

# ***Rozkład Pól Elektromagnetycznych wokół napowietrznych linii przesyłowych.***

**Dariusz Bober**

Plan:

1. Co to jest pole elektromagnetyczne, źródła pola.
2. Wpływ pól elektromagnetycznych na zdrowie.
3. Polskie normy w zakresie pól elektromagnetycznych na tle norm ogólnościowych.
4. Wybrane wyniki badań osób zajmujących się PEM w konfrontacji z moimi własnymi obserwacjami.
5. Bibliografia.

## **Co to jest pole elektromagnetyczne, źródła pola.**

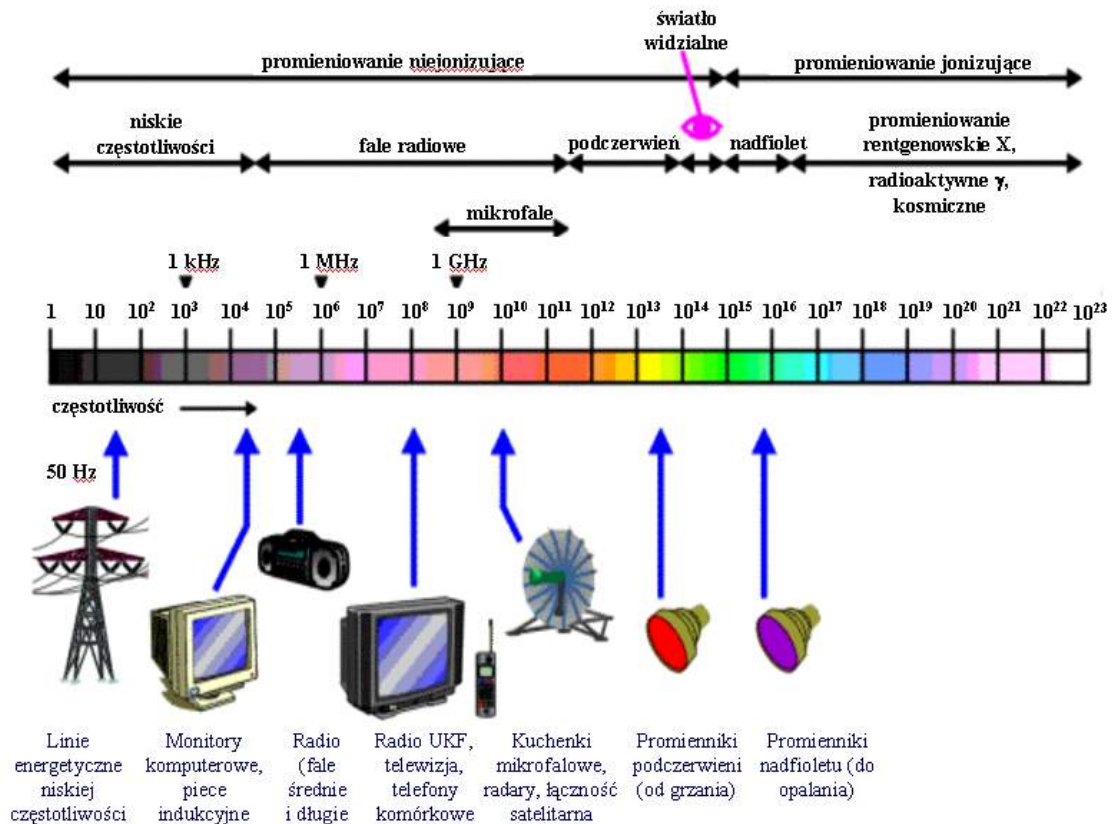
Pole jest stanem przestrzeni, w której istnieje energia, a więc jest jedną z form energii. Promieniowanie elektromagnetyczne pochodzi głównie ze źródeł sztucznych, ale także naturalnych, jak np. promieniowanie słoneczne. Główne źródła pól elektromagnetycznych (PEM), na które człowiek najczęściej jest ekspozycja, 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 wspomagania czynności narządowych), sprzęt przemysłowy, radary, anteny nadawcze radiowe i telewizyjne, ekrany kineskopowe monitorów komputerowych i telewizorów, sprzęt gospodarstwa domowego i telefony komórkowe.

