

dr inż. KRZYSZTOF GRYZ
 dr inż. JOLANTA KARPOWICZ
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: kgryz@ciop.pl
 DOI: 10.5604/01377043.1210089

Ekspozycja na pole elektromagnetyczne w elektrowniach wiatrowych

Fot. Arturko/Bigstockphoto



Odnawialne źródła energii, m.in. elektrownie wiatrowe, odgrywają coraz większą rolę w systemie energetycznym. W Polsce eksploatowanych jest obecnie ponad 1000 elektrowni wiatrowych o łącznej mocy ok. 4,6 GW, które rocznie produkują ok. 4,5% krajowej energii elektrycznej (tj. niemal 8 TWh w 2015 r.). W artykule scharakteryzowano źródła pola elektromagnetycznego w elektrowniach wiatrowych (generatory prądowe, przetworniki elektroenergetyczne, okablowanie, transformatory) i parametry wytwarzanego przez nie pola elektromagnetycznego (magnetostaticznego i elektromagnetycznego małej częstotliwości, o dominującej składowej 50 Hz lub 150 Hz).

Zaprezentowano wyniki wykonanych w elektrowniach wiatrowych badań pola elektromagnetycznego, obejmujących pomiary rozkładu przestrzennego oraz indywidualny monitoring narażenia pracowników. Wykazano, że narażenie pracowników jest w granicach wymagań prawa pracy (natężenie pola elektrycznego $E < 500 \text{ V/m}$; natężenie pola magnetycznego $H < 200 \text{ A/m}$, zasięgi stref ochronnych pola elektromagnetycznego nieprzekraczające jednego metra od jego źródeł, a narażenie pracowników podczas dnia pracy jedynie krótkotrwałe). Zidentyfikowano lokalne występowanie zagrożeń elektromagnetycznych istotnych dla pracowników szczególnie chronionych (kobiet w ciąży, pracowników młodocianych i użytkowników implantów medycznych), które powinny być uwzględnione w programie stosowania środków ochronnych.

Słowa kluczowe: elektrownie wiatrowe, zagrożenia elektromagnetyczne, narażenie pracowników, bezpieczeństwo i higiena pracy

Exposure to electromagnetic fields in wind power plants

Renewable sources of energy, i.a. wind power plants, play an increasingly important role in the power system. Over 1000 wind power plants, with a total power of approx. 4.6 GW, are in service in Poland. Every year, they produce approx. 4.5% of domestic electrical energy (i.e. almost 8 TWh in 2015). This paper characterizes sources of electromagnetic fields in wind power plants (current generators, power engineering converters, cables, transformers) and the parameters of the electromagnetic field they produce (static magnetic field, time-varying low frequency electromagnetic field with the fundamental component of 50 Hz or 150 Hz). It presents results of investigations of electromagnetic fields in wind power plants, which covered spatial distribution and individual monitoring of worker exposure. It was found that the exposure of workers may be classified as compliant with provisions of the labour law (electric field strength $E < 500 \text{ V/m}$, magnetic field strength $H < 200 \text{ V/m}$, the range of protective zones of electromagnetic fields not exceeding one metre from the above-mentioned sources, temporary exposure of workers during a shift). The only electromagnetic hazards which require the application of protection measures involve localized exposure which exceeds the limits regarding workers at particular risk (pregnant women, young workers and people with medical implants).

Keywords: wind power plants, electromagnetic hazards, worker exposure, occupational safety and health

Wstęp

Do wytwarzania energii elektrycznej coraz częściej stosowane są alternatywne w stosunku do elektrowni konwencjonalnych, odnawialne źródła energii (OZE). Zalicza się do nich m.in. energię: słoneczną, ciepłą (powstającą przy spalaniu biomasy lub związków organicznych powstałych w wyniku biochemicznego przetworzenia biomasy – np. biogaz, biodiesel, geotermalną) bądź kinetyczną – np. wody lub wiatru [1]. Przetwarzanie energii kinetycznej wiatru na energię elektryczną odbywa się za pośrednictwem napędzanych przez turbiny wiatrowe generatorów prądu elektrycznego.

