

## **Problemy techniczne przy wyznaczaniu zajętości terenu przez napowietrzne linie elektroenergetyczne**

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano problemy związane z wyznaczaniem zajętości terenu przez napowietrzne linie elektroenergetyczne. Jest to w tej chwili bardzo istotny problem, który powoduje liczne spory pomiędzy właścicielami terenów a właścicielami linii elektroenergetycznych. Aktualnie przygotowywana jest ustawa o „korytarzach przesyłowych”. Celem artykułu nie jest ocena projektu ustawy, ale przedstawienie różnych problemów, które występują przy próbie wyznaczenia zajętości terenu, mimo istniejących przepisów. W artykule zawarto analizę tych problemów.

**Słowa kluczowe:** linia elektroenergetyczna, pole elektryczne, działki budowlane, działki rolnicze

### **Wprowadzenie**

Napowietrzne linie elektroenergetyczne ze względu na swoją postać przebiegają przez tereny o różnym przeznaczeniu. Linie bezwzględnie zajmują taki teren jak powierzchnia słupa. Choć w zależności od typu i rodzaju słupa wyznaczenie dokładne pola powierzchni takiego obszaru nie jest jednoznaczne. Sprawa jest prosta, gdy mamy do czynienia ze słupem wirowanym lub strunobetonowym. Natomiast w przypadku słupa kratowego lub podwójnego nie jest jasne jak ocenić teren pomiędzy fundamentami.

Sytuacja jest jeszcze bardziej skomplikowana z przewodami linii napowietrznych.

Dla linii o napięciu od 110 kV wzwyż bardzo istotnym kryterium jest natężenie pola elektrycznego i magnetycznego [1,2]. Mimo, że znane są metody obliczeniowe natężeń pól elektrycznych i magnetycznych wokół linii elektroenergetycznych dla różnych konfiguracji przewodów przy uwzględnieniu ukształtowania terenu i obecności różnych obiektów, to i tak istnieją trudne problemy do jednoznacznego rozwiązania.

W różnych aktach normatywnych jest wiele przepisów informujących o dopuszczalnych odległościach przewodów względem ziemi i względem innych obiektów [3, 4, 5, 6, 7]. W zależności od przeznaczenia terenu obowiązują różne dopuszczalne odległości.

### **Dopuszczalne odległości**

Dopuszczalne odległości opisane są w normach [3, 4, 5, 6] i innych przepisach np. [7]. Pierwszym z problemów jest sposób wyznaczania odległości według normy starej już nieobowiązującej [3] i według norm nowych [4, 5, 6]. Nie ulega wątpliwości, że nowe linie należy budować według nowych norm. Natomiast nie jest jasne jak ustalać odległości od starych linii często istniejących już przed wojną. Nawet jak ustali się wielkość odległości, to i tak powstaje problem jak ją zmierzyć w rzeczywistych warunkach. Wiadomo, że często zapewnienie największego bezpieczeństwa polega na braniu pod uwagę najbardziej niesprzyjającej sytuacji, która w rzeczywistości może nigdy nie wystąpić. Według normy [5] podstawowy odstęp izolacyjny dla linii o napięciu 110 kV wynosi

$D_{el} = 0,85$  m. Minimalna odległość pozioma przewodu linii od budynku wynosi  $2 \text{ m} + D_{el} = 2,85$  m, lecz więcej niż 3 m, czyli ponad 3 m.

Są jednak przepisy, które w sposób zakamuflowany wskazują na ograniczenia odległości wokół linii elektroenergetycznych. Są to przepisy środowiskowe dotyczące dopuszczalnych wartości pól elektrycznych i magnetycznych wokół linii elektroenergetycznych, ale od 110 kV wzwyż.

### **Pola elektryczne i magnetyczne**

Dopuszczalne wartości pól elektrycznych i magnetycznych są jednoznacznie zdefiniowane w przepisach środowiskowych [1] i przepisach zawodowych [2]. Jeśli weźmie się pod uwagę przepisy środowiskowe, to budynki mogą być usytuowane w miejscach, gdzie natężenie pola elektrycznego nie przekracza  $1 \text{ kV/m}$ . Natomiast nie jest jasne jak traktować budynki przemysłowe. W budynkach takich obowiązują przepisy zawodowe, które dopuszczają przebywania w polu  $5 \text{ kV/m}$  bez ograniczeń. Natomiast w polu od  $5 \text{ kV/m}$  do  $10 \text{ kV/m}$  można przebywać przez całą zmianę roboczą. Nie jest jasne jak traktować czas pracy dłuższy niż 8 godzin.

