

IZLOŽENOST LJUDI ELEKTROMAGNETSKIM POLJIMA HUMAN EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS

Egon Mileusnić, dipl. ing., Vincenta iz Kastva 2, 10000 Zagreb, Hrvatska
Egon Mileusnić, dipl. ing., Vincenta iz Kastva 2, 10000 Zagreb, Croatia

U današnjem modernom svijetu elektromagnetska onečišćenja postala su intenzivna, pa izazivaju strah kod ljudi, koji put opravdan, a koji put pretjeran. Bez obzira što su se u svijetu posljednjih 30-tak godina obavljala brojna ispitivanja u najuglednijim svjetskim laboratorijima, nije se došlo do nepobitnih dokaza, da su ta onečišćenja štetna za ljudski organizam. U članku se utvrđuju izvori elektromagnetskih zračenja, njihova jakost, te frekventno područje u kojem se manifestiraju. Osim toga na temelju međunarodnih preporuka i propisa predlažu se određene mjere zaštite koje bi trebali provesti svi sudionici u procesu stvaranja elektromagnetskog onečišćenja. Navedeni su principi za sprječavanje štetnih utjecaja i zaštitne razine dopuštenih vrijednosti električnih i magnetskih polja koje su donijele Međunarodna udruga za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP), Vijeće Europske unije i naše Ministarstvo zdravstva. Prikazan je kratki pregled stavova zakonodavstva pojedinih zemalja Europe. Članak je posebno aktualan u današnje vrijeme kada pojedinci iz raznih udruga sa svojim znanstveno neutemeljenim tvrdnjama nastoje zaustaviti tehnološki napredak.

In today's modern world, electromagnetic pollution has become intense and raises fears which are sometimes justified and sometimes exaggerated. Although numerous investigations have been conducted in the world in the most eminent laboratories, there has been no incontestable proof that such pollution is harmful to human beings. In the article, sources of electromagnetic radiation, their intensity and the frequency ranges in which they are manifested are discussed. Moreover, on the basis of international recommendations and regulations, specific safety measures are proposed that should be implemented by all the participants in the process of creating electromagnetic pollution. Principles are presented for preventing the harmful effects, together with the safety exposure limits for electric and magnetic fields that were adopted by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), the Council of the European Union, and the Croatian Ministry of Health.

A brief review is presented of the legislative positions of individual countries of Europe. The article is a particularly timely response to individuals from various associations who are attempting to block technological progress with scientifically unfounded assertions.

Ključne riječi: električno polje, elektromagnetsko polje, magnetsko polje, načelo opreznosti, neionizirajuće zračenje, potvrđeni i pretpostavljeni učinci, razborito izbjegavanje, referentne razine izloženosti zračenju

Key words: confirmed and assumed effects, electric field, electromagnetic field, magnetic field, non-ionizing radiation, precautionary principle, prudent avoidance, radiation exposure reference levels



1 UVOD

Čuo sam i čitao različite napise, neke čak i neodgovorno uznemirujuće. Zanimala me je istina. Došao sam do nekih saznanja, stavio ih na papir i uvidio da bi sve to moglo zanimati stručnu javnost i evo ovog napisa.

Opće je poznato da oko vodiča pod naponom postoji električno polje, a oko vodiča kojim protječe električna struja nastaje magnetsko polje. Pri tome je jakost električnog polja proporcionalna naponu, a jakost magnetskog polja proporcionalna jakosti struje koja teče vodičem. Slijedi zaključak: svuda gdje postoji struja i napon postoje električna, magnetska ili elektromagnetska polja. Izvori zračenja su vrlo različiti od električnih postrojenja niskog i visokog napona, tramvaja, mobilne telefonije – mobitela i odašiljača, mikrovalnih pećnica do radara.

Radi boljeg razumijevanja navode se značenja pojedinih termina korištenih u članku:

- elektromagnetska polja su statička i periodički promjenjiva električna i magnetska polja te elektromagnetski valovi frekvencije do 300 GHz,
- temeljne veličine su veličine koje se izravno povezuju uz, do sada, potvrđene zdravstvene učinke elektromagnetskih polja i na koje se postavljaju temeljna ograničenja. Zaštita od potvrđenih štetnih zdravstvenih učinaka zahtijeva da temeljna ograničenja nisu prekoračena. Ovisno o frekvenciji, fizikalne veličine na koje se postavljaju temeljna ograničenja su: gustoća struje, specifična apsorbirana snaga, specifična apsorbirana energija te gustoća snage,
- referentne veličine su mjerljive veličine čijim nadzorom se posredno osigurava zadovoljenje temeljnih ograničenja. Fizikalne veličine koje se mogu koristiti kao referentne veličine su: jakost električnog polja, jakost magnetskog polja, gustoća magnetskog toka, dodirna struja i gustoća snage (ekvivalentnoga ravnog vala). Usklađenošću s graničnim razinama referentnih veličina, danim u smjernicama, preporukama i pravilnicima, osigurava se usklađenost s temeljnim ograničenjima,
- gustoća struje (J) je vektorska veličina čiji je integral po nekoj površini jednak struji koja teče kroz tu površinu, a izražava se u amperima po četvornom metru (A/m^2). Rabi se kao temeljna veličina u frekvencijskom području do 10 MHz,
- specifična apsorbirana energija (SA) je apsorbirana energija elektromagnetskog vala po jedinici mase biološkog tkiva i izražava se

1 INTRODUCTION

I have heard about and read various articles, some of which were irresponsibly alarming. I was interested in the truth. I have arrived at some information which may be of interest to the professional public and therefore have written this article.

It is generally known that the voltage on a conductor creates an electric field and that current flowing through a conductor creates a magnetic field. Moreover, the strength of the electric field is proportional to the voltage, and the strength of the magnetic field is proportional to the strength of the current flowing through the conductor. Therefore, it can be concluded that wherever there are current and voltage, there are electric, magnetic, or electromagnetic fields. The sources of radiation are highly varied, ranging from low and high voltage electric substations, electric streetcars, mobile telephones - cell phones and transmitters, microwave ovens to radar.

To facilitate understanding, the following definitions of terms used in the article are provided:

- electromagnetic fields are static and time-varying electric and magnetic fields and electromagnetic waves of frequencies up to 300 GHz,
- basic restrictions are values that are directly connected with the health impact of electromagnetic fields that have been confirmed to date and upon which basic restrictions have been placed. Protection from confirmed harmful effects upon health requires that basic limits are not exceeded. Depending upon the frequency, the physical values on which basic restrictions are placed are as follows: current density, specific energy absorption rate, specific energy absorption and power density,
- reference levels are measurable values, the control of which ensures compliance with the basic restrictions. The physical values that can be used as reference levels are as follows: the electric field strength, the magnetic field strength, the magnetic flux density, contact current and power density (of equivalent plane wave). Compliance with the limits established by the reference levels provided in guidelines, recommendations and regulations will ensure compliance with the basic restrictions,
- current density (J) is a vector of which the integral over a given surface is equal to the current flowing through the surface, and is expressed in ampere per square meter (A/m^2). It is used as a basic restriction in frequencies of up to 10 MHz,

- u džulima po kilogramu (J/kg). Rabi se kao temeljna veličina u frekvencijskom području od 300 MHz do 10 GHz i to u slučaju impulsnih elektromagnetskih polja,
- specifična apsorbirana snaga (*SAR*) je mjera brzine apsorbiranja energije po jedinici mase biološkog tkiva, a izražava se u vatima po kilogramu (W/kg). Rabi se kao temeljna veličina u frekvencijskom području od 100 kHz do 10 GHz,
 - dodirna struja (*I*) je struja koja teče tijekom dodira ljudskog tijela s vodljivim objektom u elektromagnetskom polju, a izražava se u miliamperima (mA). Može se rabiti kao referentna veličina za posredne učinke polja do frekvencije od 110 MHz,
 - gustoća toka snage (*S*) je omjer snage i površine okomite na smjer širenja elektromagnetskog vala, a izražava se u vatima po četvornom metru (W/m²). Rabi se kao temeljna veličina za frekvencijsko područje od 10 GHz do 300 GHz, a kao referentna veličina od 10 MHz do 300 GHz,
 - jakost električnog polja (*E*) je vektorska veličina koja pokazuje razinu električnog polja. Određena je silom na mirujućem električnom naboju, a izražava se u voltima po metru (V/m),
 - gustoća magnetskog toka ili magnetska indukcija (*B*) je vektorska veličina koja pokazuje razinu magnetskog polja. Određena je silom na električni naboj koji se kreće, a izražava se u teslama (T),
 - jakost magnetskog polja (*H*) pokazuje razinu magnetskog polja i izražava se u amperima po metru (A/m), a s gustoćom magnetskog toka u zraku povezana je magnetskom konstantom μ_0 .
- specific energy absorption (*SA*) is the absorbed energy of an electromagnetic wave per unit of mass of biological tissue and is expressed in joules per kilogram (J/kg). It is used as a basic restriction in the frequency range from 300 MHz to 10 GHz, and this in the case of pulsed electromagnetic fields,
 - specific energy absorption rate (*SAR*) is the intensity rate at which energy is absorbed per unit weight of biological tissue, and is expressed in Watts per kilogram (W/kg). It is used as a basic restriction in frequencies from 100 kHz to 10 GHz,
 - contact current (*I*) is current that flows during contact between the human body and a conducting object in an electromagnetic field, and is expressed in milliampere (mA). It can be used as a reference level for the indirect effects of fields up to frequencies of 110 MHz,
 - power density (*S*) is power per unit area perpendicular to the direction of the propagation of the electromagnetic wave, expressed in watts per square meter (W/m²). It is used as a basic restriction for frequencies from 10 GHz to 300 GHz, and as a reference level from 10 MHz to 300 GHz,
 - electric field strength (*E*) is a vector quantity that corresponds to the force exerted on a charged steady particle. It is expressed in volts per meter (V/m),
 - magnetic flux density or magnetic induction (*B*) is a vector quantity that shows the level of a magnetic field, resulting in a force that acts on a moving charge, and is expressed in tesla (T),
 - magnetic field strength (*H*) shows the level of a magnetic field expressed in ampere per meter (A/m), connected with magnetic flux density in space by magnetic constant μ_0 .

U ekstremnim slučajevima ljudi mogu biti izloženi jakostima električnih polja i do 30 kV/m te gustoći magnetskog toka do nekoliko mT. Takve jakosti elektromagnetskih polja mogu inducirati struje gustoće od 10 mA/m² do nekoliko stotina mA/m² u ljudskom tijelu i time stvarati stanovite smetnje i ugrožavanje zdravlja. U niskonaponskim postrojenjima stvaraju se električna polja slabih i beznačajnih vrijednosti i ne predstavljaju nikakvu opasnost za ljudsko zdravlje. Suvremeni svijet je danas nezamisliv bez primjene električne energije i ona je svuda prisutna: u stanu, uredu, tvornici, kinu i na drugim mjestima. Iz toga slijedi da se ljudi nalaze i kreću, te općenito rečeno, žive u čas jačim, čas slabijim električnim ili magnetskim poljima. Usporedo sa spoznajom o navedenim činjenicama postavlja se logičko pitanje: ima li boravak i rad ljudi u takvim električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima štetne posljedice za njihovo zdravlje.

In extreme cases, persons may be exposed to electric field strengths of even up to 30 kV/m and magnetic flux density of up to several mT. Such magnetic field strength can induce current density of from 10 mA/m² to several hundred mA/m² in the human body, therefore causing certain problems and endangering health. In low voltage substations, electric fields of weak and negligible values are created which do not pose any danger whatsoever to human health. The world today would be unimaginable without applied electrical energy, which is omnipresent in the home, office, factory, cinema and in other places. Therefore, it follows that people find themselves, move about and, generally speaking, live in electric and magnetic fields that are sometimes stronger and sometimes weaker. Thus, it is logical to ask whether people's living and working in such electric, magnetic and electromagnetic fields have adverse consequences upon their health.

Znanstvenici: liječnici, biolozi, elektrotehničari i ostali diljem svijeta provode intenzivna istraživanja tih pojava preko trideset godina. Rezultati studija nisu do sada pouzdano potvrdili izravnu vezu između izlaganja niskofrekventnom elektromagnetskom zračenju manjeg intenziteta i broja oboljelih promatrane populacije. Opći je zaključak da izvjestan utjecaj električnih, magnetskih i elektromagnetskih polja na zdravlje postoji, ali je on za sada skriven u statističkim kolebanjima malog broja prirodnih slučajeva oboljenja.

Električni štednjak primjerice stvara magnetsko polje gustoće do 10 μT , sušilo za kosu do 30 μT , a ispod visokonaponskih nadzemnih vodova rijetko će gustoća magnetskog toka dosegnuti vrijednost od 20 μT . Što se tiče izloženosti ljudi, može se reći da je kućanica izložena djelovanju tih polja kao i elektromonter pri radovima ispod nadzemnih vodova ili u električnim postrojenjima niskog napona [1].

Najveći problem i neizvjesnost u svim ovim istraživanjima je u tome što znanost nije mogla do sada dati vjerodostojne podatke o ugrožavanju zdravlja glede trajanja izloženosti u takvim poljima. Opći zaključak je da treba, prema mogućnostima, izbjegavati nepotrebna izlaganja tim poljima te oprezno primjenjivati mjere zaštite.