Turbiny te instalowane są zwykle na terenach, gdzie występuje zarówno duża prędkość wiatru, jak i liczba wietrznych dni w roku, aby wytwarzanie energii elektrycznej tą metodą było jak najbardziej stabilne i opłacalne ekonomicznie. Także w celu zwiększenia efektywności, turbiny wiatrowe wraz z generatorami instalowane są wysoko ponad poziomem terenu – w Polsce typowo w tzw. gondoli, na szczycie cylindrycznej wieży o średnicy kilku i wysokości 50 – 100 metrów. Najwyższej w kraju zainstalowano turbinę na wysokości 160 m. Zestaw „turbina wiatrowa – generator prądowy”, wraz z niezbędnym wyposażeniem elektroenergetycznym zlokalizowanym wewnątrz wieży (fot.), nazywany jest elektrownią wiatrową, a grupa takich obiektów tworzy tzw. farmę wiatrową.

Liczba eksploatowanych w Polsce elektrowni wiatrowych i skala wytwarzanej przez nie energii elektrycznej ciągle wzrasta – z końcem 2015 r. osiągając moc 4,58 GW (ok. 27% w województwie zachodniopomorskim) w ponad 1030 obiektach (ok. 26% w województwie kujawsko-pomorskim). Wyprodukowały one ok. 7,2 TWh, tj. ok. 4,5% krajowej produkcji energii w 2015 r. [2,3].

Elektrownie wiatrowe są stosunkowo nowym elementem środowiska i ich oddziaływanie na ludzi (obsługujących je pracowników lub osoby przebywające w ich sąsiedztwie w związku z działalnością gospodarczą, czy pobliskich mieszkańców) często wzbudza obawy lub dyskomfort, głównie z powodu emitowanego hałasu i drgań oraz zmienionych walorów krajobrazu. Dla pracowników istotnym zagadnieniem jest również rozpoznanie potencjalnych zagrożeń elektromagnetycznych przy urządzeniach elektrycznych w elektrowni oraz potrzeb i metod ich ograniczania. W procesie tym kluczowe jest rozpoznanie charakterystyki i ocena poziomu pola

elektromagnetycznego (pola-EM), występującego w elektrowniach wiatrowych.

Rozpoznanie parametrów wytwarzanego w elektrowniach wiatrowych pola-EM i jego ocenę w kontekście narażenia obsługujących je pracowników zaprezentowano na podstawie wyników badań własnych (obejmujących pomiary w dziedzinie częstotliwości, czasu i przestrzeni).

Obecnie problematyka środowiskowego oddziaływania pola-EM na zróżnicowaną grupę zawodową, związaną z eksploatacją elektrowni wiatrowych (głównie na elektryków i konserwatorów), dotyczy w Polsce kilku tysięcy pracowników – w 2014 r. na rzecz energetyki wiatrowej pracowało 8,4 tys. osób [4]. Prognozuje się, że w 2020 r. liczba ta może wzrosnąć do 14 tys., a dekadę później osiągnąć 42 tys. [4]. Część tych pracowników będzie podlegać oddziaływaniom pola-EM podczas montażu i rozruchu nowych oraz kontroli i konserwacji już pracujących urządzeń.

Źródła pola-EM elektrowni wiatrowych

Energia elektryczna wytwarzana w elektrowni wiatrowej może być wykorzystywana do zasilania odbiorników podłączonych do autonomicznej, wydzielonej sieci elektrycznej lub do zasilania odbiorników podłączonych do rozbudowanego, ogólnokrajowego systemu energetycznego. Do wytwarzania energii elektrycznej najczęściej wykorzystuje się trójfazowe generatory asynchroniczne lub synchroniczne prądu przemiennego (tzw. AC) o mocach znamionowanych 1-4 MW (szybkoobrotowe lub wolnoobrotowe), sporadycznie generatory prądu stałego (tzw. DC). Rodzaj współpracy z siecią odbiorczą oraz typ generatora decydują o konstrukcji elektrowni i eksploatowanym w niej wyposażeniu elektroenergetycznym. W elektrowniach wiatrowych włączonych do energetycznej sieci ogólnokrajowej podstawowym zagadnieniem jest dopasowanie wytwarzanej energii elektrycznej do parametrów sieci (pod względem napięcia i przebiegu w czasie).

Elektrownie wiatrowe z generatorami szybkoobrotowymi

Przy prędkości wiatru 4-25 m/s turbiny wiatrowe wykonują ok. 15-20 obrotów na minutę. Podczas silniejszych wiatrów turbiny są unieruchamiane ze względów bezpieczeństwa. Przy stosowaniu szybkoobrotowych trójfazowych generatorów asynchronicznych lub synchronicznych niezbędne jest 60÷100-krotne zwiększenie częstotliwości obrotów wirnika turbiny wiatrowej za pomocą przekładni mechanicznej. Aby zapewnić stabilną częstotliwość 50 Hz wytwarzanego prądu, do sterowania pracą generatora asynchronicznego oprócz przełączalnej liczby par biegunów stosuje się także elektroniczne przetworniki AC/AC (przebiegienniki częstotliwości). W przypadku generatorów synchronicznych w obwodzie wirnika do jego wzbudzenia prądem stałym (DC) stosuje się elektroniczne przetworniki AC/DC (prostowniki; generatory synchroniczne z magnesami trwałymi w wirniku nie wymagają wzbudzenia). Podzespoły te łączone są kablami izolowanymi i znajdują się w gondoli.

