

## Oddziaływanie pola elektromagnetycznego w pobliżu słupów kablowych na środowisko ogólnie dostępne

**Streszczenie** W artykule omówiono zagadnienia związane z rozkładami składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego niskiej częstotliwości (50 Hz) występującego w bliskim sąsiedztwie słupów kablowych usytuowanych w środowisku ogólnie dostępnym. Przeanalizowano zasadność ich stosowania w aglomeracjach miejskich i na wprowadzeniach i wyprowadzeniach do stacji elektroenergetycznych. Przedstawiono sposoby ograniczenia składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego niskiej częstotliwości po stronie linii kablowej dochodzącej do słupa kablowego.

**Abstract.** The paper discusses issues related to magnetic field distributions of the low frequency (50 Hz) occurring in the close vicinity of cable poles located in a generally accessible environment. The validity of their application in urban agglomerations and at the inputs and outputs to electric power stations was analyzed. Presented are the ways of limiting the magnetic component of the low frequency electromagnetic field on the side of the cable line approaching the cable pole. **Effect of electromagnetic field in close vicinity of cable poles on generally accessible environment.**

**Słowa kluczowe:** słup kablowy, linia napowietrzna, linia kablowa, pole elektromagnetyczne.

**Keywords:** cable poles, overhead line, cable line, electromagnetic field.

### Wstęp

Od kilku lat w Polsce obserwuje się tendencję do zastępowania odcinków linii napowietrznych liniami kablowymi. Ten trend nie jest nowy a w niektórych zamożnych krajach zachodnich, na przykład w Holandii i Danii, jest to trend, od szeregu lat, dominujący.

Niewątpliwie zaletą takiego rozwiązania, polegającego na zastąpieniu słupa linii napowietrznej słupem kablowym, jest ograniczenie emisji składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego linii energetycznej kablowej oraz ewentualne ograniczenie obszaru związanego z ograniczonym użytkowaniem terenu w jej sąsiedztwie. Do wad należy jednak zaliczyć wysoki koszt budowy lub modernizacji linii wysokiego napięcia do standardu podziemnej linii kablowej oraz bardzo istotny wzrost wartości składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego. Dotyczy to zwłaszcza miejsca gdzie linia napowietrzna staje się linią kablową, czyli na słupach kablowych oraz na odcinku między dwoma słupami kablowymi.

Należy zaznaczyć, że większość wykonanych dotychczas opracowań studialnych [1,2] dotyczących analizy pola elektromagnetycznego niskiej częstotliwości koncentruje się na liniach napowietrznych wyposażonych w słupy typu kratowego lub rurowego, pomijając zagadnienie rozkładów tych pól, jakie występują w sąsiedztwie słupów kablowych.

Jednak problematyka istniejących i nowo projektowanych linii energetycznych wyposażonych w słupy kablowe jest ściśle związana z polem elektromagnetycznym generowanym przez te linie do środowiska i dlatego zagadnienie wartości składowej magnetycznej pola nie może być tutaj pominięte. Zwłaszcza, że różnorodność rozwiązań technicznych słupów kablowych i dostosowanego do nich osprzętu wpływa na ich szeroką stosowność w budowie sieci elektroenergetycznych.

Na podstawie wykonanych, w Instytucie Energetyki opracowań [1,2,3 i 5], stwierdzono, że składowa magnetyczna pola elektromagnetycznego niskiej częstotliwości występującego w bliskim sąsiedztwie słupa kablowego, przy obciążeniach torów kablowych już powyżej 300 A/fazę może spowodować przekroczenie wartości dopuszczalnej natężenia pola magnetycznego w środowisku ogólnie dostępnym, która w myśl przepisu [6] wynosi 60 A/m.

Mając na uwadze coraz szerszy zakres zastosowań

słupów kablowych w budownictwie sieciowym, w pracy opisano konstrukcję słupa kablowego i przeanalizowano oddziaływanie pola elektromagnetycznego, zwłaszcza składowej magnetycznej, w otoczeniu słupów kablowych.

