

ANALIZA KONSTRUKCYJNYCH MOŻLIWOŚCI OGRANICZANIA SZEROKOŚCI STREFY ODDZIAŁYWANIA LINII PRZESYŁOWYCH

Konrad KOCHANOWICZ¹, Wiesław NOWAK², Waldemar SZPYRA³, Rafał TARKO⁴, Tadeusz WSZOŁEK⁵

1. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki, BSiPE Energoprojekt Kraków S.A. tel.: 12 2997320, e-mail: k.kochanowicz@energo.krakow.pl
2. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki tel.: 12 6172824, e-mail: wieslaw.nowak@agh.edu.pl
3. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki tel.: 607 985 345, e-mail: wszpyra@agh.edu.pl
4. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki tel.: 12 6173653, e-mail: rtarko@agh.edu.pl
5. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki tel.: 12 6173512, e-mail: tadeusz.wszolek@agh.edu.pl

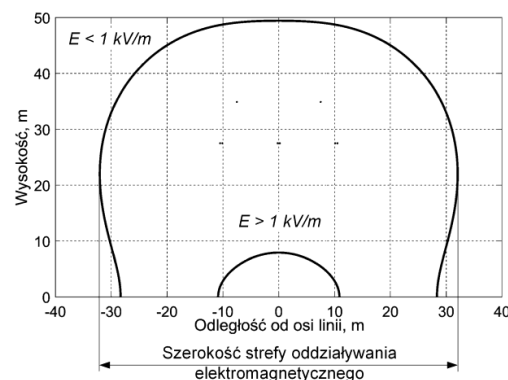
Streszczenie: Strefa oddziaływania linii elektroenergetycznej rozumiana jest jako powierzchnia części nieruchomości, na której prawo własności doznaje uszczerbku z uwagi na ograniczenia w zagospodarowaniu terenu oraz konieczność zapewnienia bezpieczeństwa osób i mienia. Szerokość tej strefy determinuje wiele czynników, wśród których podstawowe znaczenie ma składowa elektryczna pola elektromagnetycznego (pole elektryczne) o częstotliwości sieciowej. Na wartości natężenia pola elektrycznego, oprócz napięcia linii wpływa rozmieszczenie przestrzenne przewodów roboczych. Przedmiotem artykułu jest analiza wpływu parametrów projektowych określających przestrzenne rozmieszczenie przewodów na szerokości strefy oddziaływania linii. Ma ona na celu określenie możliwości redukcji szerokości strefy oddziaływania linii elektroenergetycznych o napięciu 400 kV.

Słowa kluczowe: napowietrzne linie elektroenergetyczne, pole elektryczne, hałas, strefa oddziaływania elektromagnetycznego.

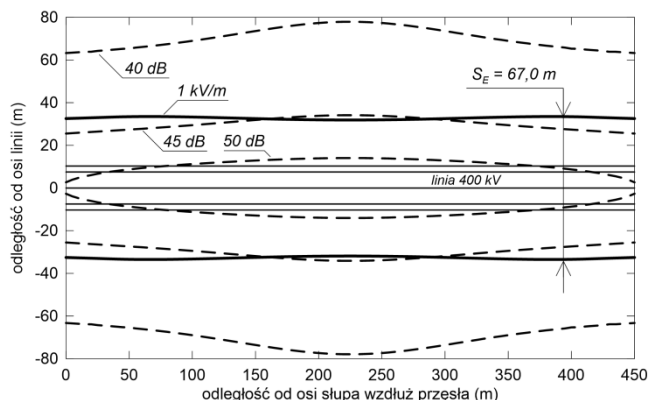
1. WPROWADZENIE

Ograniczanie negatywnego oddziaływania napowietrznych linii elektroenergetycznych na środowisko jest zagadnieniem wieloaspektowym. Działania w kierunku redukcji tych oddziaływań czynione są praktyczne rzecz biorąc od początków przesyłania i dystrybucji energii elektrycznej liniami napowietrznymi – zmieniają się jedynie kierunki i priorytety działań, które dostosowują się do aktualnych problemów. Wśród nich szczególne znaczenie ma obecnie zagadnienie korytarzy infrastrukturalnych (korytarzy przesyłowych), jako wyodrębnionych pod względem prawnym terenów niezbędnych do posadwienia i eksploatacji linii elektroenergetycznych. Jednym z elementów takiego korytarza jest strefa oddziaływania linii elektroenergetycznej, rozumiana jest jako powierzchnia części nieruchomości, na której prawo własności doznaje uszczerbku z uwagi na ograniczenia w zagospodarowaniu terenu oraz konieczność zapewnienia bezpieczeństwa osób i mienia. Szerokość tej strefy determinuje wiele czynników, wśród których podstawowe znaczenie ma składowa