Naturalne pola EM występują w naszej biosferze i we wszystkich żywych istotach. W szczególności przy przesyłaniu informacji w systemach nerwowych u ludzi i zwierząt występują słabe PEM. Doskonale jest znane stałe ziemskie pole *magnetyczne* wykrywane kompasem. Bardzo silne pola *elektryczne* występują podczas burzy. Powstają wtedy udarowe PEM o dużym natężeniu i dużym zakresie częstotliwości. Efektem tych zjawisk są zakłócenia (szumy lub trzaski) zauważalne w odbiorze radiowym i telewizyjnym.

Pola elektromagnetyczne mogą być stałe lub zmienne w czasie. Zmienność pól wyraża się przez liczbę zmian na sekundę, czyli częstotliwość  $f$ , wyrażaną w *hercach* (Hz).

Zakres częstotliwości PEM, istniejących w naszej biosferze, jest bardzo szeroki. Umownie [2] wyróżnia się dwa zakresy, określane jako "promieniowanie jonizujące" i "niejonizujące". Do pierwszego zakresu zalicza się promieniowanie o najwyższych energiach, które może spowodować jonizację cząsteczek materii: rentgenowskie (X), radioaktywne (gamma) i kosmiczne. Do drugiego zakresu należą praktycznie wszystkie pozostałe pola zmienne, które nie mają wystarczająco dużej energii, aby powodować jonizację. Trzeba jednak zaznaczyć, że przy najniższych

częstotliwościach (w szczególności przy 50 Hz) mamy do czynienia z polami *bliskimi*, w których nie występuje zjawisko promieniowania niejonizującego.



Rys. 1. Zakresy częstotliwości pól elektromagnetycznych.

Pole elektromagnetyczne wytwarzane jest praktycznie przez każde urządzenie elektryczne. W zależności od źródła pola (urządzenia elektrycznego) różni się ono częstotliwością i natężeniem. Często występują pola stałe w czasie – pola *elektrostatyczne*. Typowymi źródłami takich pól są kineskopy monitorów komputerowych i telewizorów, które wymagają zasilania wysokim napięciem stałym.

Najczęściej jednak spotykamy się z polami zmiennymi o małej częstotliwości równej 50 Hz, cechującej sieć zasilającą nasze domy i mieszkania. Żyjemy w świecie wypełnionym przez różnego rodzaju pola EM, o bardzo szerokim zakresie częstotliwości, pokazanym na powyższym rysunku. Relatywnie bardzo wąski wycinek częstotliwości zajmuje pasmo fal widzialnych przez człowieka, obejmujące mniej niż jeden rząd wielkości (od  $4,3 \times 10^{14}$  Hz do  $1,3 \times 10^{15}$  Hz) z 24 rzędów znanych w naturze.

Wielkość [4] pola w dowolnym punkcie wyraża się przez natężenie pola. Natężenie  $E$  pola Elektrycznego mierzy się w jednostkach "wolt na metr" (V/m) lub "kilowolt na metr" ( $1 \text{ kV/m} = 1000 \text{ V/m}$ ), a natężenie  $H$  pola  $M$  w jednostkach "amper na metr" (A/m).

Jednostką strumienia magnetycznego jest weber ( $1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ s}$ ). Gęstość linii sił pola magnetycznego, czyli indukcję magnetyczną  $B$ , wyraża się w gausach ( $G$ ) lub teslach ( $T$ ):

$$1 \text{ T} = 10000 \text{ G}, 1 \text{ G} = 0,0001 \text{ T}$$

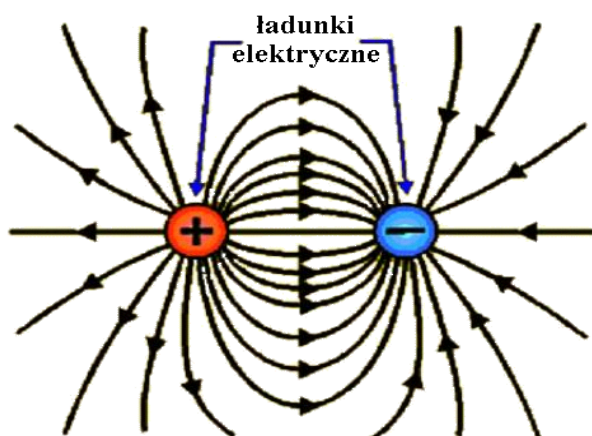
Jedna tysięczna gausa to miligauss ( $1 \text{ mG} = 1/1000 \text{ G}$ ). Jedna tysięczna tesli to militesla ( $1 \text{ mT} = 1/1000 \text{ T}$ ), jedna milionowa tesli to mikrotesla ( $1 \mu\text{T} = 1/1000 \text{ mT}$ ), a jedna miliardowa tesli to nanotesla ( $1 \text{ nT} = 1/1000 \mu\text{T}$ ). Warto zapamiętać że  $1 \text{ mG} = 0,1 \mu\text{T}$ .