### Wymagania przepisów

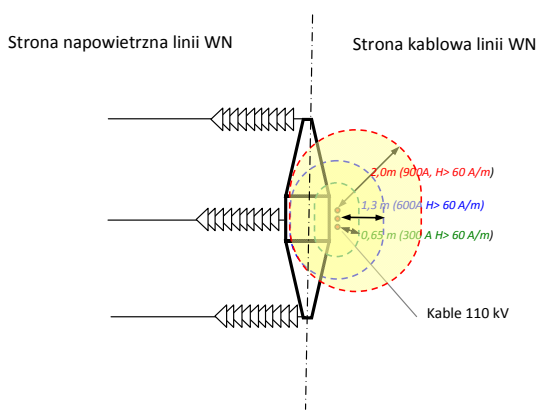
Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko ogólnie dostępne jest tematem licznych prac naukowych [5,6,7 i 8]. Międzynarodowe organizacje takie jak Światowa Organizacja Zdrowia realizują programy, których celem jest koordynacja prowadzonych na świecie badań, dotyczących oddziaływania pól na zdrowie ludzi.

W Polsce aktualnie obowiązujące rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów [6] określa następujące wartości dopuszczalne dla terenów:

- przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową 1 kV/m dla składowej elektrycznej oraz 60 A/m dla składowej magnetycznej,
- ogólnie dostępnych dla ludności 10 kV/m dla składowej elektrycznej oraz 60 A/m dla składowej magnetycznej.

Biorąc pod uwagę przywołane wymagania podane w rozporządzeniu [6], można stwierdzić, iż w przypadku, gdy w otoczeniu obiektu będącego źródłem pól elektrycznego i magnetycznego nie ma obszarów, na których występują takie pola - o wartościach natężeń wyższych od określonych w rozporządzeniu, jako dopuszczalne - to nie ma podstaw do stwierdzenia negatywnego wpływu tych pól na zdrowie ludzi. Można zauważyć, że wartości natężeń składowych pola elektromagnetycznego w rozporządzeniu nie mają charakteru obowiązującego w innych krajach i mogą się tam istotnie różnić.

Dodatkowo zgodnie z tym rozporządzeniem pomiary składowych elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego niskiej częstotliwości (50 Hz) wykonuje się dla linii i stacji energetycznych o napięciu powyżej 110 kV w wykonaniu napowietrznym z wyjątkiem linii kablowych, gdzie po stronie „wprowadzenia kabli 110 kV do słupa kablowego” wyznacza się przede wszystkim składową magnetyczną.



Rys.1. Zasięg strefy bezpiecznej w zależności od prądu płynącego w linii WN po stronie podejścia kablowego

### Konstrukcja słupa kablowego

Słup kablowy jest konstrukcją nietypową, ale coraz częściej stosowaną w praktyce, szczególnie tam, gdzie istotne jest uwolnienie jak największej części gruntu od ograniczeń związanych z eksploatacją napowietrznej linii elektroenergetycznej. W przypadku linii niskiego i średniego napięcia konstrukcje słupów są dużo mniejsze niż w przypadku linii wysokiego napięcia, podobnie jak i moce przenoszone przez linie.

Nietypowość takiego słupa polega na tym, że w przypadku typowej linii napowietrznej wysokiego napięcia problem stanowi zachowanie dopuszczalnych wartości składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego, natomiast w przypadku podziemnej linii kablowej decydująca jest składowa magnetyczna [5,6,7 i 8]. Słup kablowy, na którego konstrukcji następuje przejście z linii napowietrznej w linię podziemną jest miejscem, gdzie na ograniczenie użytkowania terenu traci wpływ wartość składowej elektrycznej a istotna staje się składowa magnetyczna.

Słup kablowy jest też zazwyczaj konstrukcją specjalną z uwagi na zwiększone wymagania mechaniczne i elektryczne.

Na rys. 2 przedstawiono sylwetki typowych słupów kablowych linii dwutorowych 110 kV.

Zaletą zastosowania słupa rurowego jest mniejsza zajętość terenu z uwagi na węższy trzon słupa.

a)



b)



Rys.2. Słupy kablowe 110 kV – różne rozwiązania techniczne: a - słup kratownicowy, b - słup rurowy

Słup taki zbudowany jest z trzonu o trzech parach poprzeczników fazowych (słup linii dwutorowej), przytwierdzonych do trzonu oraz elementów mocujących dla trzech par głowic kablowych oraz zabezpieczających je ograniczników przepięć.

Dodatkowo od strony linii napowietrznej umieszczone są łańcuchy izolatorów w położeniu odciągowym.

