



Grzegorz Forencewicz

29 – 11 - 2010



# WPŁYW POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA ORGANIZMY ŻYWE

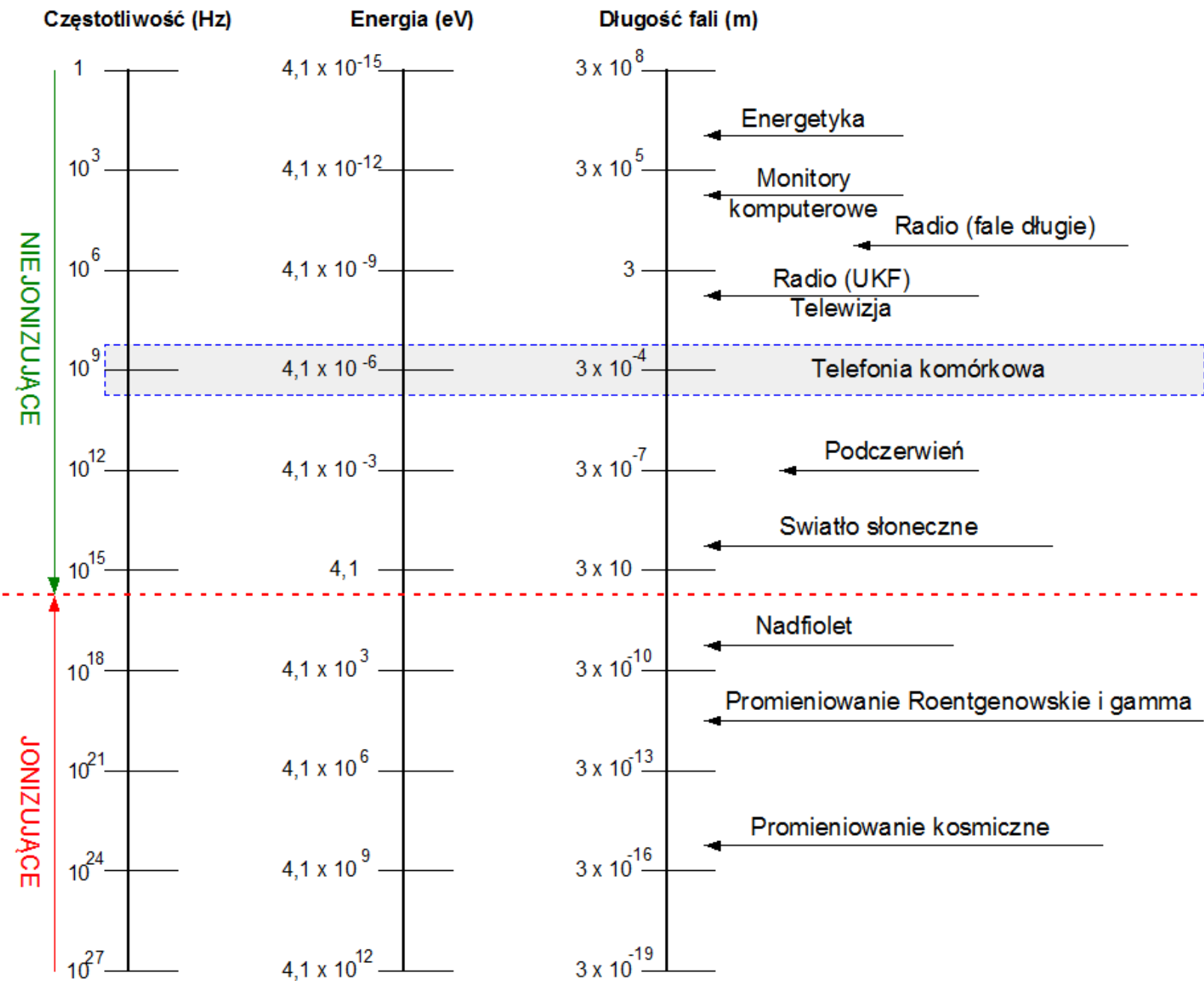
# Co to jest pole elektromagnetyczne?

