

Marek Szuba

SPRAWOZDANIA Z POMIARÓW I BADAŃ PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH WYTWARZANYCH PRZEZ OBIEKTY ELEKTROENERGETYCZNE DLA CELÓW OCHRONY ŚRODOWISKA W OCENIE WYKONAWCÓW I INWESTORÓW

EVALUATION OF REPORTS ON ENVIRONMENTAL MEASUREMENTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS GENERATED BY HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINES AND SUBSTATIONS

Zakład Elektroenergetyki Przemysłowej

Instytut Energoelektryki I-8, Politechnika Wrocławska

STRESZCZENIE

W artykule przywołano przypadki, w których zgodnie z decyzją właściwego organu konieczne może stać się wykonanie pomiarów pola elektromagnetycznego dla celów ochrony środowiska. Wskazano przy tym, że zakres pomiarów może być różny, ale w każdym przypadku za niezbędne należy uznać zidentyfikowanie maksymalnych wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, a w przypadku linii napowietrznych — zasięgu obszaru, w którym natężenie pola elektrycznego przekracza 1 kV/m. W artykule scharakteryzowano podstawowe wymagania dotyczące metodyki wykonywania pomiarów, które stanowią rozszerzenie zapisów zawartych w obowiązujących w tym zakresie przepisach. Wyszczególniono miejsca, w których wykonanie takich pomiarów należy uznać za niezbędne. Szczególną uwagę zwrócono na trudności w identyfikacji rozkładu składowej magnetycznej pola wytwarzanego przez linie napowietrzne wysokiego napięcia i wskazano, że niezbędnym uzupełnieniem wyników pomiarów powinna być analiza obliczeniowa rozkładu pola. Zaproponowano zawartość sprawozdania z pomiarów pól elektromagnetycznych 50 Hz dla celów ochrony środowiska, które powinno zawierać nie tylko tabelaryczne zestawienia wyników pomiarów i obliczeń, lecz także graficzną ilustrację rozkładu poszczególnych składowych pola. Med. Pr. 2007;58(2):169–175

Słowa kluczowe: pola elektromagnetyczne, linie i stacje elektroenergetyczne, pomiary pól, sprawozdanie z pomiarów

ABSTRACT

This paper presents some situations, in which measurements of electromagnetic fields generated by transmission lines and substations should be performed. The range of measurements may differ, but maximum values of electric and magnetic fields and flux density must be identified in all situations. The area with electric field exceeding 1 kV/m should be identified as well. The author also presents basic requirements to be met by the measurement technique. These requirements are specified according to the national standard. Special attention should be paid to the identification of the spatial distribution of electric field and flux density generated in the vicinity of high voltage transmission lines. To verify the measurement results, it is necessary to calculate the distribution of both aforesaid field components. For environmental protection purposes, it is also proposed that the report should include measurements of electromagnetic fields of 50 Hz along with calculated results presented in tables and diagrams. Med Pr 2007;58(2):169–75

Key words: electromagnetic fields, overhead high voltage lines and substations, field measurements, environmental report

Adres autora: Wyrbrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: marek.szuba@pwr.wroc.pl

Nadesłano: 19.02.2007

Zatwierdzono: 21.03.2007

WSTĘP

Jednym z istotnych elementów kontroli stanu środowiska jest sprawdzanie przestrzegania standardów jego jakości. W odniesieniu do pola elektromagnetycznego ochrona przed jego oddziaływaniem polega — zgodnie z zapisami zawartymi w art. 121. Ustawy Prawo ochrony środowiska (1) — na zapewnieniu jak najlepszego stanu środowiska poprzez:

- utrzymanie poziomów pól elektromagnetycznych poniżej dopuszczalnych lub co najmniej na tych poziomach,
- zmniejszanie poziomów pól elektromagnetycznych co najmniej do dopuszczalnych, gdy nie są one dotrzymane.

Realizując delegację zawartą w art. 122. wspomnianej ustawy, Minister Środowiska w dniu 30 października 2003 r. wydał Rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (2). Kontrola przestrzegania poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku odbywa się najczęściej metodami pomiarowymi, chociaż w wielu przypadkach wyniki pomiarów powinny być weryfikowane metodami obliczeniowymi.