Z uwagi na różnorodność konstrukcji słupów głowice kablowe montowane są na różnych wysokościach, ale cechą wspólną jest prowadzenie obok siebie kabli wysokiego napięcia po trzonie słupa do ziemi. Jedyną mechaniczną osłoną tych kabli jest zwykle blacha, ale dostęp do słupa często nie jest niczym ograniczony.

W sytuacji montażu na słupie kablowym ograniczników przepięć, w dolnej jego części montowany jest podest lub specjalne uchwyty umożliwiające odczyt wskazań liczników zadziałów przytwierdzonych do konstrukcji słupa kablowego. Sposób zamontowania liczników zadziałów na słupach kablowych przedstawiono na rys. 3a i 3b.

a)



b)



Rys.3. Sposób montażu liczników zadziałów na słupie kablowym: a) w wykonaniu kratownicowym, b) w wykonaniu rurowym.

Przywołane w tym rozdziale usytuowanie liczników zadziałów na słupie kablowym ma na celu zwrócenie uwagi, na fakt przebywania osoby odczytującej wskazania tych liczników w polu, w którym wartości składowej magnetycznej 50 Hz mogą być wielokrotnie wyższe niż 60 A/m.

### Pole elektromagnetyczne przy słupach kablowych

Zjawisko występowania wartości składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz w sąsiedztwie słupów kablowych od strony podejścia linii kablowej powyżej wartości dopuszczalnej według [6] jest bardzo często spotykane w istniejących rozwiązaniach konstrukcji słupów kablowych.

Zostało to potwierdzone pomiarami wykonanymi w warunkach terenowych [3 i 6] i przedstawionymi w opracowaniach Instytutu Energetyki. Przekroczenie składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego o

częstotliwości 50 Hz występowało zarówno w liniach kablowych jednotorowych jak i wielotorowych.

Na potwierdzenie tego faktu na rys.4,5 i 6 przedstawiono sylwetki słupów kablowych jedno i dwutorowej linii 110 kV wraz z wyznaczonymi metodą obliczeniową wartościami składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz.

#### Składowa magnetyczna przy jednotorowych słupach kablowych

Obliczenia przeprowadzono dla typowego słupa kratownicowego linii 110kV.

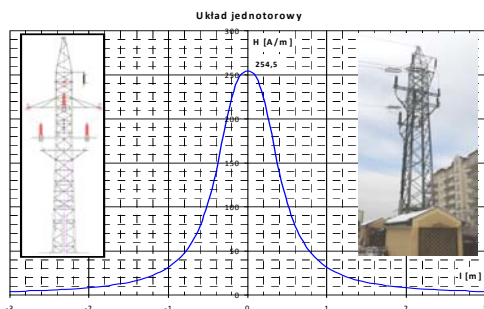
Dla tego typu słupa przyjmowany jest odstęp pomiędzy fazami torów kablowych 0,2 m.

W każdej z faz toru kablowego linii 110 kV założono wartość prądu płynącego równą 600 A.

Przyjęta do obliczeń wartość 600 A jest wartością najczęściej przyjmowaną przy wyznaczaniu rozkładów składowej magnetycznej [1 i 2].

Na podstawie wykonanych obliczeń zilustrowanych na rysunku 4 stwierdzono, że w odległości 30 cm od powierzchni toru kablowego, w miejscu podejścia linii kablowej, wartości składowej magnetycznej natężenia pola 50 Hz mogą osiągnąć wartości bliskie 255 A/m. Jest to wartość ponad 4 krotnie wyższa od wartości dopuszczalnej w środowisku według [6]. Wartość składowej magnetycznej pola 60 A/m występuje dopiero w odległości około 70 cm od powierzchni toru kablowego.

Z przeprowadzonych symulacji obliczeniowych wynika dalej, że przy wartościach prądu płynących przez każdy z kabli podejścia kablowego poniżej 75 A spełnione będą wymagania rozporządzenia, [6] co do wartości składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz.



Rys.4. Rozkład składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz od strony podejścia kablowego.

#### Składowa magnetyczna przy dwutorowych słupach kablowych

Obliczenia przeprowadzono dla typowego słupa kratownicowego dostosowanego do zainstalowania na nim na jednej ze stron dwóch torów kablowych linii 110 kV.

Dla tego typu słupa przyjęto odstęp pomiędzy torami jak i fazami torów kablowych 0,2 m.

W każdym torze kablowym dla każdej z faz założono podobnie jak dla linii kablowej w jednotorowej wartość prądu płynącego równą 600 A.

