

Bezpieczeństwo przebywania i prowadzenia upraw polowych pod napowietrznymi liniami elektroenergetycznymi

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawowe zasady bezpieczeństwa przebywania i pracy w otoczeniu napowietrznych linii elektroenergetycznych o napięciu 110, 220 i 400 kV zlokalizowanych na terenach rolniczych, gdzie użytkowane są różnego rodzaju maszyny, urządzenia i sprzęt niezbędny do prowadzenia upraw polowych. Kwestie dotyczące bezpieczeństwa przeanalizowano głównie w aspekcie wpływu pola magnetycznego wytwarzanego przez przewody linii napowietrznych na ludzi wykonujących prace polowe. Na podstawie pomiarowej identyfikacji czasowej zmienności natężenia pola magnetycznego oszacowano wartości maksymalne, minimalne oraz średnie tej składowej pola w obszarze prowadzenia upraw polowych pod liniami napowietrznymi. Oceniono potencjalne narażenie ludzi wykonujących prace polowe w takich warunkach.

Abstract. The article presents the basic principles of safety of staying and working in the vicinity of overhead power lines with a voltage of 110, 220 and 400 kV located in agricultural areas, where there various types of machinery, equipment and equipment necessary for field crop cultivation are used. Safety issues were analyzed mainly in the aspect of the influence of the magnetic field produced by the overhead lines on people performing fieldwork. Based on the measured time identification of the variability of the magnetic field intensity, the maximum, minimum and average values of this field component in the area of field crop cultivation under the overhead lines were estimated. The potential exposure of people carrying out fieldwork in such conditions was assessed. **Safety of staying and running field crops under overhead power lines**

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, linie napowietrzne, narażenie,

Keywords: electromagnetic fields, overhead power lines, exposure.

Wstęp

Analizując wyniki badań dotyczących wpływu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50/60 Hz (ELF) na środowisko, można spotkać się z wieloma poglądami na temat oddziaływania zarówno składowej elektrycznej, jak i magnetycznej tego pola na organizm człowieka. Pola magnetyczne o bardzo niskiej częstotliwości są określane jako potencjalnie rakotwórcze u ludzi, na podstawie związku epidemiologicznego z białaczką dziecięcą. Istnieje szereg publikacji potwierdzających średnio dwukrotnie większe ryzyko wystąpienia białaczki u dzieci narażonych na pola magnetyczne o wartościach średnich powyżej 0,4 μT [1, 2, 3, 4]. Są także badania, w których nie stwierdzono większego ryzyka białaczki u dzieci mieszkających w odległości do 600 m od napowietrznych linii elektroenergetycznych o napięciach od 132 do 400 kV [5] lub udowodniono, że ryzyko zachorowania na białaczkę u dzieci nie jest związane wyłącznie z samą ekspozycją na pole magnetyczne [6]. Z najnowszych badań wynika, że skumulowane ryzyko względne występowania białaczki u dzieci w wyniku ekspozycji na pole magnetyczne o częstotliwości 50 Hz spadło z poziomu 2,44 dla najbardziej rygorystycznej analizy z roku 1997 do poziomu 1,58 z analizy z roku 2017 [7].

Dowody na powiązania pól magnetycznych z nowotworami u dorosłych (guzy mózgu, czerniaki, rak piersi) są słabsze i niespójne [8,9]. Wyniki najnowszych badań epidemiologicznych, badań na zwierzętach (*in vivo*) oraz na strukturach komórkowych i tkankowych (*in vitro*), określających związek narażenia na pola ELF z chorobami nowotworowymi, zaburzeniami układu nerwowego i zaburzeniami nurobehawioralnymi zawarto w części raportu SCENIHR [4] poświęconej oddziaływaniu na organizmy żywe pól elektromagnetycznych niskiej częstotliwości (ELF). Z przedstawionych w raporcie [4] badań na zwierzętach nie wynika, że pola magnetyczne niskiej częstotliwości mogą powodować nowotwory lub przyspieszać wzrost wszczepionych komórek nowotworowych. Niektóre badania *in vitro* wskazują natomiast, że pola magnetyczne o indukcji większej od 0,1 mT w połączeniu z czynnikami rakotwórczymi mogą dopiero wywołać zarówno genotoksyczne, jak i inne efekty biologiczne.