Wyznaczanie natężeń pól elektrycznych i magnetycznych też stwarza dużo problemów w rzeczywistych warunkach terenowych, gdzie nawet wyrafinowane metody numeryczne mogą być tylko dobrym narzędziem, ale nie rozwiążą problemu. Można tu wymienić takie okoliczności jak:

- Pole elektryczne i magnetyczne w czasie wiatru (rozkołysanie przewodów),
- Pole elektryczne przy nierównościach terenowych,
- Pole elektryczne wokół drzew i roślin uprawnych,
- Pole elektryczne i magnetyczne wokół linii należących do różnych operatorów (np. równoległe linie 400 kV, 220 kV i 110 kV).

Zagadnienia te poruszane były w publikacjach [8, 9]. Sama procedura pomiarowa zgodnie z [1] nakazująca pomiar natężenia pola elektrycznego na wysokości 2 m nad „powierzchnią ziemi lub nad innymi powierzchniami, na których mogą przebywać ludzie, w szczególności dachami spełniającymi rolę tarasów, tarasami, balkonami, podestami” jest bardzo trudna, jeśli teren jest niezabudowany i nie ma jeszcze planów zabudowy. Obliczenia teoretyczne wykonane dla różnych wysokości nie uwzględniają obecności budynków, a tym bardziej właściwości elektrycznych zastosowanych materiałów, co może mieć wpływ na kształt pola elektrycznego. Problem ten mniej dotyczy pola magnetycznego, które wokół linii elektroenergetycznych jest słabiej zakłócanie przez naturalnie istniejące obiekty.

Jako sytuację wyjściową do analizy przyjęto linie 400 kV, 220 kV i 110 kV prowadzone na słupach stosowanych w Polsce. Najpierw obliczenia zrobione zostały dla układów płaskich prowadzenia przewodów, które powinny wykazywać słabszą zależność natężenia pola elektrycznego od wysokości w danej odległości od osi linii. Następnie zostały przeanalizowane układy z pionową konfiguracją przewodów dla linii 110 kV na słupie B2 typu PL, oraz dla linii dwutorowej na słupie O24. Do obliczeń przyjęto minimalną wysokość zawieszenia przewodów zgodnie z nową normą [5]. Konfiguracje linii przedstawiono w Tabeli 1.

Obliczenia rozkładów pola elektrycznego wokół wszystkich powyższych linii, wskazują, że na wysokości 2 m nad ziemią występują miejsca, gdzie natężenie pola elektrycznego przekracza  $1 \text{ kV/m}$ . Zasięgi tych stref pokazano w tabeli 2. Zapis  $((0,+)$  oznacza w prawo od osi linii, a zapis  $((-,0)$  oznacza w lewo od osi linii. Dla linii 400 kV (Y52), 220 kV (H52), 110 kV (BSW) i 110 kV (O24) rozkład jest symetryczny względem osi linii. Dla linii 110 kV (B2, P) rozkład jest niesymetryczny, ale ta niesymetria jest na tyle mała, że zasięgi stref w obu kierunkach od osi linii są takie same. Natomiast dla linii 110 kV (B2, PL) na słupie leśnym rozkład pola jest prawie symetryczny względem osi

### VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

linii, a względem rzutów pionowych przewodów fazowych na ziemią, z tym, że obecność przewodu odgromowego minimalnie zakłóca symetrię.