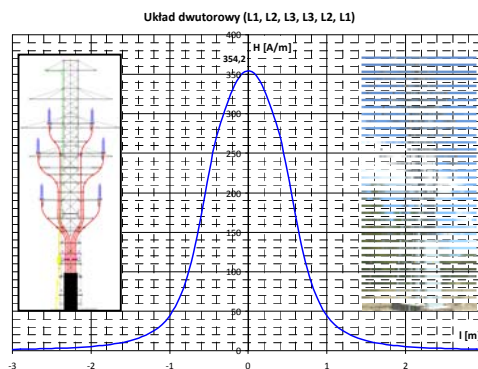
W odróżnieniu od linii słupów kablowych jednotorowych istotną rolę przy wyznaczeniu wartości **rozkładów składowej magnetycznej** odgrywa konfiguracja faz w poszczególnych torach kablowych linii wielotorowych a tym samym i w rozpatrywanej linii dwutorowej.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono dwa warianty rozmieszczenia faz torów kablowych ze względu-na składową magnetyczną:

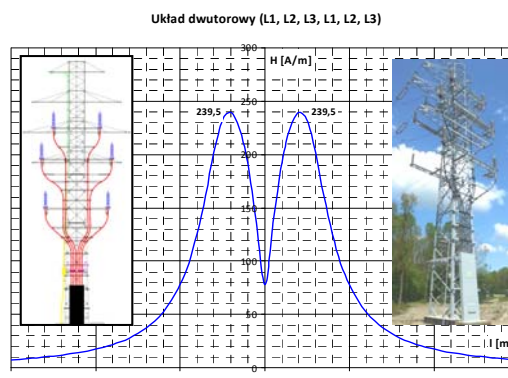
- najbardziej niekorzystny - wariant (L1, L2, L3 L3, L2, L1),
- najbardziej korzystny - wariant (L1, L2, L3 L1, L2, L3).

Na podstawie wykonanych obliczeń zilustrowanych na rys 5 i 6 stwierdzono, że w odległości 30 cm od powierzchni toru kablowego w miejscu podejścia linii kablowych składowa magnetyczna natężenia pola 50 Hz w wariantcie najbardziej niekorzystnym osiągają wartość bliską 354 A/m, natomiast w wariantcie najbardziej korzystnym nie przekracza wartości 240 A/m. Pomimo tego wartości te są odpowiednio 6 i 4 krotnie wyższe od wartości dopuszczalnej w środowisku według [6].

Podobnie jak dla linii kablowych jednotorowych wynika, że dopiero przy wartościach prądu płynących przez każdy z kabli podejścia kablowego poniżej 75 A spełniają będą wymagania rozporządzenia, [6] co do wartości składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz.



Rys.5. Słup kablowy dwutorowej linii 110 kV. Rozkład składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz od strony podejścia kablowego. Wariant najbardziej niekorzystny usytuowania faz linii kablowych - (L1, L2, L3, L3, L2, L1)



Rys.6. Słup kablowy dwutorowej linii 110 kV. Rozkład składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz od strony podejścia kablowego. Wariant najbardziej korzystny usytuowania faz linii kablowych - (L1, L2, L3, L1, L2, L3)

#### Ochrona przed polem magnetycznym generowanym przez słupy kablowe w środowisku ogólnie dostępnym

Lokalizacja słupów kablowych w środowisku ogólnie dostępnym, przez wielu projektantów a szczególnie przez właścicieli linii wysokiego napięcia pod kątem emisji do środowiska pola elektromagnetycznego nie była analizowana. Ukazujące się od wielu lat publikacje naukowe i techniczne [7, 8 i 9] analizowały jedynie rozkłady

składowej magnetycznej bezpośrednio nad torami linii kablowej umieszczonymi w ziemi. Koncentrowały się one na wyborze optymalnej głębokości umieszczenia tych kabli, w celu spełnienia wymagań [6] na całym odcinku trasy linii kablowej.

Prowadzone przez Instytut Energetyki badania opisane w pracach [3, 4 i 5] wykazały, że największe wartości



składowej magnetycznej 50 Hz występują w pobliżu słupa kablowego w miejscach wprowadzenia i wyprowadzenia torów linii kablowej.

