, заштитна врата на сензорској јединици су отворена [10].

3.4.3. НАРДА решење за мобилни сензор

Верзија претходног сензора НАРДА 8059 која је компатибилна може се користити као мобилни сензор који се инсталира на кров аутомобила. Овај сензор се оптичким каблом повезује на рачунар који се смешта унутар возила. Наведеним начином повезивања онемогућена је интерференција која би довела у питање веродостојност измерених резултата. Сензор је потпуно аутономан што се тиче напајања (користе се акумулаторске батерије) и не захтева никакво екстерно напајање, што је такође добро са становишта интерференције коју би могло да изазове екстерно напајање. Резултати мерења се могу све време пратити директно на рачунару унутар возила (слика 27).



Слика 27 . НАРДА широкопојасни сензор на крову возила у функцији мобилног сензора [10]

3.4.4. НАРДА SRM 3006

НАРДА SRM 3006 је напредно решење компаније НАРДА и предвиђено је да се користи као ручни сензор (слика 28). Мерне резултате могуће је експортирати и интегрисати у централизован систем. Сензор омогућава велики број стандардних и напредних мерења везаних за различите типове радио система који тренутно егзистирају у опсегу од 9 kHz до 6 GHz. Овај сензор има димензије 213x297x77 mm и тежак је без антене 3.3 kg. У основној верзији поседује GPS, тако да сва снимљена мерења могу бити геореференцирана. Уређај је погодан за брзу и детаљну селективну анализу емисија електромагнетног поља у иницијалној фази селектовања локације стационарног или номадског сензора, као и у фази одређивања тачне позиције сензора у оквиру појединачне локације. Овај сензор има могућност конфигурисања периоде одабирања између 480 ms и 30 минута, а периоде усредњавања између 960 ms и 30 минута. Сензор има велики динамички опсег мерења електромагнетног поља у границама између 50 $\mu\text{V/m}$ и 200 V/m [10].



Слика 28. Сензор НАРДА SRM 3006 [10]

3.4.5. САТИМО *FlashRed* сензор

САТИМО *FlashRed* сензор формално се може сврстати и у фиксне и у номадске сензоре. Могуће га је користити на локацијама где су инсталирани специјализовани бежични системи. Ове локације се по правилу означавају критичним са становишта електромагнетне емисије. То су локације попут аеродрома, војних и полицијских база, тржних центара, као и свих других компанија и институција где је велика концентрација предајника. Сензор је могуће конфигурисати тако да алармира у ситуацијама када је емисија зрачења изнад неке унапред дефинисане дозвољене границе. Сензор се може инсталирати и на земљи и на зиду. На слици 29 приказана су оба типа монтаже САТИМО *FlashRed* сензора, висине је 57 cm, пречника 10 cm и тежине је 3.6 kg. Овај сензор може да се наручи у конфигурацији са неком од три различите сонде које омогућавају мерење у следећим фреквенцијским опсезима:

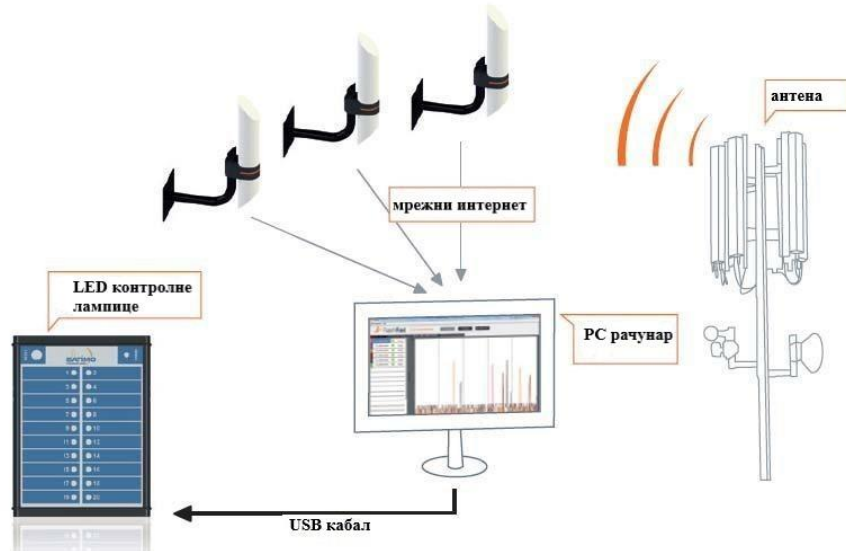
- 900 MHz – 11 GHz;
- 700 MHz – 6 GHz;
- 700 MHz – 3 GHz.



Слика 29. Инсталација *FlashRed* сензора на земљи и на зиду [10]

На РС рачунар је могуће, преко USB интерфејса, каблом дужине до 10 m, опционо повезати рачунар на коме се инсталира наменски софтвер за алармирање крајњих корисника. Ово алармирање се може реализовати коришћењем звучних или светлосних сигнала. На критичним локацијама, препоручује се инсталирање неколико сензора, при чему сви они могу да се повежу преко LAN мреже на исти рачунар који служи за складиштење и обраду података. Основна архитектура ове мреже приказана је на слици 30. Посебно треба напоменути да сензор може да детектује и све врсте импулсних

електромагнетских емисија, укључујући и краткотрајне радарске сигнале, па је због тога одличан за инсталацију на веома критичним локацијама попут аеродрома. Овај сензор користи АС напајање и зато се приликом инсталације обавезно се мора прикључити на електродистрибутивну мрежу. Интервал мерења се може конфигурисати између 1-60 s и измерени податак се шаље на рачунар где се складиште сви подаци [10].



Слика 30. Архитектура FlashRed мреже за критичне зоне [10]

3.4.6. Сензор Rohde & Schwarz TS

Сензор се реализује у три верзије у зависности од тога који мерни уређај се користи у оперативном раду. Те верзије се означавају као РС верзија, анализатор спектра и ручни анализатор спектра (слика 31).



Слика 31. Сензори Rohde & Schwarz TS [10]

Ови сензори имају веома велику осетљивост и велики број напредних функција које омогућавају мерења сигнала великог броја различитих радио система који данас функционишу. Погодан је као уређај за брзу и детаљну селективну анализу електромагнетног поља у иницијалној фази селектовања локације стационарног или номадског сензора, као и у фази одређивања тачне позиције сензора у оквиру појединачне локације (слика 32).



Слика 32. Сензор Rohde & Schwarz TS на постављеној локацији [10]

4. Законска регулатива и прописи у области електромагнетног зрачења у Србији

У Србији, област нејонизујућих зрачења уређена је Законом о заштити од нејонизујућих зрачења („Службени гласник Републике Србије“ број 36/2009) и групом правилника који припадају овом закону:

- Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима („Службени гласник Републике Србије“ број 104/2009);
- Правилник о изворима нејонизујућег зрачења од посебног интереса, врстама извора, начину и периоду њиховог испитивања („Службени гласник Републике Србије“ број 104/2009);
- Правилник о садржини евиденције о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса („Службени гласник Републике Србије“ број 104/2009);
- Правилник о садржини и изгледу обрасца извештаја о систематском испитивању нивоа нејонизујућих зрачења у животној средини („Службени гласник Републике Србије“ број 104/2009);
- Правилник о условима које морају да испуњавају правна лица која врше послове систематског испитивања нивоа нејонизујућих зрачења, као и начин и методе систематског испитивања у животној средини („Службени гласник Републике Србије“ број 104/2009);
- Правилник о условима које морају да испуњавају правна лица која врше послове испитивања нивоа зрачења извора нејонизујућих зрачења од посебног интереса у животној средини („Службени гласник Републике Србије“ број 104/2009).

Закон о заштити од нејонизујућих зрачења и Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима, прописују границе излагања електромагнетном зрачењу у зонама повећане осетљивости. Под зонама повећане осетљивости сматрају се подручја стамбених зона у којима се људи могу задржавати и 24 сата дневно, школе, школски/студентски/старачки домови, установе, породилишта, болнице, туристички објекти, дејча игралишта, површине неизграђених парцела намењених, према урбанистичком плану, за наведене намене, у складу са препорукама Светске здравствене организације. Поред тога, серија српских стандарда усвојених 2008. године („Службени гласник Републике Србије“ број 104/2008), ослања се на препоруку Савета Европе 1999/519/ЕС од 12. јула 1999. године, и као норму узима оне које су дефинисане ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) препоруком. Из тог разлога, норму дефинисану ICNIRP препоруком су важеће норму у Србији за случајеве изван зона повећане осетљивости [12].