Pola elektromagnetyczne wytwarzane przez obiekty elektroenergetyczne to przede wszystkim pola o częstotliwości 50 Hz, zaliczane do tzw. pól wolnozmiennych

(quasistacjonarnych). W przypadku tego rodzaju pól ich identyfikacja sprowadza się do wyznaczenia składowej elektrycznej (E) oraz składowej magnetycznej (H), które są wzajemnie od siebie niezależne.

Mimo że zarówno identyfikacja pomiarowa, jak i analityczna każdej ze składowych pola elektromagnetycznego 50 Hz nie jest tak skomplikowana, jak pól o częstotliwościach wyższych, gdzie w wielu przypadkach trudno jest mówić o wzajemnej niezależności poszczególnych składowych, to warto zwrócić uwagę na szereg kwestii dyskusyjnych, a czasami spornych, dotyczących sposobów przeprowadzania pomiarów i oceny ich wyników.

POLA ELEKTROMAGNETYCZNE WYTWARZANE PRZEZ LINIE I STACJE ELEKTROENERGETYCZNE — WYMAGANIA DOTYCZĄCE KONIECZNOŚCI PRZEPROWADZANIA POMIARÓW

Najczęściej pomiary pól elektromagnetycznych przeprowadzane są na etapie przekazywania inwestycji (instalacji) do użytkowania. Wymóg przeprowadzania takich pomiarów wynika przede wszystkim z zapisów zawartych w art. 122a. Ustawy Prawo ochrony środowiska w brzmieniu: „[...] Prowadzący instalację oraz użytkownik urządzenia emitującego pola elektromagnetyczne, które są przedsięwzięciami mogącymi znacząco oddziaływać na środowisko, są obowiązani do wykonania pomiarów poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku:

- 1) bezpośrednio po rozpoczęciu użytkowania instalacji lub urządzenia,
- 2) każdorazowo w przypadku zmiany warunków pracy instalacji lub urządzenia, w tym zmiany spowodowanej zmianami w wyposażeniu instalacji lub urządzenia, o ile zmiany te mogą mieć wpływ na zmianę poziomów pól elektromagnetycznych, których źródłem jest instalacja lub urządzenie [...]”.

Dla obiektów budowlanych wymagających pozwolenia na użytkowanie wymóg wykonania pomiarów pól elektromagnetycznych może wynikać także z zapisów zawartych w pozwoleniu na budowę. W takiej sytuacji — zgodnie z zapisami zawartymi w art. 57. Ustawy Prawo budowlane (3) — do wniosku o wydanie decyzji o pozwoleniu na użytkowanie inwestor jest zobowiązany dołączyć protokoły z badań i sprawdzeń.

Pomiary pól elektromagnetycznych wykonywane są także na potrzeby sporządzania innych dokumentów, wymaganych w niektórych przypadkach ustaleniami stosownych przepisów. Do dokumentów takich, wyma-

ganych w uzasadnionych przypadkach, zapisami Ustawy Prawo Ochrony Środowiska (1) należy zaliczyć:

- analizę porealizacyjną, o której mowa w art. 56., ust. 4., pkt 2. ustawy (1);
- przegląd ekologiczny, o którym mowa w art. 238. ww. ustawy (1).

Niekiedy konieczność wykonania pomiarów pól elektromagnetycznych ujawnia się także na etapie sporządzania raportu oddziaływania na środowisko. Dotyczy to sytuacji, w której raport oddziaływania na środowisko przygotowany jest dla przedsięwzięcia polegającego na rozbudowie, przebudowie, a przede wszystkim modernizacji stacji lub linii elektroenergetycznej. Konieczność wykonania pomiarów pola elektromagnetycznego w sąsiedztwie modernizowanego (przebudowywanego) obiektu elektroenergetycznego stanowi wypełnienie wymagań art. 52. ustawy (1) dotyczących zakresu raportu. W większości przypadków sens przeprowadzania tego rodzaju pomiarów jest dość dyskusyjny, gdyż ich wyniki mogą jedynie stanowić pewną informację o tzw. tle elektromagnetycznym. Na podstawie wyników takich pomiarów nie można bowiem prognozować rozkładów pola elektromagnetycznego po zakończeniu modernizacji czy rozbudowy określonego obiektu. Pozwalają one natomiast porównać stan środowiska w zakresie występowania pól elektromagnetycznych przed modernizacją (przebudową) obiektu oraz po jej zakończeniu. Wymagania odnośnie do tego rodzaju pomiarów stawiane są najczęściej przez właściwe organy na etapie ustalania zakresu raportu oddziaływania na środowisko i dotyczą głównie pomiarów wykonywanych przed planowaną rozbudową obiektów radiokomunikacyjnych (np. stacji bazowych).

