

**THE EFFECTS OF IONISING AND ELECTROMAGNETIC RADIATION ON LIVING ORGANISMS****WPLYW PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO I ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA ORGANIZMY ŻYWE**

Magdalena Zawadzka<sup>1)</sup>, Małgorzata Lewicka<sup>1)</sup>, Maciej Rutkowski<sup>2)</sup>, Gabriela Henrykowska<sup>1)</sup>,  
 Maria Dziedziczak-Buczyńska<sup>1)</sup>, Andrzej Buczyński<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Epidemiology and Public Health, Medical University in Łódź, Poland

<sup>1)</sup> Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego UM w Łodzi

<sup>2)</sup> Toxicology and Radiological Protection Laboratory, Medical University in Łódź, Poland

<sup>2)</sup> Pracownia Toksykologii i Ochrony Radiologicznej UM w Łodzi

**ARTICLE INFO**

**Journal:** PolHypRes 2013 Vol. 45 Issue 4 pp. 109 – 126

**ISSN:** 1734-7009

**eISSN:** 2084-0535

**DOI:** [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.45.8](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.45.8)

Pages: 18, figures: 0, tables: 1.

**page www of the periodical:** [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

**Keywords/Słowa kluczowe:**

*(in English):* electromagnetic radiation, Ionising and non-ionising radiation, health effects, biological effects.

*(in Polish):* promieniowanie elektromagnetyczne, promieniowanie jonizujące i niejonizujące, efekty zdrowotne, efekty biologiczne.

**Polish-English bilingual publication****Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

**ABSTRACT**

*(in English)*

Studies on the effect of electromagnetic radiation (EMR) characterised by different parameters on living organisms have been carried out for many years. The interaction between the electromagnetic radiation emitted by a variety of devices, such as mobile phones, computers, microwave ovens and X-ray apparatuses on a human organism is multifaceted. Different cell components and structures of an organism may become the target of electromagnetic radiation. This article presents basic information on the interactions of electromagnetic fields (EMF) as well as the biological and health-related effects induced by them. The results of the conducted experiments may be helpful in the determination of standards and principles adequate to the risks developed after an exposure to EMF and also may help in the introduction of appropriate prophylaxis.

*(in Polish)*

Badania nad wpływem promieniowania elektromagnetycznego (PEM) o różnych parametrach prowadzone są od wielu lat. PEM emitowane przez rozmaite urządzenia stosowane w dzisiejszych czasach, takie jak: telefony komórkowe, komputery, kuchenki mikrofalowe, aparaty rentgenowskie oddziałuje na organizm ludzki w sposób wielotorowy. Różne składniki oraz struktury komórek mogą stanowić tarczę docelową działania promieniowania elektromagnetycznego. Poniższy artykuł przedstawia podstawowe informacje na temat oddziaływania pól elektromagnetycznych oraz skutków biologicznych i zdrowotnych, jakie mogą powodować. Wyniki badań prowadzone w tej dziedzinie mogą być pomocne w ustalaniu norm, standardów postępowania adekwatnych do ryzyka powstającego podczas ekspozycji na PEM. Mogą również służyć wprowadzaniu odpowiedniej profilaktyki, która uchroniłaby przed negatywnym działaniem tego czynnika środowiskowego.

## WPROWADZENIE

Pole elektromagnetyczne (PEM) rozumiane jest jako pole o częstotliwościach od 0 Hz do 300 GHz. Składowa elektryczna, jak i magnetyczna może występować w środowisku oddzielnie jako pole elektryczne i pole magnetyczne.

W zależności od energii promieniowania można wyróżnić promieniowanie jonizujące i niejonizujące. Pierwsze z wymienionych ma na tyle dużą energię, że może wywołać jonizację cząsteczek materii. Głównym naturalnym źródłem tego promieniowania jest promieniowanie kosmiczne, promieniowanie emitowane przez Słońce, a także złoża pierwiastków promieniotwórczych. Natomiast najczęstszymi źródłami sztucznymi promieniowania jonizującego są aparaty rentgenowskie, izotopy, lampy UV (promieniowanie z zakresu nadfioletu) oraz eksplozje atomowe. Pola te wywołują zmiany kumulujące się, co oznacza, że każda następna dawka, proporcjonalnie do czasu i natężenia ekspozycji, powiększa efekt działania poprzedniej. Promieniowanie niejonizujące to wszystkie pozostałe zmienne pola o energii niewystarczającej do jonizacji (tab. 1).

Tabela 1

Charakterystyka promieniowania elektromagnetycznego [opracowanie własne].

Częstotliwość	Rodzaj promieniowania	Zakres promieniowania	Urządzenia emitujące fale	Uwagi
<b>Promieniowanie niejonizujące</b>				
Ekstremalnie niska	ELF	0-300 Hz	obrazowanie rezonansem jądrowym, generatory w elektrowniach, linie i stacje elektroenergetyczne, urządzenia elektryczne powszechnego użytku, piece indukcyjne	-
Akustyczna	VF	0,3-3 kHz	przemysłowe urządzenia do lutowania	-
Bardzo niska	VLF	3-30 kHz	monitory komputerowe, urządzenia radionawigacyjne	-
Niska	LF	30-100 kHz 100-300 kHz	piece indukcyjne, nadajniki długofalowe	radiofale
Średnia	MF	0,3-3 MHz	nadajniki średniofalowe	radiofale
Wysoka	HF	3-30 MHz	diatermie krótkofalowe, zgrzewarki dielektryczne, aparaty do elektrochirurgii, nadajniki krótkofalowe, urządzenia do suszenia o wielkiej częstotliwości	radiofale
Bardzo wysoka	VHF	30-300 MHz	nadajniki UKF, nadajniki telewizyjne	radiofale
Ultra wysoka	UHF	0,3-3 GHz	nadajniki telewizyjne, urządzenia telefonii komórkowej, urządzenia do teletransmisji, kuchnie mikrofalowe, diatermie mikrofalowe	mikrofale
Superwysoka	SHF	3-30 GHz	urządzenia do teletransmisji, urządzenia do telekomunikacji satelitarnej, radary meteorologiczne, alarmy przeciwwłamaniowe	mikrofale
Ekstremalnie wysoka	EHF	30-300 GHz	radary, urządzenia telekomunikacji satelitarnej, linie radiowe, urządzenia radionawigacyjne	mikrofale
<b>Promieniowanie jonizujące</b>				
Promieniowanie X		10 <sup>20</sup> Hz	aparatura medyczna, mierniki izotopowe	-
Promieniowanie $\gamma$		10 <sup>21</sup> Hz	substancje promieniotwórcze, radiografia przemysłowa	-
Promieniowanie kosmiczne		10 <sup>25</sup> Hz	Słońce i inne gwiazdy	-

## INTRODUCTION

An electromagnetic field (EMF) is understood as a field with frequencies ranging between 0 Hz and 300 GHz. The electric and magnetic components may be present in the environment separately, creating electric and magnetic fields.

Depending on the power of radiation we may introduce a division into Ionising and non-Ionising radiation. The first type is characterised by energy sufficient to induce ionisation of particles of matter. The main natural sources of radiation of this kind consist of cosmic rays, radiation emitted by the Sun, as well as radiation coming from deposits of radioactive elements. The most common artificial sources of Ionising radiation, on the other hand, are X-ray apparatuses, isotopes, UV lamps (ultraviolet radiation) and nuclear explosions. Such fields induce accumulating alterations, which means that each successive radiation dose will, proportionally to time and exposure intensity, lead to an increased effect of the previous one. Non-Ionising radiation includes all the remaining alternating fields with insufficient energy for Ionisation (tab. 1).

Table 1

Characteristics of electromagnetic radiation [own study].