2 POJAM I SPEKTAR ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

Izraz **zračenje** općenito označava širenje energije prostorom. Prema tomu pojam elektromagnetsko zračenje znači širenje elektromagnetske energije prostorom. Elektromagnetska energija širi se prostorom u obliku elektromagnetskog vala, koji predstavlja prostorno širenje međusobno povezanih i vremenski promjenljivih električnih i magnetskih polja. Kod niskih frekvencija, primjerice 50 Hz, ova polja se mogu odvojeno mjeriti i razmatrati. Jedna od temeljnih značajki vremenski promjenljivih električnih i magnetskih polja jest učestalost vremenske promjene pod nazivom **frekvencija** f . Frekvenciju elektro-magnetskog vala i njegovu **valnu duljinu** λ povezuje izraz:

$$c = \lambda \times f,$$

(1)

Scientists, physicians, biologists, electrical engineers and others throughout the world have been studying these phenomena intensively for over thirty years. The results of these studies up to now have not reliably confirmed a connection between exposure to low-frequency electromagnetic radiation of low intensity and the number of ill persons in an investigated population. The general conclusion is that there is a certain effect of electric, magnetic and electromagnetic fields on health but for now it is concealed in the statistical fluctuations within the small natural incidences of disease.

An electric kitchen range, for example, creates a magnetic field density of up to 10 μT , a hairdryer of up to 30 μT , and below high-voltage overhead power lines the magnetic flux density rarely reaches the level of 20 μT . Regarding human exposure, it can be said that a homemaker is exposed to the activity of these fields at the same level as that of an electrical worker during work below overhead power lines or in low-voltage electrical substations [1].

The greatest uncertainty in all these investigations is that up to now science has not been able to provide credible data on the human health hazard regarding the duration of exposure in such fields. The general conclusion is that it is necessary, to the extent possible, to avoid unnecessary exposure to these fields and apply safety measures carefully.

2 THE CONCEPT AND SPECTRUM OF ELECTROMAGNETIC RADIATION

The expression **radiation** generally means the emission and propagation of energy through space. Accordingly, the concept of electromagnetic radiation signifies the emission and propagation of electromagnetic energy through space. Electromagnetic energy is propagated through space in the form of electromagnetic waves, which represent the spatial propagation of mutually linked and time-varying electric and magnetic fields. At low frequencies, for example 50 Hz, these fields can be measured and studied separately. One of the fundamental characteristics of time-varying electric and magnetic fields is the **frequency** f . The frequency of an electromagnetic wave and its **wavelength** λ are expressed by the equation:

pri čemu je $c \approx 3 \times 10^8$ m/s (brzina svjetlosti).

Elektromagnetska zračenja su fotoni čija je energija izravno razmjerna frekvenciji. Energiju se fotona može predočiti izrazom:

$$E_f = h \times f, \quad (2)$$

gdje je $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J/Hz.

Fotoni elektromagnetskih zračenja s frekvencijama od 50 Hz ili 60 Hz (u SAD) koje se primjenjuju u elektroenergetici imaju velike valne dužine i malu energiju, svega oko 3×10^{-13} eV (elektronvolta). Ta energija nije u mogućnosti kidati elektronske veze u organskim molekulama i na taj način izazvati nepovoljne biološke učinke. Elektromagnetsko se zračenje koje nije u stanju prouzročiti ionizaciju organskih tvari naziva **neionizirajuće zračenje** [1]. Neionizirajuće zračenje obuhvaća dio spektra s frekvencijama nižim od 3×10^{15} Hz, u kojemu fotoni nemaju dovoljno energije za ionizaciju tvari. Ta neionizirajuća zračenja dijele se na dva temeljna oblika koji se nazivaju **svjetlosno zračenje** i **elektromagnetska polja**.

Svjetlosno zračenje obuhvaća optičko (vidljivo) i infracrveno zračenje s frekvencijama od 3×10^{11} Hz pa sve do 3×10^{15} Hz. Izvori svjetlosnog zračenja su razne vrste svjetiljki, pokazivački uređaji, naprave za autogeno zavarivanje te razni laserski uređaji. Najjači izvor ove vrste zračenja u prirodi je Sunce. Elektromagnetska polja zajednički je naziv za dio neionizirajućeg zračenja koje obuhvaća električna i magnetska polja te elektromagnetske valove frekvencija do 3×10^{11} Hz (300 GHz). To područje obuhvaća široki pojas spektra od statičkih električnih i magnetskih polja, zatim polja mrežnih frekvencija, polja za radio veze, pa sve do mikrovalova.

Zemljino magnetsko polje, električna polja koja prate munje i električne oluje u atmosferi su prirodne pojave, dok je sva ostala elektromagnetska polja najvećim dijelom umjetno stvorio čovjek. Za ova polja često se koristi izraz **elektromagnetsko onečišćenje**. Veći dio elektromagnetskog onečišćenja uzrokovan je električnim i magnetskim poljima mrežne frekvencije od 50 Hz (u SAD 60 Hz). U tablici 1 prikazana su temeljna svojstva elektromagnetskih polja neionizirajućeg zračenja [2].

where $c \approx 3 \times 10^8$ m/s (speed of light).

Electromagnetic radiation consists of photons whose energy is directly proportional to frequency. Photon energy can be expressed as:

where $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J/Hz.

Photons of electromagnetic radiation with frequencies of 50 Hz (60 Hz in the US) that are used in electric power systems have a long wavelength and low energy, only approximately 3×10^{-13} eV (electronvolts). This energy cannot break down the electron bonds in organic molecules and cause detrimental biological effects in such a manner. Electromagnetic radiation that cannot cause the ionization of organic substances is known as **non-ionizing radiation** [1]. Non-ionizing radiation includes the part of the spectrum with frequencies lower than 3×10^{15} Hz, in which the photons lack sufficient energy for the ionization of matter. Non-ionizing radiation is divided into two basic forms, which are known as **light radiation** and **electromagnetic fields**.

Light radiation includes optical (visible) and infrared radiation with frequencies from 3×10^{11} Hz all the way up to 3×10^{15} Hz. The sources of light radiation are various types of lamps, pointing devices, autogenic welding equipment and various laser devices. The most common source of this type of radiation in nature is the sun. Electromagnetic field is a collective name for the part of non-ionizing radiation that includes electric and magnetic fields and electromagnetic waves of frequencies of up to 3×10^{11} Hz (300 GHz). This area includes the broadband spectrum of static electric and magnetic fields, fields at the network frequency, fields for radio connections all the way up to microwaves.

The earth's magnetic field, the electric fields that accompany lightning and electrical storms in the atmosphere are natural phenomena, while all other electromagnetic fields are largely artificially created by man. For these fields, the expression **electromagnetic pollution** is frequently used. Most electromagnetic pollution is caused by electric and magnetic fields at the network frequency of 50 Hz (60 Hz in the US). In Table 1, the basic properties of electromagnetic fields (non-ionizing radiation) are presented [2].

Tablica 1 – Temeljna svojstva elektromagnetskih polja (neionizirajuće zračenje)
 Table 1 – The basic properties of electromagnetic fields (non-ionizing radiation)

| Frekvencija / Frequency | Valna dužina / Wavelength | Opis polja / Field description | Oznaka / Abbreviation | Izvori / Sources |
|----------------------------|------------------------------|---|--------------------------|---|
| 0 Hz | | Statična polja / Static fields | | Zemljino magnetsko polje / Earth's magnetic field, istosmjerno napajanje / DC voltage supply |
| 50 Hz 300 Hz | 6 000 km 1 000 km | Krajnje niske frekvencije / Extremely low frequencies | ELF | Elektroprivredna i industrijska postrojenja / Electric power supply, industrial plants |
| 3 kHz | 100 km | Tonske (govorne) frekvencije / Voice frequencies | VF | Indukcijski grijači / Induction heaters |
| 30 kHz | 10 km | Vrlo niske frekvencije / Very low frequencies | VLF | Televizori / Televisions, monitori / computer monitors, računala / computers |
| 300 kHz | 1 km | Niske frekvencije / Low frequencies | LF | Radiostanice srednji val / Radio stations, AM longwave |
| 3 MHz | 100 m | Srednje frekvencije / Medium frequencies | MF | Indukcijska grijanja / Induction heating |
| 30 MHz | 10 m | Visoke frekvencije / High frequencies | HF | VF zavarivanje / HF welding equipment |
| 300 MHz | 1 m | Vrlo visoke frekvencije / Very high frequencies | VHF | Radiostanice UKV / Radio stations, FM broadcast |
| 3 GHz | 10 cm | Ultra visoke frekvencije / Ultra-high frequencies | UHF | Mobiteli, televizijski odašiljači, mikrovalne pećnice / Cell phones, television transmitters, microwave ovens |
| 30 GHz | 1 cm | Super visoke frekvencije / Super-high frequencies | SHF | Radari, satelitske veze, mikrovalne komunikacije / Radar, satellite connections, microwave communications, |
| 300 GHz | 1 mm | Ekstra visoke frekvencije / Extremely high frequencies | EHF | Usmjerene veze / Radio links |

Ionizirajuće zračenje karakteristično je po vrlo štetnim učincima koji su razmjerni s jakostima polja i trajanju izlaganja. Elektromagnetska zračenja jako visokih frekvencija od 10^{15} do 10^{25} Hz (ultraljubičasto zračenje, gama zrake i X-zrake) imaju veoma malu valnu dužinu i sukladno tome fotone velike energije (do više MeV). Fotoni tih zračenja izazivaju ionizaciju molekula, i time veće ili manje oštećenje tkiva. Jaka oštećenja mogu imati za posljedicu odumiranje tkiva te smrt živog bića. Značajna oštećenja u rasplodnom tkivu dovode do mutacija i vrlo štetnih posljedica u potomstvu. Ionizirajuće zračenje, zbog svoje razornosti, dobro je proučeno i podliježe harmoniziranoj međunarodnoj zakonodavnoj kontroli. Ta vrsta zračenja nije predmet ovog članka.

Ionizing radiation is characterized by very harmful effects that are proportional to the strength of the fields and the duration of exposure. Electromagnetic radiations of very high frequencies of from 10^{15} to 10^{25} Hz (ultraviolet radiation, gamma rays and X-rays) have very short wavelengths and therefore high energy photons (up to several MeV). The photons of such radiation cause the ionization of molecules, and thereby more or less damage to the tissue. Severe damage can result in tissue destruction and lead to death. Significant damage to the reproductive can cause mutations and very harmful effects upon progeny. Ionizing radiation due to its destructive nature has been well studied and subjected to international legislative control. This type of radiation is not the subject of this article.

3 IZVORI ELEKTROMAGNETSKIH POLJA

3.1 Prirodni izvori

Električna i magnetska polja stvara Zemlja svojim magnetizmom, Sunčeve aktivnosti, te atmosfera za vrijeme stvaranja munji i električnih oluja [2]. Zemlja proizvodi statično magnetsko polje, orijentirano u pravcu jug - sjever. Gustoća toka Zemljinog magnetskog polja varira od 30 μT do 70 μT ovisno o geografskoj širini te sastavu Zemljine kore, primjerice magnetski vodljive rudače ili lokalne planine. Prosječna jakost gustoće Zemljinog magnetskog polja iznosi 45 μT . Interesantno je primijetiti kako čovjek samim kretanjem u Zemljinom magnetskom polju inducira unutar tijela električno polje. Primjerice brzim trčanjem, brzinom oko 8 m/s, stvara se unutarnje električno polje od 400 $\mu\text{V/m}$. Takvu jakost električnog polja može inducirati niskofrekventno magnetsko polje gustoće magnetskog toka od 20 μT .

Razdvajanjem nevodljivih tvari, protjecanjem tekućina kroz cijevi, hodanjem po sagovima ili podovima od izolacijskih tvari, skidanjem najlonske odjeće i slično, stvaraju se električni naboji i time statična električna polja. Takva statična električna polja u ekstremnim slučajevima mogu stvoriti napone 100 000 V, a često su uzrok eksplozija ako se njihovo izbijanje odvija u atmosferi zapaljivih plinova ili prašine. Zemlja također stvara statično električno polje koje ovisi o stanju atmosfere. Za vrijeme mirnog i vedrog vremena polje ima jakost oko 200-300 V/m, ali za vrijeme električne oluje može narasti i preko 10 000 V/m.

Također, postoje prirodna vremenski promjenljiva električna polja. Ona su usko povezana s tokom električne struje kroz Zemljinu atmosferu uzrokovanu Sunčevim aktivnostima. Imaju vrlo široko frekvencijsko područje od 0,1 Hz pa do nekoliko MHz. Ta električna polja ovise o više čimbenika, kao što su geografski položaj, razdoblje dana i godišnje doba i veoma su slaba od 0,1 do 500 mV/m.

Svemu tome možemo još dodati kako prirodni biološki procesi stvaraju električna i magnetska polja unutar ljudskog ili životinjskog tijela. Ta polja prvenstveno su rezultat srčane aktivnosti, kao i aktivnosti mišića, a mnogo manje ovise o aktivnosti mozga ili živaca. Sve žive ćelije stvaraju električna polja. Općenito jakost električnog polja srca iznosi do 50 mV/m, a mozga i ostalih vitalnih organa do 5 mV/m. Električni signali tih polja mogu se snimati kao elektrokardiogrami (EKG) ili elektroencefalogrami (EEG) i služe za otkrivanje zdravstvenih smetnji ili oštećenja u mozgu.

3 SOURCES OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

3.1 Natural sources

Electric and magnetic fields are created by the earth with its magnetism, solar activities, and the atmosphere during the creation of lightning and electrical storms [2]. The earth produces a static magnetic field, oriented in the south-north direction. The flux density of the earth's magnetic field varies from 30 μT to 70 μT , depending upon the geographical latitude and the composition of the earth's crust, e.g. magnetic conductive ores or local mountains. The average magnetic flux density of the earth's magnetic field is 45 μT . It is interesting to note that a person's movements within the earth's magnetic field induce an electric field within the body. For example, running at a speed of approximately 8 m/s creates an internal electric field of 400 $\mu\text{V/m}$. Such an electric field can be induced by a low frequency magnetic field of 20 μT .