Natężenie  $H$  pola magnetycznego  $M$  jest miarą siły pola wytwarzanego przez prąd elektryczny lub magnes stały, i wyraża zdolność do wytworzenia indukcji pola magnetycznego  $B$ . W ośrodku zbliżonym do próżni obowiązuje związek

$$B [T] = 4\pi \times 10^{-7} H [A/m] = 12,566 \times 10^{-7} H [A/m]$$

czyli  $B [\mu\text{T}] = 1,26 H [A/m]$ .

Oznacza to że wtedy  $1 \text{ A/m} = 1,26 \mu\text{T}$  i  $1 \mu\text{T} = 0,796 \text{ A/m}$ .



Rys.2. Rozkład linii pola pomiędzy ładunkami elektrycznymi o przeciwnych biegunach.

## Wpływ pól elektromagnetycznych na zdrowie.

Pola elektromagnetyczne coraz powszechniej występują w naszym środowisku, co wiąże się z ciągłym rozwojem technologii i wykorzystywaniem rozmaitych części pasma elektromagnetycznego. W wyniku tego wzrastają poziomy ekspozycji na pola elektromagnetyczne o wielu częstotliwościach i różnym natężeniu.

Ogólnoświatowe badania [1] wykazały, że:

- Istnieją dowody na to, że pola magnetyczne w środowisku pracy mają działanie rakotwórcze na dorosłych. Wniosek jest oparty na wynikach pięciu badań częstości występowania chronicznej białaczki limfatycznej (badania szwedzkie, kanadyjskie, francuskie i amerykańskie).
- Istnieją dowody na to, że pola magnetyczne w środowisku domowym mają działanie rakotwórcze na dzieci. Dotyczy to głównie białaczki u dzieci. Podstawę wniosku stanowiły trzy dobrze udokumentowane badania skandynawskie: Feychting i Ahlbom (1993), Olsen i inni (1993), Verkasalo i inni (1993). Badaniem objęto

dzieci mieszkające w pobliżu linii wysokiego napięcia, transformatorów i kabli podziemnych. Wykryto następujący wzrost ryzyka wystąpienia białaczki (w stosunku do ryzyka równego 1 dla dzieci nienarażonych):

- Feychting i Ahlbom: 3,8 przy natężeniu pola M powyżej 0,3  $\mu\text{T}$
- Olsen i inni: 6,0 przy natężeniu pola M powyżej 0,4  $\mu\text{T}$
- Verkasalo i inni: 1,6 przy natężeniu pola M powyżej 0,2  $\mu\text{T}$

- Istnieją dowody na to, że pola elektryczne mogą być odczuwalne, oraz na to, że występują efekty neurofizjologiczne i neurochemiczne oddziaływań pól EM.
- Kilka laboratoriów przedstawiło wyniki wskazujące na powstanie wad rozwojowych u embrionów kurzych w rezultacie działania pól magnetycznych.
- Istnieją dowody na to, że pola EM zmieniają poziom hormonu melatoniny u gryzoni.
- Istnieją dowody na to, że impulsowe pola EM korzystnie wpływają na procesy leczenia uszkodzeń kostnych (zabiegi takie wykonuje się już w niektórych szpitalach i sanatoriach w Polsce, m.in. w klinice prof. Aleksandra Sieronia w Śląskiej Akademii Medycznej w Bytomiu).
- Istnieją dowody na to, że krótkoczasowe narażenia ludzi na pola EM powoduje zmiany w rytmie pracy serca, zakłócenia snu oraz obniżenie poziomu hormonu melatoniny.