Tabela 1. Konfiguracje linii 400 kV, 220 kV i 110 kV

Przewód fazy	Uf [kV]	Wysokość nad ziemią [m]	Odległość od osi linii [m]	Przekrój przewodu [mm <sup>2</sup> ]
Linia 400 kV, stęp Y52, P				
L1	245,5	7,8	-10,3	2×525; 0,4 m
L2	245,5	7,8	0	2×525; 0,4 m
L3	245,5	7,8	10,3	2×525; 0,4 m
L. Odgr. 1	0	13	-8,2	70
L. Odgr. 2	0	13	8,2	70
Linia 220 kV, stęp H52, P				
L1	141,5	6,7	-7,6	525
L2	141,5	6,7	0	525
L3	141,5	6,7	7,6	525
Odgr. 1	0	10,8	-5,6	70
Odgr. 2	0	10,8	5,6	70
Linia 110 kV, słupy BSW 14				
L1	71	5,85	-3,3	120
L2	71	5,85	0	120
L3	71	5,85	3,3	120
L. Odgr. 1	0	8	-1,65	50
L. Odgr. 2	0	8	1,65	50
Linia 110 kV, stęp B2, PL (leśny)				
L1	71	5,85	2,5	240
L2	71	9,75	2,5	240
L3	71	13,65	2,5	240
L. Odgr.	0	16,65	0	70
Linia 110 kV, stęp B2, P				
L1	71	5,85	-2,8	240
L2	71	5,85	3,6	240
L3	71	9,45	2,8	240
L. Odgr.	0	12,45	0,5	70
Linia 110 kV, stęp O24, P				
L1	71	5,85	-3,0	240
L1	71	5,85	3,0	240
L2	71	9,65	-3,8	240
L2	71	9,65	3,8	240
L3	71	13,45	-3,0	240
L3	71	13,45	3,0	240
L. Odgr. 1	0	16,15	-1,8	70
L. Odgr. 2	0	16,15	1,8	70

Tabela 2. Zasięg stref licząc od osi linii, gdzie  $E > 1\text{kV/m}$

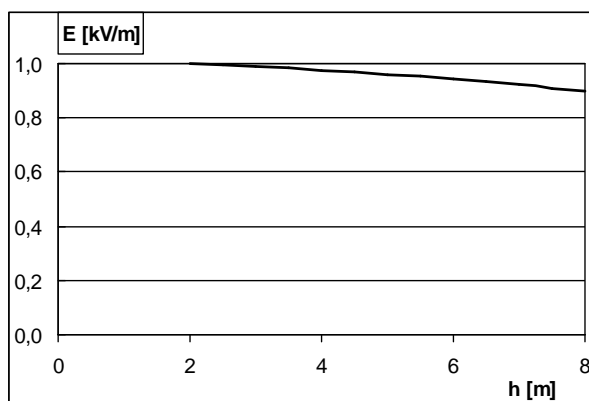
Linia stęp	400 kV Y52	220 kV H52	110 kV BSW	110 kV B2, PL	110 kV B2, P	110 kV O24, P
$E > 1\text{kV/m}$ (0,+)	30 m	19,5 m	9,25 m	7,5 m	9,5 m	8,25 m
$E > 1\text{kV/m}$ (-,0)	-30 m	-19,5 m	-9,25 m	-2,5 m	-9,5 m	-8,25 m

Widać z tabeli nr 2, że biorąc jako kryterium natężenie pola elektrycznego 2 m nad powierzchnią ziemi, można wyznaczyć obszar nienadający się pod zabudowę

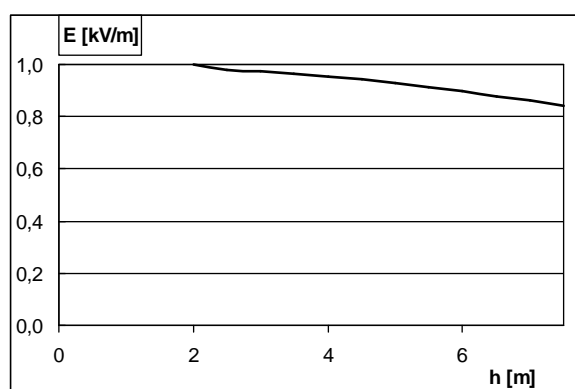
mieszkańcowa. Zgodnie z ust. 35 rozporządzenia [1] „W otoczeniu stacji i linii elektroenergetycznych pomiary pola elektrycznego należy wykonywać: nad powierzchnią ziemi lub nad innymi powierzchniami, na których mogą przebywać ludzie, w szczególności dachami spełniającymi rolę tarasów, tarasami, balkonami, podestami – na wysokości 2 m.”

Na podstawie tego zapisu powstaje wątpliwość, jak wyznaczyć dokładnie obszar spełniający dokładnie wymaganie z rozporządzenia [1].

Przyjmując, że w pobliżu linii może powstać budynek, można wyznaczyć natężenie pola elektrycznego nie tylko na wysokości  $h = 2$  m nad ziemią, ale na wysokościach wyższych. W poniższej analizie jako punkt wyjścia wzięto współrzędną  $x$ , dla której  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m. Następnie obliczono natężenie pola elektrycznego na wysokościach zwiększanych co 0,5 m dla tej samej odległości od osi linii  $x$ . Na rysunku 1 przedstawiono zależność natężenia pola elektrycznego w funkcji  $h$  dla takiego  $x$ , dla którego  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m, dla linii 400 kV na słupie Y52, na rys. 2 dla linii 220 kV 220 kV na słupie H52, na rys. 3 dla linii 110 kV na słupach BSW, na rys. 4 dla linii 110 kV na słupie B2, PL (leśnym), na rys. 5 dla linii 110 kV na słupach B2, P i na rys. 6 dla linii 110 kV na słupach O24.