Powszechność występowania linii napowietrznych

o napięciach 110, 220 i 400 kV, których przewody fazowe są źródłem pola elektromagnetycznego ELF, powoduje, że zainteresowanie tematyką wpływu tego rodzaju pola na zdrowie ludzi systematycznie wzrasta. Interesują się nią nie tylko naukowcy, lecz przede wszystkim społeczności lokalne, których przedstawiciele mieszkają lub pracują w sąsiedztwie linii napowietrznych. Do tej grupy ludzi można zaliczyć między innymi rolników wykonujących prace na polach uprawnych i łąkach, nad którymi przebiegają trasy większości linii napowietrznych. Takie usytuowanie tych obiektów elektroenergetycznych wynika głównie z konieczności omijania terenów zurbanizowanych, zamieszkałych i przeznaczonych pod budownictwo mieszkaniowe oraz terenów cennych przyrodniczo (np. obszarów sieci Natura 2000). Rolnicy wykonujący różne prace polowe przebywają czasami bezpośrednio pod przewodami linii napowietrznych. Czy jest to bezpieczne? Na jakie wartości pola magnetycznego są wtedy narażeni i czy faktycznie pola o takich wartościach mogą wpływać niekorzystnie na ich zdrowie? Próbę odpowiedzi na te pytania zawarto w niniejszym artykule.

Analizując problematykę bezpieczeństwa przebywania i pracy pod liniami napowietrznymi o napięciach 110, 220, 400 kV i w ich bezpośrednim sąsiedztwie należy zwrócić uwagę na zasadniczo różniące się aspekty tego zagadnienia. W artykule uwzględniono głównie dwa aspekty:

1. Bezpieczeństwa ogólnego, polegającego na przestrzeganiu zasad sprecyzowanych w różnego rodzaju dokumentach, w tym przede wszystkim w aktach normatywnych, w celu wyeliminowania możliwości wystąpienia porażenia prądem elektrycznym przy zachowaniu przez osobę przebywającą pod linią lub w jej bezpośrednim sąsiedztwie, elementarnych zasad zdrowego rozsądku.

2. Przebywania i pracy pod liniami napowietrznymi i w ich bezpośrednim sąsiedztwie w takich warunkach, by pole elektromagnetyczne wytwarzane przez przewody fazowe linii nie oddziaływało niekorzystnie na zdrowie ludzi. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska [10] w obszarach dostępnych dla ludności nie mogą zostać przekroczone wartości dopuszczalne, tj. składowa elektryczna pola nie może być większa od 10 kV/m, a składowa magnetyczna nie może przekroczyć wartości 60 A/m.

Najmniejsze dopuszczalne odstępów od przewodów linii zapewniające bezpieczeństwo

Minimalne odległości jakie powinny dzielić elektroenergetyczne linie wysokiego napięcia od obiektów budowlanych zostały sprecyzowane w obecnie obowiązującej normie PN-EN 50341-1:2013-03 [11]. Odległości te wyznaczane są na podstawie napięcia znamionowego linii, zastosowanego przewodu oraz rodzaju obiektu budowlanego, z którym linia się krzyżuje lub zbliża. Dla poszczególnych wartości napięć znamionowych linii określone zostały wartości minimalnego odstępu w powietrzu zapobiegającemu wyładowaniu zupełnemu pomiędzy przewodami fazowymi a obiektem o potencjale ziemi - D_{ei} oraz minimalnego odstępu w powietrzu zapobiegającemu wyładowaniu zupełnemu pomiędzy przewodami fazowymi - D_{pp} . Zalecane wartości D_{ei} i D_{pp} dla poszczególnych napięć podane w tabeli 1 oparte zostały na analizie wartości tej wielkości powszechnie stosowanych w Europie, która, jak zostało wielokrotnie sprawdzone doświadczalnie, jest w pełni wystarczająca do zapewnienia bezpieczeństwa publicznego.

Tabela 1. Minimalne wartości D_{ei} i D_{pp} [11]

Napięcie znamionowe [kV]	Najwyższe napięcie sieci [kV]	D_{ei} [m]	D_{pp} [m]
110	123	1,00	1,15
220	245	1,70	2,00
400	420	2,80	3,20

Ustalenia powyższe oznaczają, że zbliżenie się jakiegokolwiek elementu przewodzącego (ziemia, drzewa, obiekty budowlane, maszyny urządzenia itd.) do przewodu fazowego na odległość większą niż D_{ei} nie może spowodować wyładowania elektrycznego, którego skutkiem byłoby powstanie zagrożenia porażeniowego.

Ten sposób podejścia do zagadnienia, w którym kluczową wielkością stanowiącą o bezpieczeństwie porażeniowym jest D_{ei} , pozwolił autorom normy [11] na ustalenie dopuszczalnych odległości przewodów linii od ziemi, koron drzew, obiektów budowlanych, a także maszyn i urządzeń znajdujących się w zbliżeniu do przewodów linii, bazujących na wielkości D_{ei} . Oznacza to, że scharakteryzowane w normie [11] dopuszczalne (najmniejsze) odległości przewodów linii od wspomnianych elementów ustalone zostały poprzez dodanie do wartości D_{ei} pewnego odstępu dodatkowego (D_{dod}), charakterystycznego dla indywidualnych cech zbliżenia. W konsekwencji podane minimalne odstępów izolacyjne od ziemi, koron drzew, obiektów budowlanych, a także maszyn i urządzeń określone zostały w postaci $D_{ei} + D_{dod}$. W zależności od indywidualnych cech zbliżenia parametr D_{dod} przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 10 m.