Napięcie wyjściowe z generatora asynchronicznego (690V) podwyższane jest w transformatorze wyjściowym średniego napięcia (SN) – zwykle do wartości 15, 20 lub 30 kV, umieszczonym także

w gondoli. Prąd elektryczny z transformatora odprowadzany jest do rozdzielni napowietrznej – w której następuje połączenie z lokalnym systemem energetycznym – kablami SN prowadzonymi wzdłuż wieży, a następnie najczęściej pod ziemią.

W przypadku generatorów synchronicznych częstotliwość wytwarzanego prądu zależy od prędkości obrotowej turbiny, dlatego też, aby możliwe było odprowadzenie wytworzonej energii do systemu energetycznego o częstotliwości 50 Hz, niezbędne jest dopasowanie i zmiana parametrów prądu. Zwykle w dolnej części wieży elektrowni znajdują się przetworniki AC/DC, przetwarzające wygenerowany i doprowadzony okablowaniem wzdłuż wieży prąd przemienny (AC) na prąd stały (DC) oraz przetworniki DC/AC (falowniki), wytwarzające prąd trójfazowy o napięciu 400 V. Następnie napięcie to podwyższane jest w transformatorze wyjściowym SN, zlokalizowanym wewnątrz wieży na jej dolnym poziomie lub na zewnątrz (np. w kontenerze obok wieży). W dolnej części wieży znajdują się także wyposażenie sterownicze, wyłączniki, itp.

Elektrownie wiatrowe z generatorami wolnoobrotowymi

W elektrowniach wiatrowych z wolnoobrotowymi generatorami prądowymi synchronicznymi nie stosuje się przekładni mechanicznych. Generator wytwarza prąd elektryczny o częstotliwości kilku-, kilkunastu Hz, w zależności od prędkości obrotowej turbiny i liczby par biegunów. Podobnie jak przy generatorach szybkoobrotowych, w elektrowniach wiatrowych stosuje się wolnoobrotowe generatory synchroniczne z magnesami trwałymi w wirniku (niewymagające wzbudzenia) lub generatory synchroniczne ze wzbudzającymi przetwornikami AC/DC w obwodzie wirnika. Aby możliwe było odprowadzenie wytworzonej energii do systemu energetycznego o częstotliwości 50 Hz niezbędna jest zmiana parametrów prądu w identyczny sposób jak w generatorach synchronicznych szybkoobrotowych. Z uwagi na brak przekładni mechanicznej i dostępność miejsca w gondoli wraz z generatorem wolnoobrotowym może być zlokalizowany także przetwornik AC/DC prądu wyjściowego z generatora. Przetworniki DC/AC znajdują się w dolnej części wieży. Wzdłuż wieży prowadzone jest okablowanie do przesyłu prądu z prostowników do falowników wytwarzających prąd trójfazowy o napięciu 400 V. Jak w przypadku rozwiązań z generatorami synchronicznymi szybkoobrotowymi, transformator wyjściowy SN (15, 20 lub 30 kV) jest zlokalizowany wewnątrz wieży na jej dolnym poziomie lub na zewnątrz (np. w kontenerze obok wieży).

Metoda badań

Badania w otoczeniu wyposażenia elektroenergetycznego wewnątrz oraz na zewnątrz wieży typowych dla polskich elektrowni wiatrowych z generatorami szybkoobrotowymi i wolnoobrotowymi prądu przemiennego obejmowały:

- rozpoznanie urządzeń będących źródłami pola-EM
- oscyloskopowe rozpoznanie parametrów wytwarzanego pola-EM (w dziedzinie czasu i częstotliwości), z użyciem kalibrowanej sondy o paśmie pomiarowym 1 Hz – 400 kHz i z wykorzystaniem analizy widmowej według algorytmu FFT (*Fast Fourier Transform*)



Fot. Elektrownie wiatrowe (fot. autorzy)

Photo. Wind power plants (source: authors)

