Zbigniew Wróblewski, Marek Szuba, Marcin Habrych [1)]

Określanie rozkładów pól elektromagnetycznych w otoczeniu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na potrzeby ekspertyz ekologicznych

Elektrownie, linie przesyłowe najwyższych napięć, linie przesyłowo–rozdzielcze, a także stacje elektroenergetyczne składają się na system elektroenergetyczny, którego zadaniem jest wytworzenie energii elektrycznej oraz przesłanie jej z poszczególnych elektrowni do odbiorców. Eksploatacja tego systemu może być przyczyną występowania pewnych uciążliwości dla środowiska. Zaliczyć do nich można: emisję do środowiska czynników szkodliwych, powstanie pewnej ilości odpadów, hałas, zakłócenia radioelektryczne, a przede wszystkim pole elektromagnetyczne.

Jednym z głównych źródeł pól elektromagnetycznych są powszechnie występujące w środowisku linie elektroenergetyczne. Na szczególną uwagę zasługują linie przesyłowe wysokiego napięcia, ze względu na ich powszechność w każdym praktycznie krajobrazie oraz na fakt generowania przez nie pól o znaczących wartościach.

Od kilkunastu lat w środkach masowego przekazu pojawiają się doniesienia o niekorzystnym oddziaływaniu pól elektromagnetycznych wytwarzanych przez urządzenia elektroenergetyczne na organizm człowieka. Niestety, wiele z przekazywanych społeczeństwu informacji jest nieprawdziwych, a głównym celem szeregu publikacji jest, jak się wydaje, chęć wywołania sensacji. Chociaż obecna wiedza na temat efektów biologicznych występujących w ekspozycji polem elektromagnetycznym jest dość obszerna, to wyniki badań mechanizmu interakcji pole elektromagnetyczne – organizmy żywe są co najmniej skromne.

Nie dziwi więc fakt, że badania w tym zakresie prowadzi wiele placówek naukowo-badawczych na świecie. Realizowane programy badawcze, obejmujące przede wszystkim badania epidemiologiczne, dają nadzieję na uzyskanie interesujących i jednoznacznych wyników.

[1)] Dr hab. inż. Zbigniew Wróblewski, prof. ndzw., dr inż. Marek Szuba, mgr inż. Marcin Habrych są pracownikami Politechniki Wrocławskiej, Instytutu Energoelektryki.

Normy, przepisy i zalecenia dotyczące ochrony przed wpływem pól elektromagnetycznych o częstotliwości 50 Hz

Znaczne rozbieżności w wynikach badań wpływu na organizmy żywe pól elektromagnetycznych o częstotliwości przemysłowej spowodowały, że w wielu krajach nie zdecydowano się do tej pory na wprowadzenie przepisów dotyczących ochrony przed ich oddziaływaniem.

Natomiast w krajach, gdzie takie uregulowania obowiązują, przyjęte wartości graniczne pól są na ogół różne – między innymi dlatego, że przy ich opracowywaniu kierowano się odmiennymi kryteriami oceny wpływu pola na organizmy żywe [3].

Podstawowym, obowiązującym w Polsce aktem prawnym, określającym szczegółowe zasady ochrony środowiska przed wpływem pola elektromagnetycznego o częstotliwości sieciowej, jest rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1998 r. [4]. Dotyczy ono m.in. problematyki ochrony przed polami wytwarzanymi przez elementy systemu elektroenergetycznego, w tym linie i stacje elektroenergetyczne wysokiego napięcia.

Dopuszczalne poziomy elektromagnetycznego promieniowania niejonizującego określono w tym dokumencie przez wartości graniczne:
- natężenia pola elektrycznego E
- natężenia pola magnetycznego H.

Wartości graniczne natężenia pola elektrycznego ustalone tym rozporządzeniem wynoszą:
- 10 kV/m w obszarach dostępnych dla ludzi,
- 1 kV/m w obszarach zabudowy mieszkaniowej oraz w obszarach, w których zlokalizowane są szpitale, żłobki, przedszkola itp.,

natomiast poziom natężenia pola magnetycznego w miejscach dostępnych dla ludzi powyższe rozporządzenie nakazuje ograniczyć do wartości 80 A/m.

