

Paweł Janusz Piotrowski

Sylwester Robak

Mateusz Maksymilian Polewaczyk

Robert Raczkowski

NARAŻENIE PRACOWNIKÓW MORSKICH STACJI ELEKTROENERGETYCZNYCH NAJWYŻSZYCH NAPIĘĆ NA SZKODLIWE CZYNNIKI – DZIAŁANIA MINIMALIZUJĄCE RYZYKO ZAGROŻEŃ

OFFSHORE SUBSTATION WORKERS' EXPOSURE TO HARMFUL FACTORS – ACTIONS MINIMIZING RISK OF HAZARDS

Politechnika Warszawska / Warsaw University of Technology, Warszawa, Poland
Instytut Elektroenergetyki, Wydział Elektryczny / Institute of Electrical Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering

STRESZCZENIE

Obecny rozwój elektroenergetyki w Polsce, szczególnie w zakresie odnawialnych źródeł energii (w tym farm wiatrowych), przynosi konieczność wprowadzenia uregulowań prawnych dotyczących nowych środowisk pracy. Opracowanie przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP) dla pracowników elektroenergetycznych stacji morskich jest niezbędne w obliczu budowy nowych elektrowni wiatrowych na morzu – morskich farm wiatrowych. Przebywanie w morskich stacjach elektroenergetycznych wiąże się ze zwiększonym narażeniem zdrowotnym na szkodliwe czynniki fizyczne, chemiczne, biologiczne i psychofizyczne. Głównymi źródłami zagrożeń zdrowotnych są: temperatura, pole elektromagnetyczne, hałas pochodzący od pracujących turbin wiatrowych, stały i przemienny prąd elektryczny, substancje chemiczne, bakterie z rodzaju *Legionella* oraz odizolowanie osób przebywających w stacji od życia na lądzie. Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na problem narażenia pracowników elektroenergetycznych stacji morskich na czynniki szkodliwe oraz przedstawienie metod przeciwdziałania tym czynnikom, żeby ograniczyć ich negatywny wpływ na zdrowie. Wskazano i opisano także inne zagrożenia występujące w stacjach morskich (pożar, wybuch, wyładowania atmosferyczne, wypadki przy pracy). Omówiono również środki i sposoby zmniejszania wpływu czynników szkodliwych na organizm. W artykule zwrócono też uwagę na potrzebę opracowania regulacji w zakresie BHP dotyczących nowego środowiska pracy – elektroenergetycznej stacji morskiej. Przegląd standardów i opracowań zagranicznych pozwala uznać, że niektóre z nich mogą zostać zaadaptowane na polskim rynku pracy. Med. Pr. 2016;67(1):51–72

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo i higiena pracy, morska stacja elektroenergetyczna, farma wiatrowa, czynniki szkodliwe, przeciwdziałanie negatywnym skutkom zdrowotnym, szkodliwe pola elektromagnetyczne

ABSTRACT

The current development of electric power industry in Poland, especially in the field of renewable energy sources, including wind power, brings about the need to introduce legislation on new work environment. The development of occupational safety and health (OSH) regulations that must be met by new workplaces, such as offshore substations becomes necessary in view of the construction of modern offshore wind power plants – offshore wind farms. Staying on offshore substation is associated with an increased exposure to harmful health factors: physical, chemical, biological and psychophysical. The main sources of health risks on offshore substations are: temperature, electromagnetic field, noise from operating wind turbines, direct and alternating current, chemicals, *Legionella* bacteria and social isolation of people. The aim of this article is to draw attention to the problem of offshore substation workers' exposure to harmful factors and to present methods of preventing and reducing the risk-related adverse health effects. In this paper, there are identified and described risks occurring on offshore substations (fire, explosion, lightning, accidents at work). Some examples of the means and the methods for reducing the negative impact of exposure on the human health are presented and discussed. The article also highlights the need to develop appropriate laws and health and safety regulations concerning the new working environment at the offshore substations. The review of researches and international standards shows that some of them can be introduced into the Polish labor market. Med Pr 2016;67(1):51–72