- pomiary punktowe rozkładu przestrzennego wartości równoważnej natężenia niezaburzonego pola elektrycznego (pola-E) zmiennego w czasie (E w V/m) i pola magnetycznego (pola-M) zmiennego w czasie lub magnetostatycznego (PMS), (H w A/m) w otoczeniu poszczególnych źródeł pola-EM (przy zachowaniu minimalnej odległości pomiarowej od wyposażenia elektroenergetycznego: 15 cm podczas pomiarów pola zmiennego i 5 cm podczas pomiarów PMS), z zastosowaniem izotropowych mierników selektywnych (PMS lub pola-EM o częstotliwości 50 Hz) lub szerokopasmowych (5 Hz – 2 kHz lub 5 Hz – 2 kHz bez 50 Hz)

- pomiary ciągłe (monitoring) pola-M małej częstotliwości (40–800) Hz, z wykorzystaniem ekspozymetrów szerokopasmowych (z próbkowaniem co 1,5 s) noszonych w kieszeni ubrania przez pracowników elektrowni.

Prezentowane w artykule badania przeprowadzono na 3 farmach wiatrowych, na których eksploatowanych było łącznie ponad 50 elektrowni wiatrowych o mocach znamionowych 2-2,5 MW. Z uwagi na unifikację rozwiązań konstrukcyjnych elektrowni wiatrowych stosowaną przez ich producentów wyniki badań można uznać za reprezentatywne dla szerszej grupy elektrowni wiatrowych eksploatowanych obecnie w Polsce.

Kryteria oceny narażenia pracowników na pole-EM

Pole-EM może oddziaływać na zdrowie i bezpieczeństwo pracowników podczas pracy w narażonych miejscach (oddziaływanie natychmiastowe, zagrożenia wypadkowe), a także wpływać na stan zdrowia wskutek odległych skutków narażenia wieloletniego lub incydentalnego narażenia silnego, tzw. przypadków „overexposure” (oddziaływanie odległe pola elektromagnetycznego zostało m.in. zaklasyfikowane przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem do czynników prawdopodobnie rakotwórczych dla ludzi [5]).

W celu ochrony bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, prawo pracy określa limity narażenia, dotyczące natężeń pola-E i pola-M o częstotliwości z pasma 0 Hz – 300 GHz, definiujące granice tzw. stref ochronnych (pośredniej, zagrożenia i niebezpiecznej), których zasięg powinien być wyznaczony [6,7]. Prawo

pracy dopuszcza narażenie pracowników na pole-EM stref ochronnych (pole-EM-SO), jeżeli przeprowadzono badania lekarskie, które potwierdziły brak przeciwwskazań zdrowotnych do narażenia na pole-EM. Kolejnym warunkiem jest zapewnienie przez pracodawcę środków ochronnych, obejmujących: zapobieganie bezpośrednim skutkom biofizycznym oddziaływania pola-EM na organizm człowieka (termicznym lub pozatermicznym) lub pośrednim skutkom oddziaływania pola-EM na inne obiekty (tj. zapobieganie zakłóceniom funkcjonowania aktywnych implantów medycznych (AIMD) i skutkom termicznym oddziaływania na implanty pasywne) oraz okresowe szkolenia z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy w polu-EM i okresowa kontrola poziomu narażenia na pole-EM [7]. Dodatkowo, narażenia na pola-EM powinny spełniać warunek tymczasowości (wskaźnik narażenia pracownika mniejszy od wartości $W = 1$), [6, 7].

Określono również limity pola-EM dotyczące granicy strefy bezpiecznej, w której brak ograniczeń dotyczących przebywania pracowników (poziomy tych pól spełniają również wymagania dotyczące środowiska ogólnego), [8].

Wymagania dotyczące ochrony przed oddziaływaniem pola-EM są zaostrzone w stosunku do pracowników szczególnie chronionych, czyli kobiet w ciąży i młodocianych, którzy nie powinni przebywać w polu-EM-SO, a także użytkowników implantów medycznych, dla których wymagane jest dostosowanie działań profilaktycznych w miejscu pracy do wyników oceny dotyczących ich zagrożeń elektromagnetycznych. Ocena zagrożeń dla użytkowników implantów medycznych przebywających w polu-EM-SO może zostać wykonana w porozumieniu z lekarzem medycyny pracy np. na podstawie danych udostępnionych przez producenta implantu i placówkę medyczną wszczepiającą implant, a w razie braku takich danych, można posilić się tylko publikacjami specjalistycznymi [9].