Законом о заштити од нејонизујућих зрачења и Правилником о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса, врстама извора, начину и периоду њиховог испитивања прописује се обавезно мерење интензитета електромагнетног зрачења на свакој локацији радио-предајника, да би се проверила усклађеност са нормама дефинисаним Правилником о границама излагања нејонизујућим зрачењима и ICNIRP препорукама. Поред тога, за сваки нови радио-предајник чија се инсталација планира,

захтева се израда стручне оцене оптерећења животне средине као доказ да постављање новог радио-предајника неће довести до прекорачења прописаних норми. Стручна оцена оптерећења животне средине подразумева прорачун нивоа електромагнетног зрачења, али захтева да се постојеће стање (пре постављања новог радио-предајника) утврди мерењем. Стручна оцена оптерећења животне средине подноси се надлежном органу (најчешће орган локалне управе надлежан за питање процене утицаја на животну средину) у поступку издавања услова и мера заштите животне средине, односно одлучивања о потреби процене утицаја на животну средину у складу са Законом о заштити животне средине („Службени гласник Републике Србије“ број 135/2004, 36/2009, 72/2009, 43/2011, 14/2016) и Законом о процени утицаја на животну средину „Службени гласник Републике Србије“ број 135/2004, 36/2009) [12].

Правилником о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса, врстама извора, начину и периоду њиховог испитивања дефинисано је да се извори нејонизујућих зрачења чије електромагнетно зрачење у зонама повећане осетљивости достиже најмање 10% вредности референтног граничног нивоа, сматрају изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса. За високофреквентне изворе од посебног интереса захтевају се периодична мерења и то једанпут сваке друге календарске године. Привредно друштво, предузеће и друго правно лице може да врши испитивање нивоа зрачења извора нејонизујућих зрачења од посебног интереса у животној средини ако испуњава услове прописане Правилником о условима које морају да испуњавају правна лица која врше послове испитивања нивоа зрачења извора нејонизујућих зрачења од посебног интереса у животној средини. На овом месту, из разлога потпуне јасноће, посебно треба нагласити да задатак будуће РАТЕЛ-ове (*Регулаторна агенције за електронске комуникације и поштанске услуге*) мреже сензора за праћење нивоа електромагнетног зрачења није вршење испитивање нивоа зрачења извора нејонизујућих зрачења од посебног интереса, па из тог разлога није неопходно да РАТЕЛ, као правно лице, испуњава услове прописане претходно наведеним Правилником (слика 33).

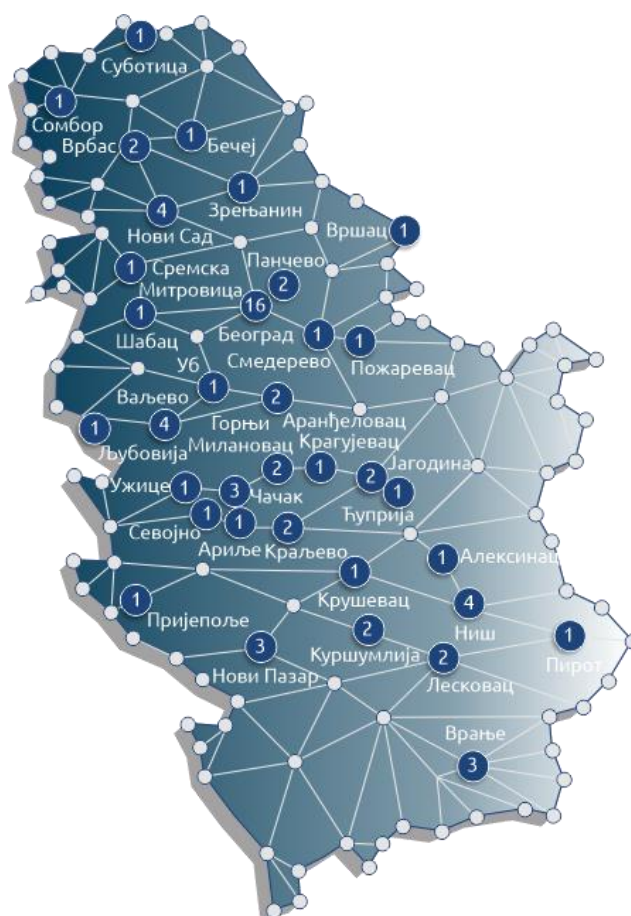
Закон о заштити од нејонизујућих зрачења налаже корисницима извора нејонизујућих зрачења од посебног интереса да воде евиденцију о тим изворима и да одреде лице одговорно за примену заштите од нејонизујућих зрачења. Ближа садржина евиденције о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса прописана је Правилником о садржини евиденције о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса.

Ради откривања присуства, утврђивања опасности, обавештавања и предузимања мера заштите од нејонизујућих зрачења врше се систематска испитивања нивоа нејонизујућих зрачења у животној средини, прописана Законом о заштити од нејонизујућих зрачења, влада доноси Програм систематског испитивања нивоа нејонизујућих зрачења у животној средини за период од две године. Систематско испитивање нивоа нејонизујућих зрачења у животној средини може да врши привредно друштво, предузеће и друго правно лице ако испуњава услове у погледу кадрова, опреме и простора, дефинисане Правилником о условима које морају да испуњавају правна лица која врше послове систематског испитивања нивоа нејонизујућих зрачења, као и начин и методе систематског испитивања у животној средини. Садржина извештаја прописана је Правилником о садржини и изгледу обрасца извештаја о систематском испитивању

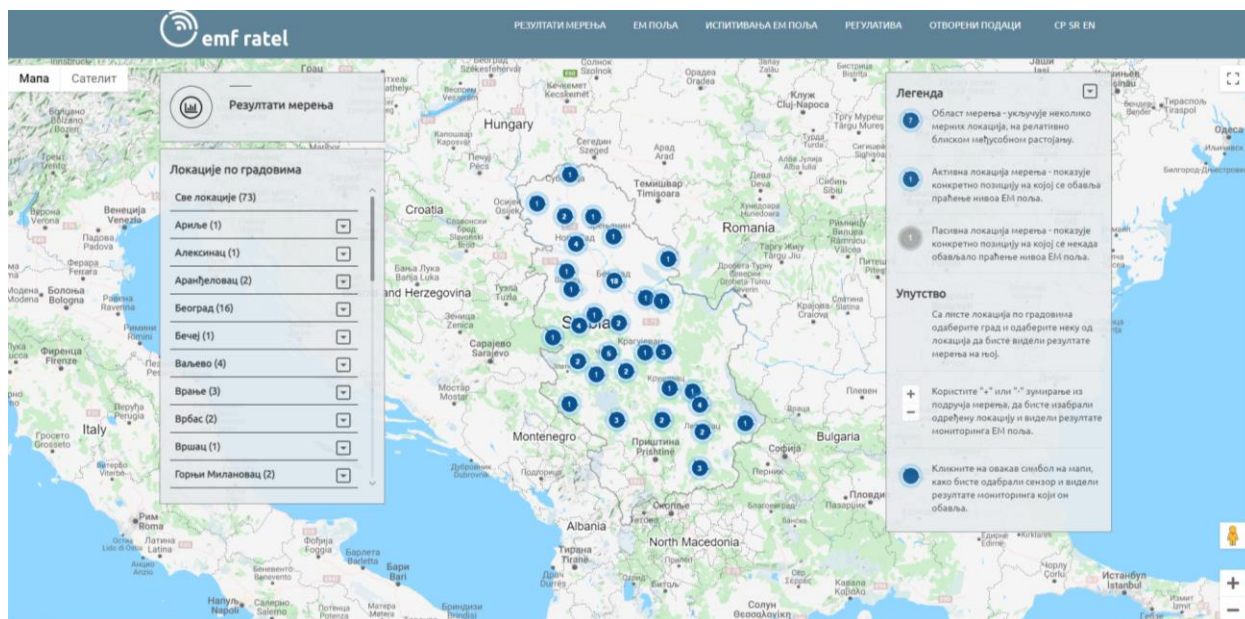
нивоа нејонизујућих зрачења у животној средини. На овом месту, потребно је нагласити да систематска испитивања нивоа нејонизујућих зрачења (чији програм спровођења доноси Влада за период од две године) нису предмет рада будуће РАТЕЛ-ове мреже сензора за праћење нивоа електромагнетног зрачења у животној средини (слика 34).

Закон о електронским комуникацијама („Службени гласник Републике Србије“ број 44/2010 и 62/2014) прописује да РАТЕЛ мери ниво електромагнетског поља за електронске комуникационе мреже, припадајућа средства, електронску комуникациону опрему и терминалну опрему, у складу са граничним вредностима утврђеним посебним прописима. Такође, РАТЕЛ је дужан да прекорачења утврђена приликом мерења пријави надлежној инспекцији.