elektryczna pola elektromagnetycznego (pole elektryczne) o częstotliwości sieciowej. Na wartości natężenia pola elektrycznego, oprócz napięcia linii wpływa rozmieszczenie przestrzenne przewodów roboczych zdeterminowane kształtem konstrukcji wsporczej i sposobem ich zawieszenia.



Rys. 1. Przykładowy obraz pola elektrycznego w przekroju poprzecznym jednorowej linii 400 kV



Rys. 2. Przykładowe zasięgi stref oddziaływania pola elektrycznego i oddziaływania akustycznego w przeszle jednorodnej linii 400 kV, S_E – szerokość strefy oddziaływania

Zasięg strefy wynika z przestrzennego rozkładu pola elektrycznego (rys. 1) i ograniczony jest miejscem występowania wartości dopuszczalnej wynoszącej 1 kV/m [1]. Obraz pola elektrycznego nie jest jednakowy wzdłuż całego przeszła linii, dlatego szerokość strefy oddziaływania elektromagnetycznego zmienia się wzdłuż przeszła – rysunek 2. Na rysunku tym przedstawiono również strefy oddziaływania hałasu [2], którego dopuszczalny poziom nie powinien przekraczać wartości określonych w Rozporządzeniu [3]. Najczęściej występujące na typowych trasach przebiegu linii wartości to poziom 45 dBA w porze nocnej i 50 dBA w dzień (m.in. tereny zabudowy zagrodowej, rekreacyjno-wypoczynkowe, mieszkaniowo-usługowe). Lokalnie mogą to być o 5 dB ostrzejsze wartości (np. tereny w pobliżu szkół, szpitali, domów opieki społecznej), w dużej części są to tereny w ogóle nie chronione (np. tereny rolnicze, przemysłowe, lasy).

Przedmiotem artykułu jest analiza wpływu parametrów projektowych określających przestrzenne rozmieszczenie przewodów, mająca na celu zbadanie możliwości redukcji szerokości strefy oddziaływania linii elektroenergetycznych o napięciu 400 kV.

2. METODYKA I ZAKRES BADAŃ

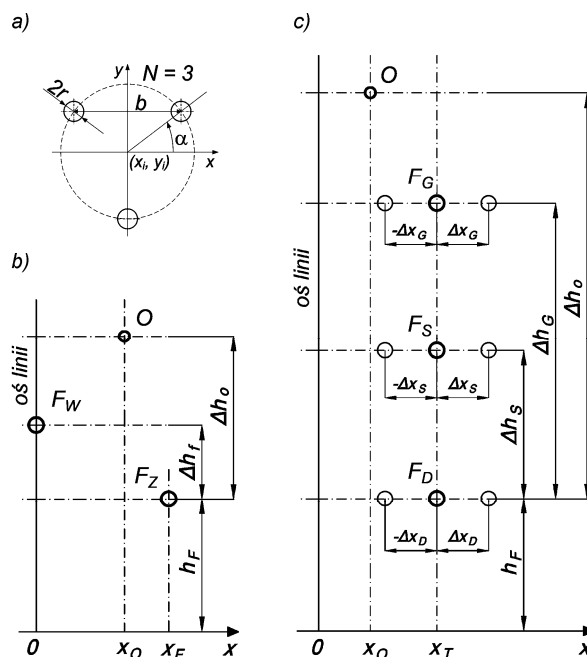
Analizę możliwości ograniczania szerokości strefy oddziaływania elektromagnetycznego linii przesyłowych 400 kV, przeprowadzono dla wybranych parametrów konstrukcyjnych linii, przedstawionych w tabeli 1 oraz zilustrowanych na rysunku 3. Badania wykonano dla jedno- i dwutorowych linii 400 kV z uwzględnieniem różnych konfiguracji rozmieszczenia przewodów na symetrycznych konstrukcjach wsporczych, przy różnej liczbie przewodów w wiązce. Zakres zmian tych parametrów określono z uwzględnieniem technicznych możliwości realizacji i ograniczeń wynikających ze stosowanych norm.