Ekspertyzy dotyczące spraw spornych

Organ ochrony środowiska może, na podstawie ustawy *Prawo ochrony środowiska* [7], w razie stwierdzenia okoliczności wskazujących na możliwość negatywnego oddziaływania instalacji[2)] na środowisko, zobowiązać w drodze decyzji, właściciela linii elektroenergetycznej do sporządzenia i przedłożenia tzw. przeglądu ekologicznego. Zakres przedmiotowy przeglądu ekologicznego sprecyzowano szczegółowo w ustawie [7], a organ właściwy do nałożenia obowiązku jego sporządzenia może odpowiednio ten zakres uszczegółowić i wskazać zalecane metody badań.

Nie do rzadkości należą też skargi właścicieli gruntów, domów oraz budynków mieszkalnych znajdujących się w bliskiej odległości od linii elektroenergetycznej. W odpowiedzi na wspomniane skargi, których powodem jest najczęściej obawa o zdrowie i bezpieczeństwo ludzi przebywających w otoczeniu linii oraz występujące ograniczenia w zagospodarowaniu terenu znajdującego się w pobliżu linii, sporządza się ekspertyzy techniczne określające rzeczywistą uciążliwość linii napowietrznej.

Jednym z najważniejszych celów przeglądu ekologicznego, a także ekspertyzy technicznej jest przeanalizowanie możliwości negatywnego oddziaływania na środowisko eksploatowanej linii napowietrznej wysokiego napięcia. W opracowaniach tych zwykle rozpatrywane są dwa aspekty: lokalizacyjny i techniczny.

Aspekt lokalizacyjny wymaga ustalenia, czy sporna linia znajduje się w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego wraz z wyznaczoną „strefą ochronną”[3)], natomiast aspekt techniczny polega na sprawdzeniu czy analizowana linia spełnia wymagania aktualnie obowiązujących norm i przepisów, przede wszystkim dotyczących ochrony środowiska. W konsekwencji, w ramach wspomnianych wyżej opracowań, należy zidentyfikować wszystkie czynniki fizyczne wytwarzane i emitowane przez eksploatowaną linię elektroenergetyczną. Ich zidentyfikowanie stwarza podstawę do przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko analizowanej instalacji, przede wszystkim zaś oceny potencjalnego niebezpieczeństwa dla ludzi i mienia czy ewentualnego pogorszenia warunków zdrowotnych ludzi przebywających w jej sąsiedztwie.

Dostatecznym zabezpieczeniem przed skutkami zagrożeń, które mogą wystąpić podczas eksploatacji linii są rozwiązania techniczne określone w normie [8]. Jednym z nich są zdefiniowane w normie [8] najmniejsze odległości przewodów linii od obiektów i budynków, a także zabiegi techniczne zwiększające bezpieczeństwo eksploatacji linii w sytuacji, w której zbliża się ona do obiektów budowlanych (zbliżenie) lub je krzyżuje (skrzyżowanie).

Oprócz zagrożeń związanych z sytuacjami awaryjnymi linia elektroenergetyczna wysokiego napięcia jest źródłem powstawania:

- pola elektrycznego,
- pola magnetycznego,
- hałasu,
- zakłóceń radioelektrycznych,

tj. czynników fizycznych, których oddziaływanie na środowisko, w tym na ludzi zamieszkujących w budynkach zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie linii, jest głównym tematem rozważań zarówno w przeglądach ekologicznych, jak i innych ekspertyzach z tego zakresu.

Pomiary pola elektromagnetycznego

Jednym z problemów, jaki napotykają autorzy przeglądów ekologicznych oraz ekspertyz technicznych jest zidentyfikowanie (zgodnie z wymaganiami [4]) maksymalnej spodziewanej wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w otoczeniu linii oraz określenie szerokości obszaru, w którym natężenie pola elektrycznego może przekroczyć wartość 1 kV/m. W tym celu wykonywane są – najczęściej wymienione nakazowo w stosownych decyzjach – pomiary natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w różnych przekrojach linii.