POLA ELEKTROMAGNETYCZNE WYTWARZANE PRZEZ LINIE I STACJE ELEKTROENERGETYCZNE — WYMAGANIA DOTYCZĄCE SPOSOBU PRZEPROWADZANIA POMIARÓW

Jak już wspomniano, dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposoby sprawdzania dotrzymania tych poziomów określone zostały w rozporządzeniu Ministra Środowiska (2). Poza sprecyzowaniem wartości dopuszczalnych obu składowych pola elektromagnetycznego 50 Hz — elektrycznej (E) i magnetycznej (H) — wspomniany akt prawny określa metody sprawdzania poziomów pól w środowisku. Spośród wymagań ogólnych dotyczących sposobu przeprowadzania pomiarów, niewiążących się z określonym

zakresem częstotliwości mierzonego pola, należy wymienić następujące zasady:

1. Pomiary pól elektromagnetycznych należy wykonywać przy dobrej pogodzie, w temperaturze nie niższej niż 0°C, przy wilgotności względnej nie większej niż 75%, bez opadów atmosferycznych.
2. Pomiary przeprowadza się w szczególności w tych miejscach, w których na podstawie uprzednio przeprowadzonych obliczeń stwierdzono występowanie pól elektromagnetycznych o poziomach zbliżonych do poziomów dopuszczalnych.
3. Przy pomiarach pól elektromagnetycznych uwzględnia się poprawki pomiarowe umożliwiające uwzględnienie parametrów pracy instalacji wytwarzających te pola, najbardziej niekorzystnych z punktu widzenia oddziaływania na środowisko.

O ile dwie pierwsze zasady nie budzą wątpliwości, o tyle wymóg związany z koniecznością uwzględniania poprawek pomiarowych nastrocza wiele wątpliwości interpretacyjnych, także w przypadku wykonywania pomiarów w sąsiedztwie linii i stacji elektroenergetycznych.

Wymagania szczegółowe dotyczące przeprowadzania pomiarów w sąsiedztwie linii i stacji elektroenergetycznych sprecyzowano w pkt 33–36, w załączniku do wspomnianego rozporządzenia (2). Precyzują one, że:

- pomiary poziomów pól elektromagnetycznych w otoczeniu stacji i linii elektroenergetycznych wykonuje się, jeżeli ich napięcie znamionowe jest równe bądź wyższe niż 110 kV;
- w otoczeniu stacji elektroenergetycznych pomiary pól elektromagnetycznych przeprowadza się poza ogrodzonym terenem stacji, w odległościach nie mniejszych niż połowa wysokości ogrodzenia stacji, przy czym każdą linię elektroenergetyczną wchodzącą na teren stacji elektroenergetycznej lub z niej wychodzącą należy traktować jako odrębną, a pomiarów składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz w otoczeniu wewnętrznych stacji elektroenergetycznych oraz podziemnych elektroenergetycznych linii kablowych się nie wykonuje;
- 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;
 - w pobliżu obiektów budowlanych, w odległości nie mniejszej niż 1,6 m od ścian tych obiektów,

ze względu na zakłócający wpływ przewodzących ścian, na wskazania przyrządów;

- pomiary pola magnetycznego w otoczeniu stacji i linii elektroenergetycznych należy wykonywać w pionach pomiarowych na wysokościach od 0,3 m do 2 m nad powierzchnią ziemi lub nad innymi powierzchniami, na których mogą przebywać ludzie, zwłaszcza dachami spełniającymi rolę tarasów, tarasami, balkonami, podestami; podczas pomiarów przyrządowi pomiarowemu należy nadać takie położenie w stosunku do stacji i linii elektroenergetycznych, aby wskazywał on maksymalne wartości wielkości mierzonej w danym punkcie pomiarowym.

