

## OGRANICZANIE NATĘŻENIA POŁA ELEKTRYCZNEGO W OTOCZENIU LINII 110 kV

Marek OLESZ<sup>1</sup>

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki,  
tel: 583471820 e-mail: marek.olesz@pg.gda.pl

**Streszczenie:** W referacie omówiono warunki techniczne podane w normach [5, 6] konieczne do spełnienia przy lokalizacji obiektów budowlanych zlokalizowanych w pobliżu linii napowietrznej 110 kV. Analizowano także metody ograniczania natężenia pola elektrycznego na powierzchni ziemi za pomocą dodatkowych, uziemionych elementów konstrukcyjnych oraz zmiany konfiguracji przewodów w liniach dwutorowych.

**Słowa kluczowe:** linie napowietrzne 110 kV, rozkład natężenia pola elektrycznego, obiekty budowlane.

### 1. WSTĘP

Ze względu na możliwość budowy budynków mieszkalnych pod liniami 110 kV należy spełnić wymagane w normach [5, 6] kryteria. Oba dokumenty prawne podają zasady projektowania linii energetycznych zarówno wysokiego (WN) i średniego napięcia (SN). Oprócz wymagań na przewody robocze dla linii o napięciu 110 kV i wyższym podano wskazania dla przewodów odgromowych ze światłowodem (OPGW) i przewodów fazowych ze światłowodem (OPCON). W zakresie SN 1 ÷ 45 kV norma podaje zasady projektowania dla linii napowietrznych z przewodami w osłonie izolacyjnej oraz napowietrznych systemów przewodów izolowanych.

W przypadku posadowienia budynków pod liniami 110 kV warunki krajowe [6] przede wszystkim wymagają zachowania odpowiednich odstępów izolacyjnych. Odstępy te przy obciążeniu wiatrem, lodem lub z uwzględnieniem podwyższonej temperatury przewodu dla linii o napięciu 110 kV wynoszą dla dachów trudnozapalnych odpowiednio dla kąta nachylenia powyżej i poniżej 15° przynajmniej 5 m i 3 m. Odległości te uwzględniają bezpieczeństwo pracowników korzystających z narzędzi ręcznych, a w przypadku dachów płaskich używających również niskich drabin.

W przypadku posadowienia budynków pod liniami 110 kV większe znaczenie dla określenia prawidłowych odległości ma analiza natężenia pola elektrycznego, która zazwyczaj z uwagi na oddziaływanie pola na organizmy żywe wymusza zastosowanie większych odstępów izolacyjnych, niż te, które wykluczają przebicie elektryczne. Krajowe Warunki Normatywne [6] wprost odwołują się do rozporządzenia [3] w którym podano krytyczne poziomy natężenia pola elektromagnetycznego wokół obiektów budowlanych.

Szczególnie dotyczy to obiektów mieszkalnych dla których wymagania rozporządzenia [3] podają następujące poziomy dopuszczalne pola o częstotliwości 0÷50 Hz (środowisko ogólne):

- dla pola magnetycznego o częstotliwości 0,5÷50 Hz – 60 A/m
- dla pola elektrycznego o częstotliwości 0,5÷50 Hz – 10 kV/m, a w obszarach zabudowy mieszkaniowej 1 kV/m.

Przez obszar, w którym stosuje się obostrzone do 1 kV/m poziomy pola rozumie się przestrzeń na wysokości do 2 m nad ziemią oraz na tarasach, balkonach i dachach, jeśli charakter tych przestrzeni będzie związany z długotrwałym przebywaniem ludzi, powyżej 8 h na dobę.

W pozostałych miejscach, w których przebywanie osób trzecich jest znacznie ograniczone i dotyczy praktycznie służb technicznych wykonujących doraźne prace remontowe np. na dachu budynku, przyjmuje się - zakładając 8 godzinny pobyt osób w miejscu pracy - poziom pola elektrycznego 10 kV/m [3, 4].

W niektórych przypadkach chcąc spełnić powyższe wymagania szczególnie na wysokości 2 m nad powierzchnią ziemi oraz na powierzchni elementów konstrukcyjnych budynku można wprowadzić dodatkowe uziemione elementy konstrukcyjne i naturalne. Mogą to być według poprzednio obowiązującej dla linii elektroenergetycznych normy [7] nasadzenia w formie krzaków i drzew, metalowe ogrodzenia o odpowiedniej wysokości lub uziemione przewody ekranujące.