Jest przy tym oczywiste, że pomiary natężenia obu składowych pola przeprowadza się w tych przekrojach linii, w których zbliża się ona najbardziej do zabudowy mieszkalnej. Trzeba jednak zauważyć, że pomiary natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wykonuje się przy określonych warunkach pracy linii (określone napięcie robocze, obciążenie i zwis linii), w których praktycznie nigdy nie należy spodziewać się maksymalnych wartości, zarówno natężenia pola elektrycznego E, natężenia pola magnetycznego H, jak i szerokości obszaru, w którym $E > 1$ kV/m. Wartości maksymalne natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, wyznaczane w sąsiedztwie budynków mieszkalnych, wystąpią bowiem w sytuacji, w której odległość przewodów roboczych linii od ziemi będzie najmniejsza oraz gdy obciążenie i napięcie linii przyjmie wartości maksymalne.

Wieloletnie doświadczenia pomiarowe dowodzą, że nie jest w praktyce możliwe wykonanie pomiarów w warunkach, w których odległość przewodów roboczych od ziemi (lub innych miejsc dostępnych dla ludzi) jest najmniejsza (minimalna dopuszczalna przepisami), a linia jest w dodatku obciążona maksymalnym dopuszczalnym prądem. Obecnie obciążenie większości linii napowietrznych, tak przesyłowych (220, 400 kV), jak i rozdzielczych (110 kV) nie przekracza kilkunastu lub kilkudziesięciu procent obciążenia dopuszczalnego. W takiej sytuacji wartości zmierzone przy określonych warunkach pracy linii należy przeliczyć na wartości maksymalne, co w wielu przypadkach staje się istotnym problemem.

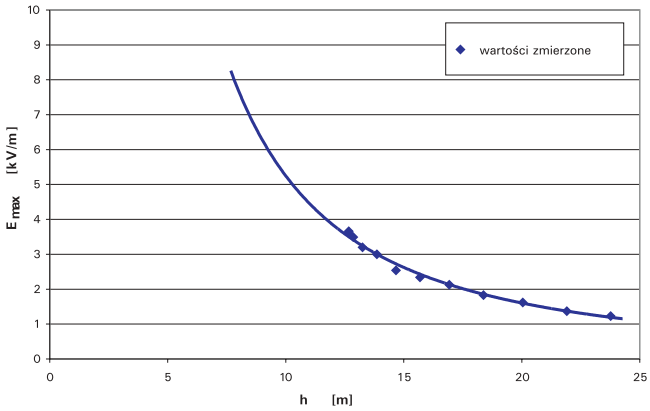
---

2) W rozumieniu przepisów [7] napowietrzna linia elektroenergetyczna jest instalacją.

3) W tekstach niektórych planów używana jest także nazwa „strefa techniczna”.

Wyznaczenie maksymalnej wartości natężenia pola elektrycznego w wybranym przekroju wymaga zatem:

- przeprowadzenia rutynowych pomiarów wzdłuż analizowanego przekroju poprzecznego linii, których celem jest ustalenie największej wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego,
- przeprowadzenia pomiarów w kilku wybranych (dodatkowych) przekrojach poprzecznych linii,
- przeliczenia wartości zmierzonych na największe dopuszczalne napięcie robocze linii i wyznaczenia zależności $E_{max} = f(h)$ (rys.1),
- określenia minimalnej odległości przewodów fazowych od ziemi h_{min},
- wyznaczenia maksymalnej spodziewanej wartości natężenia pola elektrycznego z zależności $E_{max} = f(h)$, dla ustalonej odległości h_{min}.



Rys.1. Przykładowy rozkład natężenia pola elektrycznego (wartości maksymalne – E_{max}) w funkcji odległości od ziemi (h) przewodów fazowych linii 400 kV, o słupach typu Y52 P, przy napięciu roboczym $U_r = 407$ kV

Przykład identyfikacji maksymalnej wartości natężenia pola elektromagnetycznego dla linii zlokalizowanej w zbliżeniu do budynku mieszkalnego ilustruje rysunek 2.