### **Polskie normy w zakresie pól elektromagnetycznych na tle norm europejskich.**

W Polsce, dla środowiska publicznego (narażenia całodobowe) obowiązuje dokument:

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed promieniowaniem szkodliwym dla ludzi i środowiska, dopuszczalnych poziomów promieniowania, jakie mogą występować w środowisku, oraz wymagań obowiązujących przy wykonywaniu pomiarów kontrolnych promieniowania, Dziennik Ustaw Nr 107, 1998, poz. 676, s. 3809.

Dla środowiska pracy (narażenia 8-godzinne) obowiązuje dokument :

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 17 czerwca 1998 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dziennik Ustaw Nr 79, 1998, poz. 513, s. 296.

Zgodnie z tymi dokumentami, dopuszczalne wartości natężeń pól są następujące:

Tab.1. Dopuszczalne wartości natężeń PEM, wg polskiego prawa:

Rodzaj pola	Środowisko występowania	
	publiczne	Pracy
Natężenie pola magnetycznego 50 Hz:	100 $\mu\text{T}$	500 $\mu\text{T}$
Natężenie pola magnetycznego w zakresie 1 – 100 kHz:	12,5 $\mu\text{T}$	12,5 $\mu\text{T}$
Natężenie pola elektrycznego w zakresie 1 – 100 kHz:	100 V/m	100 V/m

Takie same poziomy graniczne dla pól M 50 Hz przyjęto wcześniej w niektórych innych krajach, w oparciu o zalecenia organizacji międzynarodowej IRPA (**International Radiation Protection Association**), z której w 1992 roku wydzieliła się odrębna organizacja ICNIRP (**International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection** - Międzynarodowa Komisja Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym). Podstawą do ustalenia granicy **100 μT** w środowisku publicznym było wyłącznie założenie o dopuszczalnej wartości prądu, płynącego w ciele człowieka w rezultacie wewnętrznego pola E, indukowanego przez zewnętrzne pole M. Przy gęstości prądu **od 1 do 10 mA/m<sup>2</sup>** obserwuje się znikome efekty biologiczne.

Niemniej jednak szkodliwe efekty pól M o częstotliwości 50 Hz obserwuje się już przy indukcji przekraczającej **0,3 μT**, czyli przy natężeniu ponad 300-krotnie niższym niż poziom graniczny **100 μT**, przyjęty w polskich przepisach i zaleceniach ICNIRP dla środowiska publicznego, nie mówiąc o zawodowym.

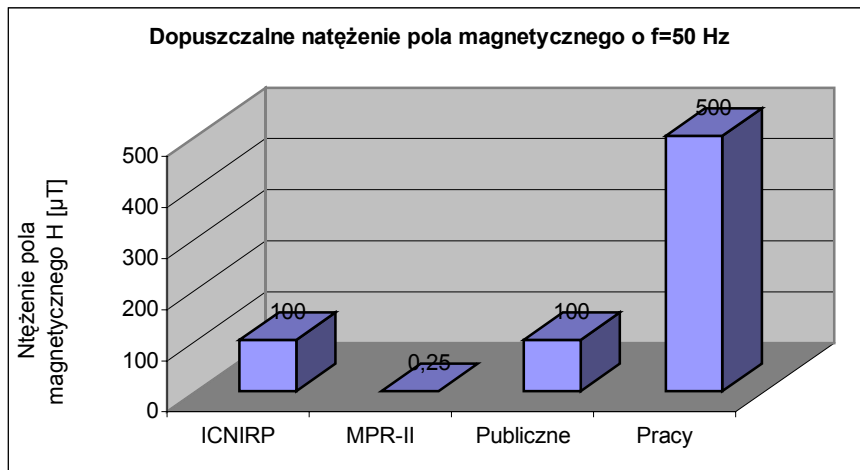
W celu zapewnienia bezpieczeństwa i higieny pracy przy monitorach komputerowych, w 1990 roku szwedzka organizacja SWEDAC opublikowała zalecenia MPR-II, potocznie określane jako "Norma Szwedzka". W odniesieniu do monitorów komputerowych zalecenia dotyczą miejsca w odległości 50 cm od przodu ekranu. Zgodnie z zaleceniami MPR-II wartość indukcji zmiennego pola M nie powinna przekraczać 0,25 μT w zakresie 5 Hz - 2 kHz (a więc również przy 50 Hz), oraz 25 nT w zakresie 2 kHz - 400 kHz.