### 2. ANALIZA ROZKŁADU POŁA ELEKTRYCZNEGO

Wektor natężenia pola elektrycznego określa w ciągu jednego okresu elipsę o półosi dłuższej  $E_d$  i krótszej  $E_k$ . Wektory  $E_d$ ,  $E_k$  są określone w punkcie  $(x, y)$  przestrzeni dwuwymiarowej jako odpowiednio największa i najmniejsza chwilowa wartość skuteczna natężenia pola elektryczna w chwili czasowej  $t$  zawierającej się w okresie  $T$  zmiany napięcia sieciowego.

$$E_d(x, y) = \max \frac{E(x, y, t)}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

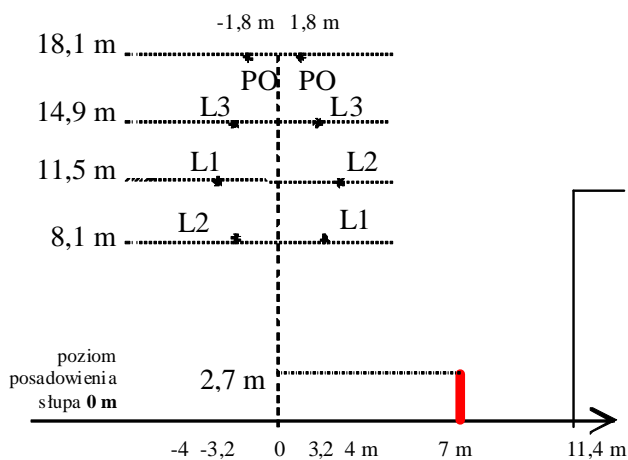
$$E_k(x, y) = \min \frac{E(x, y, t)}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

W praktyce wystarcza wyznaczenie składowej  $E_d$ , ponieważ ma ona wartość największą i jest z niewielkim odchyleniem kilku stopni prostopadła do powierzchni ziemi [1, 2].

Na rys. 1 pokazano geometrię zawieszenia przewodów dla linii dwutorowej 110 kV. Założono zbudowanie jednopiętrowego domu mieszkalnego w sąsiedztwie skrajnych przewodów linii napowietrznej. Wysokość minimalną nad powierzchnią ziemi uzyskano na podstawie obliczeń zwisu przewodu w założonej temperaturze przewodu oraz przy obciążeniu sadią katastrofalną. Dane te wprowadzono do programu FEMM obliczającego rozkład natężenia pola elektrycznego metodą elementów skończonych. Odcięta  $x=0$  na rysunku 1 oznacza punkt pod osią symetrii linii 110 kV.

W celu obostrzenia wyników symulacji przyjęto w przewodach fazy L1 największą wartość skuteczną napięcia fazowego 68,4 kV (na podstawie pomiarów jakościowych energii średnia wartość napięcia międzyfazowego 118,4 kV). W pozostałych przewodach faz L2 i L3 występują wówczas wartości (-34,2) kV. Taka metodyka umożliwia po wykonaniu obliczeń znalezienie największej wartości skutecznej pola elektrycznego, która odpowiada składowej  $E_d$ , która powinna mniejsza od 1 kV/m na obszarze zabudowy mieszkaniowej.

Przewody odgromowe, konstrukcja obrysu projektowanego budynku, dodatkowe ogrodzenia o wysokości 2,7 m (wprowadzone w celu redukcji pola elektrycznego na wysokości 2 m nad ziemią) mają potencjał ziemi. W planowanej inwestycji założono brak tarasów w górnej części budynku oraz balkonów od strony linii WN.



Rys. 1. Współrzędne zawieszenia przewodów przęsła linii 110 kV w pobliżu budynku, (przewody fazowe L1-L3, przewody odgromowe PO, współrzędne odległości i wysokości podano w metrach, 0 oznacza oś symetrii linii. Do wysokości 11,45 m założono wyniesienie potencjału ziemi przez budynek. Ogrodzenie w założonej odległości 7 m oznaczono kolorem czerwonym.