Pole elektromagnetyczne - pole fizyczne, stan przestrzeni w której na obiekt fizyczny mający ładunek elektryczny działają siły o naturze elektromagnetycznej. Pole elektromagnetyczne jest układem dwóch pól: pola elektrycznego i pola magnetycznego. Pola te są wzajemnie związane a postrzeganie ich zależy też od obserwatora, wzajemną relację pól opisują równania Maxwella. Właściwości pola elektromagnetycznego, jego oddziaływanie z materią bada dział fizyki zwany elektrodynamiką. W mechanice kwantowej pole elektromagnetyczne jest postrzegane jako wirtualne fotony.

Zmiany pola elektrycznego i magnetycznego rozchodzą się w przestrzeni (z prędkością ok. 300 000 km/s w próżni) jako fale elektromagnetyczne. Fale elektromagnetyczne charakteryzują takie wielkości jak: kierunek rozchodzenia się, natężenie zmieniającego się w czasie pól elektrycznego i magnetycznego, prędkość rozchodzenia się fali, częstotliwość i niesiona energia. Fale elektromagnetyczne, ze względu na ich długość i wynikające stąd właściwości, dzieli się na: *fale radiowe, fale świetlne, mikrofale, promieniowanie  $\gamma$  (gamma), promieniowanie X (rentgenowskie).*

# Zastosowania fal o różnych częstotliwościach i długościach

Częstotliwość	Długość fali	Zastosowania
100 kHz- 300 kHz	3 km – 1 km	Radiowe długie
300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m	Radiowe średnie
3 MHz – 30 MHz	100 m – 10 m	Radiowe krótkie
30 MHz – 300 MHz	10 m – 1 m	Telewizyjne
300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm	Piece mikrofalowe
3 GHz – 30 GHz	10 cm – 1 cm	Radar
1000 GHz	0,3 mm	Telewizja satelitarna




# Źródła pola elektromagnetycznego

Naturalnymi źródłami PEM zakresu jonizującego są:

- Kosmos – promieniowanie kosmiczne reliktowe, pierwotne, gamma, strumienie cząstek wysokoenergetycznych, inne.
- Słońce – światło (pasmo nadfioletu), „wiatr słoneczny”
- złoża pierwiastków promieniotwórczych

Do sztucznych źródeł PEM tego zakresu zaliczyć można:

- generatory promieniowania rentgenowskiego
- sztucznie wytwarzane izotopy
- urządzenia medyczne wykorzystujące „bomby kobaltowe”
- lampy sterylizacyjne pracujące w paśmie nadfioletu
- reaktory atomowe - same są pomijającym źródłem promieniowania ale produkują odpady promieniotwórcze
- urządzenia do wykrywania mikrouszkodzeń w strukturach metalowych wykorzystujące izotopy
- próby nuklearne



Najbardziej interesują nas jednak pola elektromagnetyczne niejonizujące. Naturalnymi źródłami PEM zakresu niejonizującego są przede wszystkim:

- Kosmos – źródło PEM o praktycznie całym zakresie częstotliwości
- wyładowania atmosferyczne
- Ziemia, a właściwie jej ruch obrotowy względem atmosfery i jonosfery (rezonans Schumanna)
- prądy i pływy morskie





Sztuczne źródła to przede wszystkim:

- sieci elektroenergetyczne
- instalacje i urządzenia elektryczne
- indukcyjne urządzenia przemysłowe
- nadajniki radiowo – telewizyjne
- nadajniki radiokomunikacyjne
- nadajniki telefonii komórkowych
- urządzenia sterowania bezprzewodowego (radiowego) i nadzoru
- aparatura medyczna (koagulatory, lancetrony, diatermie, itp.)





# Oddziaływanie pól EM na materię

Możemy wyróżnić dwa rodzaje oddziaływań pól EM na materię. Wynika to z tego, że pole EM składa się z pola magnetycznego i pola elektrycznego. Inne zjawiska zachodzą w materii poddane działaniu każdego z tych pól. Dlatego istnieje potrzeba przedstawienie podstawowych właściwości materii znajdującej się w poszczególnych polach by zrozumieć jak zachowuje się materia w polu EM.