Tabela 1. Oznaczenia parametrów konstrukcyjnych linii

| Symbol | Opis parametru |
|--------------|--|
| x_F | odległość pozioma fazy zewnętrznej od osi linii jednorodnej |
| x_O | odległość pozioma przewodu odgromowego od osi linii |
| h_F | wysokość zawieszenia faz dolnych na słupie |
| Δh_F | odległość pionowa fazy wewnętrznej od faz zewnętrznych w linii jednorodnej |
| Δh_O | odległość pionowa przewodów odgromowych od faz dolnych |
| x_T | odległość pozioma osi toru od osi linii dwutorowej |
| Δx_D | odległość pozioma fazy dolnej od osi toru |
| Δx_S | odległość pozioma fazy środkowej od osi toru |
| Δx_G | odległość pozioma fazy górnej od osi toru |
| Δh_S | odległość pionowa fazy środkowej od fazy dolnej w linii dwutorowej |
| Δh_G | odległość pionowa fazy górnej od fazy dolnej w linii dwutorowej |
| f | zwis przewodów |
| h_{min} | minimalna odległość przewodów fazowych od ziemi |
| N | liczba przewodów w wiązce |
| b | odległość przewodów w wiązce |

Badania przeprowadzono obliczając wartości natężenia pola elektrycznego [4, 5] w przekrojach poprzecznych wzdłuż analizowanego przeszła linii. Na ich podstawie

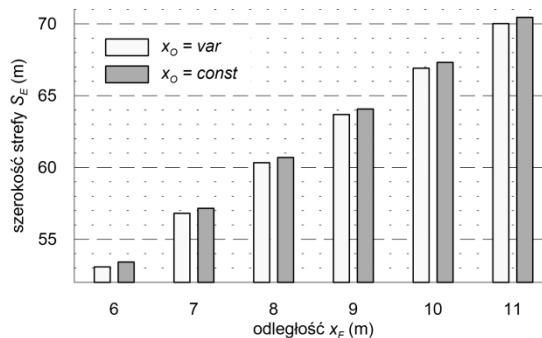
wyznaczano obrazy izolinii o wartości 1 kV/m oraz szerokości strefy oddziaływania w danym przekroju (rys. 1). Jako szerokość strefy oddziaływania S_E w danym przeszle przyjmowano największą szerokość strefy ze wszystkich przekrojów.



Rys. 3. Analizowane parametry konstrukcji linii 400 kV: a) budowa przewodu fazowego, b) linia jednorodna, c) linia dwutorowa F_Z, F_W – odpowiednio faza zewnętrzna i wewnętrzna linii jednorodnej, F_D, F_S, F_G – odpowiednio faza dolna, środkowa i górna w torze linii dwutorowej, O – przewód odgromowy

3. WYNIKI OBLICZEŃ

Wyniki obliczeń w postaci wykresów szerokości strefy oddziaływania S_E od wybranych parametrów, przedstawiono na rysunkach 4 – 8 dla linii jednorodnej oraz 9 – 11 dla linii dwutorowej.



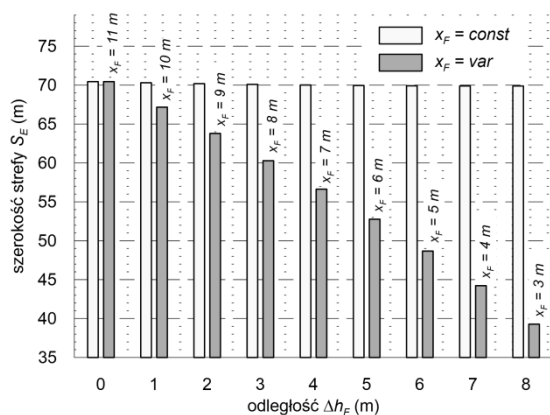
Rys. 4. Wpływ odległości x_F na szerokość strefy S_E

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ odległości poziomej x_F fazy zewnętrznej od osi linii jednorodnej, na szerokość strefy S_E . Zmniejszanie x_F w zakresie od 11 m do 6 m powoduje zmniejszenie S_E z około 70 m do 53 m. Zbadano również wpływ zmiany położenia przewodów odgromowych ($x_O = var$), wynikającej ze zmiany szerokości słupa. Można zauważyć, że położenie przewodów odgromowych nieznacznie wpływa na szerokość strefy.