Norma [11] wymaga by odległość przewodów od powierzchni ziemi przy maksymalnym ich zwisie (najbardziej niekorzystne warunki pracy linii - najmniejsza z możliwych odległości przewodów od ziemi) była większa niż $D_{ei} + 5$ m. Dla linii o napięciu 110 kV odległość ta nie może być mniejsza od 6 m, dla linii 220 kV nie może być mniejsza od 6,7 m, a dla linii o napięciu 400 kV nie może być mniejsza od 7,8 m. Odległość ta powinna być zachowana dla każdego rodzaju terenu wiejskiego bez zabudowy, w tym terenu rolniczego z polnymi drogami dojazdowymi do upraw. Dotyczy ona terenu niezabudowanego i bez elementów infrastruktury technicznej. Warto zwrócić uwagę, że nie jest odrębnie normowana dopuszczalna odległość przewodów linii od sprzętu rolniczego, w tym z urządzeniami załadunkowymi. Przy jej ustalaniu można skorzystać z minimalnej odległości przewodów od ziemi. Ustalenia wspomnianej normy stanowią, że po terenie

takim mogą poruszać się pojazdy, maszyny i sprzęt rolniczy, którego wysokość nie przekracza 5,0 m. Dotyczy to maszyn rolniczych, takich jak ciągniki, kombajny, przyczepy, naczepy i innego rodzaju sprzęt, także rolniczy, nieposiadający urządzeń załadunkowych.

Zachowanie tych minimalnych odległości zapewni ochronę przed porażeniem w warunkach normalnej, bezawaryjnej pracy linii elektroenergetycznych. Podczas zwarć może dojść do wzrostu potencjału ziemi i wówczas ocena zagrożenia porażeniem w pobliżu słupów linii napowietrznych wymaga obliczenia prądu zwarciovego i wzrostu potencjału ziemi [12].

Pomiarowa identyfikacja czasowej zmienności natężenia pola magnetycznego pod liniami napowietrznymi

Ocena ekspozycji na pola magnetyczne ELF, których źródłem są napowietrzne linie elektroenergetyczne jest ważnym elementem w badaniach epidemiologicznych. Badania takie polegają głównie na znalezieniu związku pomiędzy narażeniem dzieci na pole magnetyczne o częstotliwości sieciowej a ryzykiem wystąpienia białaczki. W celu określenia średniej wartości pola magnetycznego przeprowadzono w różnych krajach pomiary w domach i szkołach zlokalizowanych w różnych odległościach od napowietrznych linii elektroenergetycznych w czasie od 24 do 72 godzin [13,14,15,16] lub wyposażono dzieci w miernik rejestrujący ich ekspozycję na pola magnetyczne w ciągu doby [17]. W innych badaniach wyznaczono średnią roczną wartość natężenia pola magnetycznego w wybranych budynkach w pobliżu linii 220 i 400 kV [18]. Mało jest wyników badań określających ekspozycję dorosłych ludzi nie związanych zawodowo z pracą przy urządzeniach będących źródłami pola elektromagnetycznego. Do takich osób można zaliczyć rolników, wykonujących czasami swoje prace bezpośrednio pod przewodami napowietrznych linii elektroenergetycznych. W celu określenia ekspozycji na pole magnetyczne tej grupy ludności przeprowadzono stosowne pomiary.

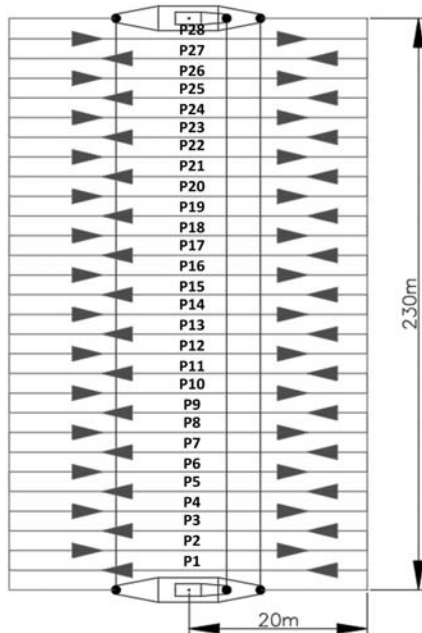
Pomiary pola magnetycznego wykonano w wybranych przęsłach linii napowietrznych o napięciu 110 i 400 kV przebiegających nad polami uprawnymi. Wybrano takie przęsła linii, pod którymi teren był płaski i możliwe było przejście od słupa do słupa (brak cieków wodnych, wysokich krzewów, itp.) oraz najmniejsza odległość przewodów od ziemi wynosiła od 9 do 11 m. Do pomiarów zastosowano miernik indukcji magnetycznej EMDEX II firmy Enertech. Przyrząd ten umożliwiał pomiary pola magnetycznego o częstotliwości 50 Hz w zakresie od 0,01 μ T do 300 μ T z dokładnością +/- 1%. Wbudowana pamięć (512 kB) umożliwiała zapis zarejestrowanych wyników pomiarów z częstością od 1,5 s do 300 s. Podczas badań zdecydowano się na zapis pomiarów w odstępach 1,5 s.