Wymagania powyższe wydają się dość oczywiste i wynikają zarówno z wieloletniej praktyki pomiarowej, jak i cech metrologicznych większości przyrządów pomiarowych.

PROBLEMY WYKONYWANIA POMIARÓW PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH 50 HZ I OCENY ICH WYNIKÓW

Pomiary pola w otoczeniu stacji elektroenergetycznych
Wieloletnie doświadczenia wskazują, że w otoczeniu stacji elektroenergetycznych — poza ich ogrodzeniem — przekroczenia poziomów dopuszczalnych poszczególnych składowych pola można spodziewać się jedynie w okolicy linii napowietrznych o napięciach nie mniejszych niż 110 kV wprowadzanych na teren stacji (wprowadzenia liniowe). Zarówno oszynowanie, jak i aparatura stacyjna ze względu na znaczną odległość od ogrodzenia stacji, konieczną do zapewnienia dostatecznych odstępów elektroizacyjnych, są źródłem pól o bardzo niewielkich wartościach, często niedających się zmierzyć najbardziej rozpowszechnionymi miernikami. W takiej sytuacji, zdaniem inwestorów realizujących stacje elektroenergetyczne, pomiary pola powinny być wykonywane wyłącznie w sąsiedztwie linii wprowadzanych na teren stacji. Praktyka taka utrwaliła się przez wiele lat, a poszerzona o oficjalne stanowisko Ministerstwa Środowiska* informujące, że w przypadku stacji elektroenergetycznych pomiary pola należy wykonywać w obszarze do pierwszej konstrukcji wsporczej (słupa linii) zlokalizowanej poza jej ogrodzeniem, nie jest praktycznie kwestionowana przez organy analizujące sprawozdania z pomiarów.

* Interpretacja ta została wydana przez Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa.

Pomiary pola w otoczeniu napowietrznych linii elektroenergetycznych

Przystępując do pomiarów pola elektromagnetycznego na liniach oddawanych do eksploatacji, w pierwszym rzędzie należy ustalić miejsca, w których pomiary takie będą przeprowadzane. Zadanie to nie jest łatwe, wzięszy pod uwagę, że długość niektórych linii przekracza kilkadziesiąt kilometrów. Wydaje się oczywiste, że wykonywanie pomiarów w każdym z przęseł nie ma żadnego uzasadnienia, a ponadto jest bardzo kosztowne. Zapisy zawarte we wspomnianym rozporządzeniu Ministra Środowiska (2) nie dają w zasadzie żadnych wskazówek odnośnie do miejsc wykonywania pomiarów, z wyjątkiem zapisu, w którym stwierdza się, że pomiary 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.

Wybór miejsc pomiarów pola wzdłuż linii napowietrznej podpowiada wieloletnia praktyka pomiarowa. Doświadczenie wskazuje, że pomiary pola elektromagnetycznego należy wykonywać:

- w przekrojach prostopadłych do osi linii napowietrznej, w których zlokalizowane są budynki mieszkalne lub inne obiekty budowlane, które uznać można za miejsca dostępne dla ludzi;
- w miejscach przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową, znajdujących się w sąsiedztwie linii, gdzie obliczenia wskazują na możliwość przekroczenia dopuszczalnej wartości natężenia pola elektrycznego (1 kV/m);
- w przekrojach wyznaczonych w przęsłach linii, wykonanych z użyciem słupów określonej serii i typu*, przy czym przekroje należy sytuować w miejscach, w których zwis linii jest największy.

Ten sposób wyboru miejsc i przekrojów pomiarowych skutkuje tym, że zidentyfikowane zostaną:

- maksymalne wartości natężenia pola elektrycznego (E_{\max}) i magnetycznego (H_{\max}) wzdłuż całej linii,
- poziomy pola elektrycznego w miejscach dostępnych dla ludzi (pomiary wykonane w przekrojach, w których zlokalizowane są obiekty budowlane),
- poziomy pola elektrycznego w miejscach lokalizacji budynków mieszkalnych lub na terenach przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową**,

- szerokość obszaru* wzdłuż linii, w którym natężenie pola elektrycznego może przekroczyć wartość 1 kV/m.