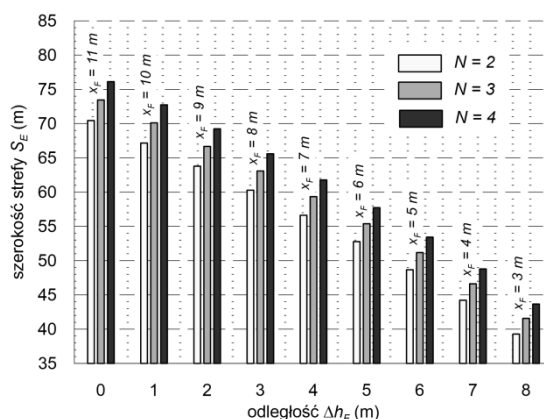
Na rysunku 5 pokazano wpływ odległości pionowej Δh_F fazy wewnętrznej od faz zewnętrznych w linii jednorodnej na szerokość strefy S_E . Przy stałym położeniu przewodów faz zewnętrznych ($x_F = const.$) zwiększanie Δh_F nie wpływa na szerokość strefy S_E . Natomiast równoczesna

zmiana obu wymienionych parametrów pozwala zmniejszyć szerokość strefy S_E poniżej 40 m.

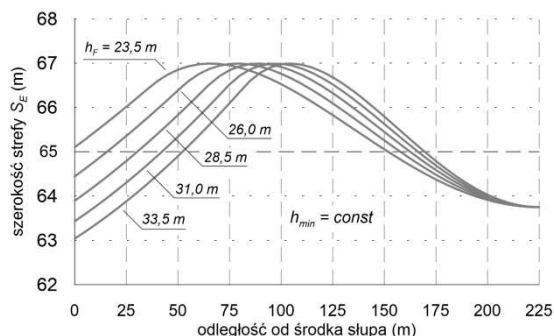
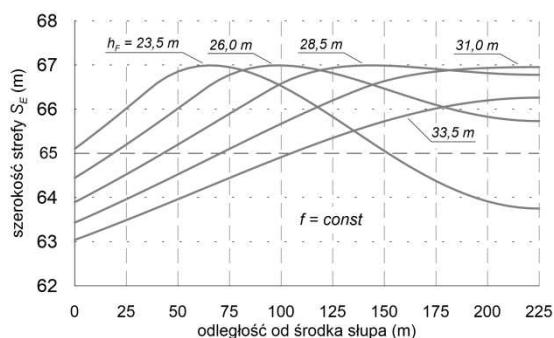
skutkując zmniejszeniem emisji akustycznej oraz strat wywołanych ulotem elektrycznym.



Rys. 5. Wpływ odległości Δh_F na szerokość strefy S_E



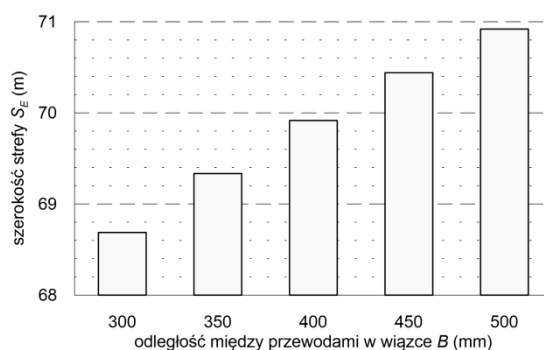
Rys. 7. Wpływ liczby przewodów N w wiązce na zależność szerokości strefy S_E od odległości Δh_F