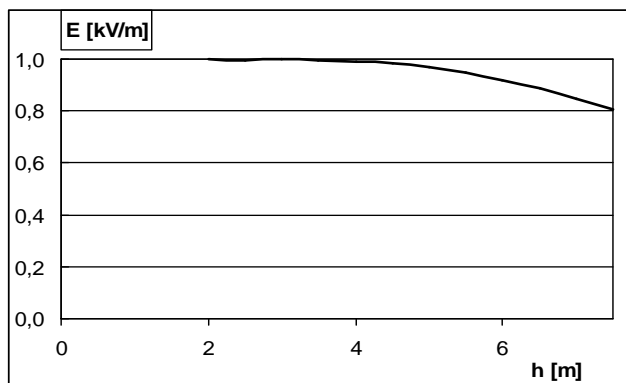


Rys. 1. Zależność natężenia pola elektrycznego w funkcji wysokości  $h$  dla takiego  $x$ , dla którego  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m, dla linii 400 kV na słupie Y52.

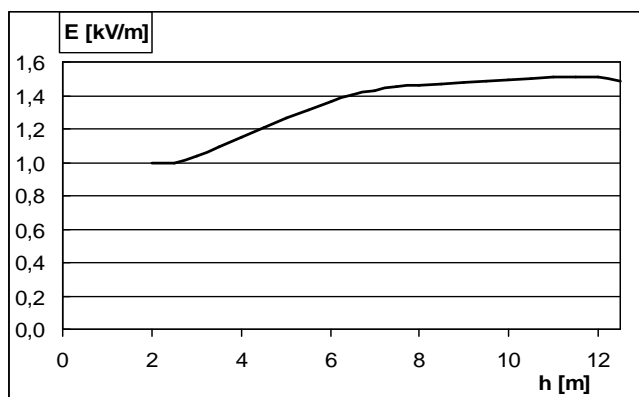


Rys. 2. Zależność natężenia pola elektrycznego w funkcji wysokości  $h$  dla takiego  $x$ , dla którego  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m, dla linii 220 kV na słupie H52.

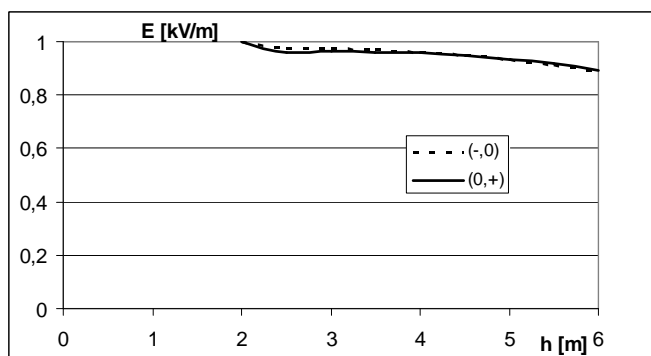
**VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014**



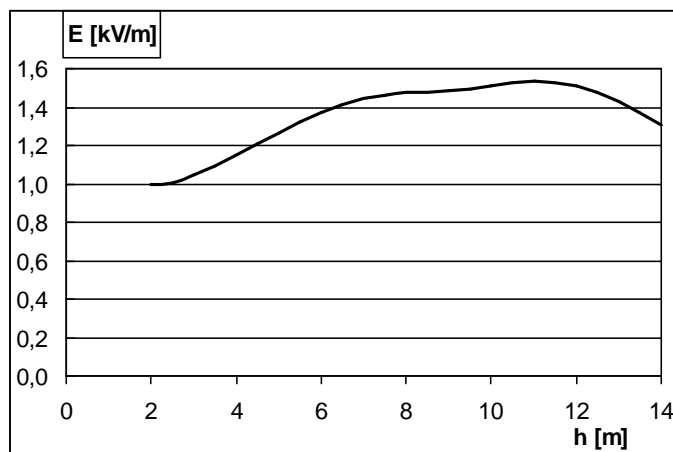
Rys. 3. Zależność natężenia pola elektrycznego w funkcji wysokości  $h$  dla takiego  $x$ , dla którego  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m, dla linii 110 kV na słupach BSW.