Поред тога, у домену рада РАТЕЛ-а, наводи се и контрола изложености становништва електромагнетским пољима узрокованих радом електронских комуникационих мрежа, припадајућих средстава и електронске комуникационе опреме, у складу са прописима којима се уређује заштита животне средине. Претходно наведене одреднице Закона о електронским комуникацијама представљају основ за изградњу мреже сензора за праћење нивоа електромагнетног зрачења у животној средини [11]



Слика 33 . РАТЕЛ – мрежа мониторинга електромагнетно поља у градовима Републике Србије [11]



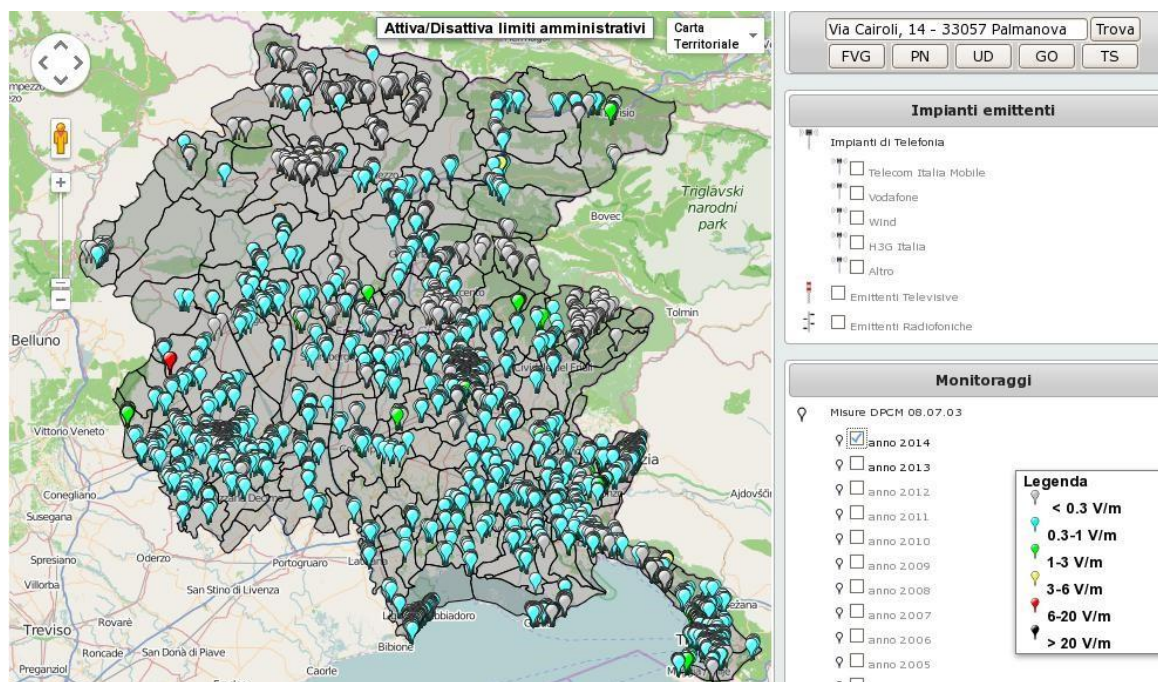
Слика 34. Јавни приказ резултата коришћењем интерактивне мапе мрежа електромагнетних поља у Србији [11]

4.1. Мрежа мониторинга електромагнетног зрачења у Италији

У Италији је реализована, по обиму највећа, мрежа сензора за мониторинг електромагнетног зрачења. Пројекат реализације националне мреже за мониторинг заједнички су реализовали Министарство за Телекомуникације Италије и UFUB (*Inovazioni Fond Ugo Bordoni*). Циљ пројекта био је да се добије што шира слика нивоа електромагнетног зрачења на целокупној територији Италије. Обухваћени су сви региони тако што су партнери на пројекту биле све регионалне агенције за заштиту животне средине. Мрежа је имплементирана у три фазе. У првој фази су постављани широкопојасни сензори, док су у следеће две фазе постављани селективни сензори. Оба типа мерења су вршена у опсегу од 100 kHz - 3 GHz. Да би се добила што шира слика о електромагнетним емисијама на територији Италије, стационарни сензори су након одређеног периода премештани на другу локацију. Овај период је био типично две до четири недеље, мада су друштвено-остетљиве локације попут школа, обданишта, болница, итд., мерене и у дужем временском периоду. Одлуку о периоду мерења за конкретну локацију су доносиле регионалне агенције. У овире овог решења, измерени резултати се преко мобилне GSM мреже преносе до централне локације, где се након валидације од стране техничког особља Министарства за Телекомуникације Италије, електронском поштом прослеђују техничком особљу, који су задужени за постављање података на сајт и одржавање сајта. На серверу на централној локацији се налази софтвер који се користи за конфигурисање сензора на свим локацијама. У поменуте три фазе је инсталирано 1200 стационарних НАРДА сензора. Сензори су пропорционално подељени по регионима у Италији уз критеријум један сензор на 50.000 грађана. На 35 дата је илустрација изгледа интерактивне мапе на веб сајту, преко које грађани могу да приступе

измереним резултатима на свакој локацији. За сваку локацију се приказују средња и максимална вредност електричне компоненте електромагнетног поља.

Велики број мерења и велика хетерогеност локација (регионално одлична покривеност и различитост у типовима локације (школе, обданишта, болнице, пословне зграде са доста канцеларија, јавна места) дали прилично добар увид у изложеност италијанске популације електромагнетном зрачењу [13].



Слика 35. – Приказ измерених резултата коришћењем интерактивне мапе мрежа електромагнетних поља у Италији [13]

Стварање мреже за надзор има вишеструке сврхе:

- информисање грађана о нивоима електромагнетног поља који су стварно присутни на територији и њиховом развоју како у кратком тако иу дугорочном периоду;
- пружање научној заједници комплетна и органска знања о просторним и временским статистикама о расподели електромагнетног поља радио фреквенција на територији;
- створају се услови за одрживи развој радио комуникационих мрежа, гарантујући транспарентност и избегавајући неоправдани алармизам.

Италијанско законодавство заснива се на вишестепеној заштити:

- граничне вредности изложености: вредности електричног, магнетног или електромагнетног поља које се сматрају вредностима емисије, које не смеју бити прекорачене ни у каквим условима изложености;

- нивои вредности електричног, магнетног или електромагнетног поља које се сматрају улазним вредностима не смеју се премашити у стамбеним, школским срединама као ни у местима који се користе за дужи боравак људи.
- циљеви квалитета: вредности електричног, магнетног или електромагнетног поља које се сматрају вредностима емисије постројења и опреме, а које се морају постићи краткорочно, средњорочно и дугорочно, такође коришћењем доступних технологија и метода санације, како би се за постизање предвиђених циљева предострожности, такође у вези са заштитом од могућих дугорочних ефеката.

Одредбе садржане у „Оквирном закону о заштити од излагања електричним, магнетним и електромагнетним пољима“ (бр. 36 из 2001. године) имају за циљ заштиту становништва и радника од излагања електричним, магнетним и електромагнетним пољима, генерисане било којом врстом инсталација која ради у фреквенцијском опсегу од 0 Hz-300 GHz и емитује на отвореном или у затвореном; медицинске примене на пацијентима намерно изложеним из дијагностичких или терапијских разлога су искључене. Закон није ограничен на заштиту здравља, већ такође утврђује мере заштите животне средине и пејзажа.

Објава од 28. августа 2003. године указом премијера од 8. јула 2003. године утврђују се границе изложености и вредности пажње за електромагнетна поља која генеришу фиксни извори у фреквенцијском опсегу између 100 kHz-300 GHz. Уредба такође утврђује циљеве квалитета за прогресивно минимизирање изложености. У табелама су приказана ограничења и вредности прописане законом [13].

Табела 1. Ограничења изложености електромагнетног зрачења [13]

Ограничења изложености за ширу јавност			
Фреквенција f (MHz)	Ефективна вредност јачине електричног поља (V/m)	Ефективна вредност јачине магнетног поља (A/m)	Еквивалентна густина снаге таласног таласа (W/m ²)
0,1 – 3	60	0.2	-
>3 - 3.000	20	0.05	1
>3.000 - 300.000	40	0.1	4

Табела 2. Вредности квалитета мерења електромагнетног зрачења [13]

Вредности пажње и циљеви квалитета			
Фреквенција f (MHz)	Ефективна вредност јачине електричног поља (V/m)	Ефективна вредност јачине магнетног поља (A/m)	Еквивалентна густина снаге таласног таласа (W/m ²)
0,1 – 3000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

Још један веома важан аспект реализованог пројекта у Италији јесте директан рад са грађанима на терену. За ове сврхе су коришћена два возила, мерни аутобус *Blu Bus* и мало мерно возило (слика 36).

Blu Bus може да прими до 50 људи. Грађани су се, пратећи рад *Blu Bus* покретне лабораторије, могли упознати са радом и могућностима инструментације са становишта броја мерења која су извршена и која се врше, као и о томе шта значе бројке на дисплејима инструмената. Када се није могло стићи до одређених локација *Blue Bus*-ом, онда се користио *BluShuttle* мини-аутомобил.