Frequency	Radiation Type	Radiation scope	Radiation scope	Notes
<b>Non-Ionising radiation</b>				
Extremely low	ELF	0-300 Hz	nuclear resonance imaging, generators in power plants, power lines and substations, common electrical devices, induction furnaces	-
Voice	VF	0,3-3 kHz	industrial soldering devices	-
Very low	VLF	3-30 kHz	computer screens, radio navigation devices	-
Low	LF	30-100 kHz 100-300 kHz	induction furnaces, long-wave transmitters	radio waves
Medium	MF	0,3-3 MHz	medium-wave transmitters	radio waves
High	HF	3-30 MHz	short-wave diathermies, dielectric welders, electrosurgery apparatuses, short-wave transmitters, high frequency drying devices	radio waves
Very high	VHF	30-300 MHz	UKF transmitters, television transmitters	radio waves
Ultra high	UHF	0,3-3 GHz	television transmitters, mobile telephony devices, wireless transmission devices, microwave ovens, microwave diathermies	microwaves
Super high	SHF	3-30 GHz	wireless transmission devices, satellite transmission devices, meteorological radars, anti-theft alarms	microwaves
Extremely high	EHF	30-300 GHz	radars, satellite transmission devices, radio links, radio navigation devices	microwaves
<b>Ionising radiation</b>				
X rays		10 <sup>20</sup> Hz	medical equipment, isotopic meters	-
γ radiation		10 <sup>21</sup> Hz	radioactive substances, industrial radiography	-
Cosmic radiation		10 <sup>25</sup> Hz	Sun and other stars	-

Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na nasz organizm jest faktem, a wielkość częstotliwości i natężenia przesądza o tym, czy jest ono szkodliwe. Nasilenie reakcji biologicznej zależy od czasu ekspozycji (narażenia), wieku organizmu, częstotliwości i natężenia pola.

Zjawiska fizyczne występujące w obiektach biologicznych znajdujących się w polach magnetycznych można podzielić na: związane z powstawaniem siły Lorentza (np. powstawanie siły elektromotorycznej w poruszających się przewodnikach, powstawanie siły działającej na poruszające się naładowane cząsteczki, działanie skręcające na stałe dipole magnetyczne i niesferyczne cząsteczki para- i diamagnetyczne, działanie translacyjne na stałe dipole magnetyczne i cząsteczki para- i diamagnetyczne), oraz na działanie pól na stany spinowe elektronów [1].

W ostatnich latach szczególne zainteresowanie budzi wpływ pola magnetycznego na stany spinowe elektronów i rezonansowe pochłanianie energii elektromagnetycznej. Kiedy na skutek rozerwania wiązania chemicznego w cząsteczce biologicznej powstaje para rodników, reakcja może przebiegać dwoma torami: na zasadzie rekombinacji rodników oraz na zasadzie rozdzielenia pary [1, 2].

W tym drugim przypadku powstają wolne rodniki mogące oddziaływać z molekułami ośrodka, w którym dyfundują. Wybór jednej z tych dróg zależy od wzajemnej orientacji niesparowanych spinów rodników. Zewnętrzne pole magnetyczne może tę wzajemną orientację zmieniać. Do procesów biochemicznych zachodzących z udziałem par rodników należą m.in. procesy oksydacyjne, takie jak peroksydacja lipidów czy oksydacyjne uszkodzanie DNA (a także ich procesy naprawcze). Jak dotychczas wykazano wpływ pól magnetycznych o stosunkowo niskich indukcjach (od kilkudziesięciu mikrotlesli) na proces peroksydacji lipidów w sztucznych błonach fosfolipidowych czy naturalnych błonach mikrosomalnych. Szczególne zainteresowanie budzą badania genotoksycznego działania sieciowych PEM (ze względu na związek takich uszkodzeń z procesem kancerogenezy) [2].

Przy analizowaniu działania na obiekty biologiczne prądów należy pamiętać, że bardzo duże znaczenie może mieć kształt działającego PEM, ponieważ od niego zależy wartość prądu indukowanego. Im krótszy zatem czas narastania i zanikania pola, tym gęstość prądu jest większa. Świadczyć o tym mogą obserwowane dla pól impulsowych efekty takie, jak stymulacja wzrostu kości, wpływ na podziały komórkowe, transport jonowy czy synteza DNA, RNA i białek [2].

### **PROMIENIOWANIE NIJONIZUJĄCE**

Wszystkie urządzenia zasilane prądem elektrycznym sieciowym wytwarzają zmienne pola elektryczne i magnetyczne. Pola elektryczne są emitowane w sposób ciągły, natomiast pola magnetyczne emitowane są, gdy następuje przepływ prądu. Powszechne stosowanie prądu sieciowego, który wytwarza pola powoduje drastyczny wzrost natężenia zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych w bliskim otoczeniu człowieka. Częste i wielogodzinne korzystanie z urządzeń elektrycznych, będącymi wynalazkami ostatnich 50 lat, powoduje, że współczesny człowiek narażony jest na wpływ wielu zmiennych pól elektromagnetycznych o różnych częstotliwościach, które mogą się wzajemnie nakładać i wzmacniać.

Pole elektromagnetyczne otacza nas z każdej strony, pochodzi głównie ze źródeł sztucznych, ale także naturalnych, jak np. promieniowanie słoneczne. Główne źródła pól elektromagnetycznych, na które człowiek najczęściej jest ekspozycyjny, to przede wszystkim źródła związane z generowaniem energii elektrycznej, jej rozsyłaniem i wykorzystywaniem: silniki i systemy transportu, urządzenia telekomunikacyjne, sprzęt medyczny (używany dla celów diagnostycznych, terapeutycznych i do wspomaganie czynności narządowych), sprzęt przemysłowy, radary, anteny nadawcze radiowe i telewizyjne, ekrany kineskopowe monitorów komputerowych i telewizorów, sprzęt gospodarstwa domowego i telefony komórkowe. Naturalne pola elektromagnetyczne występują w naszej biosferze i we wszystkich żywych istotach. Do naturalnych pól PEM zaliczamy: pole magnetyczne Ziemi, pole wytwarzane przez wyładowania atmosferyczne, promieniowanie Słońca i promieniowanie kosmiczne [1, 3].

The fact of an existing impact of electromagnetic fields on our organisms is unquestionable, with the scope of their frequency and intensity determining whether they may be perceived as harmful. The intensity of a biological reaction depends on exposure time, an organism's age, a field's frequency and strength.

The physical reactions occurring in biological organisms remaining within magnetic fields may be classified in the following manner: reactions connected with the generation of Lorentz force (e.g. the electromotive force in moving conductors, the production of force working on moving charged particles, the twisting effect on a constant magnetic dipole and non-spherical para- and diamagnetic particles, the translation effect on a constant magnetic dipole and para- and diamagnetic particles), as well as the effect of fields on electrons' spin state [1].

An issue that has aroused particular interest in recent years is the effect of a magnetic field on the spin states of electrons and the resonant absorption of electromagnetic energy. When a bond cleavage in a biological particle results in the production of a pair of radicals, the reaction may proceed in either of two ways: one based on radical recombination or one based on pair separation [1, 2].

In the latter case, new free radicals are produced ready to interact with the molecules of the medium in which they diffuse. The choice of either of the paths depends on mutual orientations of unpaired spins of the radicals. An external magnetic field may cause an alteration in the mutual orientation. The biochemical processes involving radical pairs include oxidative processes such as lipid peroxidation or oxidative DNA damage (and also their repair processes). So far studies have confirmed the impact of magnetic fields of relative low induction (exceeding 20 microteslas) on the process of lipid peroxidation in artificial phospholipid membranes or natural microsomal membranes. Particular interest has been instigated by research on genotoxic activity of network EMR (due to the association of this kind of damage with carcinogenic processes) [2].

When analysing the effect of currents on biological objects we mustn't forget about the importance of the shape of active EMR, as it is a decisive factor with regard to the value of induced current. Thus, the shorter the time of field intensification and diminution, the greater the current's density. This is proved by such effects observed for impulse fields as bone growth stimulation, impact on cell division, ion transportation or DNA, RNA and protein synthesis [2].

### **NON-IONISING RADIATION**

All devices supplied with network electricity generate alternating electric and magnetic fields. Electric fields are emitted in a continuous manner, whereas magnetic fields are emitted in the presence of a current flow. The common use of network field-generating electricity causes a drastic increase in the intensity of alternating electric and magnetic fields in the humans' environment. The frequent and long-lasting use of electric devices invented throughout the last 50 years cause contemporary man to be exposed to a multitude of alternating electromagnetic fields of various frequencies that may overlap or result in mutual amplification.

The electromagnetic field is what surrounds us from each direction and originates mainly from artificial sources but also, to a smaller extent, from natural ones, such as solar radiation. The main sources of electromagnetic fields to which man is usually exposed include those connected with electric power generation, distribution and application: engines and transportation systems, telecommunication devices, medical equipment (used for diagnostic and therapeutic purposes, life support equipment), industrial equipment, radars, radio and TV broadcasting antennas, kinescope screens of computers and TV sets, household appliances and mobile phones.