# Właściwości elektryczne materii

Ciała znajdujące się w polu elektrycznym zachowują się różnie, w zależności od ich struktury i wynikających z tego właściwości opisanych przez teorię pasm energetycznych. Możemy wyróżnić trzy grupy ciał:

- Dielektryki
- Półprzewodniki
- Przewodniki

# Dielektryki


**Dielektryk, izolator elektryczny** – materiał, w którym bardzo słabo przewodzony jest prąd elektryczny. Może to być rezultatem niskiej koncentracji ładunków swobodnych, niskiej ich ruchliwości, lub obu tych czynników równocześnie. Oporność właściwa dielektryków jest większa od  $10^6 \Omega/m$  (dla dobrych przewodników, np. metali, wynosi  $10^{-8}–10^{-6} \Omega/m$ ).

## Dielektryki w polu elektrycznym

W dielektrykach ładunki związane mogą w pewnym zakresie przemieszczać się. Rodzaj i skala tych przemieszczeń decydują o własnościach elektrycznych dielektryka. Jeżeli w polu elektrycznym (elektrostatycznym) znajdzie się przewodnik, (w którym nie płynie prąd elektryczny), to ładunki swobodne przesuną się tak, że wewnątrz ciała nie będzie pola elektrycznego. W dielektryku ładunki nie mogą się swobodnie przesuwać, ale może dojść do przesunięcia się ładunków elektrycznych dodatnich względem ujemnych (powstaną dipole elektryczne). Zjawisko to nazywamy polaryzacją dielektryka. Makroskopowo postrzegamy to zjawisko jako gromadzenie się ładunków na powierzchni dielektryka (obojętnej jako całość), ładunki te zmniejszają pole elektryczne w dielektryku w stosunku do zewnętrznego pola elektrycznego (wektor  $E$ ), co można opisać jako występowanie w dielektryku dodatkowego pola elektrycznego (wektor  $D$ ) zwanego polem indukcji elektrycznej.


# Półprzewodniki

Półprzewodniki - najczęściej substancje krystaliczne, których konduktywność (przewodnictwo właściwe) może być zmieniana w szerokim zakresie (np.  $10^{-8}$  do  $10^6$  S/m (simensa na metr)) poprzez domieszkowanie, ogrzewanie, oświetlenie bądź inne czynniki. Przewodnictwo typowego półprzewodnika plasuje się między przewodnictwem metali i dielektryków.



Przewodnik elektryczny – substancja, która dobrze przewodzi prąd elektryczny, a przewodzenie prądu ma charakter elektronowy. Atomy przewodnika tworzą wiązania, w których elektrony walencyjne (jeden, lub więcej) pozostają swobodne (nie związane z żadnym z atomów), tworząc w ten sposób tzw. gaz elektronowy.





Przewodnik jonowy – przewodnikami jonowymi mogą być (elektrolitami) mogą być ciecze i ciała stałe ciekłokrystaliczne i bezpostaciowe. Charakteryzują się one tym, że nośnikami prądu są w nich jony ( dodatnie i ujemne). Przepływ prądu przez przewodnik jonowy związany jest z transportem masy co powoduje zmiany fizyczne w przewodniku, w odróżnieniu od przewodników elektronowych (nazywanych również przewodnikami pierwszego rodzaju)


# Zjawiska elektrokinetyczne

Są to zjawiska zachodzące w roztworach koloidalnych pod wpływem pól elektrycznych. Są to np.:


- Elektroosmoza
- Elektroforeza
- Potencjał przepływu
- Efekt Dorna

**Elektroosmoza** - osmoza, która zachodzi pod wpływem przyłożonej różnicy potencjału elektrycznego. Zjawisko to zachodzi w sposób zależny od kształtu i rodzaju ośrodka, a także rodzaju cząstek rozpuszczonych. Polega na ruchu całego ośrodka, czyli fazy rozpraszającej układu koloidowego, w stosunku do fazy rozproszonej. Zjawisko to zachodzi na błonach półprzepuszczalnych, które będąc nieprzepuszczalnymi dla fazy rozproszonej unieruchamiają ją na swej powierzchni. W tych warunkach zdolność poruszania się pod wpływem pola elektrycznego ma tylko faza rozpraszająca.

**Elektroforeza** polega na ruchu naładowanych cząstek fazy rozproszonej względem nieruchomego ośrodka dyspersyjnego pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego. Gdy cząstki koloidalne naładowane są dodatnio, wędrują do katody (kataforeza), a naładowane ujemnie do anody (anaforeza). Zjawisko wykorzystywane w metodach analitycznych, w badaniach np. nad DNA (elektroforeza żelowa, elektroforeza kapilarna).