W analizowanym przęsle linii dwutorowej 110 kV założono następujące parametry techniczne słupów i przewodów (wysokości zawieszenia podano w stosunku do zerowego poziomu odniesienia określonego poziomem morza):

- SŁUP nr 1: OS24 P, wysokość zawieszenia najniższego przewodu 15 m,
- SŁUP nr 2: OS24 ON150, wysokość zawieszenia najniższego przewodu 12 m,

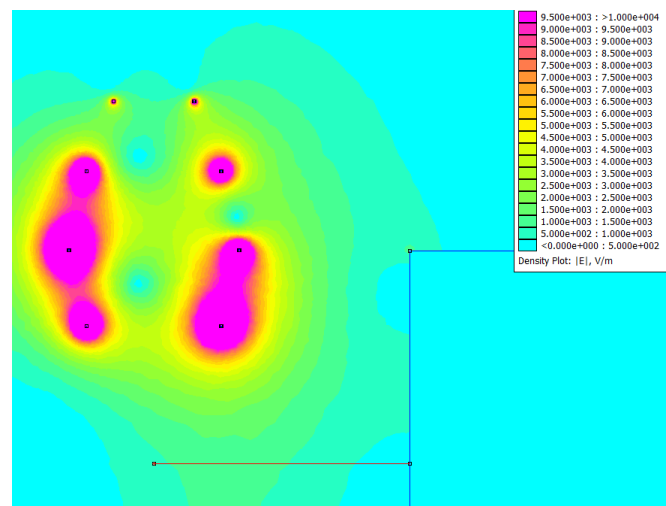
- przewody robocze typu AFL 6-240, średnica obliczeniowa przewodu 21,7 mm, naprężenie podstawowe 75 MPa (projektowe), przyjęto promień 10,85 mm,
- przewód odgromowy - AFL-1,7 95 mm<sup>2</sup> – przyjęto przekrój 134,3 mm<sup>2</sup>, średnica obliczeniowa przewodu 15 mm, naprężenie 11,5 MPa,
- długość przęsła: 215 m,
- odległości między przewodami wg danych katalogowych.

Na rysunku 2 pokazano przykładowy rozkład natężenia pola elektrycznego w przestrzeni wokół projektowanego budynku.

Ze względu na uzyskanie zbyt dużych wartości pola elektrycznego przy powierzchni ziemi poszukiwano sposobów jego zmniejszenia następującymi sposobami:

- wprowadzenie innego fazowania przewodów,
- oddalenie domu od skrajnego przewodu linii,
- wprowadzenie wysokich, metalowych ogrodzeń o wysokości 2,5 m.

Powyższe sposoby wpływają także na poziom pola elektrycznego na powierzchniach pionowej ściany budynku i dachu. Wymagania norm [5, 6] i rozporządzenia [3] poza balkonami i tarasami nie podają krytycznych wartości pola w powierzchni pionowych, ale w przypadku wprowadzenia okien wskazane jest utrzymanie odpowiednio niskich natężeń pola elektrycznego.



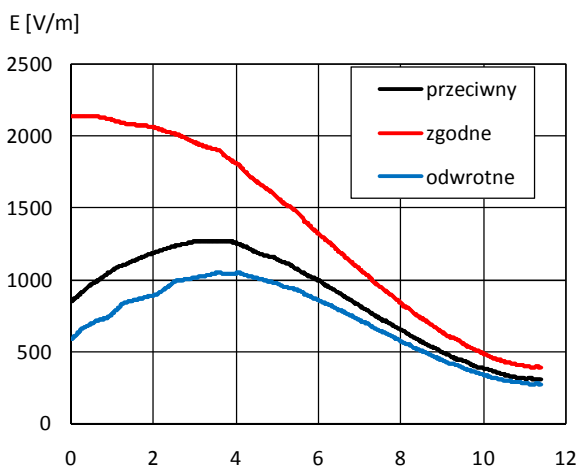
Rys. 2. Rozkład pola elektrycznego wokół linii w fazowaniu w układzie przeciwnym. Założono maksymalną wartość napięcia w fazie L1. Czerwony odcinek wyznacza poziom 2 m nad ziemią na którym obliczano wartość natężenia pola elektrycznego.