Сваки од сензора у италијанској мрежи фиксних сензора има GPRS модем преко кога се повезује на мобилну мрежу и тако врши пренос измерених података до централног сервера са базом података. Подаци се грађанству презентују коришћењем веб апликације. Резултати мерења за сваку фиксну локацију и за све мерне путање куда су вођени мобилни сензори презентују се и табеларно и графички уз поређење са граничним нивоима. На овај начин се задовољавају и потребе обичних грађана, али и потребе научне заједнице којима ови резултати могу бити интересантни за рад на напредним истраживањима у овој области [13].



Слика 36. - *Blu Bus* мерно возило и уређај [13]

4.2. Норме којима се ограничава излагање људи електромагнетним пољима

Постоји извештај број организација које су донеле норме у области нејонизујућих зрачења, као што су ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*), ARPANSA (*Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency*), FCC (*Federal Communications Commission*) и IEEE (*Institute of Electrical and Electronics*

Engineers). Највећи број земаља ЕУ прихватио је ICNIRP препоруке. Поред тога, Светска здравствена организација WHO (*World Health Organization*) користи ICNIRP препоруке као основу за хармонизацију националних стандарда на глобалном нивоу. Ипак, треба истаћи да је одређен број земаља, међу којима је и Србија, донео норме које су строжије од оних дефинисаних ICNIRP препорукама. Генерално, постоје две различите групе норми којима се ограничава излагање људи електромагнетном зрачењу: норме за општу људску популацију и норме за техничко особље.

Норме за општу људску популацију су знатно строжије од норми за техничко особље. Разлог овоме је чињеница да техничко особље треба да зна и мора да поштује процедуре којима се врши њихова додатна заштита од утицаја електромагнетног зрачења. У Србији, област нејонизујућих зрачења уређена је Законом о заштити од нејонизујућих зрачења (Службени гласник Републике Србије број 36/2009) и групом правилника који припадају овом закону. Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима (Службени гласник Републике Србије број 104/2009) прописује границе излагања електромагнетном зрачењу у зонама повећане осетљивости. Под зонама повећане осетљивости сматрају се подручја стамбених зона у којима се људи могу задржавати и 24 сата дневно, школе, школски/студентски/старачки домови, предшколске установе, породилишта, болнице, туристички објекти, дечја игралишта, површине неизграђених парцела намењених, према урбанистичком плану, за наведене намене, у складу са препорукама Светске здравствене организације.

Поред тога, серија српских стандарда усвојених 2008. године (Службени гласник Републике Србије број 104/2008), ослања се на препоруку Савета Европе 1999/519/ЕС од 12. јула 1999. године, и као норме узима оне које су дефинисане ICNIRP препоруком. Из тог разлога, норме дефинисане ICNIRP препоруком су важеће норме у Србији за случајеве изван зона повећане осетљивости.

Нормама се дефинишу границе исказане кроз базична ограничења и изведене референтне граничне нивое, преко којих људи не смеју бити изложени електромагнетним пољима. Базична ограничења излагања људи су ограничења која су заснована непосредно на утврђеним здравственим ефектима и биолошким показатељима. С обзиром да мерење физичке величине којом се исказује базично ограничење најчешће није једноставно, дефинишу се референтни гранични нивои за физичке величине које је једноставније измерити. Референтни гранични нивои служе за практичну процену изложености, како би се одредило да ли су базична ограничења задовољена. Ако су задовољена ограничења дефинисана референтним граничним нивоима, онда су задовољена и ограничења дефинисана базичним ограничењем, док обрнуто не мора да важи.

Узимајући у обзир да је за случај радио-фреквенцијског електромагнетног зрачења (у опсегу који се разматра у овом пројекту) доминантан топлотни ефекат, базично ограничење исказује се преко специфичне брзине апсорпције енергије SAR (*Specific Energy Absorption Rate*), и то за: SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} (*Whole-Body Average SAR*), SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ (*Lokalized SAR-Head and Trunk*) и SAR локализован на екстремитете SAR_l (*Lokalized SAR-Limbs*). Изведени референтни гранични нивои исказани су преко интензитета електричног поља E , интензитета магнетног поља H и густине снаге S [12].

У наставку је дат преглед базичних ограничења и референтних граничних нивоа за случајеве норми дефинисаних: Правилником о границама излагања нејонизујућим зрачењима, ICNIRP препоруком, FCC препоруком, IEEE стандардом и ARPANSA стандардом. Након тога, дате су норме за истовремени утицај више извора електромагнетног зрачења. Са обзиром на чињеницу да се у пракси за мерења интензитета електромагнетног зрачења најчешће користе уређаји који мере интензитет електричног поља (што ће такође бити примењено у оквиру овог пројекта), посебно су истакнути референтни гранични нивои интензитета електричног поља. Наиме, да би се испитала усклађеност са референтним граничним нивоима, стандарди који дефинишу методе мерења прецизирају да је у блиској радијацијској зони, као и у зони далеког поља, довољно мерити само интензитет електричног поља. Потребно је истаћи да је ово готово увек случај у пракси. За случај раванског електромагнетног таласа, интензитет електричног поља, интензитет магнетног поља и густине снаге међусобно везује карактеристична импеданса слободног простора 30. У пракси се најчешће користе уређаји који мере интензитет електричног поља, са обзиром да је њихова реализација у високофреквенцијским радио-опсезима најједноставнија [12].

4.1.1. Норме дефинисане правилником о границама излагања нејонизујућим зрачењима у зонама повећане осетљивости

Базична ограничења и референтни гранични нивои дефинисани Правилником о границама излагања нејонизујућим зрачењима у зонама повећане осетљивости (Службени гласник Републике Србије број 104/2009) дати су у табелама 3. и 4. у којима је дат приказ фреквенцијске зависности референтног граничног интензитета електричног поља а на сликама 37 и 38 (фреквенцијски опсег 100 kHz-10 MHz и фреквенцијски опсег 10 MHz -18 GHz).

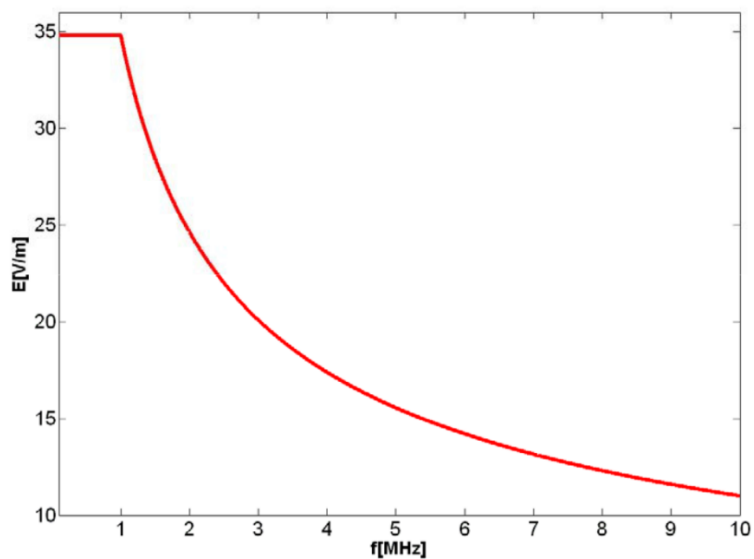
Табела 3. Базична ограничења Правилника о границама излагања нејонизујућим зрачењима у зонама повећане осетљивости [12]

Фреквенција f	SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} [W/kg]	SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ [W/kg]	SAR локализован на екстремитете SAR_t [W/kg]
100 kHz – 10 GHz	0.08	2	4

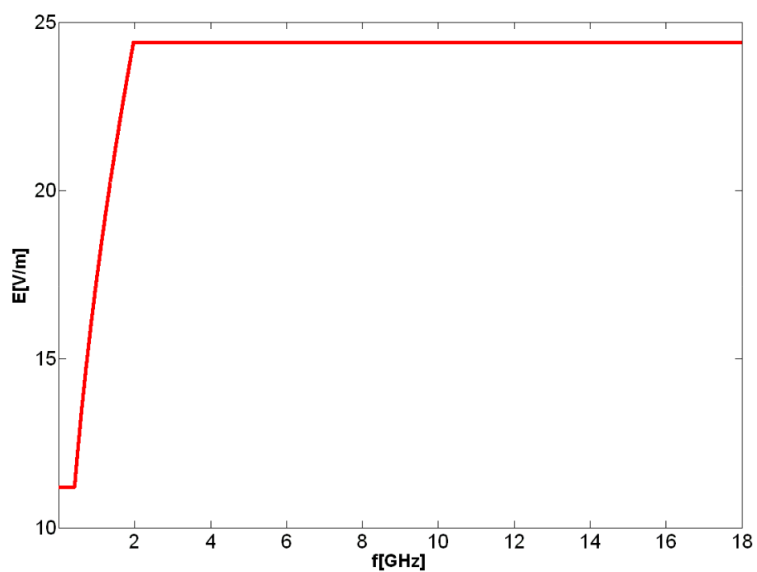
Табела 4. Референтни гранични нивои Правилника о границама излагања нејонизујућим зрачењима у зонама повећане осетљивости [12]

