**Marek JAWORSKI**

Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki
ORCID:0000-0002-6537-050X

doi:10.15199/48.2022.12.26

# Skumulowane oddziaływania pola elektromagnetycznego w otoczeniu linii napowietrznych

***Streszczenie.*** *W artykule wyjaśniono pojęcie oddziaływań skumulowanych, które zgodnie z obowiązującymi przepisami należy rozpatrywać w przypadku przedsięwzięć wymagających uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach. Do takich przedsięwzięć zaliczamy budowę napowietrznych linii elektroenergetycznych o napięciach 110, 220 i 400 kV. Analizę oddziaływań skumulowanych przedstawiono dla pola elektromagnetycznego, którego źródłem są wspomniane linie napowietrzne. Omówiono zagadnienia związane z wyborem najbardziej niekorzystnego układu faz w liniach dwutorowych oraz na podstawie przeprowadzonych stosownych obliczeń rozkładów pola elektrycznego i magnetycznego pokazano na czym polega skumulowane oddziaływanie pola elektromagnetycznego w przypadku dwóch linii 400 kV prowadzonych równolegle oraz skrzyżowań linii 400 kV z linią o napięciu 110 kV.* (***Cumulative effects of an electromagnetic field in the vicinity of overhead lines)***

***Abstract****. The article explains the concept of cumulative effects, which in accordance with applicable regulations should be considered in the case of projects requiring a decision on environmental conditions. Overhead power lines with a voltage of 110, 220 and 400 kV are such projects. The cumulative effects analysis was presented for the electromagnetic field caused by the overhead lines. Furthermore, the issues related to selecting the most unfavourable phase system in double-circuit lines were discussed. Finally, based on appropriate calculations of the electric and magnetic field distributions, it was shown what the cumulative effects of the electromagnetic field are in the case of two 400 kV lines running in parallel and the intersections of 400 kV lines with a 110 kV line.*

**Słowa kluczowe**: linie napowietrzne, pole elektromagnetyczne, skumulowane oddziaływanie
**Keywords**: overhead power lines, electromagnetic fields, cumulative effects

## Wprowadzenie

Pojęcie oddziaływań skumulowanych wielokrotnie pojawia się w ustawie z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko [1]. Prawdopodobieństwo wystąpienia oddziaływań skumulowanych lub transgranicznych bierze się pod uwagę przy odstąpieniu od przeprowadzenia strategicznej oceny oddziaływania na środowisko, albo przy ustaleniu, czy zachodzi potrzeba przeprowadzenia takiej oceny (art. 49 pkt. 2 lit. b ustawy [1]). Zgodnie z art. 51 ustawy [1] prognoza oddziaływania na środowisko określa, analizuje i ocenia przewidywane znaczące oddziaływania, w tym oddziaływania bezpośrednie, pośrednie, wtórne, skumulowane, krótkoterminowe, średnioterminowe i długoterminowe, stałe i chwilowe oraz pozytywne i negatywne, na cele i przedmiot ochrony obszaru Natura 2000 oraz integralność tego obszaru, a także na środowisko. Podczas przeprowadzania oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko należy uwzględnić między innymi powiązania z innymi przedsięwzięciami, w szczególności kumulowania się oddziaływań przedsięwzięć realizowanych i zrealizowanych, dla których została wydana decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach. Informacje na temat powiązań z innymi przedsięwzięciami, w szczególności kumulowania się oddziaływań przedsięwzięć realizowanych, zrealizowanych lub planowanych powinny znaleźć się także w raporcie o odziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko (art. 66 ustawy [1]).

W artykule wyjaśniono na czym polega skumulowane oddziaływanie pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez linie elektroenergetyczne o napięciach 110, 220 i 400 kV. Napowietrzne linie elektroenergetyczne o napięciu znamionowym nie mniejszym niż 220 kV i długości nie mniejszej niż 15 km zalicza się, zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r [2,3], do przedsięwzięć mogących zawsze znacząco oddziaływać na środowisko. Napowietrzne linie elektroenergetyczne o napięciu znamionowym nie mniejszym niż 110 kV zalicza się do przedsięwzięć mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko. Linie o napięciu nie mniejszym od 110 kV wymagają więc zawsze uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, o której mowa w art. 71 ust.2 ustawy [1].