Rys. 6. Wpływ odległości h_F na kształt strefy S_E wzdłuż przęsła:
a) przy stałym zwisie f , b) przy stałej minimalnej odległości przewodów w środku przęsła od ziemi

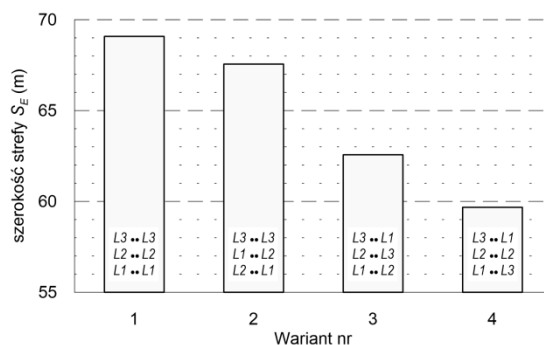
Na rysunku 6 przedstawiono wpływ wysokości h_F na kształt strefy S_E wzdłuż przęsła linii jednorodnej: a) przy stałym zwisie $f = 13,5$ m, oraz b) przy stałej minimalnej odległości od ziemi przewodów w środku przęsła $h_{min} = 10$ m. Z wykresów wynika, że zarówno w jednym, jak i drugim przypadku zmiana wysokości zawieszenia przewodów na słupie nie wpływa na szerokość strefy S_E . Powoduje to jedynie przesunięcie maksymalnego zasięgu strefy w kierunku środka przęsła.

Na rysunku 7 pokazano wpływ liczby przewodów N w wiązce na zależność szerokości strefy S_E od odległości Δh_F . Natomiast na rysunku 8 przedstawiono zależność szerokości strefy od odległości między przewodami w wiązce b . Z rysunków 7 i 8 wynika, że zarówno zwiększanie liczby jak i odległości przewodów w wiązce powoduje zwiększenie szerokości strefy oddziaływania S_E . Należy jednak zaznaczyć, że takie zmiany wpływają na zmniejszenie natężenia pola elektrycznego na powierzchni przewodów,



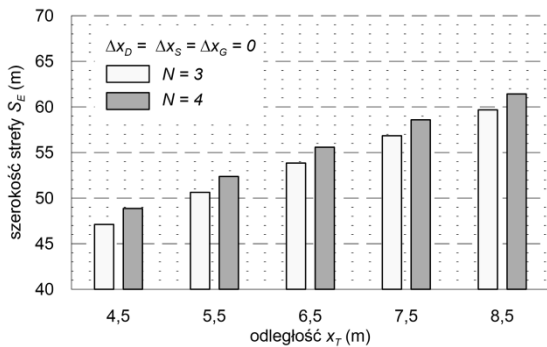
Rys. 8. Wpływ odległości między przewodami w wiązce B na szerokość strefy S_E

Na rysunku 9 przedstawiono wpływ układu przewodów fazowych w linii dwutorowej na szerokość strefy S_E . Z rysunku wynika, że najkorzystniejszy jest układ przewodów jak wariant 4, dla którego szerokość strefy jest o blisko 10 m mniejsza niż dla wariantu 1.

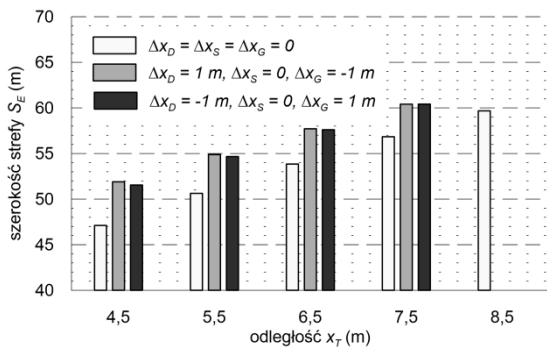


Rys. 9. Wpływ układu przewodów fazowych w linii dwutorowej na szerokość strefy S_E

Na rysunku 10 pokazano wpływ odległości x_T na szerokość strefy S_E dla różnej liczby N przewodów w wiązce. Natomiast na rysunku 11 pokazano wpływ odległości x_T na szerokość strefy S_E dla różnego "pochylenia" przewodów fazowych. Z obliczeń wynika, że dla układu pionowego, zmniejszenie wysunięcia przewodów z 8,5 m do 4,5 m powoduje zmniejszenie szerokości strefy o około 12 m, niezależnie od liczby przewodów w wiązce (rys. 10 i 11). Natomiast pochylenie przewodów, niezależnie od kierunku, zwiększa szerokość strefy S_E (rys. 11).



