

Michał ZEŃCZAK¹

OCENA ODDZIAŁYWANIA PÓL ELEKTRYCZNYCH I MAGNETYCZNYCH LINII ELEKTROENERGETYCZ- NYCH NA ŚRODOWISKO NATURALNE NA PODSTA- WIE NOWEJ NORMY PN-EN 50341-1

Natężenia pól elektrycznych i magnetycznych zależą od konfiguracji prowadzenia przewodów, a także od ich usytuowania względem ziemi. W nowej normie PN-EN 50341-1 są wymagania, które różnią się od wymagań zamieszczonych w dotychczasowej normie PN-E – 05100-1. W referacie przeanalizowane są różnice w rozkładach pól pod liniami budowanymi według starej normy z rozkładami pól pod liniami budowanymi według nowej normy.

1 WSTĘP

Linie elektroenergetyczne oddziałują na środowisko naturalne poprzez pola elektryczne i magnetyczne. Natężenia tych pól zależą od wielu czynników. Bardzo istotna jest konfiguracja prowadzenia przewodów, a także usytuowanie ich względem ziemi. W sierpniu 2005 roku została wprowadzona Polska Norma PN-EN 50341-1: Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV, Część 1: Wymagania ogólne, specyfikacje wspólne [1]. Norma ta różni się od normy PN-E-05100-1: Elektroenergetyczne linie napowietrzne, Projektowanie i budowa [2].

W referacie uwzględnione będą informacje z normy [1] oraz z normy [2], które istotnie wpływają na poziom natężeń pól elektrycznych (E) i magnetycznych (H). Następnie przeprowadzone będą obliczenia w celu porównania wpływu wymagań obu norm na poziomy tych natężeń. Obliczenia te wykonane będą dla typowych linii przesyłowych 400 kV, 220 kV i 110 kV. Obliczenia przeprowadzone są w celu oceny najwyższych możliwych wartości natężeń pól w najbardziej niesprzyjających warunkach. Poza tym rozpatrzony będzie obszar terenu pod linią, na którym są ograniczone możliwości użytkowania ze względu na istniejące pole elektryczne lub magnetyczne. W referacie nie uwzględniono innych powodów zmian oddziaływania na środowisko wskutek zmian wymagań norm, niż wynikających z pól elektrycznych i magnetycznych.

¹ Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, 70-313 Szczecin, ul. Sikorskiego 37, tel: 091-4494634, e-mail: mzenczak@ps.pl

2 WYMAGANIA PN-E-05100-1 A POLE ELEKTRYCZNE I MAGNETYCZNE POD LINIĄ

W normie [2] można znaleźć wymagania, które bezpośrednio związane są z polami elektromagnetycznymi, a ściślej tylko z polem elektrycznym. W p. 12.3: „Oddziaływanie pola elektrycznego” jest informacja, że natężenie pola elektrycznego od przewodów linii od 110 kV wzwyż nie powinno przekraczać 1 kV/m na wysokości 1,8 m od poziomu ziemi na obszarach lokalizacji budynków mieszkalnych i innych (zwłaszcza szpitali, internatów, żłobków, przedszkoli itp.), w odległości 1 m od krawędzi balkonu lub tarasu tych budynków, oraz na wysokości 1,8 m od dachów wykorzystywanych jako tarasy i od innych płaszczyzn poziomych przeznaczonych na pobyt ludzi przez czas dłuższy niż 8 godzin na dobę. Poza tym natężenie pola elektrycznego nie powinno przekraczać 10 kV/m na wysokości 1,8 m od poziomu ziemi i innych płaszczyzn poziomych (w tym również dachów i tarasów budynków), przeznaczonych na pobyt ludzi przez czas nie dłuższy niż 8 godzin. Na zewnątrz strefy ochronnej II stopnia ($E < 1$ kV/m) czas przebywania ludzi jest nieograniczony.

W przypadku konieczności ograniczenia wartości natężenia pola należy:

- wykorzystać naturalne ekrany jak: krzaki, drzewa, budowle,
- zawieszać uziemione przewody ekranujące,
- zakładać uziemione osłony metalowe.

Powyższe informacje odwołują się do rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 5 listopada 1980 [3], które jest już nieaktualne. Jeśli chodzi o oddziaływanie pól elektrycznych i magnetycznych na środowisko to obowiązuje rozporządzenie z 2003 roku [4]. W rozporządzeniu [4] wartości natężeń podawane są na wysokości 2 m nad powierzchnią ziemi, wycofano pojęcia stref ochronnych oraz wprowadzone są wartości graniczne dla pola magnetycznego, o czym nie ma mowy w normie [2].