Wyniki badań pola-EM w elektrowniach wiatrowych

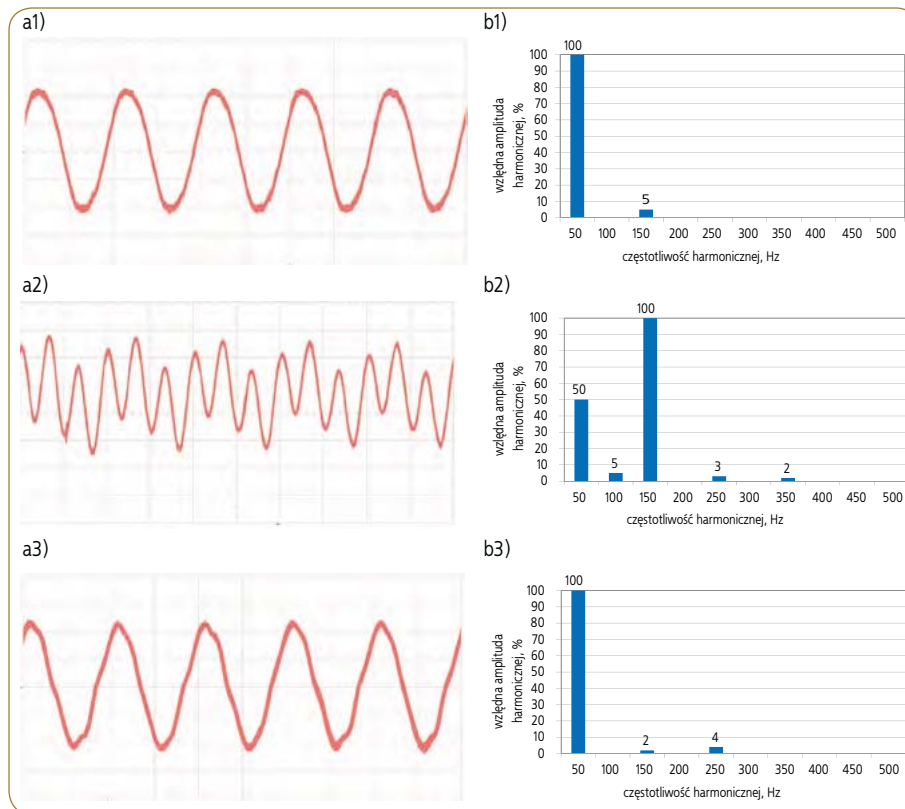
Przeprowadzone rozpoznanie potwierdziło, że wyposażenie elektroenergetyczne różnego typu elektrowni wiatrowych jest źródłem zróżnicowanego, złożonego pola-EM (rys. 1):

- PMS, przy przetwornikach AC/DC i okablowaniu łączącym je z falownikami
- pola-EM małej częstotliwości z pasma do 20 Hz, przy generatorach wolnoobrotowych
- pola-EM małej częstotliwości z pasma 50-150 Hz, przy generatorach szybkoobrotowych, przetwornikach DC/AC i AC/AC oraz okablowaniu.

W otoczeniu przetworników AC/DC i okablowania łączącego je z falownikami stwierdzono występowanie PMS o maksymalnych natężeniach nie przekraczających 200-300 A/m – tj. poniżej dolnego limitu pola-EM-SO (400 A/m) [6]. W odległościach większych niż 50 cm od tych źródeł, PMS jest porównywalne z naturalnym polem geomagnetycznym (ok. 40 A/m).

Natężenie pola-E zmiennego w czasie w otoczeniu urządzeń elektroenergetycznych i instalacji niskiego napięcia elektrowni wiatrowych nie przekracza 200 V/m, a w otoczeniu urządzeń i instalacji średniego napięcia 500 V/m – są to również pola strefy bezpiecznej.

Podczas oceny zasięgu pola-M-SO istotne znaczenie ma jego częstotliwość, z uwagi na zróż-



Rys. 1. Przebiegi zmienności w czasie pola magnetycznego, zarejestrowane w otoczeniu wyposażenia elektrowni wiatrowej z asynchronicznym generatorem szybkoobrotowym – odpowiednio od góry: a1) przy generatorze; a2) przy kablach 690 V wyjściowych z generatora; a3) przy kablach SN z transformatora wyjściowego (podstawa czasu: 10 ms/div) (a) i jego widmo amplitudowo-częstotliwościowe (b) – rejestracje sondą o paśmie przenoszenia 1 Hz – 400 kHz