Natural electric fields, on the other hand, are present in our biosphere as well as in all living creatures. Natural EMR fields include: the magnetic field of the Earth, the field generated through atmospheric discharges, solar and cosmic radiation [1, 3].

All of them constitute a field source in the form of an electromagnetic wave that conveys energy.

Wszystkie te urządzenia są źródłem pola w postaci fali elektromagnetycznej, która niesie energię. Energia pól niskich częstotliwości (do 100 kHz) powoduje tworzenie się i przepływ w ciele człowieka prądów elektrycznych, zaś energie wysokich częstotliwości (powyżej 3 MHz) wnikają do wnętrza ciała i mogą powodować uszkodzenia komórek. To do wycięcia, bo my dalej piszemy o uszkodzaniu komórek przez częstotliwość 1kHz. Szczególnie niebezpieczne są fale o częstotliwości 30-300 MHz penetrujące wewnątrz organizmu wyjątkowo łatwo i powodujące zmiany czynności różnych narządów wewnętrznych. Wynikiem działania tych wszystkich źródeł w środowisku jest wzrost średniego natężenia pola elektromagnetycznego, które często przekracza poziom naturalny ponad milion razy. Prowadzi to do zjawiska zwanego smogiem elektromagnetycznym. Wielkość siły pola elektromagnetycznego zależy jest od częstotliwości. Im niższa jest częstotliwość, na jakiej działa urządzenie, tym silniejsze pole ono wytwarza. Oznacza to, że używany przez nas prąd sieciowy o niskiej częstotliwości 50 Hz jest źródłem silnych pól elektromagnetycznych [3].

Największe natężenie PEM występuje na obszarach miejskich i przemysłowych, gdzie liczba sztucznych źródeł, tj. nadajników RTV, GSM/UMTS, napowietrznej sieci wysokiego napięcia oraz urządzeń przemysłowych jest wprost proporcjonalna do gęstości zaludnienia. Zdecydowanie mniejsze natężenie jest na terenach rolniczych, leśnych o małej gęstości zaludnienia [1, 3].

Urządzeniem, które współcześnie jest źródłem znaczącej ekspozycji na PEM jest telefon komórkowy. W pobliżu aparatów natężenia pola elektrycznego wahają się od około 8 V/m do nawet 30 V/m (zależy od typu telefonu, odległości od stacji bazowej, fazy rozmowy — maksymalne pola występują w trakcie wybierania numeru, a podczas trwania rozmowy ich wartość zmniejsza się nawet około 10-krotnie) [4].

Innym przykładem jest współczesny samochód, który oprócz konwencjonalnego wyposażenia elektrycznego, tj. układu zapłonowego, układu zasilania oraz instalacji oświetleniowej i sygnalizacyjnej wyposażony jest w elektroniczne układy zwiększające komfort i bezpieczeństwo jazdy, tj. ASR, ABS i ESP, które jednocześnie stanowią źródło promieniowania elektromagnetycznego [5].

## PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE

Termin „promieniowanie jonizujące” jest potocznie stosowany jako łączne określenie dla najbardziej krótkofalowego zakresu promieniowania elektromagnetycznego, do którego należą trzy jego rodzaje: promieniowanie rentgenowskie, promieniowanie gamma i częściowo promieniowanie kosmiczne [6]. Należy jednak dodać, że pełny kontekst terminu „promieniowanie jonizujące” obejmuje także strumienie cząstek stanowiące różne odmiany promieniowania korpuskularnego: alfa (jądra helu  ${}^4\text{He}^{2+}$ ), beta ( $\beta^-$  i  $\beta^+$  - elektrony i pozytony), protonowe (protony  $p^+$ ), neutronowe (neutrony  $n^0$ ) i szereg innych. Ich wspólną cechą z ww. rodzajami promieniowania elektromagnetycznego jest bowiem zdolność do powodowania jonizacji ośrodków materialnych, na które oddziałują - odrywania elektronów od ich atomów lub cząsteczek i tworzenia w ten sposób jonów [6, 7]. Nadało to nazwę wywołującemu powyższe procesy, szeroko pojętemu promieniowaniu jonizującemu.

Promieniowanie rentgenowskie (X) jest krótkofalowym i wysokoenergetycznym rodzajem promieniowania elektromagnetycznego. Długość jego fali obejmuje zakres od 10 nm do 5 pm, a energia ma wartość od 125 eV do 250 keV. Źródłem tego promieniowania są lampy rentgenowskie. Emitowane w nich przez katodę elektrony - przyspieszane wysokim napięciem - hamuje wolframowa antykatoda (połączona z anodą), wskutek czego wytwarza ona promieniowanie X jako tzw. promieniowanie hamowania [8].

Promieniowanie gamma ( $\gamma$ ) jest promieniowaniem elektromagnetycznym o jeszcze krótszej długości fali niż promieniowanie X tj. poniżej 10 pm i wyższej od niego energii 250 keV- ok. 10 MeV. Zakresy długości fal promieniowania  $\gamma$  i X częściowo więc pokrywają się, dlatego za kryterium ich różnicowania przyjęto sposób ich powstawania [7].

The energy of a low frequency field (up to 100 kHz) is responsible for the generation and flow of electric currents in the human body, whereas high frequency energy (exceeding 3 MHz) permeates into the body and may lead to cell damage. Particularly dangerous waves are those with the frequency ranging between 30-300 MHz, as they may easily penetrate an organism causing changes in the activity of various internal organs. The consequence of an interaction of all the above sources in the environment is an increase in the average electromagnetic field intensity, which often exceeds the natural level by over a million times. This, on the other hand, results in a phenomenon called an electrosmog. The size of power of an electromagnetic field depends on frequency. The lower the frequency of a particular device, the stronger is the field it generates. This means that the commonly used low frequency network electricity (50 Hz) is a source of strong electromagnetic fields [3].

The highest EMR intensity is noted in urban and industrial areas where the number of artificial sources, i.e. RTV, GSM/UTMS transmitters, overhead high voltage networks and industrial devices is directly proportional to population density. The lowest intensity, on the other hand, is undoubtedly present in rural and woodland areas with low population density [1, 3].

The mobile phone is a device which is a significant source of EMR exposure. In its proximity the intensity of an electric field varies from approx. 8 V/m to as much as 30 V/m (depending on telephone type, distance from base station, conversation phase - maximum fields occur while dialling, whereas during a conversation their values are as much as 10 times smaller) [4].

Another example is the contemporary car which, apart from conventional electric equipment, i.e. the ignition system, feed system, lighting and signalling installations, is now equipped with electronic systems aimed at increasing the comfort and safety of driving, i.e. the ASR, ABS and ESP systems that at the same time are the sources of electromagnetic radiation [5].

## IONISING RADIATION

The term "Ionising radiation" is commonly used to refer to the most short-wave range of electromagnetic radiation, including its three types: X-ray, gamma and partly cosmic radiation [6]. However, we should add that the full context of the term of "Ionising radiation" also encompasses streams of particles constituting various forms of corpuscular radiation: alpha (helium nuclei  ${}^4\text{He}^{2+}$ ), beta ( $\beta^-$  and  $\beta^+$  - electrons and positrons), proton (protons  $p^+$ ), neutron (neutrons  $n^0$ ) and a number of others. Their common feature with the above types of electromagnetic radiation is the capability to cause Ionisation of the material media on which their impact is exerted – a separation of electrons from their atoms or molecules leading to the production of ions [6, 7]. All of this gave name to broadly understood Ionising radiation inducing the above processes.

X-ray radiation is a short-wave and high-power type of electromagnetic radiation. Its wavelength ranges from 10 nm to 5 pm, whereas its energy values vary from 125 eV to 250 keV. The radiation source comes from X-ray tubes. The electrons emitted with their cathodes - accelerated with high voltage - are decelerated with the wolframic target (which is connected via the anode), due to which X-rays are generated as a result of the so-called braking radiation [8].

Gamma radiation ( $\gamma$ ) is an electromagnetic radiation with even shorter wavelength as compared with X-ray radiation, i.e. below 10 pm and a higher power of 250 keV – ca. 10 MeV. Thus, the ranges of  $\gamma$  and X radiation wavelengths partly overlap, therefore the criterion for their differentiation is their generation mode [7]. The most common source of  $\gamma$  radiation are nuclear reactors (used in nuclear power engineering and scientific studies) as well as various radionuclides:  ${}^{137}\text{Cs}$ ,  ${}^{192}\text{Ir}$ ,  ${}^{131}\text{I}$ ,  ${}^{60}\text{Co}$ ,  ${}^{226}\text{Ra}$  and In [7, 8, 9].