Separation of nonconducting substances, the flow of liquid through a pipe, walking on shag carpets or floors of insulating materials, the removal of nylon clothing etc. create electrical charges and thereby static electric fields. Such static electric fields in extreme cases can create voltage of 100 000 V, and are frequently the cause of explosions if they discharge into an atmosphere of flammable gases or dust. The earth also creates a static electric field that depends on the state of the atmosphere. When the weather is calm and clear, the field has a strength of approximately 200–300 V/m, but during an electric storm it can rise to over 10 000 V/m.

Furthermore, there are also natural time-varying electric fields. They are closely connected with the flux of electrical current through the earth's atmosphere, and caused by solar activities. These fields have a very broad frequency range of from 0,1 Hz to several MHz. Such electric fields depend upon several factors, such as the geographical position, the time of day and the season of the year, and are very weak, from 0,1 to 500 mV/m.

To all of this, we can also add how natural biological processes create electric and magnetic fields within human or animal bodies. These fields are primarily the result of cardiac activity, as well as muscles, and to a much lesser extent depend upon the activities of the brain or nerves. All living cells create electric fields. Generally, the strength of the electric field of the heart is up to 50 mV/m, and that of the brain and other vital organs up to 5 mV/m. The electric signals of these fields can be recorded by electrocardiograms (ECG) or electroencephalograms (EEG) and serve for detecting health disorders or brain damage.

3.2 Elektroprivredna postrojenja kao izvor elektromagnetskih polja

Električna energija proizvedena u elektranama prenosi se vodovima visokog napona od 110 kV do 750 kV prema potrošačkim područjima. Transformatorima se reducira napon na 400/230 V za mjesnu distribuciju. Široka populacija izložena je magnetskim poljima mrežne frekvencije, kod nas 50 Hz, preko tri pojedinačna izvora:

- prijenosnim vodovima visokog napona,
- mjesnim sustavom distribucije električne energije i niskim naponom kod kuće i na poslu,
- kućanskim električnim napravama.

Prva dva izvora stvaraju **temeljno magnetsko zračenje**, za koje se koristi naziv **gustoća magnetskog toka okoline**. Prosječna vrijednost temeljne indukcije doseže 200 nT u stambenim i poslovnim zgradama. Ispod nadzemnih vodova visokog napona izmjerene su gustoće magnetskog toka od 5,2 μ T do 20,1 μ T, ali na udaljenostima od 50 m do 100 m ta vrijednost naglo opada prema temeljnoj vrijednosti gustoće magnetskog toka.

Kod električnog polja je situacija posve drugačija. Izmjere vrijednosti jakosti električnih polja E ispod nadzemnih vodova visokog napona, na visini od 1 m iznad tla, iznose od 600 V/m do 10 000 V/m. Prisustvo vodljivih objekata (npr. zidovi, ograde, drveće) u blizini zračnog voda deformira električno polje i mijenja njegovu jakost na svega 20 V/m i na taj način zaslanja prostor unutar zgrada od električnog polja nadzemnog voda.

Razine magnetskog polja kućanskih naprava znatno premašuju vrijednosti temeljne magnetske indukcije okoliša. Tako primjerice sušilo za kosu stvara gustoću magnetskog toka do 30 μ T, a električni štednjak do 10 μ T. Izloženost magnetskim poljima kućanskih aparata obično je, ali ne uvijek, neredovito i kratkog trajanja [3]. Utjecaj elektromagnetskih polja na čovjeka, uzrokovan elektroprivrednim postrojenjima, ima poseban značaj i bit će kasnije detaljnije razrađen.

3.3 Električni vlakovi

Električni vlakovi imaju jednu ili više električnih lokomotiva koje su odvojene od putničkih vagona (u smislu utjecaja elektromagnetskih polja). Posada lokomotive je izložena elektromagnetskim poljima električnih motora i ostale električne opreme. Putnici su uglavnom izloženi elektromagnetskim poljima što ga stvara opskrbeni nadzemni visokonaponski vod izmjenične struje iznad željezničke pruge. Gustoća magnetskog toka u vagonima može iznositi i do 50 μ T, a jakost električnog polja do 300 V/m. Pučanstvo

3.2 Electric power plants as sources of electromagnetic fields

Electrical energy produced in power plants is distributed to consumer areas via high voltage power lines from 110 kV to 750 kV. The voltage is reduced by transformers to 400/230 V for local distribution. The general population is exposed to magnetic fields at the network frequency, 50 Hz in Croatia, via three individual sources:

- high voltage transmission power lines,
- the local system for the distribution and low voltage electricity at home and at work, and
- electrical household appliances.

The first two sources create **basic**, so-called **background** magnetic radiation, known as the **magnetic flux density of the environment**. The average value of background induction reaches 200 nT in residential and commercial buildings. Below high-voltage overhead power lines, magnetic flux densities have been measured from 5,2 μ T to 20,1 μ T, but at distances from 50 m to 100 m this value rapidly decreases to the background value of the magnetic flux density.

With an electric field, the situation is entirely different. Measured values of electric field strength E below high-voltage overhead power lines, at a height of 1 m above the ground, are from 600 V/m to 10 000 V/m. The presence of conductive objects (for example, walls, fences, trees) in the vicinity of overhead power lines deforms the electric field and changes its strength to only 20 V/m and in this way screens the area inside a building from the electric field of the overhead power lines.

The levels of the magnetic fields of household appliances exceed the values of the background magnetic induction of the environment. Thus, for example, a hairdryer creates a magnetic flux density of up to 30 μ T, and an electric kitchen range of up to 10 μ T. Exposure to the magnetic fields of household appliances is generally, but not always, of short duration [3]. The impact of electromagnetic fields on a person due to electric power plants is of particular significance and will be discussed later in detail.

3.3 Electric trains

Electric trains have one or more electric locomotives that are separate from the passenger cars (in the sense of the impact of the electromagnetic fields). A locomotive crew is exposed to electromagnetic fields from the electric motors and other electrical equipment. Passengers are generally exposed to electromagnetic fields that are created by the high voltage alternating current from the overhead power

koje živi neposredno uz željezničke pruge može biti izloženo elektromagnetskim utjecajima nadzemnog opskrbnog voda, slično kao i kod prijenosnih nadzemnih visokonaponskih vodova, ali razina izloženosti je znatno niža te ovisi o sustavu napajanja električnom energijom željezničke pruge i varira od države do države.

Lokalni vlakovi, podzemna željeznica i tramvaji opskrbljuju se električnom energijom izmjenične ili istosmjernje struje preko nadzemnih vodova ili posebnih tračnica za istosmjernu struju. Motori i trakcijska oprema često su smješteni ispod poda putničkih vagona. Putnici su izloženi statičnim i vremenski promjenljivim magnetskim poljima. Gustoća magnetskog toka na razini poda tih prijevoznih sredstava može biti vrlo visoka od 2 mT do 3 mT. Gornji dijelovi tijela mogu biti izloženi gustoći magnetskog toka do 30 μ T.

3.4 Sustavi osiguranja

Sustavi protiv krađe u trgovačkim centrima koriste elektromagnetsko polje stvoreno prikladnom zavojnicom koje detektira postojanje ili nepostojanje odgovarajuće naljepnice (etikete). Frekvencija elektromagnetskog polja varira od nekoliko stotina kHz do nekoliko MHz i općenito ne prelazi dopuštene granice. Na sličnom principu rade sustavi za otvaranje vrata, odnosno za omogućavanje pristupa u neki prostor posredstvom identifikacijske kartice.

Za praćenje posudbe knjiga u knjižnicama također se koristi sličan sustav naljepnica s magnetskim kodom, koji djeluje pri frekvencijama od nekoliko kHz. Detektori metala u zračnim lukama djeluju pri jačim gustoćama magnetskog toka do 100 μ T, pri frekvencijama ispod 1 MHz. Prisustvo metala narušava magnetsko polje i na prikladan način ova se pojava signalizira. Unutar naprave, u koju je zapriječen pristup, redovito će jakost magnetske indukcije biti veća od dopuštenih granica.

3.5 Ekрани televizora i računala

Mnogi televizijski ekrani slični su ekranima računala i djeluju na sličnim principima. Oni stvaraju statična električna polja te izmjenična električna i magnetska polja pri različitim frekvencijama. Ipak, najnoviji ekrani s tekućim kristalima, ne stvaraju elektromagnetska polja značajnijih jakosti.

Ekрани starijih računala, koja koriste elektroničke cijevi, uzrokuju pojavu statičnog električnog polja jakosti i preko 100 kV/m na udaljenosti 5 cm od ekrana, koja opada na vrijednost oko 10 kV/m pri udaljenosti od 30 cm do 40 cm od ekrana.

supply line above the railway tracks. The magnetic flux density in cars is up to 50 μ T, and the electric field strength is up to 300 V/m. The population living in the immediate vicinity of railway tracks may be exposed to the electromagnetic effects of the overhead supply line, as with high-voltage overhead transmission lines, but the level of exposure is significantly lower and depends upon the power supply system of the railway tracks and varies from country to country.

Local trains, subways and trolley cars are supplied with alternating or direct current via overhead lines or special direct current tracks. Electric motors and track equipment are frequently located below the floors of passenger cars. Passengers are exposed to static and time-varying magnetic fields. The magnetic flux density at the floor level of these means of transportation can be very high, from 2 mT to 3 mT. The upper parts of the body can be exposed to magnetic flux densities of up to 30 μ T.

3.4 Security systems

Systems to combat theft in shopping centers use an electromagnetic field generated with a suitable coil that detects the presence or absence of the corresponding tag. The frequency of the electromagnetic field varies from several hundred kHz to several MHz and generally does not exceed the permitted limits. Systems for opening doors, i.e. for permitting entry to premises with an identification card, apply the same principle.

A similar system is employed to monitor the borrowing of books from libraries, using labels with magnetic codes that operate at frequencies of several kHz. Metal detectors at airports operate at strong magnetic inductions of up to 100 μ T and frequencies below 1 MHz. The presence of metal disrupts the magnetic field and this phenomenon is signaled in a suitable manner. Within the devices, to which access is blocked, the magnetic induction strength regularly exceeds the permitted limits.

3.5 Television screens and computer monitors

Many television screens are similar to computer monitors and operate on similar principles. They create static electric fields and alternating electric and magnetic fields of various frequencies. Nonetheless, the newest liquid crystal screens and monitors do not create electromagnetic fields of significant strength.

The monitors of older computers, that use electronic tubes, generate static electric fields of strengths that exceed 100 kV/m at a distance of 5 cm from the monitor screen, which drops to a value of

Ekrani modernih računala su vodljivi i smanjuju statička električna polja na razinu temeljnih vrijednosti u stambenim zgradama i u uredima. Prigodom korištenja raznih sustava monitoringa (daljinskog upravljanja i nadzora), operator, udaljen 30 cm do 40 cm od ekrana, izložen je izmjeničnom magnetskom polju, čija gustoća magnetskog toka ne prelazi vrijednost 700 nT. Na udaljenosti od nekoliko centimetara od ekrana gustoća magnetskog toka iznosi svega nekoliko μT . Jakost izmjeničnog električnog polja na položaju operatera ima vrijednosti od 1 V/m do 10 V/m.

3.6 Radijske i televizijske antene

Radio valovi se dijele u dvije osnovne grupe s obzirom na koji način prenose informacije. To su signali s amplitudnom modulacijom (AM) i druga vrsta s frekvencijskom modulacijom (FM). Signali s amplitudnom modulacijom (dugi, srednji i kratki val) koriste se za prijenos informacija na velike i srednje daljine, a signali s frekvencijskom modulacijom (ultra kratki val) samo za uže mjesno područje, ali s mnogo boljom kvalitetom zvuka.

Antene AM valova (dugi, srednji i kratki val) smještene su na visokim stupovima (primjerice kod nas Deanovac) ili se sastoje od metalnih žica razapetih između visokih stupova, koji mogu biti nekoliko desetaka metara visoki. Pristup u područje blizu antena mora biti zapriječen zbog relativno visokog zračenja samih antena i dovodnih kablova. Vrlo je bitno osigurati razinu elektromagnetskog zračenja ispod dopuštenih granica za široku populaciju eventualno nastanjenu u blizini omeđenog područja.

Antene frekventno moduliranih radio valova (FM) kao i televizijskih odašiljača te repetitora mnogo su manje nego antene AM valova i smještene su na stupove metalne konstrukcije, visoke nekoliko desetaka do stotinjak metara. Stupovi služe samo kao nosači antena. Frekvencije radiovalova su u području od 1 MHz do 300 MHz, a za televiziju se koriste frekvencije i do 1 GHz. Za ta područja, kao mjera za jačinu izloženosti ne koristi se gustoća magnetskog toka, već je to gustoća toka snage elektromagnetskog vala, za koju se koristi jedinica W/m^2 . Prosječna gustoća toka snage, kojoj je izložena široka populacija u području od 10 do 400 MHz iznosi oko $0,1 \text{ W}/\text{m}^2$, a dopuštena vrijednost za to područje iznosi $2 \text{ W}/\text{m}^2$.

Kada su antene smještene na visoke stupove, pristup širokoj populaciji u podnožje stupa može biti omogućen, ukoliko je izloženost manja od dopuštenih granica. Male antene lokalnih televizija i radiostanica često se smještaju na vrhu visokih

approximately 10 kV/m at a distance of 30–40 cm from the monitor screen. Modern computers have conductive screens which reduce the static electric fields to the level of the background value in residential buildings and offices. When using various monitoring systems (remote control and supervision), the operator at a distance of 30 to 50 cm from the screen is exposed to an alternating magnetic field, for which the strength of magnetic induction does not exceed the value of 700 nT. At a distance of several centimeters from the screen, the magnetic flux density only amounts to several μT . The strength of the alternating electric field at the position of the operator has values of from 1 V/m to 10 V/m.