Bezpośrednia wzmianka o polu elektrycznym jest jeszcze w punkcie 28 dotyczącym prowadzenia linii elektroenergetycznych nad i w pobliżu stref działania dźwignic lub urządzeń przeładunkowych o stałym miejscu lokalizacji. Dopuszcza się krzyżowanie stref działania tych urządzeń liniami o napięciu powyżej 1 kV, pod warunkiem, że natężenie pola elektrycznego na obszarze działania dźwignic oraz przy kabinie operatora nie przekracza 10 kV/m, zaś na odsłoniętych stanowiskach operatorów nie przekracza 1 kV/m. W tym przypadku chodzi raczej o ochronę stanowiska pracy.

Istotny wpływ na natężenie pola elektrycznego i magnetycznego ma wysokość prowadzenia przewodów nad ziemią oraz konfiguracja przewodów. W normie [2] poświęcony jest temu punkt 9.: „Odległości między przewodami w środku przęsła”. Najmniejsza dopuszczalna odległość pionowa przewodów nieziemionych od poziomu ziemi wynosi $5+U/150$ przy największym zwisie normalnym i $4+U/150$ przy zwisie katastrofalnym. Oprócz tego dla linii 400 kV należy tak ustalić odległość przewodów od ziemi, aby przy największym zwisie normalnym natężenie pola elektrycznego pod przewodami na wysokości 1,8 m nie przekraczało 10 kV/m.

Oprócz wysokości przewodów nad ziemią istotny wpływ na natężenia pól ma też ich wzajemne usytuowanie. Ogólnie obowiązuje zasada, że im bliżej przewody różnych faz względem siebie, tym niższe wartości natężeń pól pod linią. Norma [2] definiuje naj-

mniejsze dopuszczalne odległości między przewodami w środku przęsła. Generalnie jednak konfiguracja przewodów zależy od konfiguracji słupa i zwisów.

W przypadku skrzyżowań i zbliżeń podawane są odległości dla różnych przypadków. Odległości przewodów od ziemi dla większości tych przypadków przekraczają wartości minimalne określone z zależności $5+U/150$, co powoduje, że wartości natężeń są niższe niż dla zależności $5+U/150$.

W pobliżu linii elektroenergetycznych należy często uwzględnić sprzężenie pojemnościowe. W przypadku występowania dużych przedmiotów metalowych izolowanych od ziemi, natężenie prądu pojemnościowego nie powinno przekroczyć wartości granicznej 4 mA. W przypadku, gdy ustalona wartość prądu pojemnościowego przekracza graniczną ustaloną wartość, przedmiot należy uziemić.

3 WYMAGANIA PN-EN 50341-1 A POLE ELEKTRYCZNE I MAGNETYCZNE POD LINIĄ

W normie [1] w rozdz. 2: „Definicje, symbole i powołania normatywne” zawarto definicje takich pojęć jak: wartość skuteczna natężenia pola (2.1.34), pole elektryczne (2.1.36), najwyższe napięcie sieci (2.1.46), pole magnetyczne (2.1.53), gęstość strumienia magnetycznego (2.1.54), napięcie znamionowe (2.1.56), zaburzone/niezaburzone pole (2.1.62). W rozdz. 5: „Wymagania elektryczne” podano w p. 5.1 w ujęciu tabelarycznym wartości napięć znamionowych i odpowiadające im najwyższe napięcia sieci.

Polu elektrycznemu i magnetycznemu poświęcony jest p. 5.6: „Pole elektryczne i magnetyczne”. Natężenie pola elektrycznego może być określone z zastosowaniem różnych metod analitycznych i numerycznych lub modeli o zredukowanej skali. Wybór najbardziej odpowiedniej metody zależy od złożoności problemu i wymaganego stopnia dokładności. Gdy problem polega na obliczeniu natężenia pod linią blisko ziemi, to można stosować dwuwymiarowe założenia. Gdy konieczna jest znajomość dokładnych rozkładów pól, należy wykonać kompletne obliczenia.

W obliczeniach pól magnetycznych można stosować różne metody w zależności od problemu i wymaganej dokładności. W wielu przypadkach wystarczające jest prawo Ampera.

W normie [1] nie podano wartości granicznych natężeń pól. Istnieje zapis, że wartości graniczne powinny wynikać z odpowiednich norm i przepisów bezpieczeństwa, co powinno być określone w normatywnych warunkach krajowych (NNA).