Podczas sporządzania raportu o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięcia polegającego na budowie napowietrznej linii o napięciu 400 kV należy zgodnie z zapisami zawartymi w ustawie [1] określić między innymi skumulowane oddziaływania pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez projektowaną linię oraz istniejące lub planowane do wybudowania napowietrzne linie o napięciu 110, 220 lub 400 kV znajdujące się w zbliżeniu do linii projektowanej lub z nią się krzyżujące. Czy w takich sytuacjach faktycznie może dochodzić do skumulowanego oddziaływania pola elektrycznego i magnetycznego skutkującego przekroczeniem wartości dopuszczalnych poszczególnych składowych pola w miejscach dostępnych dla ludzi? Zagadnienia te zostaną wyjaśnione w dalszej części artykułu.

## Wybór najbardziej niekorzystnego układu faz dla reprezentatywnych przęseł linii

Analizę oddziaływań skumulowanych pola elekromagnetycznego przeprowadzono w oparciu o obliczenia dla nowo projektowanej dwutorowej linii 400 kV na kratowych słupach serii SC34, która połączyć ma 3 stacje elektroenergetyczne w północno-środkowej części Polski.

Na potrzeby sporządzania analiz środowiskowych, w tym raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko, istotne jest wyznaczenie maksymalnych spodziewanych wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, które wystąpią dla układu faz nazywanego najbardziej niekorzystnym. Czy taki układ dla linii dwutorowych w ogóle istnieje i jakie są różnice w rozkładach pola dla różnych konfiguracji faz na słupach linii? W celu wyjaśnienia tego pytania autor artykułu przeprowadził szereg obliczeń rozkładów pola elektromagnetycznego.

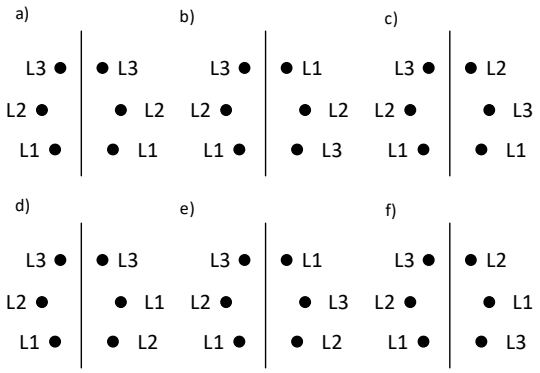
Wiadomym jest, że stosując odpowiedni układ przewodów fazowych w linii wielotorowej (dwutorowej) można wpływać na kształtowanie rozkładu pola

elektrycznego lub magnetycznego pod linią, gdyż wektory natężeń pól pochodzące od poszczególnych przewodów (faz) ulegają częściowej kompensacji w procesie sumowania wektorowego. Jest to jedna z najczęściej stosowanych metod kształtowania rozkładu poszczególnych składowych pola w otoczeniu linii, służąca przede wszystkim do obniżania maksymalnej wartości natężenia pola elektrycznego ($E_{max}$) i magnetycznego ($H_{max}$) pod linią, a także zmniejszania szerokości obszaru, w którym natężenie pola elektrycznego może przekroczyć wartość 1 kV/m. Ustalenia powyższe oznaczają, że istotną kwestią w procesie projektowania linii w aspekcie jej potencjalnego oddziaływania na środowisko jest wybór odpowiedniego układu faz w poszczególnych torach linii. Optymalna konfiguracja faz w projektowanej linii, przy przyjęciu możliwie najmniejszej odległości przewodów od ziemi, powinna zapewniać dotrzymanie standardów jakości środowiska (nieprzekraczanie wartości dopuszczalnych natężenia pola elektrycznego i magnetycznego określonych w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2019 r [4]) oraz utrzymanie możliwie najmniejszej szerokości obszaru pod linią, w którym natężenie pola elektrycznego może przekroczyć wartość 1 kV/m.

Uwzględniając powyższe ustalenia, przeprowadzono stosowne obliczenia dla przęseł reprezentatywnych linii 400 kV złożonych z następujących par słupów:

a) P – P (słupy przelotowe serii SC34),
b) M6 – M6 (słupy mocne serii SC34).