Będące w eksploatacji słupy kablowe powinny być ogrodzone w taki sposób, aby na zewnątrz ogrodzenia tego słupa, wartości natężenia pola magnetycznego 50 Hz, przy maksymalnym obciążeniu linii kablowej, były nie większe niż 60 A/m.

Na podstawie posiadanej, przez Instytut Energetyki dokumentacji dotyczącej słupów kablowych, stwierdzono, że większość tych słupów nie posiada stosownego ogrodzenia. Problem ten jest o tyle istotny, że większość słupów kablowych jest usytuowana w bliskim sąsiedztwie zabudowy mieszkaniowej.

Na rysunku 7 przedstawiono widok słupa kablowego usytuowanego w bliskim sąsiedztwie zabudowy mieszkaniowej, wokół którego nie wykonano stosownego ogrodzenia ochronnego.



Rys.7. Słup kablowy bez zabezpieczenia bezpośredniej dostępności, usytuowany w bliskim sąsiedztwie zabudowy mieszkaniowej

W wyniku współpracy pomiędzy Instytutem Energetyki i spółkami dystrybucyjnymi energetyki [3, 5] w otoczeniu niektórych słupów kablowych zostały wykonane zabezpieczenia ochronne w postaci metalowych płotków lub nasadzonej roślinności.

Widoczna na rysunkach słupów kablowych osłona z blachy pełni rolę zabezpieczenia mechanicznego przed bezpośrednim dostępem do przewodów kablowych przez osoby postronne jak również przed ewentualną kradzieżą, co aktualnie jest sprawą nagminną z uwagi na obecność miedzi w przewodach kablowych.

Zmniejszenie wartości natężenia pola magnetycznego 50 Hz poniżej wartości dopuszczalnej w wyniku zastosowania osłon z blachy na przewody kablowe nie zawsze jest możliwe do zrealizowania. Dużo bardziej skuteczną metodą jest zastosowanie właściwego wygrodzienia słupa kablowego.

Wygrozdzenie to, powinno być wykonane, jako odpowiednia konstrukcja metalowa, kamienna lub w postaci nasadzonej roślinności (krzewów niskopiennych) i powinno stanowić w konsekwencji fizyczne ograniczenie dostępu do słupa.

Na podstawie wykonanych pomiarów i obliczeń [1, 3 i 5] stwierdzono, że wysokość tego ogrodzenia powinna uniemożliwić w sposób istotny dostęp do konstrukcji słupa kablowego i powinno być ono wykonane wokół całego trzonu słupa.

Zaleca się, aby odległość pomiędzy ogrodzeniem a elementem słupa w każdym jego miejscu była nie mniejsza niż 1,5 m wokół trzonu słupa kablowego średniego napięcia 15 kV oraz 2,5 m wokół trzonu słupa kablowego 110 kV.

Rozwiązania te przedstawiono poniżej.

a)



b)



Rys.8. Metody ochrony przed polem magnetycznym w otoczeniu słupów kablowych  
a - słup kablowy 110 kV zabezpieczony obudową blaszaną i nasadzoną zielenią, b - słup kablowy średniego napięcia otoczony metalowym płotkiem

W przypadku typowej linii kablowej w warunkach miejskich można spodziewać się wartości składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego zbliżonych do 60 A/m w odległości około 2,0 m od trzonu słupa z kablami wysokiego napięcia, a w przypadku słupów zlokalizowanych na wprowadzeniu i wyprowadzeniu ze stacji elektroenergetycznych mogą to być odległości znacznie większe.

Zmniejszenie wartości składowej magnetycznej można uzyskać wykonując właściwe ułożenie przewodów na trzonie słupa z zachowaniem kolejności faz.

Podczas wykonywania pomiarów składowych pola elektromagnetycznego w otoczeniu słupów kablowych należy pamiętać o zmienności obciążenia linii energetycznych w czasie doby, i roku. W związku z tym faktem wartości pola magnetycznego przy takim słupie powinny być skorygowane o poprawki uwzględniające tę zmienność obciążeń wg wymagań [6].

Nie występowanie wartości składowej pola magnetycznego zbliżonych do wartości dopuszczalnych w chwili pomiarów bynajmniej nie oznacza, że takie wartości nie mogą tu wystąpić. Jest to szczególnie istotne w związku z faktem, że wzrasta zapotrzebowanie na energię elektryczną i należy się liczyć z coraz większym przepływem mocy (prądu) w liniach. Tak, więc, jest wskazane okresowe powtarzanie pomiarów pola elektromagnetycznego w otoczeniu słupów kablowych zwłaszcza w okresach dużych obciążeń linii.