Jak już wspomniano, zgodnie z §21 rozporządzenia [4] identyfikację rozkładu pola elektrycznego dla celów ekspertyz środowiskowych należy przeprowadzić dla największej wartości napięcia roboczego linii, a pola magnetycznego – dla największego prądu obciążenia linii. W związku z tym wartości natężenia pola elektrycznego, uzyskane z pomiarów przeprowadzonych przy określonym napięciu roboczym linii (U_r), należy przeliczyć na dopuszczalne napięcie robocze (U_{rmax}), zgodnie z zależnością:

$$E_{max} = E_{zm} \cdot \frac{U_{r\,max}}{U_r} \qquad (1)$$

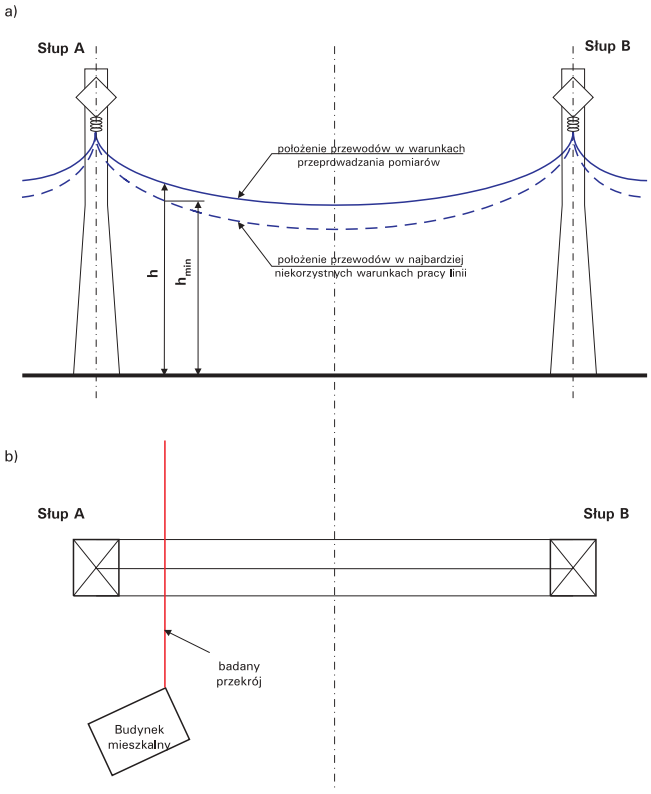
w której:

E_{zm} – zmierzona w danym punkcie pomiarowym wartość natężenia pola elektrycznego,

E_{max} – maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego, która wystąpi przy największej wartości napięcia linii,

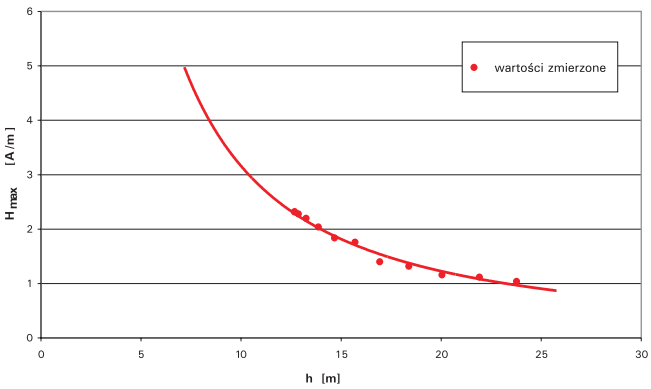
U_{rmax} – największe dopuszczalne napięcie robocze linii,

U_r – napięcie robocze linii, które wystąpiło podczas pomiarów pola elektrycznego.



Rys. 2. Przekrój linii, w którym identyfikowana jest wartość maksymalnego natężenia pola elektrycznego;
a) widok przęsła z boku, b) widok przęsła z góry;
h – wysokość przewodu w danym punkcie pomiarowym, w chwili przeprowadzania pomiarów,
h_{min} – minimalna wysokość przewodów w danym punkcie pomiarowym, która wystąpi przy ich największym zwisie

Tok postępowania przy wyznaczeniu największej wartości pola magnetycznego w badanym przekroju jest zbliżony do opisanego powyżej. Również i w tym przypadku należy wykonać pomiary natężenia pola magnetycznego w kilku przekrojach linii, a następnie wyznaczyć charakterystykę $H_{max} = f(h)$ (rys. 3).