Poważnym problemem przy identyfikowaniu rozkładów pól elektromagnetycznych jest kwestia poprawek pomiarowych, o których mowa w pkt 6. załącznika nr 2 do rozporządzenia Ministra Środowiska (2). Należy podkreślić, że uwzględnienie zapisów tam zawartych ma na celu identyfikację maksymalnych poziomów poszczególnych składowych pola „[...] najbardziej niekorzystnych z punktu widzenia oddziaływania na środowisko [...]” (2). Taki sposób postępowania wydaje się oczywisty, jeśli uwzględnić, że w przypadku linii napowietrznych praktycznie nie ma możliwości przeprowadzenia pomiarów poszczególnych składowych pola elektromagnetycznego w takich warunkach pracy linii, przy których poziomy te będą maksymalne.

O ile uwzględnienie poprawki niezbędnej do przeliczenia natężenia pola elektrycznego, zmierzonego przy określonym napięciu roboczym linii, na poziom, który wystąpi przy największym dopuszczalnym napięciu** linii, nie nastręcza trudności, o tyle wprowadzenie poprawki uwzględniającej różnicę w odległości przewodów od ziemi, jaka ma miejsce w czasie wykonywania pomiarów i która wystąpi przy najbardziej niekorzystnych warunkach pracy linii, jest już zagadnieniem skomplikowanym. Jeszcze trudniejsze jest uwzględnienie poprawek, kiedy pomiary natężenia pola magnetycznego przeprowadzane są na linii wielotorowej, której tory obciążone są nierównomiernie.

W uzgodnieniu z inwestorami przedsięwzięcia oraz — w niektórych przypadkach z organami przyjmującymi i oceniającymi wyniki zawarte w sprawozdaniach z pomiarów pól elektromagnetycznych — można zarekomendować następującą metodykę opracowywania wyników pomiarów:

- wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego przeprowadzonych przy aktualnym napięciu roboczym należy przeliczyć na maksymalne dopuszczalne napięcie linii;
- wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, które przeprowadzono przy określonej — zmierzonej w czasie pomiarów — odległości

* Dla określonej linii wykonanie pomiarów w przęśle, w którym zwis linii jest największy, zbudowanym np. z dwóch słupów typu P, powoduje, że wykonywanie pomiarów w innym przęśle złożonym ze słupów tego samego typu, należy uznać za niecelowe.

** Na przykład ustalonych na podstawie studiów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego.

* Dla większości linii napowietrznych metodyka ta jest poprawna. W przypadku linii, dla których szerokość obszaru, w którym $E > 1$ kV/m zwiększa się wraz ze wzrostem odległości przewody robocze-ziemia (w pewnym zakresie wysokości), twierdzenie to nie jest prawdziwe.

** Na przykład dla linii o napięciu znamionowym 110 kV największe dopuszczalne napięcie robocze wynosi 123 kV.

przewód roboczy–ziemia, należy przeliczyć* na najbardziej niekorzystne warunki pracy linii, tj. sytuację, w której odległość przewody robocze–ziemia jest najmniejsza (maksymalny zwis linii);

- w celu weryfikacji rezultatów przeprowadzonych pomiarów z uwzględnieniem współczynników poprawkowych należy wykonać obliczenia spodziewanych maksymalnych wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego oraz szerokości obszaru, w którym $E > 1 \text{ kV/m}$, przy wykorzystaniu rysunków profili linii dostarczanych przez inwestora (dokumentacja powykonawcza).

Trzeba w tym miejscu zaznaczyć, że sprawozdania z pomiarów sporządzone zgodnie z powyżej zamieszczonymi wskazówkami nigdy nie były kwestionowane ani przez inwestorów, ani przez organy dokonujące ich merytorycznej oceny.

ZAWARTOŚĆ SPRAWOZDANIA Z POMIARÓW PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Chociaż wspomniane wielokrotnie rozporządzenie (2) w sprawie sposobów sprawdzania przestrzegania poziomów dopuszczalnych pól elektromagnetycznych nie precyzuje określonej zawartości sprawozdania z pomiarów, to biorąc pod uwagę wymagania dotyczące sposobu wykonywania pomiarów, główne jego zapisy wydają się oczywiste. Wieloletnia praktyka pomiarowa doprowadziła do wypracowania wzorca sprawozdania, który jak dotąd nie został zakwestionowany przez właściwe organy. Sprawozdanie takie zawierać powinno m.in. następujące punkty:

1. Podstawa wykonania sprawozdania oraz ustalenia formalne.
2. Charakterystyka linii napowietrznej zawierająca opis trasy, rozwiązań technicznych i technologicznych oraz podstawowe dane techniczne.
3. Charakterystyka pola elektrycznego i magnetycznego wytwarzanego przez linie napowietrzne oraz wpływ tych pól na środowisko.
4. Możliwości występowania zagrożenia polem elektromagnetycznym w otoczeniu analizowanej linii napowietrznej, gdzie scharakteryzowane zostaną miejsca wykonywania pomiarów (prześla linii oraz przekroje pomiarowe).

* Poprawka uwzględnia największe dopuszczalne obciążenie linii, które powoduje, że temperatura przewodów osiąga wartość maksymalną (w zależności od linii: 40°C lub 60°C).

5. Pomiarowa i obliczeniowa identyfikacja pola elektrycznego i magnetycznego w sąsiedztwie analizowanej linii napowietrznej, w tym:

- wyniki pomiarów i obliczeń,
- analiza wyników pomiarów i obliczeń.

6. Wnioski i uwagi końcowe.

W przygotowywanych sprawozdaniach wyniki pomiarów i obliczeń prezentować należy zarówno w formie tabelarycznej, jak i graficznej. W tabelach powinny znaleźć się najbardziej istotne z punktu widzenia oddziaływania na środowisko następujące wyniki pomiarów i/lub obliczeń:

- zmierzone wartości natężenia pola elektrycznego (E_p) i magnetycznego (H_p) w wybranych przęsłach i przekrojach linii,
- zmierzone wartości natężenia pola elektrycznego w wybranych przęsłach i przekrojach linii przeliczone na najwyższe dopuszczalne napięcie robocze linii (E_{mp}),
- najmniejsza odległość od ziemi najniżej zawieszonych przewodów roboczych linii w miejscu (przekroju) wykonywania pomiarów podczas ich przeprowadzania (h_p),
- obliczone maksymalne wartości natężenia pola elektrycznego (E_{max}) i magnetycznego (H_{max}) w określonym przekroju pomiarowym,
- wyznaczona metodami obliczeniowymi maksymalna szerokość obszaru (w określonym przęśle lub wzdłuż całej linii), w którym natężenie pola elektrycznego może przekroczyć wartość 1 kV/m .

W zestawieniach wyników pomiarów i obliczeń (tabele) — poza rodzajem i cechami aparatury pomiarowej — należy podawać także:

- datę przeprowadzenia pomiarów,
- warunki atmosferyczne w czasie przeprowadzania pomiarów,
- napięcie robocze linii podczas wykonywania pomiarów,
- obciążenie każdego toru linii w czasie wykonywania pomiarów,
- maksymalne dopuszczalne* obciążenie linii przyjęte do obliczeń.

Ilustrację sposobu prezentacji wyników pomiarów i obliczeń w sprawozdaniach z pomiarów pól elektromagnetycznych zaprezentowano poniżej w formie tabel,

* Zazwyczaj jest to obciążenie wynikające z zastosowanego przekroju przewodu, ale zdarzają się sytuacje, kiedy maksymalne dopuszczalne obciążenie linii jest ograniczone poprzez zastosowanie w stacji elektroenergetycznej zasilającej linię aparatury łączeniowej lub pomiarowo-kontrolnej o mniejszym prądzie dopuszczalnym.

Tabela 1. Wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego we wskazanych przęsłach linii 400 kV relacji:
Wyniki pomiarów uzupełnione analizą obliczeniową

Table 1. Measurements of electric field intensities in the indicated spans of the 400 kV line relation
Measurement results supplemented with the analysis of calculations