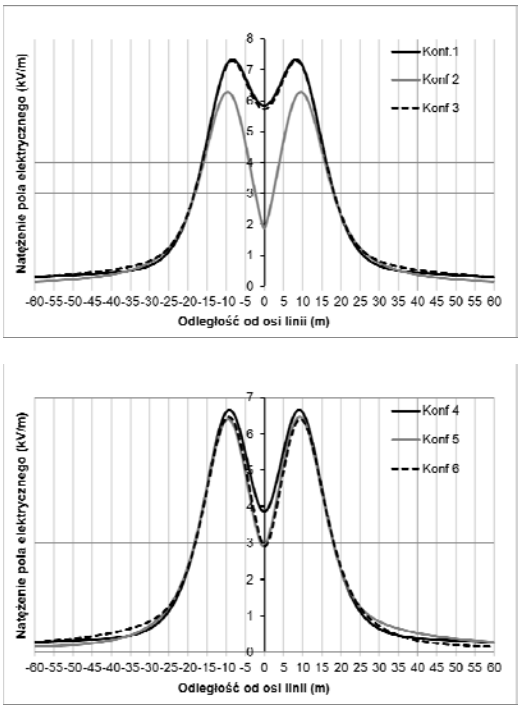
Wybór takich przęseł wyniknął z faktu, że dla słupów typu M6 odległość zawieszenia przewodów od osi słupa jest znacznie większa niż w przypadku słupa typu P. Obliczenia te wykonano dla 6 różnych konfiguracji faz, które zilustrowano na rysunku 1.



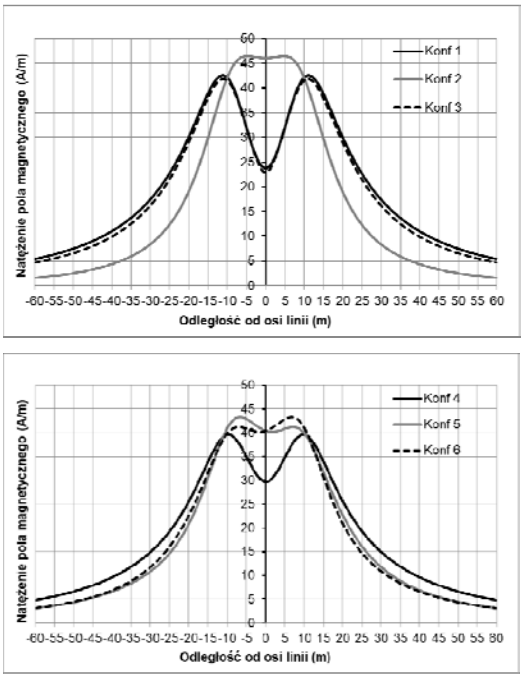

Rys.1. Analizowane układy faz: a) konfiguracja 1, b) konfiguracja 2, c) konfiguracja 3, d) konfiguracja 4, e) konfiguracja 5, f) konfiguracja 6

Rozkłady natężenia pola elektrycznego (rys.2) i magnetycznego (rys.3) dla 6 różnych konfiguracji faz wyznaczono przy przyjęciu najbardziej niekorzystnych warunków pracy linii – minimalnej odległości przewodów od ziemi $h_{min}$ = 11 m, maksymalnego napięcia 420 kV oraz maksymalnego obciążenia przewodów $I_{max}$ = 3540 A/fazę. Dodatkowo w tabeli 2 zestawiono wyniki obliczeń dla przęsła złożonego z pary słupów przelotowych, a w tabeli 3 dla przęsła złożonego z pary słupów mocnych M6.

Przy wyborze najbardziej niekorzystnej konfiguracji faz wielkościami kryterialnymi mogą być maksymalne wartości poszczególnych składowych pola ($E_{max}$, $H_{max}$) oraz szerokość obszaru, w którym E>1 kV/m. Przeprowadzone obliczenia wykazały jednak, że nie ma takiej konfiguracji faz, przy której te trzy wielkości osiągałyby jednocześnie maksymalne wartości lub przekraczałyby wartości dopuszczalne. Przy konfiguracji 1 faz największa jest maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego (7,33 kV/m), przy konfiguracji 2 faz największa jest maksymalna wartość natężenia pola magnetycznego (46,5 A/m), a przy konfiguracji 3 występuje najszerszy obszar, w którym E>1 kV/m (62,2 m).




Rys.2. Rozkłady natężenia pola elektrycznego w otoczeniu przęsła linii 400 kV zbudowanego z pary słupów przelotowych P-P serii SC34 dla 6 różnych konfiguracji faz




Rys.3. Rozkłady natężenia pola magnetycznego w otoczeniu przęsła linii 400 kV zbudowanego z pary słupów przelotowych P-P serii SC34 dla 6 różnych konfiguracji faz

Biorąc pod uwagę fakt, ze dla obu typu przęseł maksymalne wartości natężenia pola magnetycznego są największe dla konfiguracji 2 faz oraz dla tej właśnie konfiguracji występuje najszerszy obszar, w którym E>1 kV/m, można uznać właśnie tę konfigurację jako najbardziej niekorzystną.