Fig. 1. Waveforms of magnetic field recorded in the vicinity of power engineering equipment placed inside the wind power plant with an asynchronous generator close to (from top to bottom): a1) the generator; a2) output cables 690 V of the generator; a3) output cables of intermediate voltage of the transformer (time base: 10 ms/div) (a) and frequency spectrum (b) – recordings from a probe with a frequency response of 1 Hz – 400 kHz

nicowanie wartości limitów – na przykład przy częstotliwościach 50 Hz i 150 Hz dolne limity stref ochronnych wynoszą odpowiednio: 60 A/m i 20 A/m; a limity strefy niebezpiecznej 3200 A/m i 1067 A/m [6]. W otoczeniu wyposażenia elektrowni wiatrowych (bezpośrednio przy przetwornikach DC/AC, AC/AC oraz okablowaniu niskiego napięcia generatorów i przetworników) zmierzono natężenia pola-M przekraczające 200 A/m. W przypadku niejednoznacznego rozpoznania charakterystyki pola-EM jego ocenę przeprowadza się w odniesieniu do najniższych wartości limitów z rozpoznanego pasma częstotliwości [7]. W omawianym przypadku oznacza to zastosowanie kryteriów dotyczących częstotliwości 150 Hz, a w konsekwencji stwierdzenie występowania pola-M-SO w odległości do 60 cm od wspomnianych źródeł.

Pracownicy przebywają w elektrowniach wiatrowych podczas typowych czynności konserwacyjnych lub związanych z kontrolą jej funkcjonowania. Wiele prac wykonywanych jest przy unieruchomionych turbinach, kiedy pole-EM nie jest generowane, chociaż pracownicy przebywają tam również przy pracujących urządzeniach. Poziom narażenia jest wtedy uzależniony od miejsca przebywania względem elementów wyposażenia elektroenergetycznego (rys. 2.). Duże zagęszczenie tego wyposażenia na stosunkowo małej powierzchni (np. w gondolach lub na platformach z falownikami) sprawia, że może wystąpić chwilowe narażenie przebywającego tam pracownika na pole-EM-SO, np. bezpośrednio przy obudowach wyposażenia elektroenergetycznego.

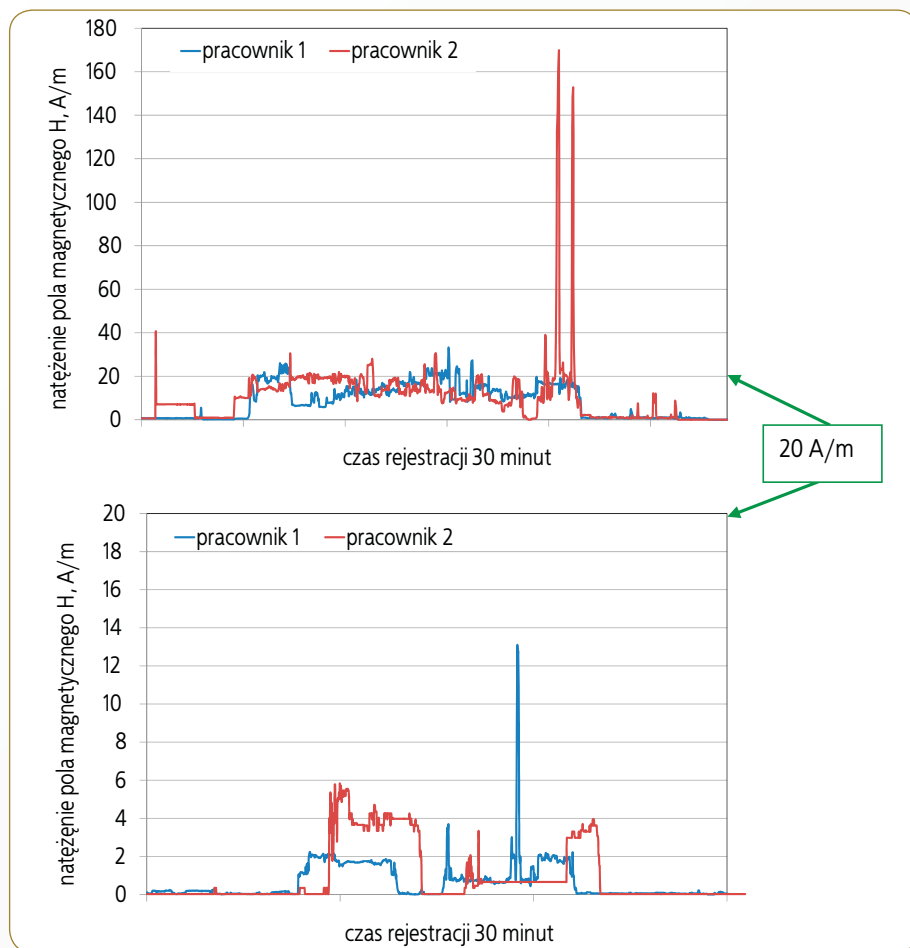
Na zewnątrz wież elektrowni wiatrowych, w miejscach dostępnych dla ludności, występuje