Oznaczenie przęsła	Przekrój	Zmierzona maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego w przekroju E_p [kV/m]	Zmierzona wartość natężenia pola elektrycznego przeliczona na maksymalne napięcie robocze linii E_{mp} [kV/m]	Najmniejsza odległość przewodów roboczych od ziemi w przekroju, w czasie wykonywania pomiarów h_p [m]	Najmniejsza odległość przewodów roboczych od ziemi w przekroju h_{min} [m]	Obliczona maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego w przekroju E_{max} [kV/m]	Maksymalna szerokość obszaru pod analizowanym przęsłem, w którym $E \geq 1$ kV/m [m]
53/208 (53) 53/209 (52)	A	5,8	5,86	12,8	10,8	6,44	$\pm 24,0$
53/177 (84) 53/178 (83)	B	3,7	3,74	14,2	16,0	4,38	$\pm 24,0$
53/177 (84) 53/178 (83)	C	-	-	-	12,6	5,64	$\pm 24,0$
53/81 (180) 53/82 (179)	D	5,1	5,15	14,5	12,5	5,18	$\pm 24,0$

Pomiary w przekrojach: A, B, C i D wykonano w dniu 24.08.04 r. w następujących warunkach atmosferycznych: 24°C, wilg. wzgl. 61%. Napięcie robocze linii: 415 kV. Obciążenie linii: Tor 1 — 59,1 A, Tor 2 — 343,1 A. Do obliczeń przyjęto równe obciążenie każdego toru (maksymalne dopuszczalne): 2440 A.

Tabela 2. Wyniki pomiarów natężenia pola magnetycznego we wskazanych przęsłach linii 400 kV relacji:
Wyniki pomiarów uzupełnione analizą obliczeniową

Table 2. Measurements of electric field intensities in the indicated spans of the 400 kV line relation
Measurement results supplemented with the analysis of calculations

Przęsło	Przekrój	Zmierzona maksymalna wartość natężenia pola magnetycznego w przekroju H_p [A/m]	Najmniejsza odległość przewodów roboczych od ziemi w przekroju, w czasie wykonywania pomiarów h_p [m]	Najmniejsza odległość przewodów roboczych od ziemi w przekroju h_{min} [m]	Obliczona maksymalna wartość natężenia pola magnetycznego w przekroju H_{max} [A/m]
53/208 (53) 53/209 (52)	A	2,32	12,8	10,8	26,8
53/177 (84) 53/178 (83)	B	1,28	14,2	16,0	17,4
53/177 (84) 53/178 (83)	C	-	-	12,6	23,4
53/81 (180) 53/82 (179)	D	1,12	14,5	12,5	20,9

Pomiary w przekrojach: A, B, C i D wykonano w dniu 24.08.04 r. w następujących warunkach atmosferycznych: 24°C, wilg. wzgl. 61%. Napięcie robocze linii: 415 kV. Obciążenie linii: Tor 1 — 59,1 A, Tor 2 — 343,1 A. Do obliczeń przyjęto równe obciążenie każdego toru (maksymalne dopuszczalne): 2440 A.

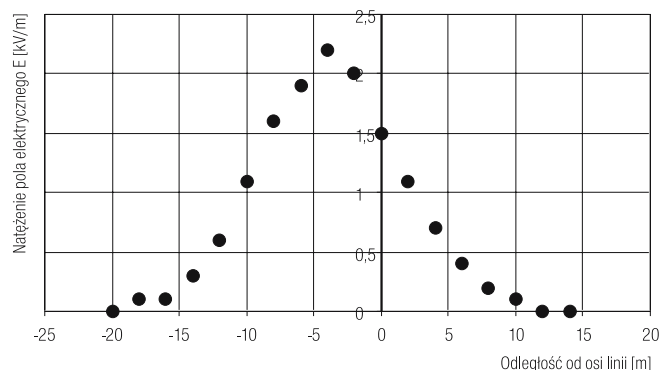
zaczepionych z jednego ze sprawozdań wykonanych przez autora niniejszego artykułu.

Nieodłączną część sprawozdania z pomiarów pól elektromagnetycznych stanowią załączniki graficzne, spośród których najważniejsze to:

- zmierzone i obliczone rozkłady natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w wybranych przekrojach pomiarowych,
- mapy sytuacyjno-wysokościowe, a w uzasadnionych przypadkach także mapy ewidencyjne z zaznaczone-