Najczęściej spotykanymi źródłami promieniowania  $\gamma$  są reaktory jądrowe (stosowane w energetyce atomowej i badaniach naukowych) oraz różne radionuklidy:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  i  $\text{In}$  [7, 8, 9]. W źródłach tych przebiegają reakcje jądrowe: rozszczepiania (reaktory) i rozpadu (radionuklidy), z powstawaniem nowych jąder atomowych w stanie wzbudzonym, które przechodząc do niższego energetycznie stanu podstawowego emitują promieniowanie  $\gamma$ .

Promieniowanie kosmiczne jest powszechnie występującym w Kosmosie, złożonym rodzajem promieniowania jonizującego: korpuskularnym i elektromagnetycznym. Jego pochodzenia w pełni nie wyjaśniono. Powstaje ono prawdopodobnie podczas rozbłysków na Słońcu oraz wybuchów gwiazd nowych i supernowych, być może także w wyniku innych gwałtownych procesów zachodzących w naszej galaktyce [10]. Dzięki grubości atmosfery i polu magnetycznemu Ziemi jej powierzchnia jest chroniona przed promieniowaniem kosmicznym. Może ono jednak zagrażać ludziom w okolicach biegunów (efekt ściągnięcia tam naładowanych jego cząstek przez linie pola magnetycznego Ziemi) oraz podczas długich lotów samolotami na wysokościach od 10 km wzwyż [10, 11].

Wszystkie wspomniane rodzaje promieniowania: X,  $\gamma$  i kosmiczne posiadają dużą zdolność przenikania przez nieprzezroczyste dla promieniowania widzialnego ośrodki materialne, zwiększającą się wraz ze wzrostem ich energii i zmniejszaniem się długości fali (promienie  $\gamma$  silniej więc przenikają przez materię niż promienie X). Określa się je dlatego jako „promieniowanie przenikliwe”, łącznie z wysokoenergetycznym promieniowaniem neutronowym [7]. Przechodząc przez materię promieniowanie to jest absorbowane i rozpraszane, ulegając osłabianiu. Absorpcja promieniowania jonizującego przez materię żywą - w tym organizm ludzki - wywołuje dalej opisane procesy fizykochemiczne i biochemiczne, których konsekwencją są zaburzenia metabolizmu, uszkodzenia morfologiczne i zmiany czynnościowe prowadzące do zakłóceń procesów życiowych, a nawet mogące spowodować ich przerwanie (tj. śmierć). Przenikliwość oraz pochłanianie przez materię promieniowania X i  $\gamma$  są podstawą ich szerokiego wykorzystywania naukowego, przemysłowego i medycznego [9]. Medycyna korzysta w celach diagnostycznych z promieniowania X (diagnostyka rentgenowska i rentgenowska tomografia komputerowa), jak i promieniowania  $\gamma$  (scyntygrafia oparta na wprowadzanych do ustroju radionuklidach).

Liczne zastosowania również znalazło zabójcze dla żywych komórek działanie intensywnych strumieni promieniowania X i  $\gamma$  [9]. Przemysł spożywczy korzysta z niego do konserwowania różnych produktów żywnościowych poprzez zabijanie zawartych w nich mikroorganizmów. W medycynie jest ono wykorzystywane do niszczenia tkanek nowotworowych (radioterapia), sterylizacji opatrunków, narzędzi chirurgicznych, leków i sprzętu jednorazowego użytku.

Pracownicy posługujący się promieniowaniem X i  $\gamma$  w wymienionych ich zastosowaniach są grupą zawodową objętą wysoce niebezpiecznym dla organizmu zagrożeniem radiacyjnym. Należy do nich jeszcze dodać górników eksploatujących złoża uranowe, personel obsługujący reaktory jądrowe, osoby zatrudnione przy produkcji radionuklidów i lamp rentgenowskich, a także lekarzy wykonujących zabiegi operacyjne pod kontrolą aparatury rentgenowskiej. Wszystkich tych pracowników obowiązuje przestrzeganie restrykcyjnych przepisów ochrony radiologicznej [9].

W razie wystąpienia jednak awarii lub katastrof, bądź wskutek lekceważenia warunków bezpieczeństwa (powodowanego zazwyczaj rutyną) u osób tych może dojść do groźnego dla zdrowia i życia napromienienia, którego efekty na poziomie komórkowym i ustrojowym przedstawiono poniżej.

### **ODDZIAŁYWANIE PROMIENIOWANIA NIEJONIZUJĄCEGO**

Postęp cywilizacyjny, rozwój techniki i nowoczesnych technologii sprawił, że obok naturalnych pól elektrycznych i magnetycznych zaistniały źródła sztuczne, przede wszystkim urządzenia radiowo-telewizyjne. Pojawiło się też pytanie o ich oddziaływanie i ewentualny szkodliwy wpływ na ludzki organizm i zdrowie. Stąd od wielu lat różne ośrodki naukowe prowadzą badania w tym zakresie. Wyniki tych badań nie są jednoznaczne.



These are the source of the following nuclear reactions: splitting (reactors) and decomposition (radionuclides), with the occurrence of new atomic nuclei in an excited state, which emit  $\gamma$  radiation while moving to a lower energy ground state. Cosmic radiation is the radiation commonly occurring in the cosmos, a combined type of Ionising radiation: corpuscular and electromagnetic radiations. Its origin has not been fully explained. Presumably it is created during solar flares and explosions of nova and supernova stars, and, perhaps, also as a result of other violent processes occurring in our galaxy [10]. The thickness of the Earth's atmosphere and its magnetic field guarantee protection against cosmic radiation. Nonetheless, such radiation may be harmful to people living in polar areas (the effect of attraction of charged molecules by the lines of the magnetic field of the Earth) and during long flights at altitudes exceeding 10 km [10, 11].

All of the mentioned radiation types: X,  $\gamma$  and cosmic radiation are characterised by a high capability of permeating through material media that are non-transparent for visible radiation, a capability which increases with the growth of their energy and reduction of their wavelengths (the permeation of  $\gamma$  rays through matter is therefore stronger than that of X rays). For this reason it is referred to as "penetrating radiation" in combination with high power neutron radiation [7]. While moving through matter such radiation is absorbed and dispersed, and consequently weakened. The absorption of Ionising radiation by living matter - including human organisms - evokes further physical, chemical and biochemical process, resulting in metabolic disorders, morphological damage and functional changes leading to a disruption of living processes or even causing death. The fact of X and  $\gamma$  radiation's permeation through matter as well as their being absorbed by that matter provide the grounds for their vast scientific, industrial and medical application [9]. Medicine not only makes use of X radiation for diagnostic purposes (X-ray diagnostics and X-ray computer-aided tomography), but it also finds an application for  $\gamma$  radiation (scintiscanning based on introducing radionuclides into a system).

A vast scope of uses has also been determined for the fatal activity of intense streams of X and  $\gamma$  radiation [9] on living cells. The food industry applies it in preservation of various food stuffs by killing microorganisms included in them. In medicine, on the other hand, it is used in the destruction of carcinogenic tissues (radiotherapy), sterilization of dressings, surgical tools, medication and disposable equipment. The staff handling X and  $\gamma$  radiation in the above applications constitute a professional group facing an extremely high radiation hazard. This group should be further extended to include miners exploiting uranium deposits, personnel operating nuclear reactors, people working at radionuclide and X-ray tube production, as well as doctors performing surgical operations with the use of X-ray apparatuses. All of them are required to observe restrictive regulations concerned with radiological protection [9]. However, in the case of any failure or catastrophe, or due to negligence of the safety regulations (usually resulting from routine) such people may be exposed to dangerous radiation having very serious effects, from the point of view of both the cellular and constitutional level.