Rolnicy pracujący na polach wykorzystują różne maszyny (ciągniki, kombajny itd.). W celu uśrednienia wysokości, na jakiej znajduje się głowa osoby obsługującej ciągnik lub kombajn przeprowadzono analizę wysokości różnych maszyn rolniczych. Wysokości dachów kabin ciągników wynoszą od 2 m do 2,9 m, a dachów kabin kombajnów od 3,3 do 4,0 m. Przyjęto średnią wysokość umieszczenia głowy osoby w maszynie rolniczej na 2,8 m i na takiej wysokości wykonywano pomiary pola magnetycznego. Poruszano się wzdłuż linii prostopadłych do osi linii napowietrznej od jednego do drugiego słupa w obszarze, w którym pole magnetyczne było większe od 0,2 μ T. Miało to na celu symulację przejazdów maszyny rolniczej wykonującej prace polowe pod linią napowietrzną.

Wyniki pomiarów pola magnetycznego pod linią jednorodną 110 kV

Pomiary wykonano w prześle linii jednorodnej o napięciu 110 kV przebiegającej nad polem uprawnym pomiędzy miejscowościami Głogów i Nielubia. Odległość pomiędzy słupami wynosiła 230 m. Wysokość zawieszenia przewodów od ziemi przy słupie mocnym wynosiła 12 m, natomiast przy słupie przelotowym 17 m. Najmniejsza odległość przewodów od ziemi wynosiła 9 m. Na rysunku 1 przedstawiono sposób wykonywania pomiarów. Poruszano się z prędkością ok 4 km/h wzdłuż przekrojów oznaczonych od P1 do P28 w obszarze ± 20 m od osi linii z miernikiem rejestrującym wartości indukcji magnetycznej. Pomiary zaczęto w okolicy słupa mocnego (przekrój P1) i zakończono pod słupem przelotowym (przekrój P28). W celu określenia wpływu zmiennego obciążenia przewodów linii na wartości mierzonego pola magnetycznego wykonano trzy serie pomiarów w różnych porach dnia:

- pora 1: od 10:00 do 10:25,
- pora 2: od 15:20 do 15:45,
- pora 3: od 19:20 do 19:45.



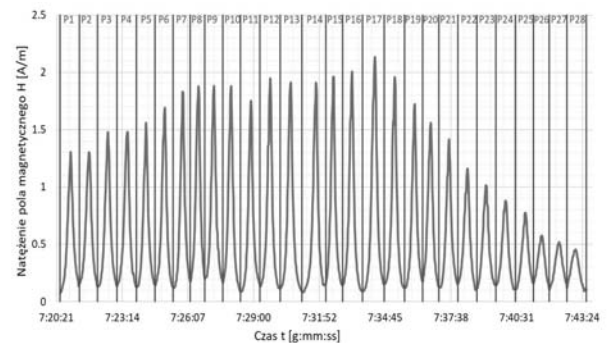
Rys.1. Poglądowy rysunek przedstawiający sposób wykonywania pomiarów pod napowietrzną linią jednorodną 110 kV

W analizowanym prześle linii pole magnetyczne nie przekraczało wartości 0,16 A/m ($0,2 \mu\text{T}$) już w odległości ok. 20 m od osi linii i to niezależnie od przekroju. Obszar ten może być nieco większy lub mniejszy w innych przęsłach linii lub w przypadku zmiany obciążenia przewodów roboczych. Z przeprowadzonych w Kuwejcie pomiarów pola magnetycznego w różnych porach roku w otoczeniu kilku przęseł linii o napięciu 132 kV wynika, że pole to nie przekracza wartości $0,2 \mu\text{T}$ w odległościach od 15 do 32 m od osi linii [19].

Przykładowy wykres obrazujący zmiany natężenia pola magnetycznego w wybranym prześle jednorodnej linii o napięciu 110 kV przedstawiono na rysunku 2. W tabeli 2 zestawiono wartości maksymalne oraz średnie natężenia pola magnetycznego w wybranych przekrojach od P1 do P28 wyznaczone w trzech różnych porach dnia).