### 3. SPOSOBY ZMNIĘSZENIA NATĘŻENIA POLA ELEKTRYCZNEGO

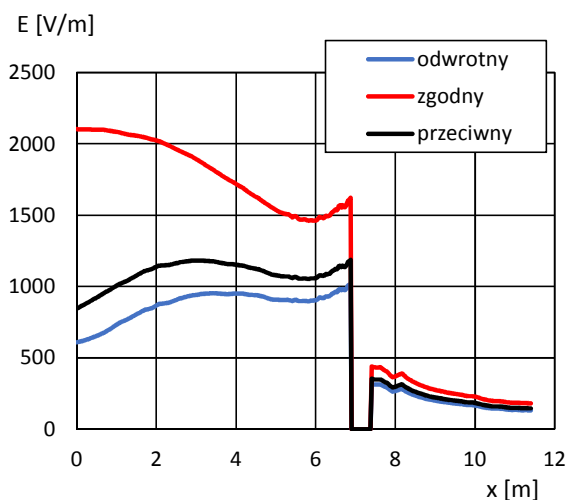
Na podstawie wykonanych obliczeń względem konfiguracji pierwotnej podanej na rysunku 1 można prześledzić skuteczność wymienionych w punkcie 2 metod dla uzyskania prawidłowego poziomu natężenia pola elektrycznego w otoczeniu budynku.

Pierwsza możliwość ograniczenia pola elektrycznego powstaje w linii dwutorowej poprzez wprowadzenie zmiany kolejności faz określonych jako układ – zgodny (na każdym torze od dołu układ L1, L2, L3), odwrotny (od dołu - tor 1 układ L1, L2, L3, tor 2 układ L3, L2, L1) i przeciwny (wg rysunku 1 - od dołu - tor 1 układ L1, L2, L3, tor 2 układ L2, L1, L3). Łatwo domyśleć się, że spośród podanych układów optymalny rozkład pola elektrycznego umożliwia układ odwrotny, co pokazano na rysunku 3.

Niestety w każdej z zastosowanych konfiguracji uzyskuje się natężenie pola przekraczające wymagany poziom 1 kV/m. W związku z tym w celu wykorzystania większej powierzchni działki budowlanej można wprowadzić dodatkowe elementy ekranujące wynoszące potencjał ziemi jak np. metalowe ogrodzenia. Skuteczność wpływu tego rodzaju konstrukcji jest zaskakująca. Ogrodzenie wyraźnie zwiększa poziom natężenia pola elektrycznego od strony linii, ale za to silnie je obniża od strony budynku (rys. 4).



Rys. 3. Wpływ fazowania przewodów linii dwutorowej na maksymalną wartość natężenia pola elektrycznego na wysokości 2 m nad ziemią

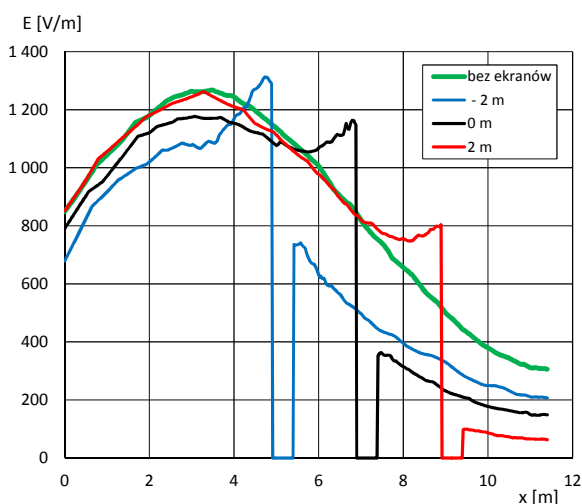


Rys. 4. Wpływ fazowania przewodów linii dwutorowej na maksymalną wartość natężenia pola elektrycznego na wysokości 2 m nad ziemią z uwzględnieniem wprowadzenia dodatkowych ekranów o wysokości 2, 7 m w odległości 7 m od osi linii