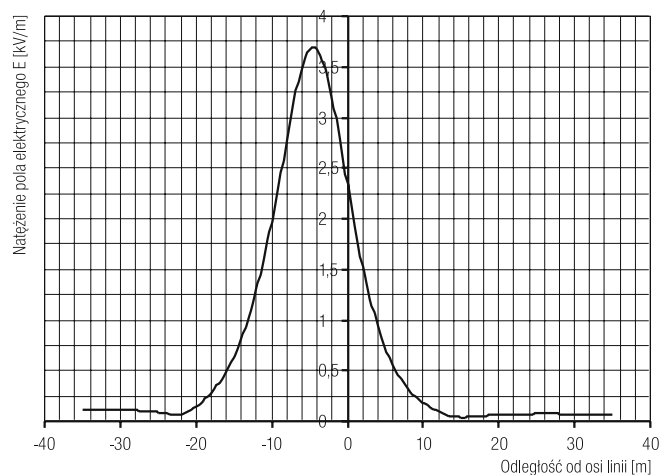
mi obszarami, w których natężenie pola elektrycznego może przekroczyć 1 kV/m.

Graficzna prezentacja rozkładów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego ma na celu zilustrowanie, jak zmieniają się wspomniane wielkości przy oddalaniu się od osi linii napowietrznej. Przykładowe rozkłady zaprezentowane na rycinach 1. i 2. pozwalają nie tylko na ustalenie miejsc, w których natężenie pola elektrycznego i magnetycznego osiąga wartość maksymalną (E_{max} , H_{max}), lecz także na prześledzenie zmienności wspomnianych wielkości w miarę oddalania się od osi linii.



Ryc. 1. Wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego E w dwutorowym prześle 107–108 linii 220/110 kV. Pomiar przeprowadzono w przekroju A, w którym zmierzona odległość od ziemi najniższej zawieszono przewodu linii wynosiła $h = 11,6$ m.

Fig. 1. Intensity of electric field E in a double-track span of 107–108 line, 220/110 kV. Measurements were taken in section A, where the distance between the ground and the line hung at the lowest level was $h = 11.6$ m.



Ryc. 2. Wyniki obliczeń rozkładu natężenia pola elektrycznego E w prześle 107–108 linii 220/110 kV. Obliczenia przeprowadzono w przekroju A przy wyłączonym torze 110 kV dla najbardziej niekorzystnych warunków pracy linii ($U_{rdop220} = 245$ kV, odległość najniższej zawieszono przewodów od ziemi $h_{min} = 8,2$ m).

Fig. 2. Intensity of electric field E in a double-track span of 107–108 line, 220/110 kV. Calculations were made in section A (track 110 kV switched off) for the most unfavorable conditions for the line operation ($U_{rdop220} = 245$ kV, the distance between the ground and the line hung at the lowest level was $h_{min} = 8.2$ m).

WNIOSKI

1. Pomiarowa identyfikacja pola elektromagnetycznego w otoczeniu linii i stacji elektroenergetycznych jest niezbędna do uzyskania wielu decyzji administracyjnych związanych z oddawaniem inwestycji do użytkowania oraz z ich późniejszą eksploatacją.
2. W celu ustalenia największych spodziewanych wartości natężenia pola elektrycznego (E_{max}) i magnetycznego (H_{max}) w otoczeniu linii napowietrznych wyniki przeprowadzonych pomiarów powinny być przeliczone na parametry odpowiadające najbardziej niekorzystnym warunkom pracy linii (maksymalny zwis przewodów, największe obciążenie linii). Uzyskane w ten sposób wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego powinny być zweryfikowane metodami obliczeniowymi.
3. Mimo że obowiązująca metodyka przeprowadzania pomiarów pól elektromagnetycznych w otoczeniu linii i stacji elektroenergetycznych scharakteryzowana jest w rozporządzeniu (2) wyłącznie w zarysie, to wieloletnia praktyka pomiarowa pozwoliła na ustalenie wszystkich wielkości niezbędnych do poprawnej oceny zagrożenia środowiska polem elektromagnetycznym wytwarzanym przez linie i stacje elektroenergetyczne wysokiego napięcia. Przez wiele lat wypracowano także sposoby identyfikacji poziomów poszczególnych składowych pola.

PIŚMIENNICTWO

1. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. Tekst jednolity: DzU z 2006 r. nr 129, poz. 902 ze zmianą DzU z 2006 r. nr 170, poz. 1217
2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. DzU z 2003 r. nr 192, poz. 1883
3. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. Tekst jednolity: DzU z 2006 r. nr 156, poz. 1118 ze zmianą DzU z 2006 r. nr 170, poz. 1217