Z pomiarów wynika, że niezależnie od pory dnia linia jednorodna 110 kV była jednakowo obciążona, a maksymalną wartości natężenia pola magnetycznego

(2,23 A/m) zarejestrowano w przekroju 17, tam gdzie odległość przewodów od ziemi była najmniejsza. Średnie wartości natężenia pola magnetycznego w poszczególnych przekrojach zależne były od odległości przewodów od ziemi i zmieniały się od 0,26 do 0,78 A/m. Maksymalna średnia wartość natężenia pola magnetycznego w całym badanym obszarze była mniejsza od 0,6 A/m.



Rys.2. Zmiany natężenia pola magnetycznego w prześle jednorodnej linii o napięciu 110 kV wyznaczone w przekrojach od P1 do P28 w porze 3

Tabela 2. Wyniki pomiarów natężenia pola magnetycznego pod jednorodną linią 110 kV w wybranych przekrojach

Prze krój	Pora 1		Pora 2		Pora 3	
	H_{max} [A/m]	H_{sr} [A/m]	H_{max} [A/m]	H_{sr} [A/m]	H_{max} [A/m]	H_{sr} [A/m]
1	1,30	0,52	1,24	0,52	1,30	0,48
3	1,46	0,55	1,48	0,56	1,48	0,58
5	1,64	0,65	1,67	0,60	1,55	0,55
7	1,78	0,72	1,59	0,60	1,83	0,64
9	1,85	0,63	1,82	0,60	1,88	0,69
11	1,91	0,67	1,90	0,61	1,75	0,59
13	1,91	0,62	2,01	0,67	1,91	0,62
15	1,96	0,66	2,14	0,68	1,96	0,66
17	2,18	0,74	2,23	0,70	2,09	0,72
19	1,71	0,61	1,46	0,57	1,72	0,61
21	1,43	0,60	1,27	0,54	1,42	0,57
23	1,18	0,50	0,97	0,46	1,02	0,46
25	0,70	0,37	0,67	0,38	0,78	0,40
27	0,53	0,32	0,52	0,33	0,52	0,32
	Wartość średnia w całym obszarze		Wartość średnia w całym obszarze		Wartość średnia w całym obszarze	
	0,58		0,55		0,56	

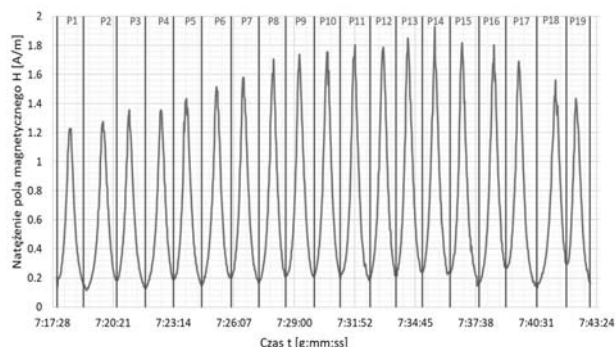
Wyniki pomiarów pola magnetycznego pod linią dwutorową 110 kV

Pomiary wykonano w prześle linii dwutorowej o napięciu 110 kV przebiegającej nad polem uprawnym w miejscowości Głogów. Słupy przelotowe w wybranym prześle oddalone były od siebie o ok. 230 m, a najmniejsza odległość najniższej zawieszonych przewodów od ziemi wynosiła 11 m. Pomiary wykonano w analogiczny sposób jak w przypadku linii jednorodnej, tzn. poruszano się wzdłuż przekrojów oznaczonych od P1 do P19 w obszarze ± 20 m od osi linii z miernikiem rejestrującym wartości indukcji magnetycznej. W celu określenia wpływu zmiennego obciążenia przewodów linii na wartości mierzonego pola magnetycznego wykonano trzy serie pomiarów w różnych porach dnia:

- pora 1: od 9:40 do 10:10,
- pora 2: od 15:10 do 15:40,
- pora 3: od 19:15 do 19:45.

Przykładowy wykres obrazujący zmiany natężenia pola magnetycznego w wybranym prześle dwutorowej linii o napięciu 110 kV przedstawiono na rysunku 3. W tabeli 3 zestawiono wartości maksymalne oraz średnie natężenia pola magnetycznego w poszczególnych przekrojach od P1 do P19 wyznaczone w trzech różnych porach dnia.

Z pomiarów wynika, że dwutorowa linia 110 kV była bardziej obciążona w porze 2 i 3 niż w porze 1. Maksymalna wartość natężenia pola magnetycznego 1,93 A/m została zarejestrowana w porze 3 w przekroju 14, tam gdzie odległość przewodów od ziemi była najmniejsza. Średnie wartości pola magnetycznego w poszczególnych przekrojach zależne były od odległości przewodów od ziemi i zmieniały się od w porze 3 od 0,53 do 0,81 A/m. Maksymalna średnia wartość natężenia pola magnetycznego w całym badanym obszarze była mniejsza od 0,7 A/m.