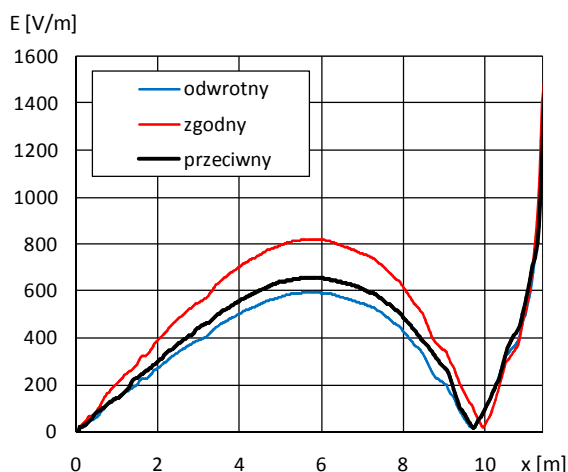
Dodatkowo przy założeniu układu przeciwnego pozwalającego uzyskać pośrednie wartości pola elektrycznego analizowano wpływ położenia ekranu względem linii elektroenergetycznej (rysunek 5). Przesuwanie ekranu w stronę osi linii 110 kV pozwala zwiększyć przestrzeń bezpieczną dla długotrwałego przebywania ludzi i powiększyć powierzchnię obszaru zabudowy mieszkaniowej. Tego rodzaju analiza jest wyłącznie możliwa w programach do obliczeń rozkładu pola elektrycznego i magnetycznego, co pozwala z dobrą dokładnością przewidzieć wpływ różnych elementów konstrukcyjnych na ostatecznie uzyskany rozkład pola.

Ze względu na fakt, iż zastosowane sposoby wpływają na poziom pola również w elementach pionowych

i poziomych znajdujących się w dalszej odległości od skrajnych przewodów linii, zestawiono na rysunkach 6 i 7 odpowiednie wyniki obliczeń pola elektrycznego dla ściany budynku. Rysunki te dotyczą natężenia pola elektrycznego na powierzchni pionowej ściany budynku mieszkalnego od strony linii WN o wysokości 11,45 m. Wpływ fazowania przewodów, jak również posadowienia uziemionych ekranów w pobliżu linii z racji odległości budynku ma znacznie mniejszy wpływ na uzyskany poziom natężenia pola elektrycznego. Wskutek oddziaływania pól poszczególnych przewodów uzyskuje się przy maksymalnych natężeniach pola na powierzchni ziemi pewien obszar pewien obszar przestrzeni o dość ograniczonym natężeniu pola na powierzchniach pionowych. Krytyczne wartości pola elektrycznego obserwuje się dopiero na poziomie dachu, gdzie występuje zbliżenie w układzie poziomym do środkowego przewodu linii.



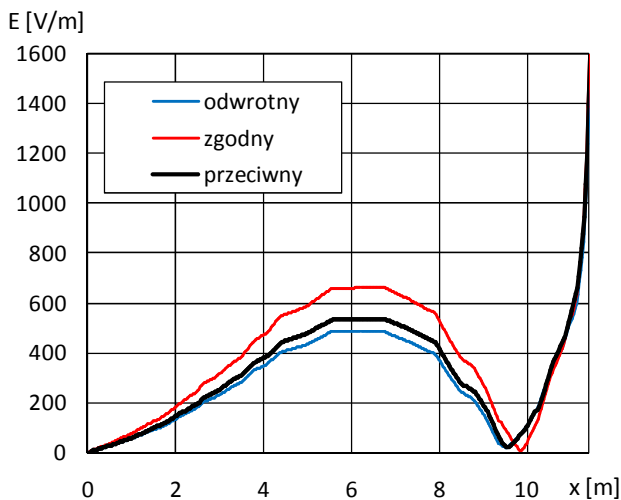
Rys. 5. Wpływ położenia metalowego, uziemionego ekranu o wysokości 2,7 m na maksymalną wartość natężenia pola elektrycznego na wysokości 2 m nad ziemią. Ekran umieszczono w odległości 5 m, 7 m i 9 m od osi linii dwutorowej 110 kV.



Rys. 6. Wpływ fazowania przewodów linii dwutorowej na maksymalną wartość natężenia pola elektrycznego na powierzchni ściany bocznej budynku

Na rozkład pola w przestrzeni zamkniętej profilem linii oraz ściana budynku największy wpływ ma odległość budynku od przewodów wysokiego napięcia. W praktyce z różnych przyczyn, szczególnie w przypadku budynków przeznaczonych na pobyt czasowy (praca przez 1 zmianę roboczą) próbuje się lokalizować je jak najbliżej przewodów skrajnych z uwzględnieniem odległości krytycznych narzuconych normami [5, 6]. Akceptacja w dokumentach

prawnych dopuszczalnego poziomu 10 kV/m [4] dla osób przebywających poniżej 8 h na dobę pozwala uzyskać większe zbliżenie obiektu prawie do odległości wynikających z odstępów izolacyjnych.