3.6 Radio and television antennas

Radio waves are divided into two basic groups, based upon the manner of transmitting information. These are signals with amplitude modulation (AM) and other types with frequency modulation (FM). Signals with amplitude modulation (long, medium and short waves) are used for the transmission of information at long and medium distances, and signals with frequency modulation (ultra shortwave) are only for narrow local areas, but with a much better sound quality.

Antennas for AM waves (long, medium and short wave) are placed on high columns (for example, in Croatia at Deanovac) or consist of metal wires stretched between high columns that can be several tens of meters high. Access to the area near the antenna must be prohibited due to the relatively high radiation of the antennas themselves and the supply cables. It is most essential to insure that the level of the electromagnetic radiation is below the permitted limits for the general population eventually living in the vicinity of the boundary area.

Antennas for frequency modulated (FM) radio waves as well as for television transmitters and repeaters are much smaller than antennas for AM waves and are placed on columns of metal construction, several tens of meters up to a hundred meters in height. The columns serve as supports for the antenna. The frequencies of radio waves range from 1 MHz to 300 MHz, and for television frequencies are up to 1 GHz. For this range, magnetic flux density (μT) is not used as a measure for the intensity of exposure, but rather the flux power density of the electromagnetic wave, for which the unit of W/m^2 is used. The average flux power density to which the general population is exposed in sphere from 10 to 400 MHz amounts to approximately $0,1 \text{ W}/\text{m}^2$, and the permitted value for this sphere amounts to $2 \text{ W}/\text{m}^2$.

građevina (nebodera), pa je u takvim slučajevima nužan nadzor nad pristupom krovu.

3.7 Mobilna telefonija

Mobilni telefoni su mikrovalni uređaji malih snaga koji primaju i odašilju signale od/do bazičnih stanica, relativno jakih snaga. Izvorni, prethodni, sustav mobilne telefonije koristio je analogne signale za komunikaciju između ručnog uređaja (pokretnog telefona) i bazične stanice. Danas se analogni sustav naglo zamjenjuje digitalnim sustavom. Većina mobilnih telefona radi pri frekvencijama između 800 MHz do 2 GHz. Primjena viših frekvencija koristit će se u skoroj budućnosti. U blizini antena mobilne telefonije, koje su smještene na visokim stupovima ili na vrhu visokih zgrada moguća su izlaganja elektromagnetskim poljima većih snaga od dopuštenih granica. U području uobičajenog i normalnog pristupa oko antenskih stupova, neće biti prekoračenja dopuštenih granica, ali su nužna ograničenja pristupa širokoj populaciji na krovove zgrada gdje su postavljene antene.

Danas se korištenje mobitela uveliko proširilo te nema praktički obitelji ili poslovnih ljudi bez mobitela. Jedan dio široke populacije, doduše rijetko, može biti izložen stanovitom zračenju elektromagnetskih polja odašiljača mobilne telefonije, ali koja su drugačija od zračenja radio i televizijskih stanica. Takvi signali su osjetno slabiji u usporedbi sa zračenjima antena radio i televizijskih stanica i gustoća snage u prosjeku iznosi $0,1 \text{ W/m}^2$. Ipak su korisnici mobitela izloženi jakostima zračenjima višeg reda. Napredne moderne tehnologije, primjerice GSM tehnologija, proizvode naprave čija je jakost elektromagnetskih polja unutar preporučenih granica, ali su ta zračenja ipak višeg reda od onog na koji se nailazi u prirodnom okruženju.

Prigodom korištenja, mobitel je prislonjen uz glavu, ili je vrlo blizu glave. Neupotrebljiva je usporedba jakosti ovog zračenja s dopuštenim graničnim vrijednostima jakosti zračenja elektromagnetskih polja za cijelo tijelo. Za stvarnu procjenu izloženosti potrebno je utvrditi apsorbiranu snagu u glavi. Razvijeni su sofisticirani računarski programi za što realnije utvrđivanje apsorbirane snage u glavi. Izlazna snaga modernih digitalnih mobitela osjetno je manja od 1 W, a ograničena je kapacitetom baterije.

Spoznaja da prigodom korištenja mobitela dolazi do apsorpcije snage u glavi korisnika, a to znači i do apsorpcije energije kroz neko vrijeme, otvara pitanje može li ta apsorbirana energija uzrokovati sićušna oštećenja zdravlja kumulativnog

When antennas are located on tall columns, access by the general population to the base of the columns may be permitted if the exposure is less than the permitted levels. Small antennas of local television and radio stations are frequently located on the tops of tall buildings (skyscrapers), and in such cases the supervision of roof access is required.

3.7 Mobile telephones

Mobile telephones are low-strength microwave devices that receive and transmit signals from/to the base stations of relatively high power. The original mobile telephone system used analogue signals for communications between a mobile telephone and the base station. Today, the analogue system has been rapidly replaced by a digital system. The majority of mobile telephones operate at frequencies between 800 MHz and 2 GHz. The application of higher frequencies will be used in the near future. In the vicinity of mobile telephone antennas, which are located on tall columns or on the tops of tall buildings, it is possible to be exposed to electromagnetic fields of higher strengths than the permitted limits. In the area of customary and normal access around antenna columns, the permitted limits will not be exceeded but it is necessary to limit access by the general population to the roofs of buildings where antennas are installed.

Today, the use of mobile telephones has greatly spread so that there are practically no families or business persons without them. One segment of the general population, although rarely, may be exposed to certain electromagnetic fields of the transmitters of the mobile telephone networks, which are different than the radiation from radio and television stations. Such signals are perceptibly weaker in comparison to the radiation from radio antennas and television stations, and the average power density is $0,1 \text{ W/m}^2$. However, users of mobile telephones are exposed to radiation of a higher order. Advanced modern technologies, for example GSM technology, produce devices whose magnetic field strength is within the recommended limits, but this radiation is nonetheless of a higher order than that found in the natural environment.

When a mobile telephone is used, it is pressed against the head or very close to the head. It is futile to compare the strength of this radiation with the permitted limits of the electromagnetic field strength for the entire body. For the actual exposure assessment, it is necessary to determine the power absorbed by the head. Sophisticated computer programs have been developed for the most accurate possible determination of the power absorbed by the head. The output power of modern digital mobile telephones is significantly less than 1 W, limited by the battery capacity.

obilježja. Naglo širenje primjene mobitela izaziva zabrinutost o mogućim dugotrajnim zdravstvenim efektima u širokoj populaciji. Europska Komisija (EC) osnovala je posebnu radnu grupu koja je imala zadatak odrediti smjer novih istraživanja i prikazati postojeće rezultate. Radna grupa je ukazala na dugoročnost rješavanja ovog problema. Na ovu užu temu, o mogućem štetnom djelovanju na zdravlje ljudi uređaja mobilne telefonije urađen je također velik broj studija s dosta kontraverznih rezultata. Ipak, većina tih studija ukazuje kako nisu utvrđena znakovita narušavanja zdravlja. Radna grupa preporuča nastavak istraživanja.

Međunarodna udruga za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP) objavila je izvješće o toj temi, koje ukazuje da nema dokaza da zračenja uređaja mobilne telefonije izazivaju rak, ali je zbog opreznosti u svojoj preporuci limitirala gustoću snage na vrijednost od $f/200 \text{ W/m}^2$ za frekvencijsko područje od 400 MHz do 2 GHz i to za široku populaciju. Također je dana preporuka za nastavak istraživanja. Usvojena je izrada studije pod nazivom International EMF project, koju izrađuju zajednički Svjetska zdravstvena organizacija (World Health Organization – WHO), Europska komisija, ICNIRP te ostale međunarodne institucije sa zadatkom da odgovori na pitanje o mogućem štetnom djelovanju elektromagnetskog zračenja uređaja mobilne telefonije – mobitela i bazičnih stanica.

3.8 Usmjerene UKV veze

Tanjuraste antene UKV usmjerenih veza proizvode uski snop elektromagnetskih valova, koji služi za komunikacije u vidljivom području, što znači da između odašiljača i prijarnika ne smije biti nikakvih prepreka (brda, zgrade i sl.). Radne frekvencije su između 2 GHz do 40 GHz. Tanjuraste antene smještaju se na stupove ili na krovove visokih zgrada. Postoji mogućnost izlaganja glavnom snopu na udaljenosti do sto metara od antene. Snaga emitiranja je relativno niska, ne više od 8 W, a vrlo često ispod 1 W. Ti elektromagnetski valovi ne pridonose značajno temeljnom elektromagnetskom onečišćenju i izloženost široke populacije je neznatna i daleko ispod dopuštenih granica.

3.9 Mikrovalne pećnice

Kućanske mikrovalne pećnice rade pri frekvenciji 2,45 GHz. Zračenje elektromagnetskih valova te frekvencije ne razara tkivo, već ga snažno i brzo ugrijava. Rasipni elektromagnetski valovi (oni koji prodiru izvan pećnice) vrlo naglo opadaju s udaljavanjem od pećnice. Mnoge zemlje imaju standarde kojima se ograničava snaga

The knowledge that power is absorbed by the head when mobile telephones are used, which means the energy absorption over time, poses the question of whether this absorbed energy can cause minute damage to health of a cumulative character. The widespread use of mobile telephones has caused concern regarding the potential long-term effects upon the health of the general population. The European Commission (EC) has established a special working group with the task of determining the direction of new investigations and the presentation of the existing results. The working group has expressed the long-term nature of the solution to this problem. A large number of studies with fairly controversial results have been prepared on the topic of the potential harmful effects of mobile telephone devices upon human health. Nevertheless, the majority of these studies have shown that significant detrimental effects upon health have not been confirmed. The working group recommends the continuation of investigations.

The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) has published report on this topic, which state that there is no direct evidence that the radiation from mobile telephone devices causes cancer, but for the sake of caution they recommend that power density should be limited to the value of $f/200 \text{ W/m}^2$ for the frequency range from 400 MHz to 2 GHz, and this for the general population. The recommendation was also given for the continuation of the investigations. The World Health Organization (WHO) established the International EMF Project, which is being prepared jointly with the European Commission, ICNIRP and other international institutions, with the task of answering the question on the potential harmful effects of electromagnetic radiation from mobile telephone devices - cell phones and base stations.

3.8 Ultra short wave (USW) radio links

Dish antennas for USW radio links generate a narrow beam of electromagnetic waves which serve for communication in the visible range. This means that between the transmitter and the receiver there can be no barriers (mountains, buildings etc.). The operating frequencies are from 2 GHz to 40 GHz. Dish antennas are mounted on columns or the roofs of tall buildings. There is a possibility for exposure to the main beam at distances of up to a hundred meters from the antenna. The emitted power is relatively low, not more than 8 W, and very often below 1 W. These electromagnetic waves do not contribute significantly to the basic electromagnetic pollution and the exposure of the general population is insignificant and far below the permitted limits.

rasipnih elektromagnetskih valova. Mikrovalne pećnice izrađene u skladu s tim standardima neće predstavljati opasnost za zdravlje široke populacije. Ipak, mikrovalna pećnica s oštećenim vratima može biti izvor opasnog zračenja. Taj rizik bit će otklonjen ugradnjom krajnjeg prekidača, koji isključuje dobavu električne energije pri otvorenim vratima pećnice. Kvar na takvom prekidaču predstavlja rizik korisnika, ako se koristi takva oštećena mikrovalna pećnica.

3.10 Radar

Radar emitira mikrovalove s frekvencijama od nekoliko stotina MHz do desetak GHz. Radarski signali su pulsirajući i vršni val ima mnogo veću snagu od osnovnog vala. Za određivanje graničnih dopuštenih vrijednosti zračenja uzimaju se toplinski učinci uzrokovani osnovnim valom, rjeđe vršnim vrijednostima. Mnogi radari rotiraju ili se pomiču gore-dolje i na taj način reduciraju gustoću snage kojoj mogu biti izloženi ljudi. Posebnu pozornost zahtijevaju vojni nerotirajući radari sa snopom velikih snaga koji zahtijevaju zaprječivanje pristupa u područje opasnog zračenja.

4 BIOLOŠKI UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

4.1 Podjela po frekvencijskim područjima

U tablici 2 prikazani su svi izvori neionizirajućeg zračenja te vrste elektromagnetskih polja koja se susreću u našem okruženju i kojima možemo biti izloženi. Ta elektromagnetska polja mogu se svrstati u tri grupe prema načinu djelovanja i učincima.

Svjetlosno zračenje (ultraljubičasto, vidljivo i infracrveno) čiji fotoni nemaju dovoljnu energiju da proizvedu ionizaciju tvari, ali imaju dovoljnu energiju da izazovu elektronsku pobudu u molekulama tkiva te izazovu fotokemijske učinke i opekline. Zbog male valne duljine ovo zračenje ne prodire duboko u tkivo, već su učinci površinski (Sunčeve opekotine, oštećenja vida).

3.9 Microwave ovens

Household microwave ovens operate at a frequency of 2,45 GHz. The radiation of the electromagnetic waves and frequencies does not destroy tissue but instead heat it powerfully and quickly. Leaked electromagnetic waves (those that penetrate outside the oven) decrease very sharply at a distance from the oven. Many countries have standards according to which electromagnetic wave leakage is limited. Microwave ovens manufactured pursuant to these standards do not represent a hazard to the health of the general population. Nevertheless, microwave ovens with damaged doors can be a source of hazardous radiation. This risk will be eliminated by the installation of a safety interlock switch that turns off the electrical supply when the oven door is opened. When this interlock switch is faulty, there is a risk to the user if such a damaged microwave oven is used.

3.10 Radar

Radar emits microwaves with frequencies of from several hundred MHz to approximately ten GHz. Radar signals are pulsating and the peak wave has much greater power than the basic wave. For the determination of the limits of the permitted radiation values, heat effects caused by the basic wave are taken, and less often from the peak wave values. Many radars rotate or move up and down, and in this manner reduce the power density to which persons can be exposed. Military nonrotating radars with high power beams to which access must be prohibited in areas of hazardous radiation, warrant particular attention.