Rys.3. Zmiany natężenia pola magnetycznego w przęśle dwutorowej linii o napięciu 110 kV wyznaczone w przekrojach od P1 do P19 w porze 3

Tabela 3. Wyniki pomiarów natężenia pola magnetycznego pod dwutorową linią 110 kV w przekrojach od P1 do P19

Prze krój	Pora 1		Pora 2		Pora 3	
	H_{max} [A/m]	H_{sr} [A/m]	H_{max} [A/m]	H_{sr} [A/m]	H_{max} [A/m]	H_{sr} [A/m]
1	0,91	0,37	1,43	0,61	1,22	0,53
2	0,95	0,37	1,51	0,63	1,27	0,56
3	0,97	0,41	1,62	0,67	1,35	0,56
4	1,06	0,41	1,66	0,68	1,35	0,58
5	1,06	0,44	1,70	0,69	1,43	0,61
6	1,21	0,49	1,75	0,69	1,51	0,63
7	1,24	0,50	1,83	0,72	1,58	0,65
8	1,26	0,55	1,83	0,71	1,70	0,69
9	1,24	0,59	1,86	0,73	1,74	0,69
10	1,30	0,58	1,86	0,73	1,75	0,72
11	1,21	0,60	1,90	0,73	1,80	0,72
12	1,21	0,55	1,86	0,71	1,78	0,76
13	1,24	0,51	1,82	0,70	1,85	0,79
14	1,24	0,51	1,90	0,71	1,93	0,81
15	1,13	0,47	1,83	0,70	1,82	0,72
16	1,11	0,48	1,70	0,67	1,80	0,72
17	1,02	0,47	1,61	0,69	1,69	0,67
18	0,92	0,45	1,58	0,62	1,56	0,65
19	0,84	0,43	1,46	0,61	1,43	0,64
	Wartość średnia w całym obszarze	0,48	Wartość średnia w całym obszarze	0,68	Wartość średnia w całym obszarze	0,67

Wyniki pomiarów pola magnetycznego pod linią jednotorową 400 kV

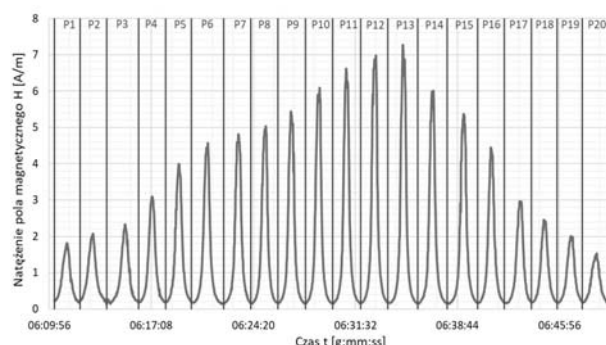
Pomiary wykonano w przęśle linii jednotorowej o napięciu 400 kV przebiegającej nad polem uprawnym między miejscowościami Goślawice i Prężyce. Słupy przelotowe w wybranym przęśle oddalone były od siebie o ok. 450 m, a najmniejsza odległość najniższej zawieszonych przewodów od ziemi wynosiła 9,4 m. Podczas wykonywania pomiarów poruszano się wzdłuż przekrojów oznaczonych od P1 do P20 w obszarze ± 75 m od osi linii z miernikiem rejestrującym wartości indukcji magnetycznej. W celu określenia wpływu zmiennego obciążenia przewodów linii na wartości mierzonego pola magnetycznego wykonano trzy serie pomiarów w różnych porach dnia:

- pora 1: od 10:00 do 10:40,

- pora 2: od 16:30 do 17:10,
- pora 3: od 18:10 do 18:50

W analizowanym przęśle linii pole magnetyczne nie przekraczało wartości 0,16 A/m (0,2 μ T) w odległościach ok. 75 m od osi linii. Jak już wcześniej wspomniano szerokość obszaru, w którym pole magnetyczne będzie przekraczać 0,2 μ T może być większa lub mniejsza. Wyniki pomiarów przedstawione w pracy [19] potwierdzają, że w otoczeniu kilku przęseł linii o napięciu 300 kV pole magnetyczne może być mniejsze od 0,2 μ T w odległościach od 69 do 147 m od osi linii, a maksymalne wartości pola rejestrowane pod przewodami linii mogą się zmieniać od 2,25 μ T do 14,8 μ T.

Wykres obrazujący zmiany natężenia pola magnetycznego w wybranym przęśle jednotorowej linii o napięciu 400 kV przedstawiono na rysunku 4. W tabeli 4 zestawiono wartości maksymalne oraz średnie natężenia pola magnetycznego w poszczególnych przekrojach od P1 do P20 wyznaczone w trzech różnych porach dnia.