### THE EFFECTS OF NON-IONISING RADIATION

The progression of civilization, the development of techniques and modern technologies have resulted in artificial sources of electric and magnetic fields, mainly those generated by radio-television devices, being concurrent with naturally occurring sources. As a consequence, the question of their effects and a possible harmful impact on the human organism and health began to be raised. Hence, various scientific centres have been devoting their attention to conducting research within this domain. The results are not explicit. Nonetheless, the International Agency for Research on Cancer (IARC), basing its judgement on a presumed relationship between this factor and an increased incidence of leukaemia in children, and as a result of an Interphone research carried out in 2011 (suspecting an increased risk of glioma - a malignant brain tumour) qualified very low frequency fields and radio wave fields as the probable cause of cancer in humans (Group 2B).

Niemniej jednak Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC), opierając się na przypuszczalnym związku między tym czynnikiem a wzrostem ryzyka zachorowalności na białaczkę u dzieci oraz – ponownie – w roku 2011 w następstwie badania Interphone (podejrzenie zwiększonego ryzyka glejaka – złośliwego nowotworu mózgu) zakwalifikowała pola bardzo niskich częstotliwości i pola radiofalowe jako prawdopodobnie powodujące nowotwory u ludzi (Grupa 2B).

Badania związane z oceną zagrożeń ze strony pól elektromagnetycznych na zdrowie można podzielić na badania epidemiologiczne, badania eksperymentalne na ludziach, badania eksperymentalne na zwierzętach oraz badania kultur komórkowych. Te ostatnie, prowadzone *in vitro*, wydają się najbardziej miarodajne i wiarygodne. Wiadomym, bowiem jest, że zmiany na poziomie komórkowym są odpowiedzialne za odpowiedź organizmu jako całości.

Wpływ pola elektromagnetycznego w układach biologicznych zależy od zakresu częstotliwości, natężenia, czasu ekspozycji oraz pochłaniania energii przez napromieniowany obiekt. Przechodząc przez ciało fala elektromagnetyczna oddaje mu część swojej energii, ulega załamaniu a także jej część jest odbijana przez tkanki. Fale długie, o niskiej częstotliwości wnikają głęboko do wnętrza organizmu, zanim ich energia zostanie pochłonięta. Natomiast mikrofały większość swojej energii wytrącają na tkankach powierzchniowych. Woda, która stanowi około 70% masy ciała powoduje silne tłumienie rozchodzącej się fali. Z tego powodu tkanki o dużym uwodnieniu, np. mięśnie lub krew przejmują energię znacznie silniej niż tkanki o niskiej zawartości wody. Z tego też powodu organizm dziecka, który zawiera więcej wody, pochłania pola w większym stopniu. Dlatego ciągłe korzystanie z komputera, częste rozmowy przez telefony komórkowe są bardziej szkodliwe dla dzieci niż dla dorosłych. Stąd wiele badań skupia się wokół wpływu PEM na powstawanie chorób, szczególnie nowotworów u dzieci.

Już w latach 70. ubiegłego stulecia niepokojące dane z badań nad wpływem pola elektromagnetycznego na zwiększoną zachorowalność na białaczkę i guzy mózgu u dzieci mieszkających w pobliżu linii wysokiego napięcia zapoczątkowały lawinę badań w tej dziedzinie [12]. Pola elektromagnetyczne krańcowo małej częstotliwości zostały zakwalifikowane jako przypuszczalnie kancerogenne dla ludzi, głównie na podstawie badań epidemiologicznych konsekwentnie ukazujących powiązanie pomiędzy przeciętną długoterminową ekspozycją na pola magnetyczne powyżej 0,3/0,4  $\mu\text{T}$  i ryzykiem białaczki u dzieci [13]. Kolejne opublikowane badania przez Olsena dotyczące wzrostu zachorowalności na nowotwory u dzieci mieszkających w pobliżu linii przesyłowych prądu elektrycznego, potwierdziły wyniki poprzednich badań. Obecnie na podstawie obserwacji, badań i wiedzy medycznej wiadomo, że pola elektromagnetyczne wywołują następujące symptomy: zaburzenia snu, bóle głowy, zmiany ciśnienia krwi, pogorszenia wzroku, zmiany w morfologii, zaburzenia koncentracji [14].

Ponadto interakcje PEM z układami biologicznymi w pewnych warunkach mogą powodować stres oksydacyjny. Od czasu odkrycia, że wolne rodniki biorą udział w procesach fizjologicznych oraz patologicznych degeneracji mózgu, większość badań koncentruje się na wpływie tego czynnika na powstawanie stresu oksydacyjnego.

Stres oksydacyjny to zaburzenie równowagi prooksydacyjno – antyoksydacyjnej, podczas której białka obrony antyoksydacyjnej (np. dysmutaza ponadtlenkowa, katalaza) nie nadążają kompensować niekontrolowanego wzrostu reaktywnych form tlenu, które reagują ze składnikami komórek. Reakcje te mogą mieć niepożądane a nawet groźne dla organizmu skutki zdrowotne i powodować tzw. choroby wolnorodnikowe. Do patologicznych implikacji reakcji reaktywnych form tlenu i stresu oksydacyjnego należą między innymi: stwardnienie rozsiane, choroba Parkinsona, w których obserwowano wzmożone wytwarzanie RFT przez fagocyty krwi i podwyższenie poziomu MDA w osoczu [15]. Badania również dowiodły, że RFT i antyoksydanty wpływają na replikację wirusa HIV w organizmie. Wielu autorów uważa także, że stres oksydacyjny mózgu może leżeć u podłoża lub przynajmniej towarzyszyć schizofrenii [16]. U dzieci stres oksydacyjny leży u podłoża takich chorób jak: wodogłowie, zespół Downa, autyzm, urazy mózgu i nowotwory mózgu [17].

The research, connected with hazard assessments related to the impact of electromagnetic fields on human health may be divided into epidemiological research, experimental research on humans, experimental research on animals and research on bacterial cultures. The latter, carried out according to an *in vitro* method seems to be the most reliable, as it is known that changes occurring on a cellular level are responsible for an organism's response as a whole.

The impact of an electromagnetic field on biological systems depends on frequency range, intensity and exposure time and energy absorption by the irradiated object.

While permeating through a body, an electromagnetic wave gives up some of its energy, is subject to refraction and its part becomes reflected by tissues. Low frequency long waves permeate deep into an organism before their energy is absorbed. Microwaves, on the other hand, precipitate most of their energy on surface tissues. Water, which constitutes approx. 70% of body mass, causes strong suppression of a propagating wave. For this reason, tissues characterised by high hydration, e.g. muscles or blood, absorb energy to a much greater extent than tissues with low water content. And exactly for the same reason, a child's organism, which contains more water, will absorb fields to a larger degree. Thus, continuous use of a computer or frequent talking on a mobile phone is much more harmful for children than it is for adults. That is why numerous studies focus on the impact of EMR on the incidence of various diseases, and particularly of cancer, in children.

Already in the 1970s, disturbing data connected with research on the influence of electromagnetic fields on an increased incidence of leukaemia and brain tumours in children living near high voltage lines, brought about an avalanche of studies devoted to this area [12]. The electromagnetic fields of extremely low frequency have been qualified as presumably carcinogenic for humans, mainly on the basis of epidemiological research consistently indicating a link between an average long-term exposure to the magnetic fields of over 0.3/0.4  $\mu\text{T}$  and the risk of leukaemia in children [13]. Further research published by Olsen concerning an increase in the incidence of cancer in children living near power transmission lines confirmed the results of the previous studies. At present, based on observations, research and medical knowledge it is known that electromagnetic fields induce the following symptoms: sleep disorders, headaches, blood pressure alterations, sight deterioration, changes in morphology, concentration disorders [14].

Moreover, EMR's interactions with biological systems may in certain conditions lead to oxidative stress. From the time of discovery that free radicals take part in the physiological and pathological processes of brain degeneration, most research in this field has revolved around the impact of this factor on the generation of oxidative stress.

Oxidative stress reflects a prooxidant-antioxidant imbalance during which the antioxidant protection proteins (e.g. superoxide dismutase, catalase) do not manage to compensate for an uncontrolled increase of reactive oxygen species (ROS) that react with cell components. Such reactions may have undesirable or even dangerous consequences for the health and cause the so-called free radical diseases. The pathological implications of the reactions involving reactive oxygen species and oxidative stress include: multiple sclerosis and Parkinson's disease, in which an increased production of ROS by phagocytes has been observed together with an elevated level of MDA in the plasma [15]. Studies have also proven that ROS and antioxidants influence HIV replication in an organism. Moreover, many authors believe that oxidative brain stress may underlie or at least accompany schizophrenia [16]. In children oxidative stress provides for an onset of such diseases as: hydrocephali, Down syndrome, autism, brain trauma and brain tumours [17].