**Potencjał przepływu** jest zjawiskiem odwrotnym do elektroosmozy. Gdy zostanie wymuszony ruch cieczy przez przegrodę porowatą (lub kapilarę), to po obu jej stronach powstaje różnica potencjałów.




**Efekt Dorna** lub **potencjał sedymentacji**. Jest to zjawisko odwrotne do elektroforezy, tzn. gdy cząstki koloidalne opadają pod wpływem ciężkości lub podczas wirowania, to między końcami kolumny czy próbówki powstaje różnica potencjałów

# Właściwości magnetyczne ciał

W zależności od zachowania ciał w polu magnetycznym możemy wyróżnić:

- Paramagnetyki
- Ferromagnetyki
- Diamagnetyki

Ferromagnetyzm – zjawisko, w którym materia wykazuje własne, spontaniczne namagnesowanie. Jest jedną z najsilniejszych postaci magnetyzmu i jest odpowiedzialny za większość magnetycznych zachowań spotykanych w życiu codziennym. Razem z ferrimagnetyzmem jest podstawą istnienia wszystkich magnesów trwałych. Zwykły kawałek materiału ferromagnetycznego (np. żelaza) nie posiada wypadkowego momentu magnetycznego. Jeżeli jednak zostanie on umieszczony w zewnętrznym polu magnetycznym, następuje namagnesowanie, czyli uporządkowanie domen - taki ruch ich ścianek, aby możliwie największa objętość ciała posiadała momenty magnetyczne skierowane równoległe do kierunku pola magnetycznego. Rozmiary domen początkowo namagnesowanych w kierunku zbliżonym do kierunku pola magnesującego zwiększają się kosztem innych, przyłączając sąsiednie atomy. W silnym polu domeny o innych kierunkach pierwotnego namagnesowania obracają się. Ponieważ ruch ścianek domen jest procesem skokowym, obserwuje się charakterystyczną schodkową strukturę krzywej namagnesowania w funkcji zewnętrznego pola magnetycznego.



Wewnątrz ciała ferromagnetycznego pole może setki, nawet tysiące razy przewyższać przyłożone pole zewnętrzne. Domeny pozostaną jednakowo zorientowane nawet wówczas, gdy zewnętrzne pole zostanie usunięte, tworząc trwałą magnetyzację, która, jako funkcja zewnętrznego pola jest uwidoczniła na krzywej histerezy. Jednak wypadkowa magnetyzacja może być zniszczona poprzez podgrzanie, a następnie powolne oziębienie (czyli wyżarzanie) materiału, bez wpływu zewnętrznego pola.



Diamagnetyzm – zjawisko polegające na indukcji w ciele znajdującym się w zewnętrznym polu magnetycznym pola przeciwnego, osłabiającego działanie zewnętrznego pola. Zjawisko odwrotne do diamagnetyzmu to paramagnetyzm. Należy jednak zaznaczyć, że paramagnetyzm jest zjawiskiem "odwrotnym" tylko w sensie makroskopowej obserwacji zachowania się substancji w polu magnetycznym (diamagnetyk jest wypychany z pola magn., a paramagnetyk – wciągany). Stoją za tymi zachowaniami jednak całkowicie inne zjawiska fizyczne. w paramagnetyku porządkują się momenty magnetyczne elektronów. Przyczyną diamagnetyzmu jest fakt, że zewnętrzne pole magnetyczne zmienia tor elektronów na orbitach (jakby indukuje w układzie prąd elektryczny), który powoduje powstanie pola magnetycznego skierowanego przeciwnie do pola zewnętrznego.

Diamagnetyzm występuje we wszystkich substancjach, ale zwykle jest maskowany przez silniejszy paramagnetyzm. Wyjątkiem są przeważnie związki chemiczne posiadające wiązania wielokrotne lub układ aromatyczny.


Paramagnetyzm - zjawisko magnesowania się makroskopowego ciała w zewnętrznym polu magnetycznym w kierunku zgodnym z kierunkiem pola zewnętrznego. Substancja wykazująca takie właściwości to paramagnetyk, jest on przyciągany przez magnes, jednak znacznie słabiej niż ferromagnetyk. W niezbyt niskich temperaturach oraz dla niezbyt silnych pól magnetycznych paramagnetyki wykazują liniową zależność namagnesowania od pola zewnętrznego. W niskich temperaturach lub dla bardzo silnych pól magnetycznych namagnesowanie traci liniową zależność od pola zewnętrznego i wykazuje nasycenie.