Rys.3. Przykładowy rozkład natężenia pola magnetycznego (wartości maksymalne – H_{max}) w funkcji odległości od ziemi (h) przewodów fazowych linii 400 kV, o słupach typu Y52 P, obciążonej prądem (w chwili wykonywania pomiarów) $I_r = 217$ A

Maksymalną spodziewaną wartość natężenia pola magnetycznego wyznacza się na podstawie wartości zmierzonych (H_{zm}) przy określonym prądzie obciążenia linii I_r, korzystając z zależności:

$$H_{max} = H_{zm} \cdot \frac{I_{d\,max}}{I_r} \qquad (2)$$

w której:

H_{zm} – zmierzona w danym punkcie pomiarowym i przy aktualnym prądzie obciążenia linii (I_r) wartość natężenia pola magnetycznego,

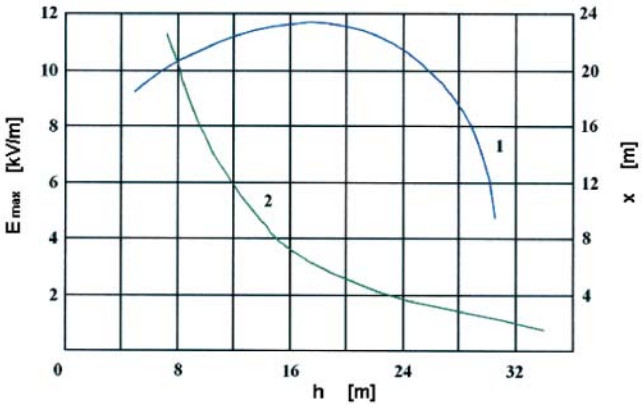
H_{max} – maksymalne natężenie pola magnetycznego, które wystąpi przy największym dopuszczalnym obciążeniu linii,

I_{dmax} – prąd dopuszczalny obciążenia linii.

Wykonując przegląd ekologiczny lub ekspertyzę techniczną najczęściej należy też wyznaczyć szerokość obszaru, w którym natężenie pola elektrycznego przekracza wartość 1 kV/m. Wyznaczenie szerokości tego obszaru ma istotne znaczenie, jeśli uwzględnić fakt, że w obecnie obowiązujących przepisach [4] właściciela linii obowiązuje ograniczenie sformułowane w §2.1 rozporządzenia [4], w brzmieniu:

„...Na obszarach zabudowy mieszkaniowej oraz w obszarach, na których zlokalizowane są zwłaszcza szpitale, żłobki, przedszkola, internaty – składowa elektryczna elektromagnetycznego promieniowania niejonizującego o częstotliwości 50 Hz nie może przekraczać 1 kV/m...".

Szerokość obszaru, w którym E>1 kV/m zależy przede wszystkim od odległości przewody fazowe – ziemia. Zależność ta jednak nie jest prosta. Nie zawsze bowiem podwyższenie wysokości zawieszenia przewodów roboczych powoduje, że obszar pod linią, w którym E>1 kV/m ma najmniejszą szerokość. W niektórych przypadkach – dla linii o płaskim układzie przewodów – zwiększenie odległości przewodów fazowych od ziemi powoduje zwiększenie szerokości obszaru, w którym E>1 kV/m, mimo że maksymalne natężenie pola elektrycznego w odpowiednich przekrojach linii zmniejsza się (rys.4).



Rys. 4. Zależność szerokości obszaru (x), w którym E>1 kV/m (1) oraz maksymalnej wartości natężenia pola elektrycznego (E_{max}) na wysokości 1,8 m od ziemi (2) od odległości przewodów fazowych od ziemi (h), dla linii o płaskim układzie przewodów

Obliczeniowe wyznaczenie obszaru, na którym E>1 kV/m, jest, na etapie sporządzania przeglądu ekologicznego lub ekspertyzy technicznej zagadnieniem skomplikowanym. Wymaga bowiem przeprowadzenia obliczeń praktycznie we wszystkich przęsłach linii przebiegających nad terenami, w których miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego dopuszcza realizację budownictwa mieszkalnego.