4 THE BIOLOGICAL EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION

4.1 Classification according to frequency ranges

In Table 2, all the sources of non-ionizing radiation and the types of electromagnetic fields encountered in our milieu to which we are potentially exposed are presented. These electromagnetic fields can be classified into three groups, according to their activities and effects.

Light radiation (ultraviolet, visible and infrared) consists of photons which lack sufficient energy to produce the ionization of matter but do have sufficient energy to provoke electronic excitation in tissue molecules as well as photochemical effects and burns. Due to their short wavelengths, this radiation does not penetrate deeply into the tissue so the effects are superficial (sunburn, vision damage).

Tablica 2 – Tipične razine polja pojedinih izvora elektromagnetskog polja
Table 2 – Typical field levels of individual sources of electromagnetic fields

| Izvori / Sources | Vrsta polja / Field type | Maksimalna izloženost / Maximum exposure |
|--|---|--|
| Prirodna polja / Natural fields | Statično magnetsko polje / Static magnetic field | 70 μ T |
| | Statično električno polje / Static electric field | 200 V/m |
| Elektroprivredna postrojenja / Electric power supply plants | Magnetsko polje / Magnetic field | 200 nT u kući / inside house |
| | Magnetsko polje / Magnetic field | 20 μ T ispod voda / below power line |
| | Električno polje / Electric field | 100 V/m u kući / inside house |
| | Električno polje / Electric field | 10 kV/m ispod voda / below power line |
| Električni vlak i tramvaj / Electric trains and streetcars | Magnetsko polje / Magnetic field | 50 μ T |
| | Električno polje / Electric field | 300 V/m |
| Televizori i računala / Televisions and computers | Izmjenično magnetsko polje / Alternating magnetic field | 700 nT |
| Nadzorni centri, operateri / Surveillance centers, operators | Izmjenično električno polje / Alternating electric field | 10 V/m |
| | Statično električno polje / Static electric field | 15 kV/m |
| TV i radio odašiljači / TV and radio transmitters | Mikro elektromagnetski valovi / Micro-electromagnetic waves | 0,1 W/m ² |
| Stanice mobilne telefonije / Mobile telephone stations | Mikro elektromagnetski valovi / Micro-electromagnetic waves | 0,1 W/m ² |
| Mikrovalne pećnice / Microwave ovens | Mikro elektromagnetski valovi / Micro-electromagnetic waves | 0,5 W/m ² |
| Radari / Radars | Mikro elektromagnetski valovi / Micro-electromagnetic waves | 0,2 W/m ² |

Visokofrekventna elektromagnetska polja karakteristična su po svom pretežno toplinskom djelovanju, tj. zagrijavanju tkiva. Mikrovalna i radio frekvencijska elektromagnetska polja izazivaju titranje molekula i induciraju u tijelu vrtložne struje te na taj način zagrijavaju tkivo (mikrovalna pećnica). Ako čovjek, koji se nalazi u jakom visokofrekvencijskom polju, dođe u dodir s vodljivim predmetom poteći će **dodirna struja** koja izaziva bol, stres i opekotine.

Niskofrekventna elektromagnetska polja djeluju drugačije i po načinu i po intenzitetu. Također postoje učinci dodirnih struja i toplinski učinci, ali znatno slabijeg djelovanja. Prevladavaju biološki učinci elektro-dinamičkog ili magnetno-dinamičkog tipa (utjecaj na električna zbivanja unutar ćelija i molekula tkiva).

High frequency electromagnetic fields are characterized by their primarily thermal activity, i.e. the heating of tissue. Microwaves and radiofrequency electromagnetic fields excite molecules and induce eddy currents in the body and in this manner heat tissue (microwave oven). If a person in a strong high frequency field comes into contact with a conducting object, a **contact current** will flow which causes pain, stress and burns.

Low frequency electromagnetic fields act differently in terms of manner and intensity. There are also the effects of contact currents and heat, but of significantly weaker magnitude. The biological effects of an electro-dynamic or magneto-dynamic type prevail (effect on the electrical activity within cells and tissue molecules).

4.2 Biološki učinci elektromagnetskih polja krajnje niskih frekvencija (ELF)

Ova polja stvaraju elektroprivredna i industrijska postrojenja, te imaju posebni i veliki značaj za široku populaciju zbog svoje prisutnosti u ljudskom okruženju. Snaga zračenja elektromagnetskog vala mrežne frekvencije je zanemariva. Zorna je usporedba prijenosnog voda visokog napona i Mjeseca. Maksimalna gustoća snage fotonskog zračenja elektromagnetskog vala električnog voda manja je od $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, dok puni Mjesec u vedroj noći zrači Zemlju gustoćom snage od $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, dakle 2 000 puta jačom gustoćom. Kod elektromagnetskih polja vrlo niske frekvencije postoji golem razlika između valne duljine (6 000 km) i udaljenosti od izvora zračenja (do 100 m), te se ova polja, **električno polje** i **magnetsko polje** mogu mjeriti i razmatrati odvojeno [4] i [5].

Magnetsko polje nastaje protjecanjem električne struje kroz vodiče. Jakost magnetskog polja označava se slovom H , a jedinica te veličine je A/m . Jakost magnetskog polja je razmjerna s jakošću struje, a naglo opada s udaljenošću od vodiča kojim protječe struja. Učinci magnetskog polja ovise o gustoći magnetskog toka, oznaka B , čija je jedinica T (tesla). To je vrlo velika jedinica za razmatranje učinaka magnetskih polja na ljudski organizam, pa se koriste mnogo manje jedinice kao što su μT (mikro tesla, 10^{-6} T) ili čak nT (nano tesla, 10^{-9} T). U zračnom prostoru bez prisutnosti magnetski provodljivih tvari, postoji izravno razmjerna veza izražena jednadžbom:

$$B(\mu\text{T}) = 0,8 H (\text{A}/\text{m}). \quad (3)$$

Električno polje se pojavljuje uvijek oko vodiča pod naponom, odnosno svugdje gdje postoji električni naboj. Električno polje označava se slovom E , a njegova jakost izražava se jedinicom volt po metru, tj. u V/m . Isto kao i kod magnetskih polja postoje statička i vremenski promjenljiva električna polja, ovisno o tome kakav je njihov uzročni napon. Postoji velika razlika u prostiranju magnetskih i električnih polja. Magnetsko polje prodire kroz većinu tvari u našem okolišu i samo prepreke od magnetski provodljivih tvari (primjerice željezo) mogu spriječiti ili umanjiti njegovo prodiranje. Prodiranje, odnosno širenje električnog polja veoma lako se sprječava pomoću vodljivih prepreka. Pojava je poznata kao Faradayev kavez.

4.2 Biological effects of extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields

Such fields are created by electric power plants and industrial plants, and have specific and great significance for the general population due to their presence in the human environment. The energy strength of the radiation of an electromagnetic wave at the network frequency is negligible. A good example is the comparison of a high voltage power line and the moon. The maximum power density of the photon radiation of an electromagnetic wave from an electric power line is less than $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, while a full moon in a clear night emits radiation to the earth of a power density of $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, i.e. of 2 000 times greater density. In electromagnetic fields of very low frequency, there is an enormous difference between wavelength (6 000 km) and the distance from the source of the electromagnetic field (up to 100 m), and these fields, the **electric field** and **magnetic field**, can be measured and studied separately [4] and [5].

A magnetic field is generated when electric current flows through a conductor. The magnetic field strength is indicated by the letter H , and the unit is A/m . Magnetic field strength is proportional to the strength of the current and rapidly decreases with distance from the conductor through which the current is flowing. The effects of a magnetic field depend on the magnetic flux density, indicated as B , for which the unit is 1T (tesla). This is a very large unit for studying the impact of a magnetic field on the human body, and much smaller units are used such as the μT (microtesla, 10^{-6} T) or even the nT (nanotesla, 10^{-9} T). In the air and in absence of magnetically conductive substances, there is direct proportionality expressed by the following equation:

An electric field always occurs around a charged conductor. An electric field is indicated by the letter E , and its strength is expressed in volts per meter, i.e. V/m . As with magnetic fields, there are static and time-varying electric fields, depending on the source voltage. There is a great difference in the propagation of magnetic and electric fields. A magnetic field penetrates through the majority of the matter in our environment and only barriers of magnetic conducting substances (such as iron) can prevent or reduce their penetration. Penetration, i.e. the propagation of an electric field, can be very easily prevented by using conducting barriers. This phenomenon is known as a Faraday cage.

Električna polja krajnje niske frekvencije (25 Hz, 50 Hz i 60 Hz) se vrlo dobro eliminiraju vodljivim preprekama i u manjoj mjeri prodiru u tijelo. Njihov učinak na ljudsko tijelo u velikoj se mjeri prigušuje na vodljivoj površini tijela, a samo manjim dijelom prodire u unutrašnjost tijela, gdje neznatno utječe na stvaranje lokalnog električnog polja. Vremenski promjenljivo vanjsko magnetsko polje prodire u tijelo, gdje zbog pojave indukcije dovodi do induciranja struja te stvaranja lokalnog električnog polja.

Lokalno električno polje, stvoreno indukcijom, djeluje silom na nabijene čestice i dipole u organskom tkivu. Te sile uzrokuju gibanje električki nabijenih čestica (inducirane struje), mijenjaju orijentaciju dipola i induciraju napon na membranama. Istraživanja ukazuju da je većina ovih učinaka, koji se nazivaju potvrđeni učinci mrežne frekvencije posljedica stvorenog lokalnog električnog polja unutar tijela [2] i [6].

Potvrđeni učinci su oni učinci koji se temelje na znanstvenim objašnjenjima i za koje postoje dokazana uzročno-posljedična veza s izloženošću elektromagnetskim poljima. Potvrđeni učinci očituju se podraživanjem tkiva i oni se manifestiraju kao:

- neugodna ili bolna stimulacija osjetilnih ili motoričkih neurona,
- podražaji mišićnog tkiva, koje se može očitovati naglim trzanjem tijela i biti uzročnikom nezgoda prigodom obavljanja rizičnih radova,
- podraživanje neurona ili utjecaj unutar moždanog tkiva,
- stimulacija srčanih kontrakcija, koja mogu prouzročiti treperenje srca (ventrikularna fibrilacija srca),
- zagrijavanje samo površine tkiva,
- zagrijavanja tkiva.

Prva četiri navedena učinka su kratkoročna, jer se očituju trenutačnim reakcijama na izloženost električnom i magnetskom polju, koje se pojavljuju u prvim sekundama (obično i djelićima sekunde) nakon početka izloženosti. Preostala dva učinka su trajnijeg karaktera, a posljedica su djelovanja elektromagnetskih vrlo visokih do super visokih frekventnih polja. Osim potvrđenih učinaka postoji druga skupina učinaka, pretpostavljenih učinaka, koje nije moguće potvrditi na isti način kao potvrđene učinke, a na čije postojanje ukazuju urađene epidemiološke studije.

Pretpostavljeni učinci su dugoročni, kronični učinci vezani uz dugotrajno djelovanje magnetskih polja na strukturu i procese u ćelijama živih bića. Magnetsko polje djeluje na električno nabijene

Extremely low frequency electric fields (25, 50 and 60 Hz) are eliminated very well by conducting barriers and penetrate the body to a lesser extent. Their effect upon the human body is largely attenuated at the conducting surface of the body, and only a small portion penetrates inside the body, where the local electric field created is insignificant. A time-varying external magnetic field penetrates the body, generating induced currents that create a local electric field.

A local electric field, created by induction, exerts force on charged particles and dipoles in the tissue of the organism. This force causes the movement of charged particles (induced currents), changes the orientation of the dipoles and induces voltage on the membranes. Research has shown that the magnitude of these effects, the confirmed effects at the network frequency, are the consequence of the local electric field created within the body [2] and [6].

The confirmed effects are those effects that are based upon scientific explanations and for which there is evidence of a cause and effect relationship with exposure to electromagnetic fields. Confirmed effects are evident in tissue irritation and are manifested as follows:

- unpleasant or painful stimulation of the sensory or motor neurons,
- stimulation of muscle tissue, that can be manifested by sudden twitching of the body and cause accidents during the performance of hazardous work,
- stimulation of the neurons or an effect within the brain tissue,
- stimulation of heart contractions, that can cause cardiac ventricular fibrillation,
- heating of superficial tissue only, and
- heating of tissue.

The first four cited effects are of short duration, because they are manifested as instantaneous reactions to exposure to electric and magnetic fields, which occur in the first seconds (usually the first fractions of seconds) after the onset of exposure. The remaining two effects are of a lasting character, and the consequences of the activities of electromagnetic fields of very high to super high frequency. Besides the confirmed effects, there is another group of effects, assumed effects, which cannot be confirmed in the same manner as confirmed effects, the existence of which is indicated by epidemiological studies that have been performed.

Assumed effects are long-term, chronic effects related to the long-term activity of magnetic fields

čestice u gibanju silom koja im mijenja putanju, dok stvoreno lokalno električno polje mijenja polariziranost stanične membrane. Postavlja se logično pitanje kakav je rezultat takvih zbivanja kroz duže vremensko razdoblje? Izaziva li dugoročno izlaganje magnetskim poljima pojavu kancerogenih oboljenja, te trajnih poremećaja reproduktivnog i živčanog sustava?