Podatność magnetyczna zależy od temperatury, zjawisko to ujmuje prawo Curie. Niektóre paramagnetyki w temperaturach niższych od pewnej charakterystycznej dla każdej substancji wartości, nazywanej punktem Curie, stają się ferromagnetykami.

Przyczyną paramagnetyzmu jest porządkowanie się spinów elektronów ciała zgodnie z liniami zewnętrznego pola magnetycznego, uporządkowaniu przeciwdziałają drgania cieplne cząsteczek. W niskich temperaturach lub w silnych polach magnetycznych dochodzi do uporządkowania niemal wszystkich dipoli magnetycznych elektronów w wyniku czego dochodzi do nasycenia. Właściwości paramagnetyczne posiadają substancje o niesparowanych elektronach.

# Wpływ pola elektromagnetycznego na organizmy żywe

Wpływ pola elektromagnetycznego na organizmy żywe nie jest prosty do opisanania i na ogół jest sprawą dosyć skomplikowaną. Należy tu uwzględnić rodzaj danego pola, jakie urządzenie je emituje, jaka jest jego częstotliwość i moc, a także określić wrażliwość danego organizmu żywego na jego działanie.



Organizmy żywe poza narządem wzroku reagującym na światło widzialne, oraz skórą, która reaguje na ciepło, czyli promieniowanie podczerwone, to nie posiadają żadnych innych receptorów, które byłyby w stanie wykrywać obecność pola elektromagnetycznego. Dlatego też promieniowanie radiowe, czy mikrofalowe przechodzi przez nasze organizmy i nie zauważamy tego. To z kolei wiąże się ze stosowaniem specjalistycznych urządzeń, które są w stanie wykrywać takie pola i podawać do naszej wiadomości informacje o ich parametrach.

Przy częstotliwościach fal radiowych do 10 MHz, czyli dosyć niskich w tkance żywej powstają podobnie jak w przewodniku prądy wirowe, które także określane są mianem prądów Foucaulta. Prądy te płyną głównie po powierzchni ciała i działają w ten sposób, że znoszą wpływ pola elektromagnetycznego do wnętrza przewodnika. Pamiętajmy także, że zawsze, gdy prąd płynie przez ośrodek, który posiada opór elektryczny, to następuje wydzielenie ciepła w tym ośrodku. Także prądy wirowe powodują wydzielenie w ten sposób ciepła. Gdy ilość tego ciepła jest zbyt duża organizm nie może sobie poradzić z jego odprowadzeniem, przez co dochodzi do wzrostu temperatury ciała, co określane jest mianem efektu termicznego.

Fala elektromagnetyczna może także wnikać w głąb tkanki żywej. To jak głęboko wniknie bezpośrednio zależy od oporności tkanki i od częstotliwości padającej fali elektromagnetycznej. Im większa częstotliwość fal tym oporność tkanki żywej jest mniejsza i głębokość wnikania fal elektromagnetycznych jest też mniejsza. Przy częstotliwości wynoszącej 1 MHz oporność wynosi 8 Wm, a głębokość wnikania 2,3 m, natomiast przy częstotliwości 10 GHz, oporność wynosi 0,1 Wm, a głębokość wnikania 0,3 cm. Tak, więc widać, że w przypadku fal radiowych, przechodzą one całkowicie przez nasze ciała i prądy wirowe powstają w całej jego objętości. Zastanówmy się, jakie to może mieć konsekwencje dla zdrowia człowieka. W tym celu obliczmy gęstość energii emitowanej przez stację radiową, której nadajnik ma moc 100 kW, w zależności od odległości od nadajnika.


Obliczone wartości zebrano w poniższej tabeli

Odległość [km]	Gęstość energii [W/m <sup>2</sup> ]
0,5	0,064
1	0,016
10	0,00016

Porównując to z wartością progową wynoszącą 4 W/m<sup>2</sup>, przy której określa się, że człowiek może już odczuwać termiczne skutki, widzimy, że daleko jeszcze do tego progu. Można dojść do wniosku, że o ile nie mieszka się bliżej takiej stacji niż w odległości kilkuset metru, to oddziaływanie fal radiowych na człowieka może być zaniedbane.