Tabela 2. Zestawienie wartości $E_{max}$, $H_{max}$ oraz szerokości obszaru, w którym E > 1 kV/m dla przęseł złożonych z pary słupów serii SC34 typu P, przy wysokości zawieszenia przewodów $h_{min}$ = 11 m

| Układ faz | Maksymalna wartość E [kV/m] | Maksymalna wartość H [A/m] | Szerokość obszaru, w którym E >1 kV/m [m] |
|---|---|---|---|
| Konf. 1 | **7,33** | 42,3 | ± 25,9 |
| Konf. 2 | 6,27 | **46,4** | ±26,9 |
| Konf. 3 | 7,28 | 41,8 | **± 27,1** |
| Konf. 4 | 6,66 | 39,6 | ± 25,8 |
| Konf. 5 | 6,48 | 43,3 | -26,7 +27,4 |
| Konf. 6 | 6,48 | 43,3 | -27,4 + 26,7 |

Tabela 3. Zestawienie wartości $E_{max}$, $H_{max}$ oraz szerokości obszaru, w którym E > 1 kV/m dla przęseł złożonych z pary słupów serii SC34 typu M6, przy wysokości zawieszenia przewodów $h_{min}$ = 11 m

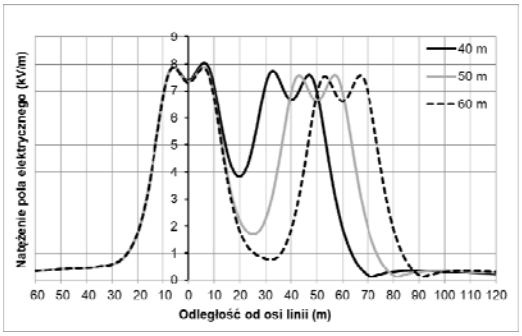
| Układ faz | Maksymalna wartość E [kV/m] | Maksymalna wartość H [A/m] | Szerokość obszaru, w którym E >1 kV/m [m] |
|---|---|---|---|
| Konf. 1 | **7,02** | 40,3 | ± 29,9 |
| Konf. 2 | 6,74 | **46,5** | **± 31,1** |
| Konf. 3 | 7,01 | 40,2 | ± 31,1 |
| Konf. 4 | 6,83 | 40,6 | ± 29,7 |
| Konf. 5 | 6,78 | 44,7 | -30,7 +31,5 |
| Konf. 6 | 6,78 | 44,7 | -31,5 + 30,7 |

**Skumulowane oddziaływania pola elektromagnetycznego w przypadku zbliżeń dwóch linii prowadzonych równolegle**

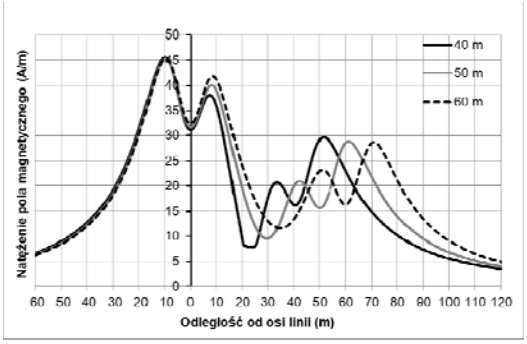
Jak już wcześniej wspomniano do skumulowanych oddziaływań pola elektromagnetycznego może dochodzić w przypadku dwóch lub większej liczby linii napowietrznych o napięciu nie mniejszym niż 110 kV prowadzonych równolegle do siebie. Takie przypadki często mają miejsce w okolicach stacji elektroenergetycznych, gdzie linie przebiegają w bliskiej odległości od siebie celem wprowadzenia do odpowiedniego pola w rozdzielni stacji. Zdarzają się także sytuacje, w których trasa projektowanej linii przebiega w pobliżu linii już istniejącej. Przy projektowaniu i budowie tego rodzaju układów należy zwrócić uwagę na ograniczenia sprecyzowane w przepisach dotyczących prowadzenia prac budowlanych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 [5], zgodnie z którymi niedopuszczalne jest sytuowanie stanowisk pracy, składowisk wyrobów i materiałów lub maszyn i urządzeń budowlanych bezpośrednio pod napowietrznymi liniami elektroenergetycznymi lub w odległości liczonej w poziomie od skrajnych przewodów, mniejszych niż 15 m dla linii o napięciach od 30 do 110 kV oraz mniejszych niż 30 m dla linii powyżej 110 kV. Powoduje to, że projektanci przyjmują odległości pomiędzy liniami równoległymi dużo większe niż najmniejsza odległość dopuszczalna określona w normie [6]. W praktyce odległości pomiędzy osiami linii napowietrznych o napięciu 400 kV są większe od 40 m.