Rys. 10. Wpływ odległości x_T na szerokość strefy S_E dla różnej liczby N przewodów w wiązce



Rys. 11. Wpływ odległości x_T na szerokość strefy S_E dla różnego "pochylenia" przewodów fazowych

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że dla linii jednotorowych parametrem najbardziej wpływającym na szerokość strefy oddziaływania elektromagnetycznego jest odległość między fazami zewnętrznymi i wysokość zawieszenia fazy wewnętrznej względem faz zewnętrznych. Z punktu widzenia konstrukcyjnych możliwości ograniczania szerokości strefy oddziaływania linii przesyłowych należy więc dążyć do rozwiązań z trójkątnym układem przewodów. Natomiast szerokość strefy oddziaływania elektromagnetycznego praktycznie nie zależy od wysokości zawieszenia oraz od zwisu przewodów.

W liniach dwutorowych zasadniczym czynnikiem decydującym o szerokości strefy jest odległość między torami linii. Ponadto, istotne znaczenie ma również

kolejność faz w obu torach linii. Najkorzystniejszy jest układ, w którym środkowe fazy torów są jednoimienne, natomiast górne i dolne są różnoimienne.

Zastosowanie wiązek o większej liczbie przewodów powoduje zmniejszenie maksymalnego natężenia pola na powierzchni i w otoczeniu przewodów. Powoduje to zmniejszenie szerokości oddziaływania akustycznego, ale zwiększa szerokość strefy oddziaływania elektromagnetycznego.

Z punktu widzenia minimalizacji oddziaływania linii elektroenergetycznych na środowisko konieczne jest kompleksowe ujęcie problemu oddziaływań elektromagnetycznych i akustycznych, bowiem redukcji pola elektrycznego i szerokości strefy oddziaływania elektromagnetycznego towarzyszy na ogół wzrost natężenia pola elektrycznego na powierzchni przewodów, a w efekcie ulotu elektrycznego i zjawisk mu towarzyszących.

5. BIBLIOGRAFIA

1. 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., nr 192, poz. 1883)
2. Wszetek T.: Modelowanie zjawisk wibroakustycznych w systemach przesyłowych najwyższych napięć, WNITE-PIB Radom-Kraków, 2013.
3. Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 15 października 2013 r w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia MŚ w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, Dz.U. z 2014, poz.112.
4. Tarko R., Nowak W.: Computer analysis of electric field in high voltage power lines, Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering, iss. 61, 2010, pp. 117–127.
5. Bąchorek W., Kot A., Nowak W., Szypra W, Tarko R.: Problemy projektowania i eksploatacji napowietrznych linii elektroenergetycznych w aspekcie pól elektromagnetycznych, V Konferencja Naukowo-Techniczna Elektroenergetyczne Linie Napowietrzne, PTPiREE Poznań-Dźwirzyno, maj 2012, s.6-1–6-11.

ANALYSIS OF CONSTRUCTIONAL POSSIBILITIES OF LIMITING THE WIDTH OF THE ELECTROMAGNETIC INTERACTION ZONE OF TRANSMISSION LINES

The zone affected by the power line is understood as the area of the part of the land on which the right of ownership is adversely affected due to restrictions in land development and the need to ensure the safety of persons and property. The width of this zone is determined by many factors, among which the electric field with a frequency of 50 Hz has a basic importance. The value of the electric field strength is determined by the line voltages and the arrangement of the wires. The subject of this paper is the analysis of the influence of construction parameters determining the arrangement of wires. The aim of the analysis is to determine the possibility of reducing the width of the impact zone of 400 kV power lines. Minimising the environmental impact of power lines requires a comprehensive approach to the problem of electromagnetic and acoustic effects. Reducing the width of the electromagnetic interaction zone generally increases the intensity of the electric field on the surface of the wires and, as a result, the corona effect.

Keywords: overhead power lines, electric field, noise, electromagnetic interaction zone.