Фреквенција f	Интензитет електричног поља E [V/m]	Интензитет магнетног поља H [A/m]	Густина снаге S [W/m ²]
до 1 Hz	5600	12800	-
1-8 Hz	4000	$12800/f^2$	-
8-25 Hz	4000	$1600/f$	-

0.025-0.8kHz	$100/f$	$1.6/f$	-
0.8-3 kHz	$100/f$	2	-
3-150 kHz	34.8	2	-
0.15-1 MHz	34.8	$0.292/f$	-
1-10 MHz	$34.8/f^{1/2}$	$0.292/f$	-
10-400 MHz	11.2	0.0292	0.326
400-2000 MHz	$0.55f^{1/2}$	$0.0048f^{1/2}$	$f/1250$
2-300 GHz	24.4	0.064	1.6



Слика 37 . Референтни гранични интензитет електричног поља у зависности од фреквенције (100 kHz-10 MHz) – Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима [12]



Слика 38. Референтни гранични интензитет електричног поља у зависности од фреквенције (10 kHz-18 GHz) – Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима [12]

4.1.2. Норме за људску популацију дефинисане ICNIRP препоруком

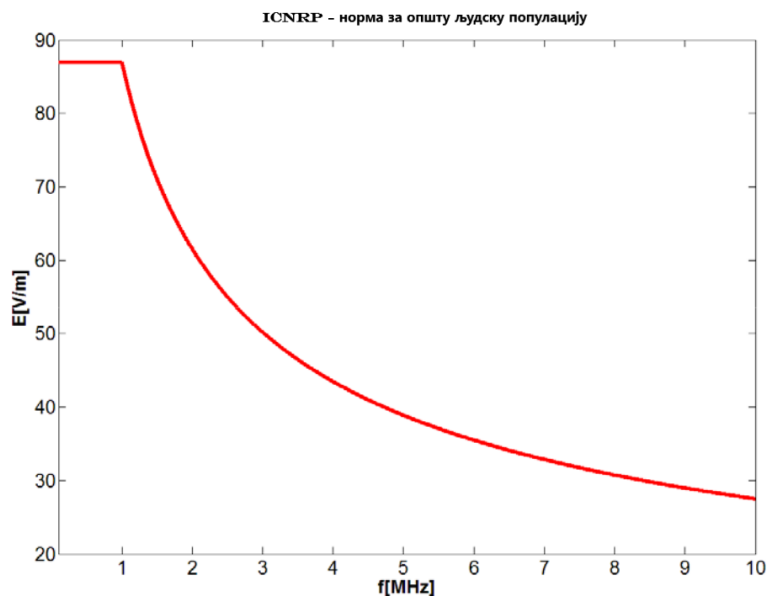
Базична ограничења и референтни гранични нивои за општу људску популацију дефинисани ICNIRP препоруком дати су у табелама 5. и 6. на основу којих је дат приказ фреквенцијске зависности референтног граничног интензитета електричног поља на сликама 39 и 40 (фреквенцијски опсег 100 kHz-10 MHz и фреквенцијски опсег 10 MHz - 18 GHz) [14].

Табела 5. Базична ограничења за општу људску популацију - ICNIRP препорука [14]

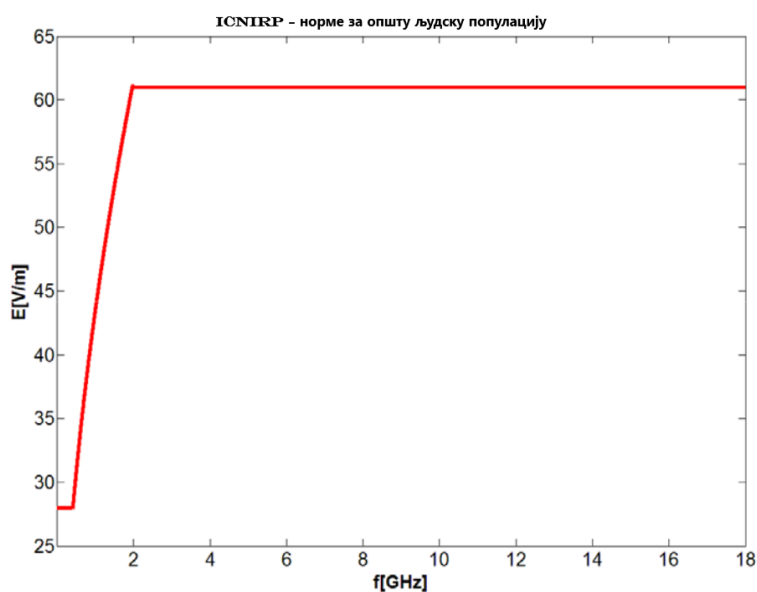
Фреквенција f	SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} [W/kg]	SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ [W/kg]	SAR локализован на екстремитете SAR_t [W/kg]
100 kHz – 10 GHz	0.08	2	4

Табела 6. Референтни гранични нивои за општу људску популацију – ICNIRP препорука [14]

Фреквенција f	Интензитет електричног поља E [V/m]	Интензитет магнетног поља H [A/m]	Густина снаге S [W/m ²]
до 1 Hz	-	32000	-
1-8 Hz	10000	$32000/f^2$	-
8-25 Hz	10000	$4000/f$	-
0.025-0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	-
0.8-3 kHz	$250/f$	5	-
3-150 kHz	87	5	-
0.15-1 MHz	87	$0.73/f$	-
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	-
10-400 MHz	28	0.073	2
400-2000 MHz	$1.375/f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0.16	10



Слика 39. Референтни гранични интензитет електричног поља за општу људску популацију у зависности од фреквенције (100 kHz-10 MHz) – ICNIRP препорука [14]



Слика 40. Референтни гранични интензитет електричног поља за општу људску популацију у зависности од фреквенције (10 kHz-18 GHz) – ICNIRP препорука [14]

4.1.2.1. Норме за техничко особље дефинисане ICNIRP препоруком

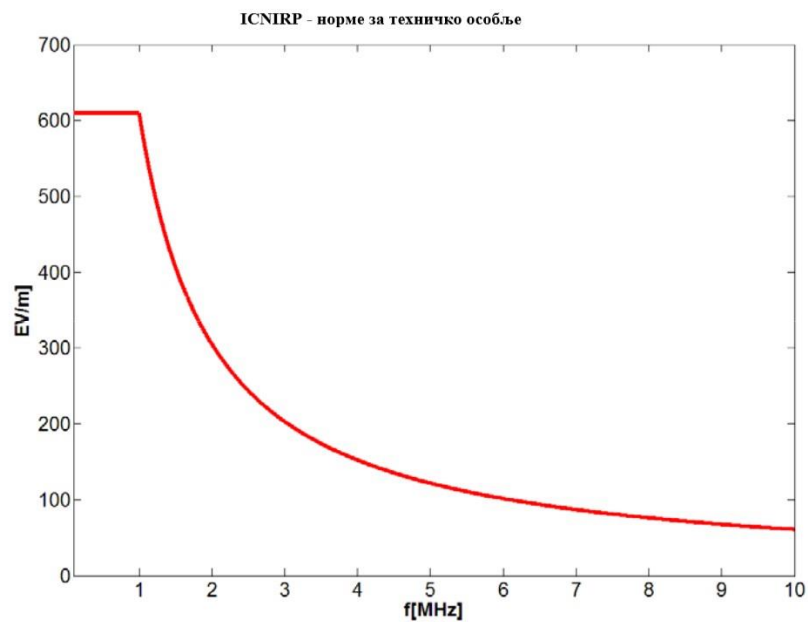
Базична ограничења и референтни гранични нивои за техничко особље дефинисани ICNIRP препоруком дати су у табелама 7. и 8. на основу којих је дат приказ фреквенцијске зависности референтног граничног интензитета електричног поља на сликама 41 и 42 (фреквенцијски опсег 100 kHz-10 MHz и фреквенцијски опсег 10 MHz – 18 GHz) [14].