Furthermore, it was indicated that synovial fluid sampled from knee joints in patients with rheumatoid arthritis is characterised by an increased concentration of lipid peroxidation products [18]. Modern concept on the mechanism of creating sclerosis lodgements assumes that sclerotic plaques are produced by cells filled with lipids taken over from plasma lipoproteins damaged by ROS [15].

Wykazano również, że płyn maziowy pobrany ze stawu kolanowego chorych na reumatoidalne zapalenie stawów ma zwiększone stężenia produktów peroksydacji lipidów [18]. Współczesna koncepcja mechanizmu powstawania złogów miażdżycowych zakłada, że blaszki miażdżycowe tworzone są przez komórki wypełnione lipidami przejętymi od uszkodzonych przez RFT lipoprotein osocza krwi [15].

Ponadto badania dowiodły, że nowotwory często charakteryzują się obniżoną aktywnością dysmutazy nadtlenkowej Cu,ZnSOD, regułą natomiast jest obniżenie aktywności innego rodzaju dysmutazy – MnSOD [19].

Wiele badań potwierdza negatywny wpływ PEM na metabolizm tlenowy komórek. W jednym z eksperymentów dotyczących szkodliwości telefonów komórkowych, gdzie krwinki płytkowe poddawano działaniu PEM o częstotliwości 1800 MHz, mocy 0,2 W i czasie ekspozycji 1 i 5 min wykryto wzrost stężenia reaktywnych form tlenu (RFT) [20].

Zwiększona produkcja RFT po skojarzonym działaniu promieniowania radiofaleowego (930 MHz, SAR 1,5 W/kg-1) i jonów żelaza została zauważona również w trakcie eksperymentalnego badania na modelu limfocytów u szczura [21]. Ponadto indukcji peroksydacji lipidów towarzyszy obniżenie aktywności dysmutazy nadtlenkowej (SOD), mieloperoksydazy (MPO) i peroksydazy glutationowej (GSH-Px) w różnych narządach, takich jak nerki szczurów i wątroby świnek morskich, po ekspozycji na promieniowanie radiofaleowe [22, 23, 24]. Również badania nad wpływem promieniowania niskich częstotliwości dowodzą negatywnego wpływu tego czynnika na metabolizm tlenowy komórki. W jednym z badań nad szkodliwością monitorów LCD - częstotliwość 1 kHz, natężenie 150 V/m, przy odległości 30 cm od monitora i 220 V/m, przy odległości 15 cm od monitora, czas ekspozycji 30 i 60 min. wykazano wzrost stężenia reaktywnych form tlenu oraz spadek aktywności dysmutazy nadtlenkowej w wyniku działania PEM [25, 26].

Podobne wyniki uzyskano w badaniach *in vitro* nad wpływem promieniowania elektromagnetycznego emitowanego w kabinie samochodów osobowych (częstotliwość 1 kHz, indukcja 0,5 mT, 30, 60 i 90 min.). Wzrost stężenia reaktywnych form tlenu oraz zmiany aktywności enzymatycznej dysmutazy nadtlenkowej i katalazy świadczyły o pojawieniu się stresu oksydacyjnego pod wpływem działania tego czynnika [27].

### **ODDZIAŁYWANIE PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO**

Promieniowanie X i  $\gamma$  absorbowane przez komórki przekazuje posiadaną energię ich cząsteczkom, a ściślej elektronom z zewnętrznych powłok elektronowych (walencyjnych) niektórych tworzących je atomów. Powoduje to wspomnianą już jonizację lub wzbudzenie cząsteczek [28]. Tworzące się wskutek jonizacji i wzbudzenia cząsteczek produkty (jony, a także wolne rodniki  $R^{\bullet}$  - wysoce reaktywne struktury zawierające niesparowany elektron w powłoce elektronowej), nie występujące w komórkach w warunkach prawidłowych, są przyczyną efektów popromiennych organizmu. Zasadniczą rolę w powstawaniu tych efektów odgrywają produkty absorpcji energii promieniowania X i  $\gamma$  przez cząsteczki wody - główny składnik chemiczny organizmu - powstające w wyniku ich rozpadu, określanego jako radioliza wody [29, 30]. Prowadzi ona do utworzenia wysoce reaktywnych struktur, jakimi są uwodnione elektrony, rodniki hydroksylowe i wodoronadtlenkowe oraz nadtlenek wodoru [29]. Reaktywne produkty radiolizy wody wchodzi w reakcje ze składnikami struktur komórek: lipidami i białkami, powodując m.in. uszkodzenia zbudowanych z nich błon komórkowych (efektem są zmiany ich polaryzacji i przepuszczalności), a także z DNA (wywołując mutacje). Doprowadzają przy tym do zaburzeń wytwarzania i aktywności różnych enzymów oraz do zakłóceń przebiegu metabolizmu tlenowego [28, 31]. Łańcuchy zdarzeń rozpoczynające się absorpcją energii promieniowania X i  $\gamma$ , rozciągają się w konsekwencji na poszczególne tkanki oraz narządy organizmu, wywołując szereg popromiennych zmian organicznych i czynnościowych.

Powodowane promieniowaniem X i  $\gamma$  uszkodzenia w organizmie klasyfikuje się jako jego skutki somatyczne, dotyczące tkanek, narządów i układów oraz skutki genetyczne odnoszące się do komórek rozrodczych (następstwo aberracji chromosomowych i mutacji genowych).

Moreover, research showed that the common feature of tumour occurrence rests in a reduced activity of superoxide dismutase - Cu,ZnSOD, and a reduction of activity of another type of dismutase - MsSOD [19].

Many studies have confirmed the negative impact of EMR on cellular oxygen metabolism. One of the experiments concerned the harmfulness of mobile phones, where blood platelets were subjected to EMR of the frequency of 1800 MHz, the power of 0.2W, and exposure times of 1 and 5 minutes, allowed to observe an increase in the concentration of reactive oxygen species [20].

An elevated production of ROS after an exposure to radio wave radiation (930 MHz, SAR 1.5 WKG-1) and iron ions was also noted in the course of an experimental study on a lymphocyte model in rats [21]. Moreover the induction of lipid peroxidation was accompanied by a reduction in the activity of superoxide dismutase (SOD), myeloperoxidase (MPO) and glutathione peroxidase (GSH-Px) in different organs, such as the kidneys of rats and the livers of guinea pigs following an exposure to radio wave radiation [22, 23, 24].

Also, research on the impact of low frequency radiation proves the negative effect of this factor on cellular oxygen metabolism. One of the studies on the harmfulness of LCD screens - with the frequency of 1kHz, intensity of 150 V/m, and the distance of 30 cm from the screen and 220 V/m, the distance of 15 cm from the screen and exposure times of 30 and 60 minutes - indicated an increase in the concentration of reactive oxygen species and a decrease in the activity of superoxide dismutase due to EMR [25, 26].

Similar results were obtained through an *in vitro* study on the impact of electromagnetic radiation emitted in the driver's cab of a regular car (frequency of 1 kHz, induction 0.5 mT, at 30, 60 and 90 minutes). The growth in the concentration of reactive oxygen species and changes in the activity of enzymic superoxide dismutase and catalase were the indicators of oxidative stress caused by this factor [27].

### THE EFFECTS OF IONISING RADIATION

X and  $\gamma$  radiation absorbed by cells transmit their energy to their molecules, or to be more specific, the electrons from external electron shells (valence shells) of some of their atoms. This leads to the mentioned Ionisation or cell excitement [28]. The products of Ionisation or cell excitement (ions, but also free radicals  $R^\cdot$  - a highly reactive structure containing an unpaired electron in the electron shell), which under normal circumstances are not present in cells, are the reason for the occurrence of post-radiation effects on an organism. A crucial role in the emergence of such effects is played by the products of energy absorption from X and  $\gamma$  radiation by water particles - the main chemical component of the body - produced as a consequence of their disintegration, defined as water radiolysis [29, 30]. It leads to the creation of highly reactive structures, such as hydrated electrons, hydrozyl and hydroperoxyl radicals and hydrogen peroxide [29]. The reactive water radiolysis products enter into reactions with cell structure components: lipids and proteins causing, among other things, damage to cell membranes (resulting in changes in their polarization and permeability) and DNA (inducing mutations). The consequences involve dysfunctions in the production and activity of various enzymes as well as disruption in oxygen metabolism [28, 31]. As a result, the chains of incidents beginning with energy absorption from X and  $\gamma$  radiation become extended onto particular tissues and organs, thus evoking a number of post-radiation organic and functional changes.