pole-EM o natężeniach zdecydowanie poniżej limitów stref ochronnych oraz limitów zdefiniowanych w przepisach ochrony środowiska (zmierzono natężenie pola-E nieprzekraczające kilku V/m, a natężenie pola-M poniżej kilku A/m), [8].

Ocena narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne

Międzynarodowa ocena narażenia pracowników elektrowni wiatrowych na pole-EM wymaga uwzględnienia jego pełnej złożoności (w tym dominujących składowych widma częstotliwości) oraz zmienności limitów narażenia w funkcji częstotliwości. Wyniki badań wykazały lokalnie, bezpośrednio przy wyposażeniu elektroenergetycznym elektrowni wiatrowych (przy przetwornikach DC/AC, AC/AC oraz okablowaniu niskiego napięcia), występowanie pola-M-SO (pośredniej i zagrożenia). Wyniki badań ekspozymetrycznych wskazują jednak, że pracownicy przebywają głównie w polach strefy bezpiecznej. Nie stwierdzono występowania pola-EM strefy niebezpiecznej. Stwierdzone poziomy pola-EM w miejscach przebywania pracowników w elektrowniach wiatrowych są zbliżone do wyników analogicznych badań w typowych obiektach energetyki konwencjonalnej [10].

Wytwarzana przez elektrownię wiatrową moc elektryczna, czyli natężenie generowanego prądu, zależna jest od prędkości wiatru, co proporcjonalnie wpływa również na natężenie pola-M w otoczeniu jej wyposażenia elektroenergetycznego. Moc znamionowa elektrowni wiatrowej osiągnana jest, zależnie do parametrów jej generatora, przy prędkości wiatru 10-16 m/s, a kiedy przekroczy ona



Rys. 2. Wyniki rejestracji wartości skutecznej natężenia pola magnetycznego oddziałującego na pracowników przebywających w otoczeniu wyposażenia elektroenergetycznego wewnątrz elektrowni wiatrowej z szybkoobrotowym generatorem asynchronicznym o mocy znamionowej 2,0 MW (moc oddawana ok. 15% mocy znamionowej): a) w gondoli; b) w miejscach poza gondolą

Fig. 2. Results of root-mean-square value of magnetic field strength affecting workers in the vicinity of power engineering equipment inside the wind power plant with an asynchronous current generator of 2.0 MW power (produced power 15% of nominal power): a) in the nacelle; b) in places other than the nacelle

25 m/s turbiny są zatrzymywane w celu ochrony przed uszkodzeniem.

Omawiane w artykule badania wykonywano przy zróżnicowanych warunkach eksploatacji elektrowni wiatrowych – przy generowanych mocach dochodzących do 20% mocy znamionowych. Zatem, przy efektywniejszej pracy elektrowni, natężenia pola-M w omawianych miejscach mogą być istotnie wyższe od prezentowanych wyników pomiarów. Jednak w warunkach silnego wiatru, ze względów bezpieczeństwa pracownicy zwykle nie przebywają w takich warunkach wewnątrz wieży elektrowni ze względu na specjalne procedury wykonywania prac. Wyniki przeprowadzonych pomiarów sugerują więc, że zasięgi pola-M-SO wewnątrz wież bywają większe od stwierdzonych podczas pomiarów, ale oszacowano, że w warunkach, kiedy mogą tam przebywać pracownicy, nie powinny sięgać dalej niż 1 metr od omówionych źródeł pola-M.

Ze względu na narażenie pracowników na pole-EM-SO wymagane jest podjęcie przez pracodawcę wymaganych przepisami bhp środków ochronnych [7]. W warunkach stwierdzonych w elektrowniach wiatrowych środki te obejmują głównie oznakowanie źródeł pola-EM i ograniczenie przebywania w ich pobliżu pracowników szczególnie chronionych (kobiet w ciąży, młodocianych i użytkowników implantów medycznych), [11,12]. Ze względu na specyfikę wykonywania prac w elektrowniach przez nieliczne zespoły pracowników i ograniczony dostęp do elektrowni

innych pracowników, kluczową rolę w tym zakresie ma ocena przeciwskażeń zdrowotnych do narażenia na pole-EM-SO podczas wstępnych i okresowych lekarskich badań profilaktycznych. Informowanie wszystkich pracowników o źródłach zagrożeń może przyczynić się do zachowania ostrożności podczas pracy i wyeliminowania narażeń na pole-M-SO lub znaczne zmniejszenie jego zakresu.