Zgodnie z cytowanymi wyżej polskimi przepisami, w środowisku mieszkaniowym dopuszcza się maksymalne natężenie pola E o częstotliwości 50 Hz równe 100 V/m. W środowisku pracy dopuszcza się 1 kV/m. Wartości te są takie same jak w zaleceniach ICNIRP i również oparte są na założeniu ograniczenia gęstości prądu w ciele człowieka. Natomiast w zaleceniach szwedzkich MPR-II przyjęto wartość graniczną 25 V/m.

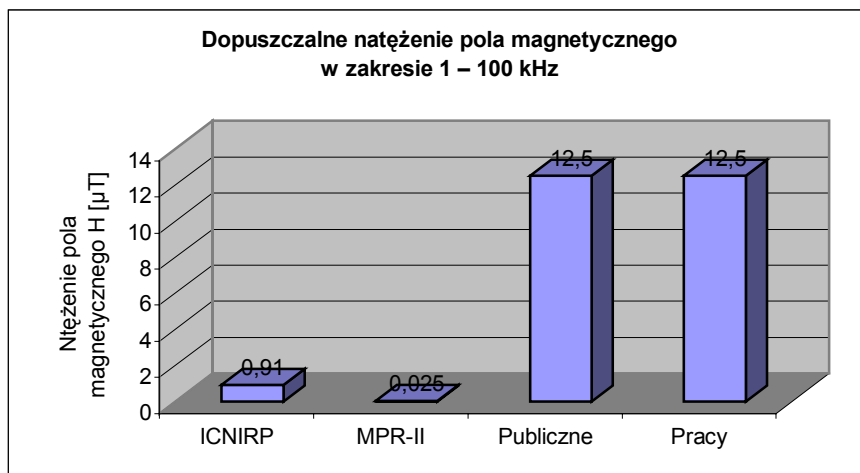
Jeśli chodzi o pola M o częstotliwości z zakresu 1 – 100 kHz (emitowane przez telewizory i monitory komputerowe), to odpowiednie poziomy graniczne są następujące: 12,5 μT (cytowane wyżej przepisy polskie); 0,91 μT (ICNIRP); 0,025 μT (MPR-II).

Tab.2. Dopuszczalne wartości natężeń PEM, wg międzynarodowych organizacji:

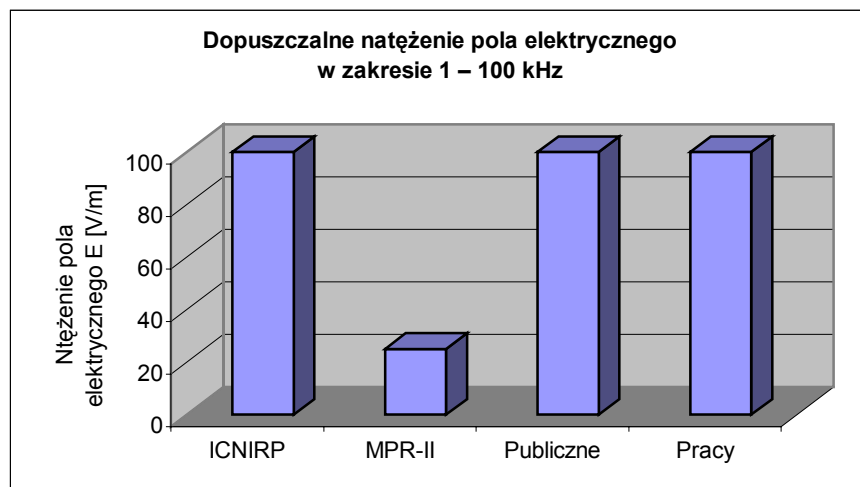
Rodzaj pola	ICNIRP	MPR-II
Natężenie pola magnetycznego 50 Hz:	100 μT	0,25 μT
Natężenie pola magnetycznego w zakresie 1 – 100 kHz:	0,91 μT	0,025 μT
Natężenie pola elektrycznego w zakresie 1 – 100 kHz:	100 V/m	25 V/m



Rys. 3. Dopuszczalne wartości ntężenia pola magnetycznego o częstotliwości źródła  $f=50$ Hz, wg polskiej normy środowiska pracy i środowiska publicznego oraz wg norm ogólnoświatowych.