Prvi značajni pomak u istraživanjima ovih procesa izazvali su Nancy Wertheimer i Ed Leeper (1979.) sa svojim epidemiološkim studijama kojima su utvrdili pozitivnu korelaciju između pojave leukemije djece i izloženosti magnetskim poljima u 500 kuća smještenih u blizini visokonaponskih vodova. Tom studijom su ukazali na 2 do 3 puta veći porast pojave leukemije kod ove djece u usporedbi s kontrolnom skupinom. U drugoj studiji su utvrdili pozitivnu korelaciju između nekoliko oblika raka kod odraslih osoba, a koje su živjele u blizini postrojenja s jakim strujama. Ove dvije studije izazvale su bujanje raznih epidemioloških studija, ali s vrlo kontradiktornim rezultatima. Nažalost, unatoč svemu tome, znanost još nema jednoznačan odgovor na ovo pitanje.

5 MJERE ZAŠTITE

5.1 Opće mjere, smjernice i zakonska regulativa

Utjecaj električnog polja niske frekvencije relativno se jednostavno uklanja na načelu Faradayovog kaveza, odnosno postavljanjem metalnih zaslona, metalnih mreža ili ekrana iz metalnih folija. Iza takvih naprava nema značajnijeg električnog polja. U niskonaponskim instalacijama električno polje ima neznatne iznose i od njega ne postoje nikakve opasnosti. Jakost magnetskog polja niske frekvencije može se u nekom prostoru smanjiti samo zaslonima od magnetski vodljivih materijala. Utjecaji električnog i magnetskog polja mogu se značajno umanjiti udaljavanjem od izvora (vodiča) tih polja.

5.2 Načelo razboritog izbjegavanja

Rizik trajnog narušavanja zdravlja zbog izlaganja zračenju niske razine elektromagnetskog polja ne može biti kvantificiran i nema do sada jasnih znanstvenih dokaza o postojanju rizika. Kako bi se ipak umanjile eventualne štetne posljedice usvojena je na međunarodnoj razini strategija s načelom **razboritog izbjegavanja** [1]. Ono se može definirati: **U pomanjkanju dokazanog rizika, razborito izbjegavanje predstavlja poduzimanje jednostavnih lako prihvatljivih mjera, malenih troškova, za smanjenje izloženosti.** Primjerice, u razborito izbjegavanje možemo uvrstiti pomicanje

on structures and processes in the cells of living beings. A magnetic field acts upon electrically charged particles in motion with a force that alters their path, while the created local electric field changes the polarization of the cell membranes. It is logical to ask about the results of such events over a long period of time. Does long-term exposure to magnetic fields cause malignant diseases and permanent disorders of the reproductive and nervous systems?

The first significant breakthrough in the investigation of these processes was published by Nancy Wertheimer and Ed Leeper (1979), concerning epidemiological studies according to which they confirmed a positive correlation between leukemia in children and exposure to magnetic fields in 500 houses located in the vicinity of high voltage power lines. In this study, they demonstrated that there was a two-fold to three-fold greater incidence of leukemia among these children in comparison to children in the control group. In another study, they confirmed a positive correlation regarding the incidence of several forms of cancer among adults who had lived in the vicinity of high current substations. These two studies prompted numerous other epidemiological studies, which produced highly contradictory results. Unfortunately, science still does not have an unambiguous answer to this question.

5 SAFETY MEASURES

5.1 General measures, guidelines and legal regulations

The effect of a low frequency electric field is relatively simple to eliminate, based upon the principle of the Faraday cage, i.e. by the erection of metal or metal-foil screens. There is no significant electric field behind such a device. In low voltage installations, the electric field has an insignificant value and there is no danger from it whatsoever. Low frequency magnetic field strength can only be reduced in some places with screens of materials that are magnetic conductors. The effects of electric and magnetic fields can be significantly reduced by moving away from the sources (conductors) of these fields.

5.2 The principle of prudent avoidance

The risk of permanently damaged health due to exposure to radiation from a low level electromagnetic field cannot be quantified and up to now there has been no clear scientific evidence that a risk exists. In order to reduce eventual harmful consequences, at the international level

električnog sata ili radio-aparata dalje od kreveta i izbjegavanje ljuljanja djeteta u zipki u niskom magnetskom polju unutar sobe. Preplitanjem i odgovarajućim razmještajem faznih vodiča kod dvo- ili više sistemskih nadzemnih vodova osjetno se mogu, jeftino, smanjiti jakosti elektromagnetskog polja. Odmicanje antenskih stupova od škola ili bolnica također spada u razborito izbjegavanje.

5.3 Temeljna ograničenja

U namjeri da se preventivno zaštiti svekoliko pučanstvo od eventualno štetnog i dugotrajnog izlaganja električnim i magnetskim poljima Međunarodna udruga za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP) u svojim preporukama predlaže **temeljna ograničenja** učinaka električnih i magnetskih polja [6]. Različite znanstvene osnove korištene su pri određivanju temeljnih ograničenja za različita frekventna područja:

- za područje od 1 Hz do 100 kHz određene su gustoća struje (mA/m^2) kao mjerodavna veličina kojom se sprječavaju smetnje u funkcioniranju živčanog sustava,
- za područje od 100 kHz do 10 MHz određene su gustoća struje (mA/m^2) i SAR (specifična apsorbirana snaga, W/kg) kao mjerodavne veličine kojom se sprječavaju smetnje u funkcioniranju živčanog sustava. SAR je i ograničenje predviđeno za sprječavanje toplinskog stresa cijelog tijela i pretjeranog zagrijavanja lokalnog tkiva,
- za područje između 10 MHz i 10 GHz temeljno ograničenje izraženo je sa SAR,
- između frekvencija od 10 GHz do 300 GHz kao mjerodavna veličina određena je gustoća toka snage S (W/m^2). Ovim ograničenjem se sprječava pretjerano zagrijavanje na površini ili blizu površine tkiva,
- za impulsna magnetska polja u području od 300 MHz do 10 GHz kao mjerodavna veličina uzima se SA (J/kg) (specifična apsorbirana energija po jedinici mase tkiva).

U frekvenzijskom području između nekoliko Hz i 1 kHz je utvrđena vrijednost gustoće struje od 100 mA/m^2 kao prag osjeta za akutne promjene u centralnom živčanom sustavu, to jest na temelju već navedenih potvrđenih učinaka. Potvrđeni učinci polja vrlo niskih frekvencija su kratkoročni, jer rezultiraju akutnim reakcijama tijela na električna i magnetska polja koja se manifestiraju u sekundama ili djelićima sekunde. Sa stanovišta sigurnosti za frekvenzijsko područje od 4 Hz do 1 kHz odlučeno je da granična vrijednost gustoće struje iznosi 10 mA/m^2 za profesionalno osoblje uz faktor sigurnosti 10. Za široku populaciju određen je još dodatni faktor 5, pa granična vrijednost za

a strategy has been adopted on the principle of **prudent avoidance** [1]. It can be defined as follows: **In the absence of proven risk, prudent avoidance is understood to mean simple, easily acceptable measures of little cost for reducing exposure.** For example, within prudent avoidance we can include moving an electric clock or a radio further away from the bed, and avoiding rocking a baby in a cradle within a low magnetic field inside a room. By twisting and the appropriate arrangement of phase conductors in two or more overhead power line systems, the electromagnetic field strength can be reduced perceptibly and cheaply. Moving antenna columns away from schools or hospitals is also included within prudent avoidance.

5.3 Basic restrictions

With the intention of preventively protecting the general population from eventual harmful and long-term exposure to electric and magnetic fields, the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) recommends **basic restrictions** on the effects of electric and magnetic fields [6]. Various scientific bases have been used in the determination of the basic restrictions for various frequency ranges:

- for the range from 1 Hz to 100 kHz, the current density (mA/m^2) has been determined as the relevant value for preventing disorders in the function of the nervous system,
- for the range from 100 kHz to 10 MHz, the current density (mA/m^2) and SAR (specific energy absorption rate, W/kg) have been determined as the relevant values for preventing disorders in the functioning of the nervous system. SAR restriction is also anticipated for preventing heat stress of the entire body and excessive heating of the local tissue,
- for the range from 10 MHz to 10 GHz, the basic restriction is expressed as SAR,
- between frequencies of from 10 GHz to 300 GHz, power density S (W/m^2) has been determined as a relevant value. This restriction prevents excessive heating on or near the tissue surface,
- for impulse magnetic fields in the range of from 300 MHz to 10 GHz, specific energy absorption per unit of tissue mass SA (J/kg), has been determined as a relevant value.

In the frequency range between several Hz and 1 kHz, the current density value of 100 mA/m^2 has been determined as the sensory threshold for acute changes in the central nervous system, based upon the previously mentioned confirmed effects. The confirmed effects of very low frequency fields are of brief duration because they result in acute reactions by the body to electric and magnetic fields, which

široku populaciju iznosi 2 mA/m^2 . Prema tome ukupni faktor sigurnosti za široku populaciju iznosi 50. Za frekventna područja iznad 1 kHz faktor ograničenja je sve stroži porastom frekvencije i povećanjem praga osjetljivosti.

Za utvrđivanje bioloških i zdravstvenih efekata elektromagnetskog polja u frekvencijskom području od 10 MHz do nekoliko GHz uzima se porast temperature tijela za $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Ta razina se postiže pri prosječnim uvjetima okoline, kada specifična apsorbirana snaga SAR za cijelo tijelo pojedinca iznosi 4 W/kg kroz 30 minuta. Ovdje je također iz sigurnosnih razloga primijenjen faktor sigurnosti 10 za profesionalno osoblje, te utvrđena granična vrijednost iznosi $0,4 \text{ W/kg}$. Za opću populaciju uz dodatni faktor sigurnosti 5, dobivamo prosječnu SAR razinu za cijelo tijelo od $0,08 \text{ W/kg}$. Za grijanje površine tijela u područje ekstra visokih frekvencija (EHF) od 10 GHz do 300 GHz mjerodavna je, kako je već rečeno, gustoća snage. Granična vrijednost za profesionalno osoblje iznosi 50 W/m^2 , a za široku populaciju 10 W/m^2 . Niže vrijednosti temeljnih ograničenja za izloženost opće populacije uzimaju također u obzir razlike u starosnoj dobi i zdravstvenom statusu prema radnicima.

U niskofrekventnom području ima mnogo podataka o učincima tranzijentnih struja (prolazne kratkotrajne struje) na zdravlje. ICNIRP preporučuje uzimanje vršne vrijednosti tranzijentne struje za utvrđivanje inducirane gustoće struje, a ne prosječne jakosti struje kroz period trajanja pojave. U tablici 3 prikazana su **temeljna ograničenja** za vremenski promjenljiva električna i magnetska polja frekvencija do 300 GHz za profesionalno osoblje i široku populaciju.

are manifested in seconds or fractions of seconds. From the safety standpoint, for the frequency range from 4 Hz to 1 kHz it has been decided that the limit value for current density is 10 mA/m^2 for occupational exposure with a security factor of 10. For the general population, an additional factor of 5 has been determined, so the limit value for the general population amounts to 2 mA/m^2 . Accordingly, the total safety factor for the general population is 50. For the frequency range over 1 kHz, the limiting factor is becoming increasingly stringent for higher frequencies and sensitivity thresholds.

For the determination of the biological and health effects of electromagnetic fields in a frequency range of from 10 MHz to several GHz, a $1 \text{ }^\circ\text{C}$ rise in body temperature is used. This level is achieved under average environmental conditions when the specific energy absorption rate, SAR, for the whole body of an individual is 4 W/kg for 30 minutes. For safety reasons, a safety factor of 10 is applied for occupational exposure and the determined value limit is $0,4 \text{ W/kg}$. For the general population, with an additional safety factor of 5, we obtain the average SAR level for the whole body of $0,08 \text{ W/kg}$. For the heating of the body surface in the extremely high frequency (EHF) range of 10 GHz to 300 GHz, power density is relevant, as previously mentioned. The value limit for occupational exposure is 50 W/m^2 , and for the general population is 10 W/m^2 . Lower basic restriction values for the exposure of the general population also take into consideration the differences in the age and health status of the general population in comparison to workers.

In the low frequency range, there is much information on the effects of transient currents on health. The ICNIRP recommends taking the peak values of transient currents for determining the induced current density, and not the average current strength during the period of the duration of the phenomenon. In Table 3, **basic restrictions** are presented for time-varying electric and magnetic field frequencies up to 300 GHz for occupational exposure and the general population.

Tablica 3 – Temeljna ograničenja za vremenski promjenljiva električna i magnetska polja frekvencije do 300 GHz
 Table 3 – Basic restrictions for time-varying electric and magnetic fields of frequencies up to 300 GHz

| Promatrana skupina / Group studied | Područje frekvencije / Frequency range | Gustoća struje glava i trup / Head and trunk current density (mA/m ²) | Cijelo tijelo prosjek SAR / Whole body average SAR (W/kg) | Glava i trup SAR / Head and trunk SAR (W/kg) | Udovi SAR / Limb SAR (W/kg) | Gustoća toka snage S / Power density S (W/m ²) |
|---|--|---|---|--|-----------------------------|--|
| Profesionalno osoblje / Occupational exposure | do / to 1 Hz | 40 | – | – | – | – |
| | 1–4 Hz | 40/f | – | – | – | – |
| | 4 Hz–1 kHz | 10 | – | – | – | – |
| | 1–100 kHz | f/100 | – | – | – | – |
| | 100 kHz–10 MHz | f/100 | 0,4 | 10 | 20 | – |
| | 10 MHz–10 GHz | – | 0,4 | 10 | 20 | – |
| | 10–300 GHz | – | – | – | – | 50 |
| Široka populacija / General population | do / to 1 Hz | 8 | – | – | – | – |
| | 1–4 Hz | 8/f | – | – | – | – |
| | 4 Hz–1 kHz | 2 | – | – | – | – |
| | 1–100 kHz | f/500 | – | – | – | – |
| | 100 kHz–10 MHz | f/500 | 0,08 | 2 | 4 | – |
| | 10 MHz–10 GHz | – | 0,08 | 2 | 4 | – |
| | 10–300 GHz | – | – | – | – | 10 |

5.4 Referentne razine za ograničavanje izloženosti elektromagnetskim poljima

Gustoća struje i specifična apsorbirana snaga vrlo su neprikladne veličine, kao i njihove jedinice, u običnoj svakodnevnoj primjeni, jer se dosta teško utvrđuju. To je bio jedan od bitnih razloga da se prikladnim računarskim programima, modeliranjem i raznim proračunima utvrde jakosti električnih polja, magnetskih polja i magnetskih indukcija koje će proizvesti istu gustoću struje ili SAR iz tablice temeljnog ograničenja za svako frekventno područje. Jakost električnih i magnetskih polja te magnetsku indukciju u nekom prostoru danas se prikladnim instrumentima relativno jednostavno izmjeri. Na temelju toga ICNIRP je preporučio referentne razine za ograničavanje izloženosti elektromagnetskim poljima za profesionalno osoblje i za široku populaciju [6]. One omogućavaju efikasan nadzor nad izloženosti ljudi elektromagnetskim poljima.