Табела 7. Базична ограничења за техничко особље – ICNIRP препорука [14]

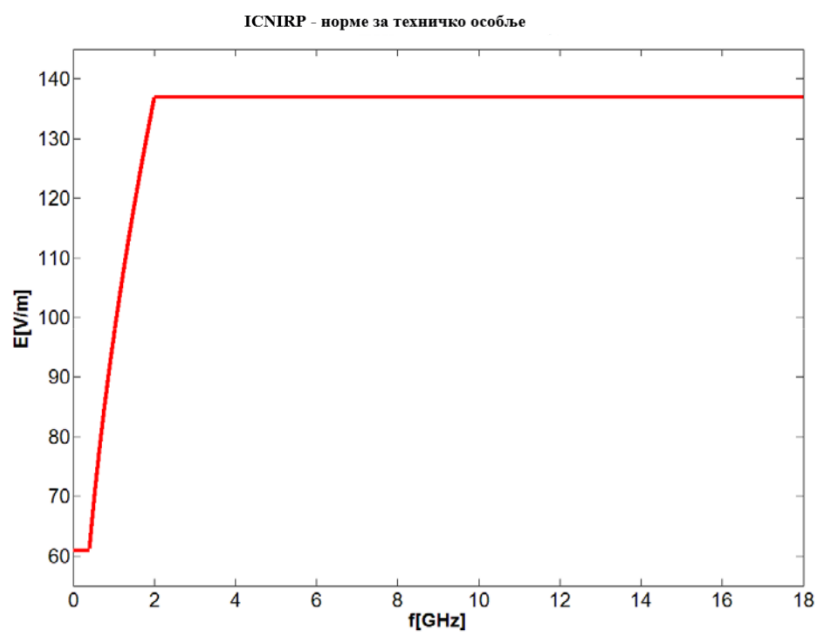
Фреквенција f	SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} [W/kg]	SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ [W/kg]	SAR локализован на екстремитете SAR_t [W/kg]
100 kHz-10 GHz	0.4	10	20

Табела 8. Референтни гранични нивои за техничко особље – ICNIRP препорука [14]

Фреквенција f	Интензитет електричног поља E [V/m]	Интензитет магнетног поља H [A/m]	Густина снаге S [W/m ²]
до 1 Hz	-	163000	-
1-8 Hz	20000	$163000/f^2$	-
8-25 Hz	20000	$20000/f$	-
0.025-0.8 kHz	$500/f$	$1.6/f$	-
0.8-3 kHz	610	$20/f$	-
3-150 kHz	610	24.4	-
0.15-1 MHz	$610/f$	$1.6/f$	-
1-10 MHz	$34.8/f^{1/2}$	$1.6/f$	-
10-400 MHz	61	0.16	10
400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
2-300 GHz	137	0.36	50



Слика 41 . Референтни гранични интензитет електричног поља за техничко особље у зависности од фреквенције (100 kHz-10 MHz) – ICNIRP препорука [14]



Слика 42. Референтни гранични интензитет електричног поља за техничко особље у зависности од фреквенције (10 MHz-18 GHz) – ICNIRP препорука [14].

4.1.3. Норме за општу људску популацију дефинисане FCC препоруком

Базична ограничења и референтни гранични нивои за општу људску популацију дефинисани FCC препоруком дати су у табелама 9 и 10 [15].

Табела 9. Базична ограничења за људску популацију – FCC препорука [15]

Фреквенција f	SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} [W/kg]	SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ [W/kg]	SAR локализован на екстремитете SAR_t [W/kg]
300 kHz-6 GHz	0.08	1.6	4

Табела 10. Референтни гранични нивои за општу људску популацију – FCC препорука [15]

Фреквенција f	Интензитет електричног поља E [V/m]	Интензитет магнетног поља H [A/m]	Густина снаге S [W/m ²]
0.3-1.34 MHz	614	1.63	1000
1.34-30 MHz	$824/f$	$2.19/f$	$1800/f^2$
30-300 MHz	27.5	0.073	2
300-1500 MHz	-	-	$f/150$
1.5-100 GHz	-	-	10

4.1.3.1. Норме за техничко особље дефинисане FCC препоруком

Базична ограничења и референтни гранични нивои за техничко особље дефинисани FCC препоруком дати су у табелама 11 и 12 [15].

Табела 11. Базична ограничења за техничко особље – FCC препорука [15]

Фреквенција f	SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} [W/kg]	SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ [W/kg]	SAR локализован на екстремитете SAR_t [W/kg]
300 kHz-6 GHz	0.4	8	20

Табела 12. Референтни гранични нивои за техничко особље – FCC препорука [15]

Фреквенција f	Интензитет електричног поља E [V/m]	Интензитет магнетног поља H [A/m]	Густина снаге S [W/m ²]
0.3-3 MHz	614	1.63	1000
1.34-30 MHz	$1842/f$	$4.89/f$	$9000/f^2$
30-300 MHz	61.4	0.163	10
300-1500 MHz	-	-	$f/30$
1.5-100 GHz	-	-	50

4.1.4. Норме за општу људску популацију дефинисане IEEE стандардом

Базична ограничења и референтни гранични нивои за општу људску популацију IEEE стандардом дати су у табелама 13 и 14 [16].

Табела 13. Базична ограничења за општу људску популацију – IEEE стандард [16]

Фреквенција F	SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} [W/kg]	SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ [W/kg]	SAR локализован на екстремитете SAR_t [W/kg]
300 kHz-6 GHz	0.08	2	4

Табела 14. Референтни гранични нивои за општу људску популацију – IEEE стандард [16]

Фреквенција f	Интензитет електричног поља E [V/m]	Интензитет магнетног поља H [A/m]	Густина снаге S [W/m ²]
0.1-1.34 MHz	614	16.3	1000
1.34-3 MHz	$823.8/f$	$16.3/f$	$1800/f^2$
3-30 MHz	$823.8/f$	$16.3/f$	$1800/f^2$
30-100 MHz	27.5	$158.3/f^{1.668}$	2
100-400 MHz	27.5	0.0729	2
400-2000 MHz	-	-	$f/200$
2-100 GHz	-	-	10

4.1.4.1. Норме за техничко особље дефинисане IEEE стандардом

Базична ограничења и референтни гранични нивои за техничко особље дефинисани IEEE стандардом дати су у табелама 15 и 16 [16].

Табела 15. Базична ограничења за техничко особље – IEEE стандард [16].

Фреквенција F	SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} [W/kg]	SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ [W/kg]	SAR локализован на екстремитете SAR_t [W/kg]
300 kHz-6 GHz	0.4	10	20

Табела 16. Референтни гранични нивои за техничко особље – IEEE стандард [16]

Фреквенција F	Интензитет електричног поља E [V/m]	Интензитет магнетног поља H [A/m]	Густина снаге S [W/m ²]
0.1-1 MHz	1842	$16.3/f$	9000
1-30 MHz	$1842/f$	$16.3/f$	$9000/f^2$
30-100 MHz	61.4	$16.3/f$	10
100-300 MHz	61.4	0.163	10
300-3000 MHz	-	-	$f/30$
3-300 GHz	-	-	100

4.1.5. Норме за општу људску популацију дефинисане ARPANSA стандардом

Базична ограничења и референтни гранични нивои за општу људску популацију дефинисани ARPANSA стандардом дати су у табелама 17 и 18 [17].

Табела 17. Базична ограничења за општу људску популацију – ARPANSA стандард [17]

Фреквенција f	SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} [W/kg]	SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ [W/kg]	SAR локализован на екстремитете SAR_t [W/kg]
100 kHz-6 GHz	0.08	2	4

Табела 18. Референтни гранични нивои за општу људску популацију – ARPANSA стандард [17]

Фреквенција F	Интензитет електричног поља E [V/m]	Интензитет магнетног поља H [A/m]	Густина снаге S [W/m ²]
100-150 kHz	86.8	4.86	-
0.15-1 MHz	86.8	$0.729/f$	-
1-10 MHz	$86.8/f^{1/2}$	$0.729/f$	-
10-400 MHz	27.4	0.0729	2
400-2000 MHz	$1.37/f^{1/2}$	$0.00364/f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61.4	0.163	10

4.1.5.1. Норме за техничко особље дефинисане ARPANSA стандардом

Базична ограничења и референтни гранични нивои за техничко особље дефинисани ARPANSA стандардом дати су у табелама 19 и 20 [17].

Табела 19. Базична ограничења за техничко особље – ARPANSA стандард [17]

Фреквенција F	SAR усредњен за цело тело SAR_{wb} [W/kg]	SAR локализован на главу и труп $SAR_{h\&t}$ [W/kg]	SAR локализован на екстремитете SAR_t [W/kg]
100 kHz-6 GHz	0.4	10	20

Табела 20. Референтни гранични нивои за техничко особље – ARPANSA стандард [17]

Фреквенција F	Интензитет електричног поља E [V/m]	Интензитет магнетног поља H [A/m]	Густина снаге S [W/m ²]
0.1-1 MHz	614	1.63	-
1-10 MHz	$614/f$	$1.63/f$	$1000/f^2$
10-400 MHz	61.4	0.163	10
400-2000 MHz	$3.07/f^{1/2}$	$0.00814/f^{1/2}$	$f/40$
2-300 GHz	137	0.364	50

4.1.6. Упоредни преглед референтних граничних нивоа интензитета електричног поља

У пракси се најчешће врше мерења интензитета електричног поља. Узимајући у обзир просторну распрострањеност, нарочито се истичу јавни мобилни системи (GSM, DCS, UMTS, LTE) као извори електромагнетног зрачења. Из тог разлога у табели дат је преглед референтних граничних нивоа интензитета електричног поља за све претходне наведене норме у фреквенцијским опсезима рада ових система.