Rys. 4. Dopuszczalne wartości ntężenia pola magnetycznego o zakresie częstotliwości źródła  $f=1$  do 100 kHz, wg polskiej normy oraz wg norm ogólnoświatowych.



Rys. 5. Dopuszczalne wartości ntężenia pola elektrycznego o zakresie częstotliwości źródła  $f=1$  do 100 kHz, wg polskiej oraz wg norm ogólnoświatowych.

### Wybrane wyniki badań osób zajmujących się PEM w konfrontacji z moimi własnymi obserwacjami.

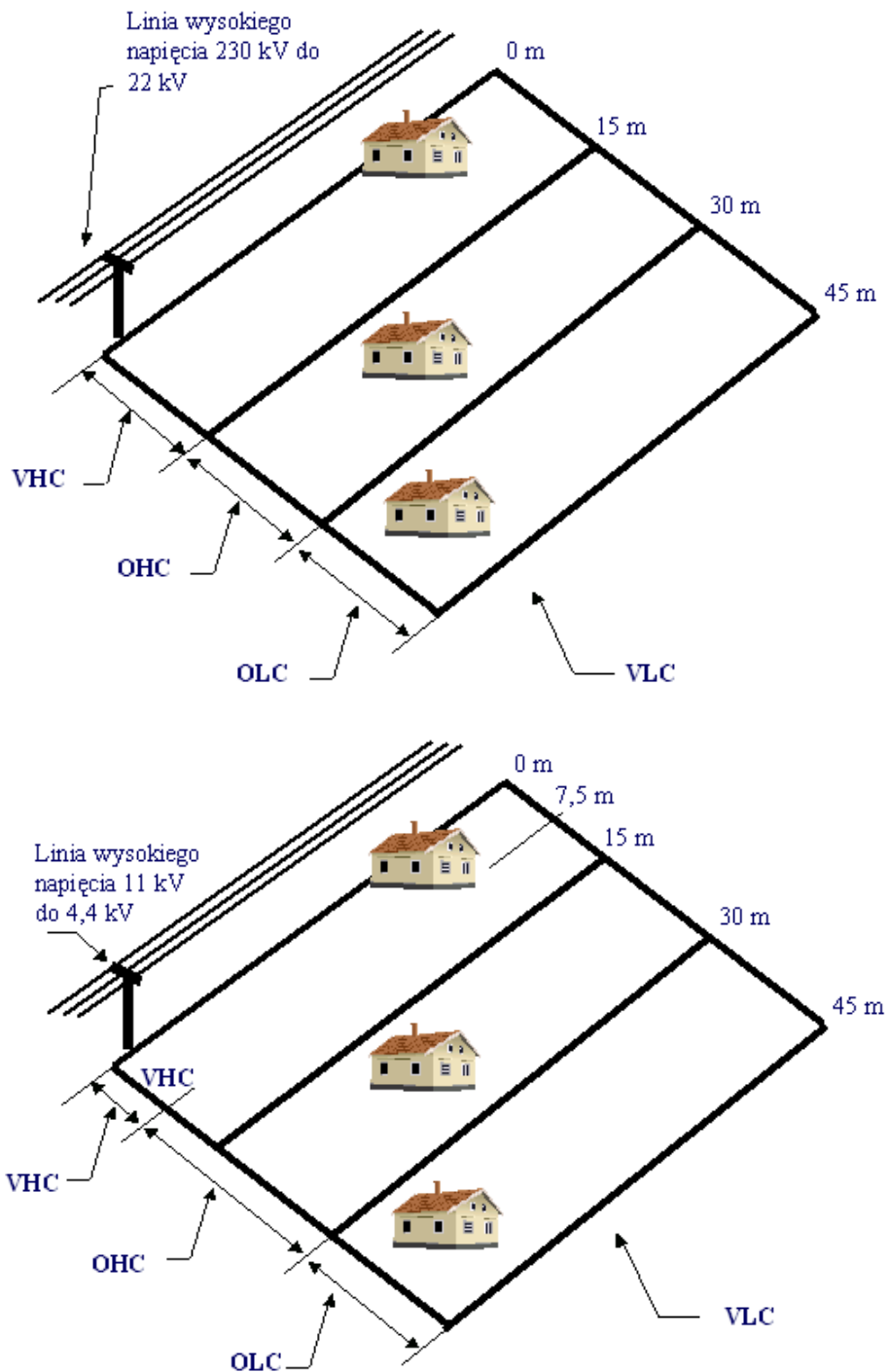
W swej rozprawie doktorskiej [3] dr Roy, na podstawie własnych badań oraz źródeł literaturowych – przedstawia podział na obszary stopnia zagrożeń w zależności od odległości od linii wysokiego napięcia oraz wielkości natężenia płynącego prądu.