Do analizy oddziaływań skumulowanych pola elektromagnetycznego wybrano odcinek, w którym projektowana dwutorowa linia 400 kV na słupach serii SC34 zbliża się do istniejącej dwutorowej linii na słupach serii E33. W celu sprawdzenia wpływu konfiguracji faz oraz wzajemnej odległości między osiami dwóch linii prowadzonych równolegle przeprowadzono obliczenia rozkładów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego dla układu dwóch linii oddalonych o 40, 50 i 60 m od siebie. Do obliczeń przyjęto przęsła złożone z dwóch słupów przelotowych serii SC34 oraz dwóch słupów przelotowych serii E33. W obu przęsłach przyjęto minimalną odległość przewodów od ziemi h = 11 m. Obliczenia przeprowadzono dla konfiguracji faz 1 oraz konfiguracji faz 2 dla obu linii, a ich wyniki przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

a)

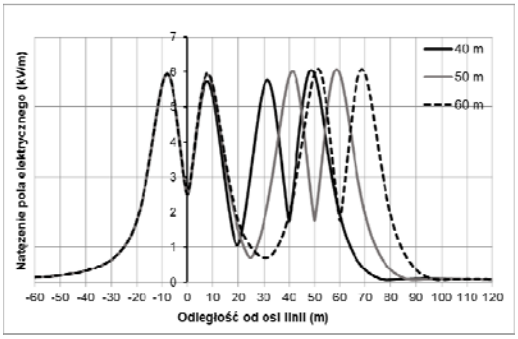



b)

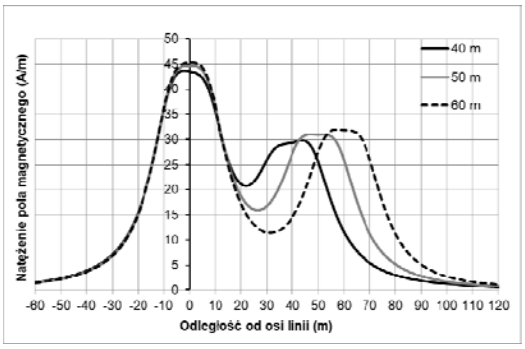



Rys.4. Wyniki obliczeń rozkładu natężenia pola elektrycznego: a) i magnetycznego, b) w przęśle projektowanej linii 400 kV na słupach przelotowych serii SC34, w którym linia ta zbliża się do istniejącej linii 400 kV wykonanej na słupach serii E33. Obliczenia przeprowadzono dla konfiguracji faz 1 w obu liniach

a)




b)




Rys.5. Wyniki obliczeń rozkładu natężenia pola elektrycznego: a) i magnetycznego, b) w przęśle projektowanej linii 400 kV na słupach przelotowych serii SC34, w którym linia ta zbliża się do istniejącej linii 400 kV wykonanej na słupach serii E33. Obliczenia przeprowadzono dla konfiguracji faz 2 w obu liniach.

Wyniki obliczeń rozkładów pola elektrycznego i magnetycznego zaprezentowane na rysunkach 4 i 5 wskazują, że wpływ odległości pomiędzy osiami linii na wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego jest

niewielki. Mniejsza odległość między dwiema liniami prowadzonymi równolegle do siebie powoduje minimalne zmniejszenie maksymalnych wartości natężenia pola magnetycznego w otoczeniu każdej z linii. Konfiguracja faz na obu liniach prowadzonych równolegle ma wpływ na kształt rozkładów obu składowych pola.