X and  $\gamma$  radiation-induced damage in an organism is classified as somatic effects, i.e. those involving tissues, organs and systems, and genetic effects, i.e. those referring to reproductive cells (a result of chromosomal aberrations and genetic mutations). Somatic effects may be early or deterministic - occurring in all subjects after a specified amount of radiation, or late or stochastic - randomly occurring after a significant delay in a part of equally irradiated subjects [31].

The characteristic feature related to the somatic effects lies in their irregularity, i.e. the selective occurrence of damage.

Skutki somatyczne mogą być wczesne czyli deterministyczne - pojawiające się u wszystkich osób po odpowiednio silnym napromienieniu, bądź późne czyli stochastyczne - mogące losowo wystąpić z dużym opóźnieniem czasowym u części jednakowo napromienionych osób [31]. Dla skutków somatycznych znamieną jest nierównomierność, czyli wybiórcze powstawanie uszkodzeń. Wyróżnia się w tym zakresie 4 kategorie radiowrażliwości tkankowo-narządowej: bardzo silną - szpik kostny i krew obwodowa, układ limfatyczny, nabłonek żołądkowo-jelitowy, gonady, tkanki płodowe; silną - skóra, oczy, ślinianki, wątroba, trzustka, nerki, płuca; średnią - ośrodkowy układ nerwowy, serce, gruczoły wydzielania wewnętrznego (oprócz gonad); słabą - mięśnie, kości i chrząstki, tkanka łączna [32].

Do najważniejszych objawów podstawowych skutków deterministycznych powstających pod wpływem promieniowania jonizującego należą: zubożenie szpiku kostnego w erytroblastach, mielocytach, mieloblastach i megakariocytach, obniżenie we krwi ilości limfocytów, granulocytów i trombocytów, uszkodzenia węzłów chłonnych, grasicy oraz śledziony, nekrotyczne owrzodzenia śluzówki żołądka i jelita, uszkodzenia komórek krypt Lieberkühna, zwyrodnienie kanalików jąder, obniżenie ilości plemników, ubytki oocytów, niepłodność, oparzenia skóry, rumień, owrzodzenia, sącząca złuszczenie i martwica naskórka, trwałe łysienie, krwawe wybroczyny do siatkówki, zapalenie siatkówki, naczyńiówki i tęczówki [31, 32].

Skutkiem deterministycznym silnego napromienienia całego organizmu lub większej jego części jest zespół ogólnoustrojowych zmian określanej jako ostra choroba popromienna. Charakteryzuje się ona czterema fazami rozwoju: wstępną, utajenia, główną i zdrowienia (lub śmierci), w których przebiegu występuje mnogość objawów swoistych i nieswoistych. Może mieć postać subkliniczną, hematologiczną, jelitową, mózgową i enzymatyczną (dwie ostatnie w 100% śmiertelne) [32].

Skutki stochastyczne obejmują zwiększoną podatność na występowanie nowotworów - głównie skóry, piersi, płuc, kości i białaczek oraz nasilenie procesów zwyrodniających i zanikowych przyczyniających się do przyspieszonego starzenia i skrócenia czasu życia. Indukują też niedokrwistość, powstawanie zaćmy oraz upośledzenie rozrodczości [31].

Powodowane promieniowaniem X i  $\gamma$  skutki genetyczne wywołują wady i choroby dziedziczne u potomstwa w kolejnych pokoleniach, np. zespół Downa, anomalie i umieralność płodów. Prawdopodobieństwo wystąpienia oraz stopień nasilenia omówionych skutków promieniowania X i  $\gamma$  są zależne od intensywności tych promieniowań, czasu ekspozycji, wrażliwości osobniczej oraz od ewentualnej obecności w ustroju radiosensybilizatorów (np. różne leki cytostatyczne) [32].

Ochrona przed wszystkimi rodzajami promieniowania jonizującego organizowana jest w myśl zasady ALARA: As Low As Reasonably Achievable (tak mało, jak jest to rozsądnie osiągalne). Oznacza ona, że dla zminimalizowania narażenia na skutki wywołane napromienieniem należy: 1) jak najkrócej dokonywać czynności przy źródle promieniowania, 2) przebywać od niego możliwie daleko, 3) oddzielać się od tego źródła odpowiednią osłoną. Przed promieniowaniem X i  $\gamma$  chronią osłony wykonane z materiałów o dużej gęstości: ołowiu lub betonu [7, 31]. Dla profilaktyki przed skutkami napromienienia przyjmuje się środki radioprotekcyjne, głównie cysteinę, cysteaminę lub tzw. AET (ich grupy -SH neutralizują tworzące się wolne rodniki) [7].

W związku z istotą problemu wpływu promieniowania elektromagnetycznego na organizm Zgromadzenie Parlamentarne Rady Europy przyjęło rezolucję, w której w odniesieniu do norm i progów dotyczących emisji pól elektromagnetycznych wszystkich rodzajów i wszystkich częstotliwości [...] zaleca zastosowanie zasady ostrożności ALARA (as low as reasonably achievable), tj. najniższy poziom, jaki można racjonalnie osiągnąć". Pomimo przypuszczalnie istniejących skutków dla zdrowia ludzkiego, do dziś nie ma żadnych przepisów europejskich, które ujednoliciłyby na terytorium UE ochronę pracowników przed wpływem pól elektromagnetycznych.

Within this scope we may distinguish 4 categories of tissue-organ radiosensitivity: very strong - bone marrow and peripheral blood, lymphatic system, gastro-intestinal epithelium, gonads, fetal tissues; strong - skin, eyes, salivary glands, liver, pancreas, kidneys, lungs; medium - central nervous system, heart, endocrine glands (without gonads); weak - muscles, bones and cartilages, connective tissue [32].

The most important symptoms of deterministic effects induced by Ionising radiation include: reduction of erythroblasts, myelocytes, myeloblasts and megakaryocytes in the bone marrow, reduction of lymphocytes, granulocytes and thrombocytes in the blood, damage to lymphatic glands, thymus gland and spleen, necrotic ulceration of the mucosa of stomach and intestine, cell damage of Lieberkühn's crypts, degeneration of testicular tubules, reduction in the quantity of sperm, oocyte deficit, infertility, skin burns, erythema, ulceration, oozing skin desquamation and epidermal necrosis, permanent baldness, retinal petechiae, retinitis and iritis [31, 32].

A deterministic effect of strong irradiation of the whole organism or its greater part is known as acute radiation syndrome, i.e. a constellation of health effects due to radiation. It is characterised by four stages of development: initial, latent, main and recovery (or death), showing a multitude of specific and non-specific symptoms. It may take a subclinical, haematological, intestinal, cerebral or enzymatic form (with the latter two being 100% fatal) [32].

Stochastic effects, on the other hand, include an increased susceptibility to cancer - mainly affecting the skin, breasts, lungs, bones, as well as different types of leukaemia and an escalation of degenerative processes and atrophies leading to accelerated ageing and a shortened life expectancy. They also induce anaemia, cataract and reproductive disorders [31].

X and  $\gamma$  radiation-induced genetic effects cause hereditary defects and diseases in the offspring of successive generations, including Down syndrome, foetal anomalies and mortality. The probability of occurrence and the intensification level of the discussed effects of X and  $\gamma$  radiation depend on their strength, exposure time, individual sensitivity and possible presence of radiosensibilisers in the system (e.g. different cytostatic agents) [32].

Protection against all types of Ionising radiation is organised according to the ALARA principle: As Low As Reasonably Achievable. Following this principle, in order to minimize the susceptibility to radiation-induced effects one should: 1) reduce the time spent near the radiation source, 2) remain as far as possible from the source, 3) use an appropriate shield to separate oneself from the radiation. The shields guaranteeing protection against X and  $\gamma$  radiation are made from high-density materials such as lead or concrete [7, 31]. The prophylaxis against radiation-induced effects involves administration of radio-protective agents, mainly cystein, cysteamine or the so-called AET (their -SH groups help neutralize the produced free radicals) [7].