W normie [1] poświęcono uwagę indukcji elektrycznej i magnetycznej. Pole elektryczne i magnetyczne może indukować prądy i napięcia w obiektach przewodzących znajdujących się w pobliżu linii. W normie [1] nie podano wartości granicznych tych prądów i napięć. Zamieszczono jedynie uwagi ogólne jak zmniejszyć powyższe efekty na przykład poprzez ekranowanie (pole elektryczne), uziemianie czy redukcję wielkości pętli.

W rozdz. 5 zawarte są bardzo ważne informacje na temat odstępów izolacyjnych umożliwiających uniknięcie przeskoku (5.3.5) oraz wewnętrznych i zewnętrznych odstępów izolacyjnych (5.4). Zdefiniowano pięć typów odstępów izolacyjnych, z których najistotniejszy wpływ na natężenie pól elektrycznych i magnetycznych ma D_{el} , czyli

minimalny odstęp w powietrzu wymagany w celu zapobieżenia wyładowaniu zupełnemu pomiędzy przewodem fazowym a obiektami o potencjale ziemi, w czasie przepięć o łagodnym lub stromym czole. D_{ei} może być odstępem wewnętrznym przy rozpatrywaniu odstępów pomiędzy przewodem fazowym a konstrukcją słupa, albo odstępem zewnętrznym przy rozpatrywaniu odstępów pomiędzy przewodem fazowym a obiektem pod linią. W normie [1] zamieszczono wartości odstępów D_{ei} dla różnych napięć uzyskane na podstawie analizy wartości powszechnie stosowanych w Europie, które są wystarczające do zapewnienia bezpieczeństwa publicznego. Wartości D_{ei} przedstawione są w tabeli 1. Wartości w nawiasach dotyczą najwyższego napięcia sieci, ponieważ dla takich napięć norma [1] określa odstęp D_{ei} . Pozostałe odstępów definiowane w normie [1] mają mniej istotny wpływ na wartości natężeń pól. Wartości D_{ei} są bazą do określania minimalnych odległości od powierzchni ziemi przewodów fazowych.

Tab. 1. Wartości D_{ei} dla różnych linii

Linia	110 kV (123 kV)	220 kV (245 kV)	400 kV (420 kV)
D_{ei} [m]	1,00	1,70	2,80

Minimalne wartości odległości od powierzchni ziemi na obszarach oddalonych od budynków, dróg, linii kolejowych i żeglownych dróg wodnych dla różnych przypadków obciążeń są tablicowane. Odległość od powierzchni ziemi w terenie wiejskim bez zabudowy i od innych obiektów dla wszystkich przypadków układu obciążeń (maksymalna temperatura przewodu, obciążenie oblodzeniem, obciążenie wiatrem) przy normalnym profilu gruntu wynosi $5 \text{ m} + D_{ei}$. W przypadku stromego zbocza lub skał odległość wynosi $2 \text{ m} + D_{ei}$; lecz więcej niż 3m. Podstawowym wymaganiem jest, aby pojazd lub osoba itp. mogły bezpiecznie przemieścić się pod linią. Gdy taki przypadek nie ma zastosowania (np. strome zbocze), odstęp może być zredukowany z uwzględnieniem wymagania zachowania bezpieczeństwa ludzi.

W normie tablicowane też są minimalne odstępów dla różnych przypadków, jak skrzyżowania czy zbliżenia. Najbardziej istotną wartością jest jednak $5 \text{ m} + D_{ei}$ i wartość ta odpowiada wartości $5+U/150$ z normy [2] i one są brane do obliczeń.

4 OBLICZENIA NATĘŻEŃ PÓL I WNIOSKI

W celu porównania natężeń pól elektrycznych i magnetycznych pod liniami, których odległości przewodów od ziemi spełniają normę [1] z natężeniami pól elektrycznych i magnetycznych pod liniami, których odległości spełniają normę [2] wykonano obliczenia dla typowych linii 110 kV na słupie P, 220 kV na słupie H52 i 400 kV na słupie Y52. Konfiguracje linii pokazano w tabeli 2.