**Skumulowane oddziaływania pola elektromagnetycznego w przypadku skrzyżowań dwóch linii**

Skumulowane oddziaływanie pola elektromagnetycznego może mieć miejsce w przypadku skrzyżowań dwóch linii zazwyczaj o różnych napięciach. Zdarzają się bowiem takie miejsca na trasie projektowanych linii o napięciu 400 kV, w których istnieje konieczność przecięcia linii już istniejących, głównie linii średniego lub niskiego napięcia. Czasami na trasie projektowanej linii 400 kV pojawiają się jednak linie o napięciu 110 kV. Do analizy rozkładu pola elektrycznego i magnetycznego w otoczeniu krzyżujących się linii wybrano dwa przęsła: pierwsze złożone z dwóch słupów przelotowych serii SC34 dwutorowej linii 400 kV, drugie złożone z pary słupów przelotowych serii S24 jednotorowej linii 110 kV.

Dostępne narzędzia obliczeniowe pozwalają na precyzyjne obliczenie rozkładu pola elektrycznego i magnetycznego wyłącznie w przypadkach, gdy linie napowietrzne biegną równolegle do siebie, natomiast nie dają możliwości przeprowadzenia takich obliczeń dla linii krzyżowanych. Wynika to z faktu, że w przypadku linii krzyżujących się pod dowolnym kątem, wypadkowy wektor natężenia pola elektrycznego lub magnetycznego zakreśla w przestrzeni krzywą nieregularną, a nie elipsę, jak w przypadku linii biegnących równolegle.

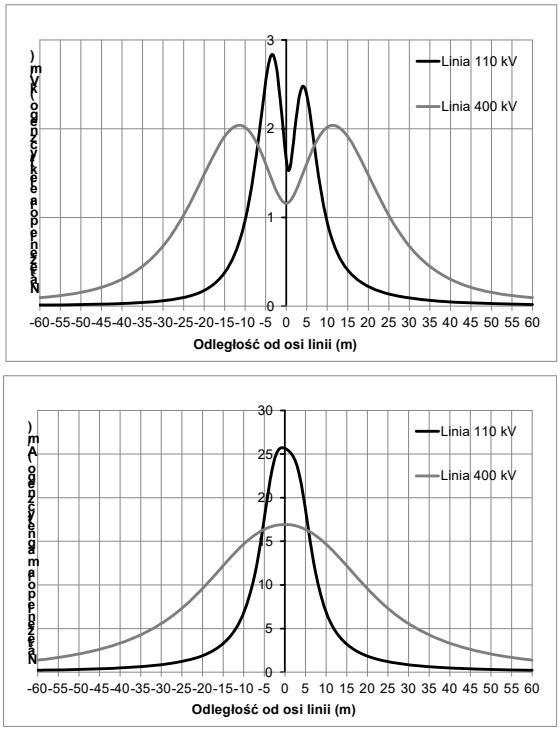
Zależności teoretyczne stanowiące podstawę do stworzenia algorytmu obliczeniowego wskazują jednoznacznie, że w przypadku krzyżowania się linii napowietrznych pod dowolnym kątem, wypadkowe natężenie pola elektrycznego i magnetycznego osiąga największe wartości dla sytuacji, gdy wspomniany wyżej kąt jest równy zero stopni (linie równoległe). Oznacza to, że jeśli wyniki obliczeń, wykonane przy założeniu równoległego prowadzenia linii wskazują na określone wypadkowe wartości poszczególnych składowych pola, to w przypadku linii krzyżujących się pod kątem prostym lub zbliżonym do tego kąta, wypadkowe wartości poszczególnych składowych pola elektromagnetycznego będą z pewnością mniejsze.

Na rysunku 6 przedstawiono rozkłady pola elektrycznego i magnetycznego w otoczeniu jednotorowej linii 110 kV na przelotowych słupach S24 przy założeniu minimalnej odległości przewodów od ziemi h = 6 m. Dla porównania, na tych samych rysunkach przedstawiono rozkłady pola elektrycznego i magnetycznego w otoczeniu dwutorowej linii 400 kV na przelotowych słupach serii SC34 przy założeniu minimalnej odległości przewodów od ziemi h = 20 m.