Tablica 4 prikazuje referentne razine (dopuštene vrijednosti) pojedinih vrsta zračenja od 0 Hz do 300 GHz za široku populaciju koja može biti izložena i do 24 sata dnevno. Tablica 5 prikazuje referentne razine izloženosti elektromagnetskim poljima (dopuštene vrijednosti) za profesionalno osoblje uz prosječno radno vrijeme od 8 sati dnevno.

5.4 Reference levels for restricting exposure to electromagnetic fields

Current density and the specific energy absorption rate are highly unsuitable values, as are their units, in ordinary daily application because they are fairly difficult to determine. This was one of the significant reasons for determining the strength of electric fields, magnetic fields and magnetic inductions that would produce the same current density or SAR from the table of basic restrictions for each suitable frequency range, using computer programs, modeling and various calculations. Today, the strength of electric fields, magnetic fields and magnetic induction in a given place is simply measured with the suitable instruments. Based upon this, the ICNIRP has recommended reference levels for restricting exposure to electromagnetic fields for occupational exposure and the general population [6]. These permit effective supervision of the exposure of persons to electromagnetic fields.

Table 4 presents the reference levels (permitted values) for individual types of radiation from 0 Hz to 300 GHz that the general population can be exposed to for up to 24 hours daily. Table 5 presents the reference levels (permitted values) of exposure to electromagnetic fields for occupational exposure with an average working time of up to 8 hours daily.

Kod profesionalnog osoblja otvara se još jedno vrlo interesantno pitanje o mogućoj regeneraciji eventualno oštećenog staničnog tkiva tijekom preostalih 16 sati bez izloženosti. Ni na ovo pitanje do sada ne postoji jednoznačan odgovor.

Regarding occupational exposure, another highly interesting question arises regarding the possible regeneration of eventually damaged cells of the body tissue during the remaining 16 hours of the day when there is no exposure. Until now, there is no unambiguous answer to this question, either.

Tablica 4 – Referentne razine izloženosti elektromagnetskim poljima za široku populaciju
Table 4 – Reference levels of exposure to electromagnetic fields for the general population

| Frekvencija / Frequency | <i>E</i> polje / field (V/m) | <i>H</i> polje / field (A/m) | <i>B</i> polje / field (μ T) | Gustoća toka snage <i>S</i> / Power density <i>S</i> (W/m ²) |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--|
| do / to 1 Hz | – | $3,2 \times 10^4$ | 4×10^4 | – |
| 1–8 Hz | 10 000 | $3,2 \times 10^4 / f^2$ | $4 \times 10^4 / f^2$ | – |
| 8–25 Hz | 10 000 | $4 000 / f$ | $5 000 / f$ | – |
| 0,025–0,8 kHz | $250 / f$ | $4 / f$ | $5 / f$ | – |
| 0,8–3 kHz | $250 / f$ | 5 | 6,25 | – |
| 3–150 kHz | 87 | 5 | 6,25 | – |
| 0,15–1 MHz | 87 | $0,737 f$ | $0,92 / f$ | – |
| 1–10 MHz | $87 / f^{1/2}$ | $0,737 f$ | $0,92 / f$ | – |
| 10–400 MHz | 28 | 0,073 | 0,092 | 2 |
| 400–2 000 MHz | $1,375 f^{1/2}$ | $0,0037 f^{1/2}$ | $0,0046 / f^{1/2}$ | $f / 200$ |
| 2–300 GHz | 61 | 0,16 | 0,20 | 10 |

Ako u nekom slučaju bude izmjerena vrijednost neke veličine veća od navedene u tablici 4 ili 5 to ne mora značiti prekoračenje temeljnog ograničenja. Tada je nužno točnim proračunom izračunati gustoću struje ili SAR. Prigodom razrade referentnih razina (tablice 4 i 5) poštovano je načelo razboritog izbjegavanja.

In the case that a value is measured that is greater than those presented in Table 4 or 5, this does not necessarily mean that the basic restriction has been exceeded. It is then necessary to calculate precisely the current density or SAR. When the reference levels were developed (Tables 4 and 5), the principle of prudent avoidance was respected.

Tablica 5 – Referentne razine izloženosti elektromagnetskim poljima za profesionalno osoblje
Table 5 – Reference levels of exposure to electromagnetic fields for the occupational exposure

| Frekvencija / Frequency | <i>E</i> polje / field (V/m) | <i>H</i> polje / field (A/m) | <i>B</i> polje / field (μ T) | Gustoća toka snage <i>S</i> / Power density <i>S</i> (W/m ²) |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--|
| do / to 1 Hz | – | $1,63 \times 10^5$ | 2×10^5 | – |
| 1–8 Hz | 20 000 | $1,63 \times 10^5 / f^2$ | $2 \times 10^5 / f^2$ | – |
| 8–25 Hz | 20 000 | $2 \times 10^4 / f$ | $2,5 / 10^4 / f$ | – |
| 0,025–0,82 kHz | $500 / f$ | $20 / f$ | $25 / f$ | – |
| 0,82–65 kHz | 610 | 24,4 | 30,7 | – |
| 0,065–1 MHz | 610 | $1,6 / f$ | $2,0 / f$ | – |
| 1–10 MHz | $610 / f$ | $1,6 f$ | $2,0 / f$ | – |
| 10–400 MHz | 61 | 0,16 | 0,2 | 10 |
| 400–2 000 MHz | $3 f^{1/2}$ | $0,008 f^{1/2}$ | $0,01 f^{1/2}$ | $f / 40$ |
| 2–300 GHz | 137 | 0,36 | 0,45 | 50 |

Na temelju ICNIRP preporuka, Vijeće Europske unije donijelo je svoje smjernice **1999/ 519/EC** za široku populaciju [7], koje su u potpunosti jednake vrijednostima iz tablice 4 i direktivu **2004/40/EC** za profesionalno osoblje [8]. Osobito treba naglasiti da su ove smjernice obvezne za članice Europske unije. Propisane granične vrijednosti ne smiju biti prekoračene, ali mogu biti niže, što je stavljeno u nadležnost pojedinih država, članica Europske unije [7].

5.5 Dodirne struje

Vodljivi predmeti koji se nalaze u izmjeničnim elektromagnetskim poljima električki se nabijaju, tj. poprime određeni potencijal prema zemlji. U slučaju dodira čovjeka, koji se nalazi na nekom drugom potencijalu, s takvim predmetom dolazi do protjecanja dodirne struje kroz tijelo. Učinak struje može se manifestirati kao bol, stres i opekline. Potrebno je razlikovati **dodirne struje** od struja izbijanja elektrostatskog naboja. Struja izbijanja je jednokratna impulsna struja, kratkog trajanja, može poprimiti jakosti od nekoliko ampera i može prouzročiti jaku bol. Dodirne struje su izmjenične struje, koje mogu teći dok god je vodljivi predmet u elektromagnetskom polju. U sva tri dokumenta: u preporukama ICNIRP-a, u smjernicama Vijeća Europske unije i u našem pravilniku nalazimo iste referentne razine izloženosti za izmjenične dodirne struje za frekventno područje do 110 MHz, koje su prikazane u tablici 6.

On the basis of ICNIRP recommendations, the Council of the European Union has adopted Guidelines **1999/ 519/EC** for the general population [7] which are completely identical to the values from Table 4 and Directive **2004/40/EC** for the occupational exposure [8]. It is particularly necessary to emphasize that these guidelines are mandatory for the members of the European Union. It is prohibited to exceed the stipulated limits but they may be lower, which has been placed under the supervision of the individual member states of the European Union [7].

5.5 Contact current

Conducting objects located within alternating electromagnetic fields are charged, i.e. they have electric potential to the ground. In the case of a person at one potential touching an object at another potential, there is **contact current** flow through the body. The effect of the current can be manifested as pain, stress and burns. It is necessary to differentiate between contact current and electrostatic discharge current. Electrostatic discharge current is a rapid single pulse current of up to several amps and can cause great pain. Contact currents are alternating currents that can flow as long as the conducting object is in the electromagnetic field. In all three documents: in the recommendations of the ICNIRP, in the guidelines of the Council of the European Union, and in our regulations, we find the same reference levels for exposure to alternating contact currents at a frequency range of up to 110 MHz, as shown in Table 6.

Tablica 6 – Referentne razine za izmjenične dodirne struje
Table 6 – Reference levels for alternating contact current

| Promatrana skupina / Group studied | Frekventno područje / Frequency range | Maksimalna dodirna struja / Maximum contact current (mA) |
|---|---------------------------------------|--|
| Profesionalno osoblje / Occupational exposure | do / to 2,5 kHz | 1,0 |
| | 2,5 – 100 kHz | 0,4 f^* |
| | 100 kHz – 110 MHz | 40 |
| Široka populacija / General population | do / to 2,5 kHz | 0,5 |
| | 2,5 – 100 kHz | 0,2 f^* |
| | 100 kHz – 110 MHz | 20 |

* Frekvencija f izražava se u kHz [4] / Frequency f expressed in kHz [4]

Zbog veće osjetljivosti za odrasle žene treba umanjiti na 1/2, a za djecu na 1/3 gornjih vrijednosti. Za frekventno područje od 10 MHz do 110 MHz granične vrijednosti dodirnih struja u pojedinim udovima tijela izvedene su na temelju bazičnih ograničenja u SAR za udove i prikazane su tablici 7.

Due to greater sensitivity, for adult women it is necessary to reduce the above values to 1/2 and for children to 1/3. For frequency ranges from 10 MHz to 110 MHz, the contact current limits for individual limbs of the body are derived in SAR on the basis of the basic restrictions for limbs and presented in Table 7.

Tablica 7 – Referentne razine za izmjenične dodirne struje u udovima za frekvencije od 10 do 110 MHz
 Table 7 – Reference levels for alternating contact currents in limbs for frequencies of from 10 to 110 MHz

| Promatrana skupina / Group studied | Maksimalna dodirna struja / Maximum contact current (mA) |
|---|--|
| Profesionalno osoblje / Occupational exposure | 100 |
| Široka populacija / General population | 45 |

Prema ovim su preporukama u mnogim europskim zemljama donesene smjernice koje se primjenjuju za bolnice, škole, igrališta, parkove i stambene zgrade, te za zaposlenike koji su na radu izloženi zračenjima elektromagnetskih polja.

According to these recommendations, guidelines have been adopted in many European countries that are applied for hospitals, schools, playgrounds, parks and residential buildings, and for workers who are exposed to the radiation of electromagnetic fields at work.

5.6 Načelo opreznosti

Ozbilnost mogućih zdravstvenih oštećenja ponukala je nacionalne i internacionalne institucije i udruženja, a zatim državna tijela na uvađanje još strožih mjera zaštite na načelu opreznosti u zakonodavstvo pojedinih zemalja [1] i [9]. WHO u svojim dokumentima definira ovo načelo na slijedeći način:

Načelo opreznosti se definira kao poduzimanje razboritih akcija kada postoje dovoljni znanstveni dokazi (ali ne i apsolutan dokaz) da bi pasivnost mogla dovesti do povrjeđivanja i gdje akcija može biti provedena po razumno prihvatljivim troškovima.

5.6 The precautionary principle

The severity of the potential health disorders has prompted national and international institutions and associations, as well as government bodies, to introduce even stricter protective measures into the legislation of certain countries, based upon the precautionary principle [1] and [9]. The WHO defines this principle in its documents as follows:

The precautionary principle is defined as taking prudent action when there is sufficient scientific evidence (but not necessarily absolute proof) that inaction could lead to harm and where action can be justified on reasonable judgments of cost-effectiveness.

Načelo opreznosti dobro je poznato našem narodu, a lijepo je izraženo narodnom poslovicom “**bolje spriječiti nego liječiti**”. U primjenu načela opreznosti može se svrstati izgradnja visokonaponske transformatorske stanice, u gradskoj sredini, u oklopljenoj izvedbi s plinom SF₆ radi smanjenja elektromagnetskog zračenja u okolinu. Također kao primjer primjene načela opreznosti može se navesti utvrđivanje nižih razina izloženosti zračenju elektromagnetskih polja od onih navedenih u tablicama 4 i 5.

The precautionary principle is well known to the Croatian nation, and it is well expressed in the saying: “**prevention is better than treatment.**” In the application of the precautionary principle, it is possible to include the construction of high voltage enclosed transformer substations with SF₆ gas insulation in the urban milieu, in order to reduce the electromagnetic radiation in the environment. Furthermore, as an example of an application of the precautionary principle, it is possible to cite the establishment of lower levels of exposure to radiation from electromagnetic fields than those stated in Tables 4 and 5.