Do obliczeń przyjęto najwyższe napięcie sieci, więc odpowiednio 123 kV, 245 kV oraz 420 kV. Prądy w fazach przyjęto według maksymalnej wytrzymałości termicznej. Dla linii 400 kV (przewody $2 \times 525 \text{ mm}^2$ (0,4m)) maksymalny prąd wynosi 2440 A, dla 220 kV (przewód 525 mm^2) - 1220 A. W linii 110 kV przyjęto przewód 240 mm^2 , który można obciążyć prądem 735 A. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 2. Konfiguracje linii elektroenergetycznych

Przewód	Przekrój przewodu [mm ²]	Odległość od osi linii [m]	Wysokość nad ziemią wg [1] [m]	Wysokość nad ziemią wg [2] [m]
<i>Linia 110 kV na słupach P</i>				
L1	240	-2,85	6,00	5,73
L2	240	2,85	8,17	7,90
L3	240	3,65	6,00	5,73
<i>Linia 220 kV na słupach H52</i>				
L1	525	-7,60	6,70	6,47
L2	525	0,00	6,70	6,47
L3	525	7,60	6,70	6,47
O	70	-5,60	10,80	10,80
O	70	5,60	10,80	10,80
<i>Linia 400 kV na słupach Y52</i>				
L1	2×525 (0,4m)	-10,30	7,80	7,67
L2	2×525 (0,4m)	0,00	7,80	7,67
L3	2×525 (0,4m)	10,30	7,80	7,67
O	70	-8,20	13,70	13,70
O	70	8,20	13,70	13,70

Tab. 3. Wyniki obliczeń dla różnych linii według normy [1] i normy [2]

Linia	E_{max} [kV/m]	Obszar $E > 1 \text{ kV/m}$ [m]	H_{max} [A/m]	Obszar $H > 1 \text{ A/m}$ [m]
110 kV P [1]	2,7	(-9,6; 9,2)	25,8	(-26,6; 26,8)
110 kV P [2]	2,9	(-9,6; 9,2)	28,1	(-26,6; 26,8)
220 kV H52 [1]	5,3	(-19,4; 19,4)	39,8	(-51,0; 51,0)
220 kV H52 [2]	5,7	(-19,4; 19,4)	42,0	(-51,0; 51,0)
400 kV Y52 [1]	10,4	(-30,0; 30,0)	65,0	(-83,8; 83,8)
400 kV Y52 [2]	10,7	(-30,0; 30,0)	66,6	(-83,8; 83,8)

Obliczenia przeprowadzono metodą odbić zwierciadlanych. Porównano najwyższe wartości natężeń pól oraz szerokości strefy, gdzie $E > 1 \text{ kV/m}$ i $H > 1 \text{ A/m}$.

Porównując wyniki obliczeń dla poszczególnych linii spełniających normę [1] z liniami spełniającymi normę [2] można zauważyć, że natężenia pól dla linii spełniających normę [2] są wyższe (kilka procent). Jest to oczywiste, ponieważ norma [2] dopuszcza mniejszą odległość przewodów fazowych od ziemi. Teoretycznie przy mniejszej odległości przewodów fazowych od ziemi szerokości stref $E > 1 \text{ kV/m}$ i $H > 1 \text{ A/m}$ powinny być mniejsze, jednak obliczenia wskazują, że praktycznie się nie różnią. Wynika to ze zbyt małej różnicy odległości.

Na podstawie powyższych obliczeń można stwierdzić, że wyższe zawieszenie przewodów spełniające normę [1] praktycznie niewiele zmienia poziomy natężeń pól elektrycznych i magnetycznych pod liniami.

5 LITERATURA

1. PN-EN 50341-1: *Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV*, Część 1: Wymagania ogólne, Specyfikacje wspólne, sierpień 2005.
2. PN-E-05100-1: *Elektroenergetyczne linie napowietrzne, Projektowanie i budowa*, marzec 1998.
3. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 listopada 1980 roku w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym szkodliwym dla ludzi i środowiska*. Dziennik Ustaw PRL Nr 25, Warszawa, 17 listopada 1980 r. poz. 101.
4. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów*. Dziennik Ustaw RP Nr 192, Warszawa, 14 listopada 2003 r. poz 1883.

ESTIMATION OF EFFECT ON NATURAL ENVIRONMENT OF ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS OF POWER TRANSMISSION LINES ON BASIS OF NEW STANDARD PN-EN 50341-1

Electric and magnetic field intensities depend on configuration of line. There are new requirements in new standard PN-EN 50341-1, which are different from requirements in old standard PN-E – 05100-1. The paper contains analysis of electric and magnetic field intensities near power transmission lines built according to new standard and old standard. The results of calculations show, that higher distance of wires against the earth according to requirements from new standard in comparison to requirements for distances of wires from old standard do not change essentially electric and magnetic field intensities.