Następnie przeprowadzono obliczenia rozkładów pola elektrycznego i magnetycznego w przekroju poprzecznym analizowanej dwutorowej linii 400 kV, które wyznaczono w miejscu jej skrzyżowania z jednotorową linią 110 kV wykonaną na przelotowych słupach S24. Wyniki zobrazowano na rysunku 7. Trzeba w tym miejscu wyraźnie podkreślić, że obliczenia, których wyniki zaprezentowano na rysunku 7 przeprowadzono dla przypadków, gdy obie linie są do siebie równoległe i w związku z tym w warunkach rzeczywistych, gdy osie linii przecinają się pod pewnym kątem, spodziewane wartości obu składowych pola elektromagnetycznego będą z pewnością mniejsze niż obliczone.

a)

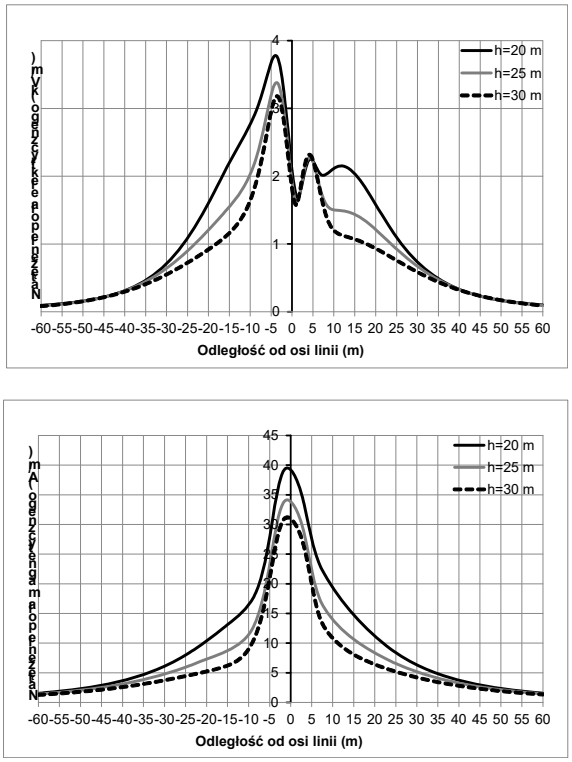
b)




Rys.6. Wyniki obliczeń rozkładu natężenia pola elektrycznego: a) i magnetycznego, b) w przęśle linii 400 kV na słupach przelotowych serii SC34, przy wysokości zawieszenia przewodów od ziemi h = 20 m oraz w przęśle linii 110 kV na słupach przelotowych serii S24, przy wysokości zawieszenia przewodów od ziemi h = 6 m

a)

b)




Rys.7. Wyniki obliczeń rozkładu natężenia pola elektrycznego: a) i magnetycznego, b) w przęśle linii 400 kV na słupach przelotowych serii SC34, w którym linia ta krzyżuje się z linią 110 kV na słupach serii S24. Odległość przewodów od ziemi linii 110 kV wynosi h = 6 m, natomiast odległości przewodów od ziemi linii 400 kV wynoszą 20, 25 i 30 m

Porównując rozkłady pola elektrycznego z rysunku 6a i 7a widać, że w przypadku skrzyżowania linii 400 kV z linią 110 kV dochodzi do zmiany kształtu rozkładu natężenia pola elektrycznego i wzrostu jego wartości maksymalnej (z 2,8 kV/m do 3,8 kV/m). Z porównania rozkładów pola magnetycznego (rys. 6b i 7b) wynika, że w następstwie skrzyżowania linii 400 kV z linią 110 kV nastąpi wzrost wartości maksymalnej natężenia pola magnetycznego (z 25,7 A/m do 39,5 A/m). Wzrost wysokości zawieszenia przewodów linii 400 kV w miejscu skrzyżowania powoduje zmniejszanie się wartości maksymalnych obu składowych pola.

**Skumulowane oddziaływania pola elektromagnetycznego w przypadku źródeł o różnych częstotliwościach**

Komentując kwestie skumulowanego oddziaływania pól elektromagnetycznych trzeba stwierdzić, że nie ma uzasadnienia, by przy ocenie potencjalnego zagrożenia polem elektromagnetycznym wytwarzanym przez linie napowietrzne o napięciu wyższym od 110 kV, uwzględniać źródła pola elektromagnetycznego o częstotliwości znacznie różniącej się od 50 Hz.

W szczególności nieuzasadnione jest rozpatrywanie jakiegokolwiek wzajemnego oddziaływania linii napowietrznej, która jest źródłem pola elektromagnetycznego o częstotliwości f = 50 Hz i promieniowania wytwarzanego np. przez anteny stacji bazowych telefonii komórkowej (f ≥ 900 MHz). Pole elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz i promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwościach przekraczających 900 MHz to zupełnie dwa różne zjawiska fizyczne i dlatego efekty oddziaływania obu rodzajów pól nie mogą być w żaden sposób porównywane. Znajduje to swoje odzwierciedlanie w obowiązujących przepisach - rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2019 r. [4], w którym wartości dopuszczalne poszczególnych składowych są zupełnie różne w zależności od częstotliwości działającego pola.