W przypadku dyskusji o szkodliwość pól elektromagnetycznych na organizm człowieka, bardzo często przewija się sprawa negatywnego wpływu pól, których częstotliwości wynoszą 50 Hz. Są to pola, które roztaczają się wszędzie wokół nas, ponieważ większość urządzeń elektrycznych wykorzystuje je do swojego działania. Faktycznie negatywny taki wpływ można zaobserwować, ale jedynie w bardzo bliskiej odległości do takich urządzeń jak transformatory, stacje przekaźnikowe, czy linie wysokiego napięcia (ok. 700 kV). Jednak te negatywne skutki zazwyczaj dotyczą tylko bardzo wąskiej grupy osób, które pracują przy takich urządzeniach. Choć i to nie jest jeszcze do końca potwierdzone, ponieważ nie zbadano jeszcze wystarczającej liczby przypadków, aby jednoznacznie określić wpływ takiego pola elektromagnetycznego.






Nie ma żadnych przekonujących wyników badań popierających tezę, że promieniowanie elektromagnetyczne bardzo niskiej częstotliwości i częstotliwości radiowej może powodować nowotwory.


# Mikrofaale





Mikrofale to rodzaj promieniowania elektromagnetycznego o długości fali pomiędzy podczerwienią i falami ultrakrótkimi, zaliczane są do fal radiowych. W różnych opracowaniach spotyka się różne zakresy promieniowania uznawanego za promieniowanie mikrofalowe np: 1 mm (częstotliwość 300 GHz) do 30 cm (1 GHz)

Promieniowanie mikrofalowe może być pochłaniane przez materię na dwa różne sposoby. Pierwszym z nich jest polaryzacja dipolowa. Jeśli w materiale są cząsteczki chemiczne będące dipolami, to w wyniku działania pola elektrycznego fali elektromagnetycznej starają się ustawić zgodnie z kierunkiem i zwrotem tego pola. Wektor pola elektrycznego zmienia zwrot co pół okresu fali promieniowania. Dipole zmieniają więc również ustawienie, podążając za polem. Podczas obrotów uderzają w sąsiadujące z nimi cząsteczki, przekazując im nabytą od promieniowania energię. Te przekazują ją kolejnym i w ten sposób ciepło rozprzestrzenia się w materiale. Mechanizm polaryzacji dipolowej, odpowiada za ogrzewanie jednak tylko substancje, których cząsteczki są dipolami, takie jak woda, metanol, DMF, octan etylu, chloroform, chlorek metylenu, kwas octowy. Substancje takie jak heksan, benzen, eter dietylowy czy czterochlorek węgla nie ogrzewają się pod wpływem promieniowania mikrofalowego.




Drugi mechanizm pochłaniania promieniowania mikrofalowego opiera się na przewodnictwie jonowym. Gdy w materiale znajdują się jony, zaczynają one przemieszczać się zgodnie z kierunkiem pola elektrycznego: dodatnie w jedną, a ujemne w przeciwną stronę. Zderzając się przy tym z innymi cząsteczkami, powodują rozprzestrzenianie się energii cieplnej w materiale.



# Podsumowując

Możemy wyróżnić dwa typy efektów promieniowania elektromagnetycznego na organizmy żywe:

- Efekty termiczne
  - Efekty nietermiczne
- 


# Podsumowując

**Efekty termiczne** wynikające z tego, że podczas ekspozycji organizmu, część energii zostaje pochłonięta i zamieniona na ciepło. Ciepło powstające w tkankach pod wpływem pola elektromagnetycznego wytwarzane jest w dwóch procesach: przepływu nośników ładunku przez ośrodek o pewnym oporze i obrotu dipoli cząsteczkowych w ośrodku lepkim. Energię wydzieloną w pierwszym procesie nazywamy stratami przewodzenia, w drugim stratami dielektrycznymi. Energia pochłonięta w tych procesach zależy od częstotliwości pola, od przewodności właściwej i przenikalności elektrycznej danej tkanki.



# Efekty nietermiczne

???





# Bibliografia

- M. Siemiński, *Fizyka zagrożeń środowiska*, PWN, 1994.
- A. Pilawski, *Podstawy biofizyki*, PZWL, 1985.
- [www.polaelektromagnetyczne.pl/](http://www.polaelektromagnetyczne.pl/)
- *Wikipedia* - ;D