Табела – Преглед референтних граничних нивоа интензитета електричног поља E [V/m] [18]

Фреквенција [MHz]	80-300	800	900	1800	2100	2600
Правилник	11.2	15.6	16.5	23.3	24.4	24.4
ICNIRP – општа популација	28	39	41	58	61	61
FCC – општа популација	27.5	44.8	47.6	61.4	61.4	61.4
IEEE – општа популација	27.5	38.8	41.2	58.2	61.4	61.4
ARPANSA – општа популација	27.4	39	41	58	61.4	61.4
ICNIRP – техничко особље	61	85	90	127	137	137
FCC – техничко особље	61.4	100.3	106.3	137.3	137.3	137.3
IEEE – техничко особље	61.4	100.3	106.3	150.4	162.4	180.8
ARPRANSA - техничко особље	61.4	87	92	130	137	137

4.2. Методе за мерење интензитета електромагнетног зрачења у другим земљама

Да би се контролисао утицај електромагнетног зрачења на људе, у оквиру међународних стандарда, као и у домаћој регулативи, дефинисане су норме којима се ограничава излагање електромагнетним пољима која потичу од телекомуникационих уређаја. Овим нормама дефинисане су границе, исказане кроз базична ограничења и изведене референтне граничне нивое, преко којих људи не смеју бити изложени електромагнетним пољима.

Да би се у пракси проверило да ли су задовољене норме којима се ограничава излагање електромагнетним пољима, спроводе се мерења (а понекад и прорачуни) интензитета електромагнетног поља у околини радио-предајника телекомуникационих мрежа и система. За случај радио-предајника, узимајући у обзир сложеност мерења специфичне брзине апсорпције енергије SAR (преко које су исказана базична ограничења), у пракси се спроводе мерења интензитета електричног поља E , интензитета магнетног поља H и густине снаге S (преко којих су исказани референтни гранични нивои). Методе које се користе за мерење интензитета електромагнетног поља у околини радио-предајника дефинисане су међународним стандардима:

- CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization* 50413:2008/A1:2013) – Основни стандард за поступке мерења и прорачуна изложености људи електричним и електромагнетним пољима (0 Hz-300 GHz);
- CENELEC EN (50383:2010/AC:2013) – Основни стандард за прорачун и мерење јачине електромагнетног поља и SAR који се односе на изложеност људи из радио базних станица и фиксних терминалних станица за бежичне телекомуникационе системе (110 MHz — 40 GHz);
- CENELEC EN (50492:2008/A1:2014) – Основни стандард за мерење јачине електромагнетног поља на лицу места у близини базних станица;
- CENELEC EN (50400:2006/A1:2012) – Основни стандард за доказивање усаглашености фиксне опреме за радио пренос (110 MHz-40 GHz) намењене за употребу у бежичним телекомуникационим мрежама са основним ограничењима или референтим нивоима који се односе на општу изложеност јавности радиофреквентним електромагнетним пољима када се стави у употребу;
- CENELEC EN (50401:2006/A1:2011) – Стандард производа за доказивање усаглашености фиксне опреме за радио пренос (110 MHz- 40 GHz) намењене за употребу у бежичним телекомуникационим мрежама са основним ограничењима или референтим нивоима који се односе на општу изложеност јавности радиофреквентним електромагнетним пољима, када се стави у употребу.

Ове методе првенствено су намењене за спровођење једнократних мерења у циљу испитивања усклађености извора електромагнетног зрачења са дефинисаним нормама. На местима где постоје одступања у односу на систем чији развој је предмет овог пројекта, та одступања ће бити истакнута. Да би се испитала усклађеност извора електромагнетног зрачења (радио-предајника) са референтним граничним нивоима,

стандарди дефинишу да је у блиској радијацијској зони и у зони далеког поља довољно мерити само интензитет електричног поља E или само интензитет магнетног поља H . За мерење интензитета електромагнетног зрачења у пракси се најчешће користе уређаји који мере интензитет електричног поља, са обзиром да је њихова реализација најједноставнија [18].

За случај раванског електромагнетног таласа, интензитет електричног поља E , интензитет магнетног поља H и густине снаге S међусобно везује карактеристична импеданса слободног простора $Z_0 (\approx 120\pi)$, релацијом:

$$S = EH = \frac{E^2}{Z_0} = Z_0 H^2$$

Да би се испитала усклађеност инсталације радио-предајника са референтним граничним нивоима, неопходно је узети у обзир све релеватне изворе електромагнетног зрачења на локацији и проверити да ли је за сваку мерну позицију задовољен критеријум за истовремени утицај више извора, дефинисан Правилником о границама излагања нејонизујућим зрачењима („Службени гласник Републике Србије“ број 104/2009) и ICNIRP препоруком. За једноставније проверавање критеријума за истовремени утицај више извора, стандардом је дефинисан фактор изложености релевантног извора ER_i (*Exposure Ratio*) :

$$ER_i = \left(\frac{E_i}{EL_i} \right)^2$$

где је: E_i – интензитет електричног поља који потиче од извора на фреквенцији i ,
 EL_i – вредност референтног граничног интензитета за електрично поље на фреквенцији i .

Да би критеријум за истовремени утицај N извора био задовољен, укупни фактор изложености TER (*Total Exposure Ratio*) мора бити мањи или једнак 1:

$$TER = \sum_{i=1}^n ER_i \leq 1$$

Према дефинисаним стандардима, поступак мерења интензитета електромагнетног зрачења на локацији радио-предајника састоји се од две фазе. У првој фази, одређују се релеватни извори електромагнетног зрачења за анализирану локацију, као и релеватне зоне саме локације у којима је неопходно извршити мерења. Да би се одредила просторна расподела електромагнетног зрачења, у другој фази се спроводе мерења интензитета електричног поља релеватних извора на великом броју мерних позиција у оквиру релеватних зона разматране локације. Под релеватним извором електромагнетног зрачења сматра се извор који има $ER_i > 0.05$. Одређивање релеватних извора врши се визуелном анализом локације и њене ближе околине, консултовањем националне базе радио-предајника, и највише претраживањем радио-фреквенцијског спектра. Примери релевантних извора:

- GSM 900 MHz систем;
- GSM 1800 MHz (DCS) систем;
- UMTS систем;
- LTE систем;
- FM радио-предајници;
- TV предајници;
- DVB-T2 (*Digital Terrestrial Video Broadcasting - Second Generation*) предајници;
- TETRA (Terrestrial Trunked Radio) систем, итд.

Релеватне зоне за локацију одређују се помоћу просторне анализе интензитета електричног поља. Под релевантним зонама локације сматрају се делови локације којима општа људска популација има приступ и у којима су очекиване вредности $TER > 0.05$. Релеватне зоне за локацију радио-предајника зависе од начина инсталације антенског система, и најчешћи примери из праксе су:

- ниво тла и објекти који се налазе у околини антенског стуба,
- кров, кровне терасе и спратови објекта на ком су инсталиране базне станице, као и суседни објекти који се налазе у близини, и
- унутрашњост објекта за случајеве индоор радио-предајника.

За одређивање просторне расподеле електромагнетног зрачења на локацији, врше се мерења интензитета електричног поља релеватних извора на великом броју мерних позиција у оквиру релеватних зона разматране локације.

Приликом мерења на свакој мерној позицији мерна сонда се поставља на треножни статив. У току мерења, особе које чине мерни тим, удаљене су од мерне сонде бар 1.5m. За сваку мерну позицију, стандардом CENELEC EN 50400:2006/A1:2012 предвиђено је да се мерења спроведу на три висине (1.1 m, 1.5 m, 1.7 m) и да се као резултат узме максимална од три измерене вредности. Са друге стране, стандард CENELEC EN 50492:2008/A1:2014 предвиђа просторно усредњавање за ове три вредности, а у неким случајевима и за додатне три (укупно шест вредности) на истим висинама али хоризонтално удаљене 0.4m. На овом месту је потребно нагласити да се у оквиру коришћења мреже фиксних сензора за генерисање мапа интензитета електричног поља не врши просторно усредњавање с обзиром на чињеницу да се током оперативног рада мерни сензори се не померају. Већина норми прописује мерење средње вредности у интервалу времена од бмин, изузев норми за општу људску популацију дефинисаних FCC регулативом и IEEE стандардом, које прописују мерење средње вредности у интервалу времена од 30 минута [18].

Да би се проверила усклађеност са референтним граничним нивоима, стандарди захтевају да се мерења спроводе када релеватни извори раде са максималном предајном снагом или да се користе технике за екстраполацију измерених вредности на случај са максималном предајном снагом (случају максималног саобраћајног оптерећења). Екстраполација тренутно измереног интензитета електромагнетног поља може довести до великог прецењивања, па се зато препоручује мерење сигнала који се емитују са

константом предајном снагом за потребе екстраполације. Да би се извршила смислена мерења, потребно је утврдити понашање и карактеристике радио-фреквенцијског извора, и разумети начин рада и функционисања мерне опреме. Мерење радио-фреквенцијског електромагнетног поља, представља прави изазов због променљивости поља која га карактерише.