Na świecie prowadzone są badania mające na celu ocenę możliwych efektów synergicznych lub kumulacyjnych ekspozycji zwierząt na pola niskiej częstotliwości oraz promieniowania rentgenowskiego [7]. Badania te dotyczą wykorzystania obu rodzajów pól – niskiej częstotliwości oraz promieniowania jonizującego, w leczeniu różnego typu nowotworów. Większość badań nie wykazała żadnego synergicznego ani addytywnego wpływu ekspozycji zdrowych komórek w polu elektromagnetycznym niskiej częstotliwości na genotoksyczność, cytotoksyczność lub mutagenezę powodowaną przez promieniowanie jonizujące [8]. W przeciwieństwie do badań na normalnych zdrowych komórkach, eksperymenty prowadzone na komórkach nowotworowych, wykazały współdziałanie ekspozycji na pola niskiej częstotliwości oraz promieniowanie rentgenowskie [9,10].

**Wnioski**

Analizując zaprezentowane rozkłady pola elektrycznego i magnetycznego nie ulega wątpliwości, że w otoczeniu linii napowietrznych o napięciu 400 kV prowadzonych równolegle nie dochodzi do skumulowanego oddziaływania pola elekromagnetycznego, które powoduje przekroczenie wartości dopuszczalnych poszczególnych jego składowych w miejscach dostępnych dla ludzi ($E_{dop}$ = 10 kV/m, $H_{dop}$ = 60 A/m). Mogą natomiast wystąpić sytuacje, w których pojawi się lub rozszerzy się obszar, w którym natężenie pola elektrycznego może przekroczyć wartość dopuszczalną ustaloną dla terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową (1 kV/m).

Wpływ odległości pomiędzy liniami prowadzonymi równolegle na wartość maksymalną natężenia pola elektrycznego i magnetycznego jest niewielki, natomiast wpływ analizowanego parametru na szerokość obszaru, w którym natężenie pola elektrycznego może przekroczyć 1 kV/m, staje się istotny, szczególnie przy większych odległościach pomiędzy liniami.

Występowanie w przebiegu linii 400 kV skrzyżowań z liniami napowietrznymi o napięciu 110 kV nie spowoduje w okolicy tych skrzyżowań przekroczenia wartości dopuszczalnych obu składowych pola elektromagnetycznego, ani nie spowoduje występowania obszarów, w których natężenie pola elektrycznego może przekroczyć wartość 1 kV/m poza „pasem technologicznym" linii.

***Autor**: dr inż. Marek Jaworski, Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki, Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: marek.jaworski@pwr.edu.pl*

LITERATURA

[1] Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko. Tekst jednolity - Dz. U. z 2022, poz.1029, 1260,1261

[2] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Dz.U. z 2019 r. poz. 1839.

[3] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 maja 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Dz.U. z 2022 r. poz. 1071

[4] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku. Dz.U. z 2019 r. poz. 2448

[5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych. Dz. U. Nr 47 poz. 401

[6] PN-EN 50341-1:2013. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV. Część 1: Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne

[7] Hamedani B.G., Goliaei B., Shariatpanahi S. P., Nezamtaheri M.: An overview of the biological effects of extremely low frequency electromagnetic fields combined with ionizing radiation. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 172 (2022), 50-59

[8] Woodbine L,, Haines J., Coster M., Barazzuol L., Ainsbury E., Sienkiewicz Z., Jeggo P.: The rate of X-ray-induced DNA double-strand break repair in the embryonic mouse brain is unaffected by exposure to 50 Hz magnetic fields. *Int. J. Radiat. Biol.*, 91 (2015), 495-499

[9] Salinas-Asensio M,, Ríos-Arrabal S., Artacho-Cordón F., Olivares-Urbano M., Calvente I., León J., Núñez M.: Exploring the radiosensitizing potential of magnetotherapy: a pilot study in breast cancer cells. *Int. J. Radiat. Biol.*, 95 (2019), 1337-1345

[10] Wen J., Jiang S., Chen B.: The effect of 100 Hz magnetic field combined with X-ray on hepatoma-implanted mice. *Bioelectromagnetics*, 32 (2011), 322-324