Rys. 4. Zależność natężenia pola elektrycznego w funkcji wysokości  $h$  dla takiego  $x$ , dla którego  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m, dla linii 110 kV na słupie B2, PL (leśnym).



Rys. 5. Zależność natężenia pola elektrycznego w funkcji wysokości  $h$  dla takiego  $x$ , dla którego  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m, dla linii 110 kV na słupach B2, P.



Rys. 6. Zależność natężenia pola elektrycznego w funkcji wysokości  $h$  dla takiego  $x$ , dla którego  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m, dla linii 110 kV na słupach O24.

Z powyższych wykresów wynika, że dla linii w układzie płaskim przewodów natężenie pola elektrycznego w odległości  $x$ , dla której  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m, maleje wraz ze wzrostem wysokości. Podobnie jest dla układu trójkątnego na słupie B2.

Natomiast przy pionowym układzie zawieszenia przewodów natężenie pola elektrycznego rośnie wraz z wysokością dla  $x$ , w którym  $E \approx 1$  kV/m dla  $h = 2$  m. Tym samym można przyjąć, że szerokość strefy, dla której  $E > 1$  kV/m rośnie. W tabeli 3 przedstawiono największe odległości od osi linii  $d_{\max}$ , dla których  $E > 1$  kV/m dla linii 110 kV w układzie pionowym przewodów.

Tabela 3. Największe odległości, dla których  $E > 1$  kV/m dla linii 110 kV w układzie pionowym przewodów

Linia słup	110 kV B2, PL	110 kV O24, P
$E \approx 1$ kV/m dla $h = 2$ m	7,5 m	8,25 m
$d_{\max}$	9,0 m, dla $h = 11$ m	10,0 m, $h = 11$ m

Biorąc pod uwagę długość linii i rozmiary działek budowlanych można stwierdzić, że dodatkowo istotna część działki nie nadaje się pod zabudowę.

### Wnioski

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że dokładna analiza pola elektrycznego w celu wyznaczenia obszaru, gdzie natężenie pola elektrycznego nie przekracza 1 kV/m prowadzi do konieczności uwzględnienia dla linii o pionowym układzie przewodów istotnie większego obszaru niż wynikający ze standardowych obliczeń czy pomiarów dla wysokości 2 m nad ziemią.

Przy dokładnym wyznaczaniu terenu nadającego się pod zabudowę powinno się uwzględnić dodatkowo dokładne dane planowanych budynków i ukształtowanie terenu już przygotowanego pod zabudowę. Na etapie uzgodnień teren często jest nieprzystosowany do pomiarów (nierówności gruntu, krzaki, wysoka trawa). Wtedy pozostaje analiza teoretyczna.

Dla analiz teoretycznych istotne są kształty budynków i materiały, z których budynek będzie wykonany i jego dokładne usytuowanie względem linii.

### **VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014**

Innym rozwiązaniem jest wyznaczanie strefy nienadającej się pod zabudowę z wystarczającym zapasem. Prowadzi to jednak do pewnej „nieoszczędności” w gospodarce gruntami.

#### **Literatura**

- [1] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów Dziennik Ustaw RP, nr 192, Warszawa, dnia 14 listopada 2003 r. Poz. 1883.
- [2] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 roku w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DZU Nr 217, 23.12.2002, poz. 1833).
- [3] PN-E-05100-1: Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami gołymi. PKN 31.03 1998.
- [4] PN-EN 50341-1: Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV, Część 1: Wymagania ogólne, Specyfikacje wspólne, sierpień 2005.
- [5] PN-EN 50341-3-22: *Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV*, Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych, luty 2010.
- [6] PN-EN 50423-1, Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV do 45 kV włącznie, Część 1: Wymagania ogólne, marzec 2007.
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych. Dziennik Ustaw Nr 47. 2003.
- [8] Zeńczak M.: Estimation of electric and magnetic field intensities under power transmission lines in real country conditions. Przegląd Elektrotechniczny, R. 84 nr 7/2008, str. 174 – 177.
- [9] Zeńczak M., Małyszko O.: Wyznaczanie natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół linii usytuowanych równolegle. Przegląd Elektrotechniczny, Vol 2013, nr 10./2013, str. 34-36.

---

**Autor:** dr hab. inż. Michał Zeńczak; Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: [michal.zenczak@zut.edu.pl](mailto:michal.zenczak@zut.edu.pl)