U Hrvatskoj je donesen Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja [10] kojim se određuju načela i mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja te nadzor nad provedbom ovih mjera zaštite. U skladu s tim zakonom donesen je obvezujući **Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja** [11] u kojem se određuju dopuštene granične vrijednosti za jakost električnih, magnetskih i elektromagnetskih polja za profesionalno osoblje i za široku populaciju. Referentne razine koje propisuje ovaj Pravilnik niže su od zahtjeva Europske unije i to od 2 do 5 puta.

In Croatia, the Non-Ionizing Radiation Protection Act has been adopted [10], which stipulates the principles and measures for protection from non-ionizing radiation and the supervision of the implementation of these protective measures. Pursuant to this act, the binding **Regulations on Protection from Electromagnetic Fields** has been adopted [11], in which the permitted levels have been stipulated for the strength of electric, magnetic and electromagnetic fields for occupational exposure and the general population. The reference levels that are stipulated by these Regulations are lower than the requirements of the European Union, and this from 2 to 5 times.

Kako bi se na neki način razbila bojazan i uklonio eventualni strah kod zaposlenika elektrostruke od štetnih posljedica za njihovo zdravlje, dan je u tablici 8 prikaz dopuštenih vrijednosti u prije spomenutim smjernicama, preporukama i Pravilniku. Usporedba vrijednosti iz tablice 2 i tablice 8 daje smirujući rezultat.

In order to relieve eventual fears among persons employed in professions involving electricity regarding harmful consequences to their health, in Table 8 the permitted values stipulated by the three aforementioned guidelines, recommendations and regulations are provided. Comparison of the values from Table 2 and Table 8 yields a reassuring result.

Tablica 8 – Usporedba dopuštenih graničnih vrijednosti jakosti električnih i magnetskih polja frekvencije 50 Hz
Table 8 – Comparison of the permitted limitations for the strength of electric and magnetic fields at the frequency of 50 Hz

| Promatrana skupina / Group studied | 1999 / 519 / EC [7] 2004/40/EC [8] | | ICNIRP 1998 | | Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja / Regulations on Protection from Electromagnetic Fields | |
|---|---------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--|----------------------|
| | E polje / field (kV/m) | B polje / field (μT) | E polje / field (kV/m) | B polje / field (μT) | E polje / field (kV/m) | B polje / field (μT) |
| Profesionalno osoblje / Occupational exposure | | | 10,0 | 500 | 5,0 | 100 |
| Široka populacija / General population | 5,0 | 100 | 5,0 | 100 | 2,0 | 40 |

Mjerenja električnih polja su vrlo složen proces koji zahtijeva posebna osjetljiva mjerila i veliko iskustvo. Takva ispitivanja nisu predmet ovog članka. Uspoređujući regulativu pojedinih država uočava se velika šarolikost i različiti pristupi, koji se mogu svrstati u tri grupe [2]:

- **blaži pristup**, koji se zasniva na smjernicama ICNIRP i dokazanim učincima, primjerice Austrija, SR Njemačka, Engleska, sve bez načela opreznosti,
- **umjereni pristup**, koji se zasniva na načelu opreznosti napr. Slovenija i Hrvatska,
- **radikalni pristup**, kojeg karakterizira intenzivna primjena načela opreznosti, kao primjerice Švicarska s graničnom vrijednošću gustoće magnetskog toka od 1 μT. Sličan pristup ima Italija.

Ovakva raznolikost u pristupu očita je posljedica nedovoljnog znanja o stvarnim zbivanjima unutar ćelija živog tkiva, što rađa i stanoviti strah.

Measurement of electric fields is a highly complex process that requires particularly sensitive instruments and great expertise. Such testing is not the subject of this article. Comparison of the regulations of individual countries shows a great variety among the approaches, which can be classified into three groups [2]:

- **a mild approach**, which is founded upon the guidelines of the ICNIRP and confirmed effects, for example, Austria, the Federal Republic of Germany, England, all lacking the precautionary principle,
- **a moderate approach**, which is founded upon the precautionary principle, for example Slovenia and Croatia,
- **a radical approach**, which is characterized by intense application of the precautionary principle, for example Switzerland, with value limits on magnetic induction of 1 μT. Italy has a similar approach.

Such a variety in approaches is an evident consequence of inadequate knowledge regarding the actual events within the cells of living tissue, leading to certain fears.

5.7 Tehničke mjere zaštite na elektroenergetskim postrojenjima

Određenim tehničkim zahvatima prigodom projektiranja, izbora opreme i izgradnje prijenosnih i distribucijskih vodova i postrojenja mogu se znatno smanjiti razine elektromagnetskih zračenja. U nastavku su navedene samo neke od njih:

Prijenosna mreža:

- izbor trasa nadzemnih vodova što je moguće dalje od urbanih sredina, bolnica, parkova i prostora gdje boravi mnogo ljudi,
- kod dvo- i više -sistemskih nadzemnih vodova odgovarajućim prepletima i rasporedom vodiča mogu se znatno smanjiti zračenja električnih i magnetskih polja,
- izgradnja oklopljenih visokonaponskih transformatorskih stanica u SF₆ izvedbi, pogotovo unutar gradskih sredina,
- smanjivanjem međusobnog razmaka između pojedinih jednofaznih visokonaponskih kabela na najmanju moguću pogonski pouzdanu mjeru,

Distribucijska mreža:

- izgradnja zatvorenih, kompaktnih sredjonaponskih transformatorskih stanica s izoliranim sabirnicama (smanjeni razmak između sabirnica),
- korištenje kompaktne izvedbe kabela,
- korištenje zračnih nadzemnih niskonaponskih vodova sa samonosivim izoliranim vodičima, umjesto nadzemnih vodova s golim vodičima,
- zaprječivanje pristupa s ogradama ili na sličan način u blizini transformatorskih stanica starijeg tipa, gdje nije moguće na jednostavan i jeftin način reducirati nivo zračenja.

6 ZAKLJUČAK

Uopće nije ni lako ni jednostavno predložiti koristan i opće prihvatljiv zaključak na kraju razrade te teme, pokušaja što boljeg informiranja stručne i šire javnosti o toj aktualnoj problematici. Spas je nađen u preporukama navedenim u obavijesno-promidžbenoj brošuri Electromagnetic fields u izdanju WHO [1], koje glase:

Informiranje:

- potrebno je obavijestiti široku populaciju, da unatoč golemih istraživačkih nastojanja, nema dokaza da unutar predloženih dopuštenih graničnih vrijednosti postoji rizik za zdravlje,

5.7 Technical safety measures at electric power plants

Through certain technical undertakings during the design, choice of equipment and construction of transmission and distribution power lines and substations, it is possible to reduce the level of electromagnetic radiation significantly. A few of these measures are presented below:

Transmission network:

- overhead power line routes should be as far as possible from urban milieus, hospitals, parks and places where there are many people,
- in two or more overhead power line systems, by twisting and appropriately arranging the conductors, it is possible to reduce the radiation of the electric and magnetic fields,
- enclosed high voltage transformer substations with SF₆ gas insulation should be constructed, particularly within an urban milieu,
- it is necessary to reduce the spaces between single phase high voltage power cables to the shortest possible distance that still assures reliable operation,

Distribution network:

- closed, compact, medium voltage transformer substations should be constructed with insulated busbars, with a short distance between the busbars,
- a compact cable layout should be used,
- self-supporting cables for low voltage overhead power lines with insulated conductors should be used instead of bare conductors,
- access should be prohibited with fences or in a similar manner in the vicinity of old-fashioned transformer substations, where it is not possible to reduce the radiation level in a simple and inexpensive manner.

6 CONCLUSION

It is not easy to propose a useful and generally acceptable conclusion to this attempt to inform the professional and general public about a problem that is of current interest. Salvation is found in the recommendations provided in the brochure of the WHO entitled Electromagnetic Fields [1], as follows:

Notification:

- it is necessary to inform the general population that despite exhaustives research, there is no

- nužno je podučavati osoblje tehničkih i zdravstvenih institucija, kako bi postali savjetodavci glede učinaka elektromagnetskih polja,
- mnoštvo informacija o elektromagnetskim poljima odlično je komunikacijsko sredstvo, pogotovo kada uključuje brošure i letke izdanih od WHO, ICNIRP i nacionalnih institucija,
- dodatno svemu tome, treba objavljivati i izvješća ostalih zemalja s namjerom ukazivanja na sveopću suglasnost savjetodavnih institucija diljem svijeta,
- lokalne institucije i vlasnici uređaja koji uzrokuju elektromagnetsko onečišćenje moraju organizirati mjerenja jakosti i raspodjelu elektromagnetskih polja, usporediti sa smjernicama, odnosno propisima, te objaviti rezultate,

Poduka:

- u sredinama, gdje postoji velika zabrinutost i strah kod stanovništva, mora se primijeniti intenzivna informacijska kampanja provedena od strane mjesnih nadležnih institucija, što je mnogo bolje nego širenje negativnih informacija i savjeta,
- elektroprivredne i telekomunikacijske tvrtke poticati na aktivno uključanje u te akcije,
- takve široke informativne akcije moraju biti potpuno otvorene od samog početka, sa svrhom izbjegavanja opće zabrinutosti od sukoba interesa (ova može narasti kada su osnovni izvori kampanje skriveni),

Smanjenje rizika:

- suglasnost sa smjernicama i propisima mora biti osnova za provođenje akcije zaštite široke populacije,
- veći dio zračenja kojem je izložena široka populacija ispod je dopuštenih granica i nije nužna intervencija. Pojedinačni problemi mogu nastati kod krovnih antena jakih snaga za telekomunikacijske sustave, ako je omogućen pristup pučanstvu na krov. U takvom slučaju je nužno postaviti tablice zabrane pristupa ili, što je još bolje, zapriječiti pristup na odgovarajući način. Isto vrijedi i za antenske stupove, ako je na pristupačnom podnožju razina zračenja iznad propisanih granica,
- prilagodba razboritom izbjegavanju elektromagnetskog onečišćenja treba biti političko i društveno pitanje koje spada u nadležnost i aktivnost lokalnih i nacionalnih uprava,
- razborito izbjegavanje, kao strategija, ne zasniva se na aktualnim znanstvenim otkrićima u odnosu na moguću opasnost od

evidence of a health risk within the proposed permitted reference levels,

- it is necessary to instruct the personnel at technical and healthcare institutions, in order for them to be able to provide advice regarding the effects of electromagnetic fields,
- there is a wealth of available information on electric magnetic fields for informing the public, especially when brochures and flyers issued by the WHO, ICNIRP and national institutions are included,
- additionally, it would be necessary to publish reports from other countries, with the intention of emphasizing the general agreement among the advisory institutions throughout the world,
- local institutions and owners of devices that cause electromagnetic pollution must organize the measurement of the strength and distribution of the electromagnetic fields, compare them with the guidelines or regulations, and publish the results,

Instruction:

- where there is great concern and fear among the population, it is necessary to organize intense educational campaigns conducted by the local authorized institutions,
- electric power and telecommunications firms should be encouraged to become actively involved in such campaigns,
- these educational campaigns must be completely open from the very beginning, in order to avoid raising general concerns regarding conflicts of interests (which can develop when the origins of a campaign are concealed),

Reduction of risk:

- concordance between the guidelines and regulations must be the basis for the implementation of a safety campaign among the general population,
- the majority of the radiation to which the general population is exposed is below the permitted limits and intervention is not required. Individual problems could arise with roof antennas for high power telecommunications systems, if the general population has access to the roof. In such a case, it is necessary to erect signs that prohibit access or, even better, prevent access in a suitable manner. The same applies for antenna columns when the radiation level is above the stipulated limits at the base, if accessible,
- regulation with prudent avoidance of electromagnetic pollution should be a political and social question that falls under the authority of the local and national administrations,

- opskrbe i distribucije električne energije ili postojećeg telekomunikacijskog sustava,
- razborito izbjegavanje, kao strategija, ne može biti znanstveno potvrđeno, ali ima prostora za jednostavne i jeftine mjere zaštite za reduciranje izloženosti zračenju, radi smanjenja zabrinutosti pučanstva.

Načelo opreznosti nije ni politiziranje znanosti, niti prihvaćanje nultog rizika, ali pruža temelj za akciju kada znanost nije u stanju dati jasan odgovor.

- prudent avoidance as a strategy is not based upon actual scientific findings concerning the potential hazards of the supply and distribution of electricity or the existing telecommunications system,
- prudent avoidance as a strategy cannot be scientifically confirmed but there is a place for simple inexpensive safety measures for reducing exposure in order to ease public fears.

The precautionary principle is neither the politicization of science nor the acceptance of zero risk, but provides a foundation for action when science is not able to provide a clear answer.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] CHADWICK, P., SIENKIEWIECZ, Z., Electromagnetic fields, World Health Organization, Regional Office for Europe, 1998
- [2] PAVIĆ, A., BRAČIĆ, I., Mjerenje elektromagnetskih polja elektroprivrednih objekata i usporedba s međunarodnim preporukama i hrvatskim zakonom, ENCONET, Zagreb, 2001.
- [3] HRN EN 50366 Kućanski i slični električni aparati – Elektromagnetska polja – Postupci ocjenjivanja i mjerenja (EN 50366:2003)
- [4] Environmental Health Criteria 35, Extremely Low Frequency (ELF) Fields, WHO, 1984
- [5] Environmental Health Criteria 69, Magnetic Fields, WHO, 1987
- [6] Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), ICNIRP, 1998
- [7] Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), No. 1999/519/EC
- [8] Directive 2004/40/EC of the European Parliament and the Council of 29 April 2004
- [9] EMF exposure Guidelines and policies, The present situation 3, International EMF project
- [10] Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja, Narodne novine br. 105/1999
- [11] Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja, Narodne novine br. 204/2003

Uredništvo primilo rukopis:
2006-08-30

Manuscript received on:
2006-08-30

Prihvaćeno:
2006-09-25

Accepted on:
2006-09-25