Rys.4. Zmiany natężenia pola magnetycznego w przęśle jednotorowej linii o napięciu 400 kV wyznaczone w przekrojach od P1 do P20 w porze 3

Tabela 4. Wyniki pomiarów natężenia pola magnetycznego pod jednotorową linią 400 kV w przekrojach od P1 do P20

Prze krój	Pora 1		Pora 2		Pora 3	
	H_{max} [A/m]	H_{sr} [A/m]	H_{max} [A/m]	H_{sr} [A/m]	H_{max} [A/m]	H_{sr} [A/m]
1	2,20	0,74	1,29	0,56	1,82	0,79
2	2,30	0,83	1,29	0,60	2,01	0,81
3	2,55	0,97	1,98	0,73	2,33	0,83
4	3,62	1,32	2,92	1,09	3,10	1,03
5	3,85	1,32	3,45	1,23	3,99	1,30
6	4,50	1,37	3,86	1,28	4,57	1,33
7	4,76	1,46	4,55	1,37	4,81	1,44
8	5,58	1,60	4,82	1,46	5,03	1,48
9	5,86	1,87	4,87	1,50	5,43	1,61
10	6,07	1,93	5,21	1,53	6,09	1,69
11	6,14	1,86	5,43	1,60	6,62	1,80
12	6,12	1,84	5,54	1,61	6,97	1,89
13	6,28	1,89	5,66	1,62	7,27	1,92
14	5,86	1,79	5,30	1,54	6,01	1,60
15	5,37	1,64	4,28	1,36	5,37	1,51
16	4,55	1,51	4,20	1,26	4,44	1,34
17	3,27	1,19	2,62	0,90	2,97	1,07
18	2,36	0,91	2,22	0,90	2,46	0,90
19	1,91	0,96	1,66	0,69	2,01	0,84
20	1,67	0,77	1,46	0,62	1,53	0,69
	Wartość średnia w całym obszarze	1,38	Wartość średnia w całym obszarze	1,17	Wartość średnia w całym obszarze	1,29

Z pomiarów wynika, że maksymalna wartość natężenia pola magnetycznego 7,27 A/m została zarejestrowana w porze 3 w przekroju 13, tam gdzie odległość przewodów od ziemi była najmniejsza. Średnie wartości pola magnetycznego w poszczególnych przekrojach zależne były od odległości przewodów od ziemi i zmieniały się w

porze 3 od 0,69 do 1,92 A/m. Maksymalna średnia wartość natężenia pola magnetycznego w całym badanym obszarze była mniejsza od 1,4 A/m.

Podsumowanie

1. Prace rolnicze prowadzone na terenach pod napowietrznymi liniami elektroenergetycznymi o napięciu 110, 220 i 400 kV można uznać za bezpieczne przy zachowaniu minimalnych odległości D_{el} sprecyzowanych w normie [11]. Przy zachowaniu tych odległości pomiędzy maszynami rolniczymi a przewodami roboczymi linii nie ma niebezpieczeństwa wystąpienia przeskoków i łuku elektrycznego.
2. Wykorzystanie w pracach rolniczych maszyn o wysokości do 5 m należy uznać za w pełni bezpieczne dla obsługujących (operatorów) pod warunkiem przestrzegania podstawowych przepisów BHP w rolnictwie jak również przestrzegania instrukcji i wytycznych odnośnie bezpiecznego stosowania poszczególnych maszyn i urządzeń przeznaczonych do pracy na polach uprawnych, łąkach czy sadach. W przypadku chęci zastosowania konstrukcji maszyn lub urządzeń o znacznych zasięgach roboczych lub/i dużych zasięgach emisji strugi cieczy - dla każdego przypadku należy dokonać oceny ryzyka, indywidualnie biorąc pod uwagę jego specyfikę i występujące zagrożenia.
3. Czas wykonywania prac polowych pod napowietrznymi liniami elektroenergetycznymi zależy od użytego sprzętu oraz od czynności, jakie rolnik wykonuje. Podczas pracy takiej jak orka, osoba w maszynie rolniczej może poruszać się wzdłuż linii P (rys.1) co ok. 3 m, a podczas opryskiwania nawet co 20 m. Zakładając, że maszyna rolnicza porusza się ze średnią prędkością ok. 10 km/h to w przypadku prac polowych wykonywanych pod przewodami linii 110 kV w przęśle o średniej rozpiętości 200 m, rolnik będzie narażony przez czas ok.16 min podczas orki i 4 min podczas oprysków na średnie pole magnetyczne ok.0,7 A/m. W przypadku prac wykonywanych pod przewodami linii napowietrznej 400 kV w przęśle o średniej rozpiętości 400 m, rolnik będzie narażony przez czas ok.105 min podczas orki i 18 min podczas oprysków na średnie pole magnetyczne ok.1,4 A/m.
4. Zaprezentowane wyniki pomiarów świadczą o niewielkiej ekspozycji na pole magnetyczne rolników wykonujących swoje prace pod napowietrznymi liniami elektroenergetycznymi. Wartości maksymalne oraz średnie pola magnetycznego, na jakie mogą być narażone osoby przebywające pod przewodami o napięciu 110 czy 400 kV są wielokrotnie mniejsze od wartości dopuszczalnej w środowisku 60 A/m.