Podsumowanie

Eksploatacja elektrowni wiatrowych nierozwiewnie związana jest z występowaniem w nich, emitowanego głównie przez przetworniki elektroenergetyczne i kable niskiego napięcia, PMS i pola-EM małej częstotliwości (z pasma od kilku do kilkuset Hz, o dominujących składowych 50 i 150 Hz). Poziom zagrożeń elektromagnetycznych w elektrowni zależy od jej aktualnej wydajności. Narażenie pracowników na pole-EM ma miejsce podczas wykonywania czynności eksploatacyjnych przy pracujących turbinach. Większość prac konserwacyjnych wykonywana jest przy zatrzymanych turbinach (np. prace w gondolach), co eliminuje oddziaływanie pola-EM na pracowników.

Przeprowadzone badania wykazały, że oddziaływanie pola-EM na pracowników nie przekracza granic określonych przez prawo pracy (nie stwierdzono występowania pola-EM strefy niebezpiecznej). Lokalnie w elektrowniach wiatrowych możliwe

jest występowanie pola-M-SO, jednak narażenie na nie pracowników nie występuje lub jest bardzo krótkotrwałe, ponieważ zasięg stref ochronnych (pośredniej i zagrożenia) nie przekracza jednego metra od infrastruktury elektroenergetycznej elektrowni. Lokalizacja miejsc występowania pola-EM-SO oraz możliwy poziom oddziaływania na pracowników i jego niepożądanych skutków powinny być uwzględnione w programie stosowania środków ochronnych [7].

W otoczeniu elektrowni wiatrowych występują pola-EM strefy bezpiecznej (nie przekraczające limitów zdefiniowanych w przepisach ochrony środowiska).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gryz K., Karpowicz J. *Narażenie na pola elektromagnetyczne przy instalacjach energetycznych odnawialnych źródeł energii (OZE)*. „Bezpieczeństwo pracy. Środowisko. Zarządzanie” Red. D. Hadryś, Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach, 2015, t. 3, s. 85-94
- [2] *Mapa odnawialnych źródeł energii*. Urząd Regulacji Energetyki <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html>
- [3] Leśniewski Ł. *Globalne i polskie tendencje w sektorze energetyki wiatrowej. Raport Energetyka wiatrowa w Polsce 2015*. TPA Horwath, Polska Agencja Informacji i Inwestycji Zagranicznych, BSJP 2015
- [4] Skolimowski M. *Wpływ energetyki wiatrowej na polski rynek pracy. Raport Energetyka wiatrowa w Polsce 2015*. TPA Horwath, Polska Agencja Informacji i Inwestycji Zagranicznych, BSJP, 2015
- [5] *IARC Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields*. IARC Monographs 80, IARC Press: Lyon 2002
- [6] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. 2016, poz. 952
- [7] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne. Dz.U. 2016, poz. 950
- [8] 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. 2003, Nr 192 poz. 1883
- [9] Zradziński P., Gryz K., Leszko W., Karpowicz J. *Bezpieczeństwo użytkowników aktywnych implantów medycznych przebywających w polach elektromagnetycznych infrastruktury elektroenergetycznej* [w:] *Ochrona przed promieniowaniem jonizującym i niejonizującym. Nowe uregulowania prawne, źródła, problemy pomiarowe*. Red. Zmyślony M., Nowosielska E.M. WAT, Warszawa 2015
- [10] Gryz K., Karpowicz J. *Pole elektryczne i magnetyczne sieci elektroenergetycznych wysokiego napięcia* [w:] *Środowiskowe narażenia zawodowe przy obsłudze sieci elektroenergetycznych wysokiego napięcia w Polsce*. Red. J. Karpowicz, J. Bugajska. Warszawa, CIOP-PIB 2013
- [11] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. Dz.U. Nr 114, poz. 545, 1996 i zm. Dz.U. Nr 127, poz. 1092, 2002
- [12] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudnienia przy niektórych z tych prac. Dz.U. Nr 200, poz. 2047, 2004

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.