With regard to the significance of the problem related to the impact on electromagnetic radiation on a human organism, the Parliamentary Assembly of the Council of Europe has passed a resolution recommending the application of the ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principle in relation to the standards and threshold values for emissions of electromagnetic fields of all types and frequencies [...]. Despite their presumable effects on the human health, so far no European regulations have been drafted with the purpose of standardisation of employee protection in the EU against the influence of electromagnetic fields.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Siemiński M. Environmental health hazards. PWN. Warsaw 2008.
2. Zmyślony M, Politański P. Health hazards and health protection measures for people exposed to electromagnetic fields and radiation of 0 – 300 GHz. Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź 2009:30-32.
3. Strzałka-Gałuszka K, Syrek P. Electromagnetic field in human environment and the method for its calculation. Prace Instytutu Elektrotechniki 2008;239:189-203.
4. Marzec S, Stawowy A. Population's exposure to the electromagnetic field of mobile telephony aeriels. Zeszyt Naukowy Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach 2007;1(3):45-54.
5. Herner A. Car electronics. WKT. Warsaw 2001.
6. Breitenstein BD, Seward JP. Ionizing radiation; in: Wald PH, Stave GM red. Physical and biological hazards of the workplace. John Wiley and Sons Inc, New York 2001: 227-241.
7. Turner JE. Atoms, radiation, and radiation protection. Wiley-VHC Verlag, Weinheim 2007
8. Nickoloff E. Radiology review. Elsevier Inc, Oxford 2005.
9. National Research Council. Radiation source use and replacement. The National Academic Press, Washington 2008.
10. Ferrari F, Szuszkiewicz E. Cosmic rays: a review for astrobiologists. Astrobiology 2009;9:413-436. doi: 10.1089/ast.2007.0205.
11. Beatty JJ, Westerhoff S. The highest-energy cosmic rays. Ann Rev Nucl Part Sci 2009;59:319-345.
12. Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am J Epidemiol 1979;109:273-284.
13. Merzenich H, Schmiedel S, Bennack S, Brüggemeyer H, Philipp J, Blettner M, Schüz J. Childhood leukemia in relation to radio frequency electromagnetic fields in the vicinity of TV and radio broadcast transmitters. Am J Epidemiol 2008;168(10): 1169-78. doi: 10.1093/aje/kwn230.
14. Bukowicki R, Sanchez A. Protection against electromagnetic field and radiation at low frequency 50Hz. International Conference on Electromagnetic Fields and Environment 2007.
15. Adams JDJ, Chang ML, Klaidman L. Parkinson's disease-redox mechanizm. Curr Med Chem 2001;8:809-814.
16. Yoa JK, Reddy RD, van Kammen DP. Oxidative damage and schizofrenia: an verview of the evidence and its therapeutic implications. CNS Drugs 2001;15:287-310.
17. Granot E, Kohen R. Oxidative stress in childhood – in health and disease states. Clin Nutr 2004;23:3-11.
18. Buettner GR, Chamulitrat W. The catalytic activity of iron in synovial fluid as monitored by the ascorbate free radicals. Free Radic.Biol Med 1990;8:55-56.
19. Macmillan-Crow LA, Cruthirds DL. Invited review: manganese superoxide dismutase in disease. Free Radic Res 2001;34:325-336.
20. Buczyński A, Dziedziczak-Buczyńska M, Jankowski W, Olszański R, Buczyński J, Pacholski K, Henrykowska G. Oxidative metabolism of human blood platelets exposed to an electromagnetic field generated by mobile telephony - in vitro study. Polish Hyperbaric Res 2007;4(21):31-37.
21. Zmyślony M, Politanski P, Rajkowska E, Szymczak W, Jajte J. Acute exposure to 930 MHz CW electromagnetic radiation in vitro affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated by iron ions. Bioelectromagnetics 2004;25(5):324-328.
22. Consales C, Merla C, Marino C, Benassi B. Electromagnetic Fields, Oxidative Stress, and Neurodegeneration. Int J Cell Biol 2012; 2012:683897.
23. Oktem F, Ozguner F, Mollaoglu H, Koyu A, Uz E. Oxidative damage in the kidney induced by 900-MHz-emitted mobile phone: protection by melatonin. Arch Med Res 2005;36(4):350-355,.



24. Ozgur E, Gler G, Seyhan N. Mobile phone radiation-induced free radical damage in the liver is inhibited by the antioxidants n-acetyl cysteine and epigallocatechin-gallate. *Int J Radiat Biol* 2010;86(11):935-945. doi: 10.3109/09553002.2010.496029.
25. Lewicka M, Dziedziczak-Buczyńska M, Ziemia-Gardyńska E, Henrykowska G, Buczyński A. Changes in the activity of superoxide (Cu, Zn SOD) in the blood platelets exposed to the electromagnetic radiation emitted by LCD displays - in vitro research. *Kwartalnik Ortopedyczny* 2001;1:31, ISSN 1230–1043.
26. Buczyński A, Pacholski K, Dziedziczak-Buczyńska M, Lewicka M, Henrykowska G. Changes in the generation of free radicals in the blood platelets exposed to the electromagnetic radiation emitted by electronic visual displays. *Polish Hyperbaric Res* 2010;1(30):35-41.
27. Buczyński A, Cader A, Pacholski K, Dziedziczak-Buczyńska M, Jerominko A. The effect of electromagnetic field occurring in vehicles on reactive oxygen species (ROS) generation in blood platelets. *Pol J Environ Stud* 2006;2B(15):1020-1023.
28. Sobkowski J. Radiation chemistry and radiological protection. Wydawnictwo Adamantan, Warsaw 2009.
29. Le Caër S. Water radiolysis: influence of oxide surfaces on H<sub>2</sub> production under ionizing radiation. *Water* 2011;3:235-253.
30. Ershov BG, Gordeev AV. A model for radiolysis of water and aqueous solutions of H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>. *Radiat Phys Chem* 2008;77:928-935.
31. Martin DR, Semelka RC. Health effects of ionizing radiation from diagnostic CT. *Lancet* 2006;367:1712-1714.
32. Feldman R. Radiation injury; in: Schaidler JJ, Hayden SR, Wolfe RE, Barkin RM, Rosen P, ed. by Rosen and Barkin's 5-minute emergency medicine consult. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2007.

## **ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ**

Исследования воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ), имеющего различные параметры, осуществлялись в течение многих лет. ЭДС, излучаемый различными устройствами, используемыми в настоящее время, таких как мобильные телефоны, компьютеры, микроволновые печи, рентгеновские аппараты воздействуют на организм человека многократно. Различные элементы и структуры клеток могут быть целевым щитом воздействия электромагнитного облучения. Эта статья предоставляет базовую информацию о воздействии электромагнитных полей, биологических эффектов и влияние на здоровье к которым они могут привести. Результаты исследования, проведенные в этой области, могут быть полезны в установлении норм и стандартов поведения адекватных риску, связанного с воздействием ЭМП. Они также могут служить внедрению соответствующей профилактики, которая защитила бы от негативных последствий этого фактора окружающей среды.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, ионизирующее излучение и неионизирующие, воздействия на здоровье, биологические эффекты.

**dr n. med. Magdalena Zawadzka**  
Zakład Epidemiologii i Zdrowia  
Publicznego UM w Łodzi  
ul. Żeligowskiego 7/9  
90-752 Łódź

**dr n. med. Małgorzata Lewicka**  
Zakład Epidemiologii i Zdrowia  
Publicznego UM w Łodzi  
ul. Żeligowskiego 7/9  
90-752 Łódź

**dr hab. n. med. Maciej Rutkowski**  
Pracownia Toksykologii i Ochrony  
Radiologicznej UM w Łodzi  
ul. Żeligowskiego 7/9  
90-752 Łódź

**dr n. med. Gabriela Henrykowska**  
Zakład Epidemiologii i Zdrowia  
Publicznego UM w Łodzi  
ul. Żeligowskiego 7/9  
90-752 Łódź

**dr n. med. Maria Dziedziczak-  
Buczynska**  
Zakład Epidemiologii i Zdrowia  
Publicznego UM w Łodzi  
ul. Żeligowskiego 7/9  
90-752 Łódź

**prof. dr hab. n. med. Andrzej  
Buczynski**  
Zakład Epidemiologii i Zdrowia  
Publicznego UM w Łodzi  
ul. Żeligowskiego 7/9  
90-752 Łódź