Најзначајнији ефекти који су последица телекомуникационих протокола и који директно утичу на предајну снагу неких радио-предајника (нпр. базних станица јавних мобилних система) су: саобраћајно оптерећење, аутоматска контрола предајне снаге и дисконтинуална предаја.

По правилу, мерни систем се састоји од две главне компоненте: мерне сонде и мерног уређаја. Мерна сонда се користи као мерни елемент за поље и мора да буде дизајнирана тако да не утиче значајно на поље које се мери. Мерни уређај обрађује сигнал који долази са мерне сонде и даје вредност мерене величине електромагнетног поља. Са обзиром да се стандардима захтева изотропно мерење интензитета електромагнетног поља, мерне сонде су обично направљене тако да имају три међусобно ортогонална мерна елемента, који служе за независно мерење три просторне компоненте поља. Овакве триаксијалне мерне сонде служе за мерење интензитета резултантног поља које се добија као корен из збира квадрата интензитета три просторне компоненте поља. У случају да се користи моноаксијална сонда, стандарди предвиђају да се сонда наизменично поставља у три међусобно ортогонална правца, и да се на тај начин изврши независно мерење сваке од три просторне компоненте поља [18].

Сва мерења морају да се спроводе са мерним системима који се еталонирају у складу са стандардима, и они се могу класификовати у две категорије: широкопојасни мерни системи и селективни мерни системи.

5. Закључак

Електромагнетно зрачење је свуда око нас, природна сунчева светлост, муње, космички зраци, наш мобилни телефон, уређаји и апарати у нашим домовима без којих дан и не почиње никоме од нас, па било и то безазлено паљење светла у соби, где год били и где год постоји електрична енергија ту је присутно и зрачење.

Електромагнетно зрачење представља појаву емитовања електромагнетне енергије у свемир у облику електромагнетних таласа или светлосних кватна.

Према различитим фреквенцијама електромагнетно зрачење се може поделити нискофреквентне електромагнетне таласе, радио-таласе, микроталасе, инфрацрвене зраке, видљиву светлост, ултраљубичасте зраке, Кс-зраке и гама зраке. Што је фреквенција електромагнетног зрачења већа, већа је његова енергија и јача продорна снага. Развој система и уређаја за бежичне комуникације је обележио претходну деценију и даље се развија. Бежични радио-системи као основ за комуникацију користе електромагнетна зрачења, што за последицу има пораст нивоа зрачења по живи свет и околину.

Према тренутним резултатима истраживања, механизам електромагнетног зрачења који делује на људско тело углавном је топлотни ефекат, нетермички ефекат и кумулативни ефекат. Међу њима је јаснији топлотни ефекат електромагнетног зрачења, људско тело је проводник, након што зрачи електромагнетним таласима, ствараће електричну струју, због чега ће се људско тело загрејати. Микроталасне пећнице такође користе топлотни ефекат микроталаса за загревање хране. Међутим, излазна снага микроталасне пећнице је око 600-1000 V, а микроталасна пећ коју она генерише је потпуно затворена у окружењу састављеном од металне шкољке, велике густине снаге и високе топлотне ефикасности. Супротно томе, снага мобилног телефона при позивању је само око 2 V, а зрачени електромагнетни таласи усмерени су у свим правцима у свемиру (у процесу позивања сигнал неће нестати услед окретања), чак и ако је близу. Када је сигнал мобилног телефона примљен од базне станице релативно слаб, снага преноса мобилног телефона током позива биће већа него када је сигнал пун. Оваква ситуација је узрокована чињеницом да је мобилни телефон далеко од базне станице или је мобилни телефон у заштићеном простору као што је вагон подземне железнице или лифт. У том случају пожељно је да избегавамо примање и позивање мобилног телефона или коришћење слушалица у том времену и сачекати јачи сигнал.

Утицајем радио-фреквентног и микроталасног зрачења појављују се електромагнетске преосетљивости. Ово је функционални поремећај који је у неким земљама препознат и у којима се посвећује посебна пажња људима са овим поремећајем. Људи са овим стањем имају разне симптоме настале излагањем овом зрачењу, а као најчешће узроке наводе се мобилни телефони и рачунари. Зрачење утиче на биохемијске процесе у ћелијама.

Како би смањили утицај електромагнетног зрачења може се повећати удаљеност људског тела од сваког извора зрачења колико год је то могуће. Искључите уређаје из утичница ако их не користите, ово може бити пуњач за мобилни телефон, преносни рачунари, разни кухињски апарати и слично. Не остављати укључен рачунар ако не радимо на њему. Померите монитор у угао јер електромагнетно зрачење са бочних страна монитора је далеко веће него са предњих површина. У соби у којој ради неколико људи рачунари између њих морају бити постављени најмање 2 m.

Да би се контролисао утицај електромагнетног зрачења на људе, у оквиру међународних стандарда, као и у домаћој регулативи, дефинисане су норме којима се ограничава излагање електромагнетним пољима која потичу од телекомуникационих

уређаја. У Србији, Закон о заштити од нејонизујућих зрачења („Службени гласник Републике Србије“ број 36/2009) и Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима („Службени гласник Републике Србије“ број 104/2009), прописују границе излагања електромагнетном зрачењу у зонама повећане осетљивости.

Изван зона повећане осетљивости, у Србији су важеће норме дефинисане ICNIRP препоруком. Овим нормама дефинисане су границе, исказане кроз базична ограничења и изведене референтне граничне нивое, преко којих људи не смеју бити изложени електромагнетним пољима.

Препоруке, односно смернице о заштити од нејонизујућег зрачења у САД-у и у Европи се фокусирају на термалну заштиту од краткотрајног излагања милиметарским зрачењима високог интензитета. Истраживања показују да краткотрајна изложеност милиметарском таласу ниског интензитета не утиче само на људске ћелије, већ може да резултира растом бактерија штетних за људе и отпорних на антибиотике. Будући да је мало истраживања проведено на здравствене последице од дуготрајне изложености милиметарском зрачењу, широко постављање бежичне инфраструктуре 5G мреже или мреже пете генерације представља огроман експеримент који може имати штетне последице по здравље становништва.

6. Литература

- [1] BASICS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION Kemal Dervić, Vladimir Šinik, Željko Despotović, University of Novi Sad, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Institute „Mihajlo Pupin” Beograd, Serbia.
- [2] <https://www.history.com/topics/inventions/nikola-tesla>, приступљено 6.04.2021.
- [3] [Elektromagnetno zračenje – Opšte obrazovanje \(opsteobrazovanje.in.rs\)](http://opsteobrazovanje.in.rs), приступљено 6.04.2021.
- [4] Pawel Bienkowski.: "Accuracy limitation factors in near field, emf metrology". EM Environment Protection Lab., Technical University of Wroclaw, Poland
- [5] Instructions for the construction and use of non-ionizing radiation, the Ministry of Environment and Spatial-Planning Department for the control and supervision, Belgrade, May 2010.
- [6] Volkow, N. D., et al. "Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism." Jama 305.8 (2011), приступљено 15.04.2020
- [7] Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks SCENIHR,
- [8] <http://www.mikroenergetika.rs/2020/03/28/187/> , приступљено 10.04.2021.
- [9] <https://pcpress.rs/5g-na-delu-u-poseti-naucno-tehnoloskom-parku-beograd/>, приступљено 10.04.2021
- [10] <https://www.narda-sts.com/en/products/>, приступљено 10.04.2021.
- [11] <https://emf.ratel.rs/cyr/rezultati-merenja/> , приступљено 10.04.2021.
- [12] Закон о заштити о нејонизујућег електромагнетног зрачења („ Службени гласник Републике Србије“ број 36/2009). Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима („Службени гласни Републике Србије“ број 104/2009).
- [13] <https://www.elettra2000.it/it/7-notizie/253-elettra2000.html> , приступљено 12.04.2021.
- [14] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP 16/09: Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz) - review of the scientific evidence on dosimetry, biological effects, epidemiological observations, and health consequences concerning exposure to high frequency electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz), ICNIRP (2009).

- [15] Federal Communications Commission. Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields. FCC 1997–01 ed: OET Bulletin 65 (1997).
- [16] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE Standard.
- [17] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. Amendment 1: Specifies ceiling limits for induced and contact current, clarifies distinctions between localizes exposure and spatial peak power density. IEEE Standard C95.1a-2010 (2010).
- [18] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for radiofrequency energy and current-flow symbols. IEEE Standard C95.2-1999 (1999). [22] Repacholi M.H. WHO's international EMF project. Radiation Protection Dosimetry, 83(1–2):1–4 (1999).
- [45] Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G, Martens L. In situ LTE exposure of the general public: Characterization and extrapolation. Bioelectromagnetics, 33(6):466-475 (2012). [46] Forbes A.B, Sousa J.A. The GUM, Bayesian inference and the observation and measurement equations. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 44(8):1422-1435.