Podział ten obejmuje dwa rodzaje linii wysokiego napięcia: I – linie wysokiego napięcia z przedziału 230 kV – 22 kV, II – linie wysokiego napięcia z przedziału 11 kV – 4,4 kV. Wokół obu tych rodzajów linii określono cztery typy pól EM, w zależności od natężenia pola. I tak wyróżnia się: **VHC** – pole o bardzo wysokim natężeniu (ang. **very high current**); **OHC** – zwykłe pole o wysokim natężeniu (ang. **ordinary high current**); **OLC** – zwykłe pole o niskim natężeniu (ang. **ordinary low current**); **VLC** – pole o bardzo niskim natężeniu (ang. **very low current**). Wartości indukcji magnetycznej w poszczególnych typach pól przedstawia poniższa tabelka:

Tab. 3. Zakresy wartości indukcji magnetycznej występujące w poszczególnych typach pól

Typ pola	ang.	Gęstość linii sił pola magnetycznego (indukcja)
VHC	<b>very high current</b>	3 – 30 $\mu$ T
OHC	<b>ordinary high current</b>	0,2 – 3 $\mu$ T
OLC	<b>ordinary low current</b>	0,02 – 0,2 $\mu$ T
VLC	<b>very low current</b>	0,005 – 0,1 $\mu$ T

W z obrazowaniu zakresów występowania poszczególnych typów pól w zależności od odległości od źródła pomocne będą poniższe rysunki:



Rys. 6. Podział na strefy oddziaływań poszczególnych typów pól elektromagnetycznych w funkcji odległości od źródła pola: a) Linii wysokiego napięcia z zakresu 230 kV do 22 kV, b) Linii wysokiego napięcia z zakresu 11 kV do 4,4 kV.

Rysunki te bardzo ładnie obrazują w jakiej odległości od linii wysokiego napięcia winny być stawiane budynki. Widać że najwyższe natężenie pola występuję najbliżej linii (sięgające nawet 30  $\mu$ T na wysokości 1 m nad ziemią, bezpośrednio pod linią), a osiąga wartość tła dopiero w odległości 45 m od linii. Niestety polska rzeczywistość



ma się do tego troszeczkę inaczej. Oto zaobserwowane przeze mnie fragmenty „z życia wzięte”:



Rys. 7. Linia wysokiego napięcia w bezpośrednim sąsiedztwie miejsc pracy i pomieszczeń szkolnych.



Rys. 8. Linia wysokiego napięcia przebiega w zaledwie odległości 6m od jednej z kamienic, oraz ponad dachem drugiej.

Nie ma jak dotąd ostatecznego stwierdzenia, że pole elektromagnetyczne ma katastrofalny wpływ na zdrowie ludzkie. Dopiero przeprowadzenie badań na szeroką skalę pozwoliło by to ostatecznie ocenić. Na razie jednak należy dmuchać na zimne. Niemniej jednak społeczeństwo nie jest tego świadome, czego dowodem jest poniższe zdjęcie wskazujące na bez troską adaptację sąsiedztwa linii wysokiego napięcia.



Rys. 9. Zdjęcie wskazujące jak bardzo duża jest nieświadomość niektórych grup społecznych na zagrożenia płynące z faktu przebywania w bezpośrednim sąsiedztwie linii wysokiego napięcia.

### **Bibliografia:**

- [1] A.S. Presman „Pola elektromagnetyczne a żywa przyroda”, PWN W-wa 1968,
- [2] E.M. Purcell „Elektryczność i Magnetyzm”, PWN W-wa 1974,
- [3] N. K. Roy „Assessment of Magnetic Fields in Human Enviroment”, The University of South Australia 1998,
- [4] „Poradnik Inżyniera Elektryka”, praca zbiorowa, WNT, W-wa 1999,