Najistotniejsze wnioski, wynikające z tego rodzaju obliczeń można sformułować następująco:

a) wyznaczany (zazwyczaj na wysokości 1,8 m nad ziemią) rozkład natężenia pola elektrycznego w otoczeniu linii elektroenergetycznej charakteryzuje znaczna nierównomierność przejawiająca się w tym, że większe wartości natężenia pola stwierdza się w środku przęsła, a mniejsze w pobliżu konstrukcji wsporczych (słupów);

b) obszar terenu pod linią elektroenergetyczną, w którym natężenie pola elektrycznego przekracza wartość 1 kV/m, nie ma jednakowej szerokości wzdłuż trasy linii. Najczęściej szerokość tego obszaru jest największa w pobliżu środka przęsła i maleje przy zbliżaniu się do konstrukcji wsporczych.

   Należy wyraźnie stwierdzić, że jego wyznaczenie ma za zadanie z jednej strony zabezpieczenie podstawowych interesów właściciela linii, z drugiej zaś – niedopuszczenie do ewentualnych konfliktów pomiędzy potencjalnymi inwestorami obiektów budowlanych (w tym w szczególności budynków mieszkalnych) planowanych do realizacji w bezpośrednim sąsiedztwie eksploatowanej linii.

Wnioski

1. Istniejące od wielu lat kontrowersje dotyczące oddziaływania linii napowietrznych wysokiego napięcia na środowisko skutkują coraz częściej wydawanymi przez uprawnione organy, na mocy ustawy *Prawo ochrony środowiska*, decyzji administracyjnych zobowiązujących właściciela linii do sporządzenia przeglądu ekologicznego istniejącej instalacji lub opracowania ekspertyzy technicznej o nieco węższym zakresie.
2. Wyznaczenie największej spodziewanej wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w sąsiedztwie napowietrznej linii wysokiego napięcia dla celu sporządzania przeglądu ekologicznego lub ekspertyzy technicznej wymaga dokonania przeliczenia wartości zmierzonych na najbardziej niekorzystne warunki pracy linii. Dla pełnej analizy problemu konieczne jest wykonanie nie tylko stosownych pomiarów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, lecz także odległości przewodów roboczych od ziemi w przęsłach, w których wykonano pomiary wspomnianych wielkości.

3. W przeglądach ekologicznych oraz ekspertyzach technicznych istotną rolę odgrywa wyznaczenie obszaru pod linią, w którym natężenie pola elektrycznego przekracza wartość 1 kV/m. Szerokość tego obszaru decyduje bowiem o możliwościach zagospodarowania terenu pod linią, co w przypadku znacznej niekiedy wartości gruntów (nieruchomości), ma istotne znaczenie, tak dla właściciela linii, jak i użytkownika terenu zlokalizowanego pod linią.

LITERATURA

[1] Biological Effects of Electric and Magnetic Fields at Power Frequencies. WHO Regional Publications. European Series No. 10, 1982

[2] Carstensen E.L.: Biological Effects of Transmission Line Fields. Wyd. Elsevier, New York, 1987

[3] Informator. Linie i stacje elektroenergetyczne w środowisku człowieka. *Polskie Sieci Elektroenergetyczne* SA, Warszawa 2002

[4] 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. Dz.U., 1998, nr 107, poz. 676

[5] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 2 stycznia 2001 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U., 2001, nr 4, poz 36

[6] PN-90/T-06584 Ochrona pracy w polach elektromagnetycznych o częstotliwości 50 Hz. Mierniki i metody pomiaru natężenia pola magn etycznego o częstotliwości 50 Hz

[7] Ustawa z dnia 27 kwietnia *Prawo ochrony środowiska*, Dz.U., nr 62, Warszawa 2001

[8] PN-E-05100-1 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi, marzec 1998

❑