Autor: dr inż. Marek Jaworski, Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: marek.jaworski@pwr.edu.pl

LITERATURA

- [1] Feizi A.A., Arabi M.A., Acute childhood leukemias and exposure to magnetic fields generated by high voltage overhead power lines - a risk factor in Iran. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, Jan-Mar 8(1) (2007), 69-72
- [2] Kheifets L., Ahlbom A., Crespi C.M., Draper G. et al, Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer*, Sep. 28 (2010) vol.103(7), 1128-1135
- [3] Kroll M.E., Swanson J., Vincent T.J., Draper G.J., Childhood cancer and magnetic fields from high-voltage power

- lines in England and Wales: a case-control study. *British Journal of Cancer*, Sep. 28 (2010), vol.103(7), 1122-1127
- [4] SCENIHR Raport Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), January (2015)
- [5] Pedersen C., Raaschou-Nielsen O., Rod N.H., Frei P., Poulsen A.H., Johansen C., Schüz J., Distance from residence to power line and risk of childhood leukemia: a population-based case-control study in Denmark. *Cancer Causes Control*. Feb. (2014), 25(2),171-177
- [6] Crespi C.M., Swanson J., Vergara X.P., Kheifets L., Childhood leukemia risk in the California Power Line Study: Magnetic fields versus distance from power lines. *Environmental Research*, Apr. (2019),171,530-535
- [7] Swanson J., Kheifets L., Vergara X., Changes over time in the reported risk for childhood leukaemia and magnetic fields. *Journal of Radiological Protection*, Feb. 8 (2019), vol.39 (2),470-488
- [8] Chen C., Ma X., Zhong M., Yu Z., Extremely low-frequency electromagnetic fields exposure and female breast cancer risk: a meta-analysis based on 24,338 cases and 60,628 controls. *Breast Cancer Research and Treatment*, Sep. (2010), vol.123(2), 569-576
- [9] Elliott P., Shaddick G., Douglass M., de Hoogh K., Briggs D.J., Toledano M.B., Adult cancers near high-voltage overhead power lines. *Epidemiology*, Mar. (2013), vol.24(2),184-190
- [10] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. Dz.U. 2003, poz. 1883.
- [11] PN-EN 50341-1:2013-03 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 1: Wymagania ogólne, Specyfikacje wspólne
- [12] Klucznik J., Czapp S., Computer-aided calculations of earth potential rise in high voltage overhead lines, *International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, Zilina, Slovakia, 2015, 139-144,
- [13] Schüz J., Grigat J.P., Störmer B., Rippin G., Brinkmann K., Michaelis J., Extremely low frequency magnetic fields in residences in Germany. Distribution of measurements, comparison of two methods for assessing exposure, and predictors for the occurrence of magnetic fields above background level. *Radiation and Environmental Biophysics*, Dec (2000), vol.39(4),233-240.
- [14] Bessou J., Deschamps F., Figueroa L., Cougnaud D., Methods used to estimate residential exposure to 50 Hz magnetic fields from overhead power lines in an epidemiological study in France, *Journal of Radiological Protection*, Jun. (2013), vol.33(2):349-365
- [15] Struchen B., Liorni I., Parazzini M., Gängler S., Ravazzani P., Rössli M., Analysis of personal and bedroom exposure to ELF-MFs in children in Italy and Switzerland. *Journal of Exposure Science Environmental Epidemiology*, Nov. (2016) vol. 26(6):586-596
- [16] Li C.Y., Sung F.C., Chen F.L., Lee P.C., Silva M., Mezei G., Extremely-low-frequency magnetic field exposure of children at schools near high voltage transmission lines. *The Science of the Total Environment*, Apr.15 (2007), vol.376(1-3),151-159
- [17] Magne I., Souques M., Bureau I., Duburcq A., Remy E., Lambrozo J., Exposure of children to extremely low frequency magnetic fields in France: Results of the EXPERS study, *Journal of Exposure Science Environmental Epidemiology*, Sep. (2017), vol.27(5),505-512
- [18] Jaworski M., Szuba M., Grycan W., Averaged magnetic field intensity in the vicinity of overhead high voltage lines. *2018 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE) Poland*, June 18-22, 2018. Danvers, MA : IEEE, cop. 2018. s. 1-6.
- [19] Al-Bassam E., Elumalai A., Khan A., Al-Awadi L. Assessment of electromagnetic field levels from surrounding high-tension overhead power lines for proposed land use. *Environmental Monitoring and Assessment*, May (2016) vol. 188(5),31