## Podsumowanie

Problem występowania pól magnetycznych przy słupach kablowych jest słabo rozpoznany i często bagatelizowany. Słupy takie znajdują się często w miejscach ogólnie dostępnych – w parkach, przy centrach handlowych, przy budynkach mieszkalnych i innych, nie posiadając stosownych zabezpieczeń dostępu ani wyznaczonej granicy strefy niebezpiecznej.

Istnieją możliwości ograniczenia niebezpiecznych oddziaływań słupów kablowych na środowisko ogólnie dostępne przez:

- wykonanie specjalnych ekranów ograniczających pole magnetyczne, niestety mało efektywnym ze względów technicznych i ekonomicznych;
- konfigurację ułożenia kabli na trzonie słupa linii wielotorowych w celu zminimalizowania wzajemnych oddziaływań między nimi i ograniczających pole magnetyczne;
- zbudowanie fizycznych barier i wygradzenie obszaru ograniczonego użytkowania w sąsiedztwie słupa kablowego.

Wobec coraz większej powszechności słupów kablowych należy się liczyć z możliwością przekroczenia dopuszczalnych wartości pól magnetycznych w środowisku oraz z koniecznością ograniczenia dostępu do słupów osób postronnych.

### Autorzy:

*prof. dr hab. inż. Jacek Wańkowicz, Instytut Energetyki Instytut Badawczy ul. Mory 8, 01-330 Warszawa,*

*e-mail: [jacek.wankowicz@ien.com.pl](mailto:jacek.wankowicz@ien.com.pl);*

*mgr inż. Piotr Papliński, Instytut Energetyki Instytut Badawczy ul. Mory 8, 01-330 Warszawa,*

*e-mail: [piotr.paplinski@ien.com.pl](mailto:piotr.paplinski@ien.com.pl);*

*mgr inż. Hubert Śmietanka, Instytut Energetyki Instytut Badawczy ul. Mory 8, 01-330 Warszawa,*

*e-mail: [hubert.smietanka@ien.com.pl](mailto:hubert.smietanka@ien.com.pl)*

## LITERATURA

- [1] Piotr Papliński, Piotr Połoczanin, Zdzisław Czarnecki. Katalog wykresów i charakterystycznych informacji dotyczących natężenia pola magnetycznego w otoczeniu linii napowietrznych i kablowych o napięciu 110 kV. Instytut Energetyki, Warszawa 2008.
- [2] Piotr Papliński, Piotr Połoczanin, Zdzisław Czarnecki. Katalog rozkładów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w otoczeniu linii 220 kV i 400 kV. Polskie Sieci Elektroenergetyczne Spółka Akcyjna. Departament Eksploatacji. Konstancin – Jeziorna 2014.
- [3] Sprawozdanie z badań natężenia pola elektrycznego i magnetycznego 50 Hz w wybranych przesłach i słupach kablowych, na terenie Warszawy. Opracowanie Instytutu Energetyki, Warszawa 2011.
- [4] Piotr Papliński, Hubert Śmietanka. Słupy kablowe linii wysokiego napięcia w środowisku. Urządzenia dla energetyki. Nr 3/2015.
- [5] Sprawozdanie z badań natężenia pola elektrycznego i magnetycznego 50 Hz w otoczeniu słupa kablowego dwutorowej linii 110 kV zasilanej ze SE 400/220/110 kV Ostrołęka. Opracowanie Instytutu Energetyki, Warszawa 2016.
- [6] 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. Nr 192, poz. 1883).
- [7] P. Wang, K. Goddard, P. Lewin, S. Swingler. Electromagnetic field application to underground power cable detection. XVII International Symposium on High Voltage Engineering, Hannover, Germany, August 22-26, 2011.
- [8] Kayhan Ates, H. Feza Carlak, Sukru Ozen. Magnetic Field Exposures due to Underground Power Cables: A Simulation Study. Proceedings of the 2nd World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Science (EECSS'16) Budapest, Hungary – August 16 – 17, 2016.
- [9] Andrzej Grabowski, Aleksandra Rakowska, Jerzy Stiller. Kable i przewody (nn, SN, WN) Oddziaływanie linii kablowych najwyższych napięć prądu przemiennego (AC) na środowisko. Europejski Instytut Miedzi.