Rys. 7. Wpływ fazowania przewodów linii dwutorowej na maksymalną wartość natężenia pola elektrycznego na powierzchni bocznej ściany budynku z uwzględnieniem wprowadzenia dodatkowych ekranów o wysokości 2,7 m w odległości około 7 m od osi linii

W pokazanym na rysunku 1 usytuowaniu budynku w odległości 7,4 m względem przewodów skrajnych linii 110 kV nie ma przekroczenia poziomu 1 kV/m na wysokości 2 m nad ziemią w obszarze planowanej zabudowy mieszkaniowej. Natężenia pola do 1,6 kV/m na powierzchni ściany bocznej wynikają z wprowadzenia do programu niezaokrąglonej krawędzi dachu. W rzeczywistości wartości te mogą być mniejsze wskutek zaokrągleń wynikających z zastosowania odpowiednich materiałów konstrukcyjnych.

W każdym przypadku mimo przeprowadzonych obliczeń należy zgodnie z wymaganiami rozporządzenia po zakończonym procesie inwestycyjnym sprawdzać wartości natężenia pola elektrycznego w miejscach spodziewanych krytycznych wartości, które wynikają z przeprowadzonych obliczeń. Metody pomiaru pola elektrycznego podaje załącznik 2 rozporządzenia [4]. Pomiaru należy wykonywać po uruchomieniu instalacji na wysokości 2 m nad powierzchnią ziemi lub trasu, balkonu oraz 1,6 m od ścian budynków. Dodatkowym zagadnieniem jest analiza i pomiar pola magnetycznego nie omówiony w niniejszym referacie.

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

W przestrzeni znajdującej się w odległości do 2 m nad ziemią uzyskuje się skuteczne sterowanie wartością pola elektrycznego poprzez wprowadzanie uziemionych ekranów

lub z mniejszą skutecznością drzew i krzewów. Dodatkowo w przypadku linii dwutorowych istotna jest konfiguracja faz w przęśle, która umożliwia dalsze zmniejszenie natężenia pola elektrycznego.

W celu dodatkowego ograniczenia poziomu pola elektrycznego wewnątrz budynku do wartości praktycznie zerowej wskazane jest wykonanie ekranowania powierzchni dachu (materiał przewodzący – połączony z potencjałem ziemi), a po zakończeniu budowy skontrolowanie natężenia pola w miejscach krytycznych – czyli na ostatniej kondygnacji, pozostających w bezpośredniej bliskości przewodów linii 110 kV.

Obliczenia rozkładu pola elektrycznego metodą odbić lustrzanych lub elementów skończonych w stosunku do analiz według wzorów teoretycznych dla uproszczonych modeli, pozwalają na dokładne określenie charakteru i natężenia pola elektrycznego wokół analizowanych obiektów.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Wafa Tourab, Abdesselam Babouri, Measurement and Modeling of Personal Exposure to the Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of High Voltage Power Lines, 2015, Occupational Safety and Health Research Institute. Published by Elsevier.
2. Zeńczak M., Analiza pola elektrycznego i magnetycznego wokół linii elektroenergetycznych i wybranych urządzeń elektroenergetycznych, Napędy i sterowanie, nr 9, wrzesień 2011, str. 148 – 153.
3. Prawo budowlane, Dz.U. 1994 Nr 89 poz. 414 z późniejszymi zmianami.
4. 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. z dnia 14 listopada 2003 r., Dz. U. nr 192 poz. 1883).
5. Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 217, poz. 1833 z 2002 r.
6. PN-EN 50341-1:2013-03, Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV - Część 1: Wymagania ogólne - Specyfikacje wspólne.
7. PN-EN 50341-2-22:2016-04, Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV - Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski (oparte na EN 50341-1:2012).
8. PN-E-05100-1:2000, Elektroenergetyczne linie napowietrzne - Projektowanie i budowa - Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi.

#### CONTROL OF ELECTRIC FIELD STRENGTH IN THE VICINITY OF 110 kV LINE

##### Abstract:

The paper discusses the technical conditions given in the standards [5, 6] necessary to meet the location of buildings in the vicinity of 110 kV overhead lines. The methods of controlling the electric field strength on the ground by means of additional grounded components and the configuration of double-circuit lines were also analyzed. The grounded objects clearly increases the intensity of the electric field from the line side, but strongly decreases from the side of the building. This solution effectively controls the value of the electric field strength in the areas of human occupancy.

**Key-words:** 110 kV overhead lines, distribution of electric field strength, building objects