Key words: occupational safety and health, offshore substation, wind farm, harmful factors, preventing adverse health effects, harmful electromagnetic fields

Autor do korespondencji / Corresponding author: Paweł Piotrowski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Wydział Elektryczny, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: pawel.piotrowski@ien.pw.edu.pl
Nadesłano: 16 lipca 2015, zatwierdzono: 7 października 2015

WSTĘP

Ogólnoświatowa, także europejska, troska o zasoby energetyczne i środowiskowe spowodowała, że głównym elementem europejskiej polityki energetycznej jest zwiększenie wykorzystania rozproszonych zasobów energii [1], m.in. odnawialnych źródeł energii (OZE). Zarówno obowiązujący dokument Ministerstwa Gospodarki „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”, jak i założenia opracowywanej strategii „Polityka energetyczna Polski do 2050 roku”, które wynikają z porozumienia Rady Europejskiej dotyczącego pakietu klimatyczno-energetycznego do 2030 r., przewidują znaczący udział energii ze źródeł odnawialnych [2,3]. W Europie za cel uznano zwiększenie do 27% udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym Unii Europejskiej (UE).

Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii [4] definiuje odnawialne źródło energii (OZE) jako odnawialne, niekopalne źródło energii obejmujące energię wiatru, promieniowania słonecznego, aerothermalną, geothermalną, hydrothermalną, hydroenergię, fal, prądów i pływów morskich, energię otrzymywaną z biomasy, biogazu, biogazu rolniczego oraz z biopłynów.

W Polsce, według danych Urzędu Regulacji Energetyki [5], największy udział w źródłach OZE mają elektrownie wiatrowe. Przewiduje się, że w najbliższej przyszłości energetyka wiatrowa będzie rozwijać się dynamicznie. Obecnie w energetyce wiatrowej jest tendencja do łączenia wielu kilkumegawatowych jednostek wytwórczych (turbin wiatrowych) i przyłączania ich razem do sieci elektroenergetycznej. Osiągana w ten sposób moc całej farmy wiatrowej (FW) może przekraczać setki, a nawet tysiące megawatów.

Farmy wiatrowe można podzielić na lądowe (onshore) oraz morskie (offshore). Większość działających farm wiatrowych to farmy lądowe. Rozwój technologii morskich pozwala na szerokie wykorzystanie obszarów morskich w celu pozyskania zasobów energetycznych, m.in. energii z wiatru. Morskie farmy wiatrowe cechuje większa stabilność wytwarzania energii niż ich lądowe odpowiedniki. Ze wstępnych badań potencjału wiatrowego polskich obszarów morskich wynika, że potencjał techniczny morskich farm wiatrowych (MFW) wynosi około 7,5 GW. Na polskich obszarach morskich jako potencjalne lokalizacje morskich farm wiatrowych wskazuje się Ławicę Słupską, Ławicę Środkową i wybrzeże na wysokości Kołobrzegu [6].

Żeby przesłać energię wytworzoną w morskich farmach wiatrowych do odbiorców na lądzie, konieczne jest wybudowanie odpowiedniej infrastruktury, m.in. morskich stacji elektroenergetycznych – węzłów morskiej sieci elektroenergetycznej, umieszczanych na morskich stacjach elektroenergetycznych. Światowe doświadczenie w zakresie konstrukcji platform morskich jest związane przede wszystkim z poszukiwaniem, wydobywaniem, przetwarzaniem i transportem paliw kopalnych. Dzięki takiemu doświadczeniu w ostatnich latach w Danii, Niemczech i Wielkiej Brytanii powstały pierwsze morskie stacje elektroenergetyczne. W Polsce planowany rozwój morskiej energetyki wiatrowej musi być związany z budową kilku-kilkunastu platform morskich stacji elektroenergetycznych.

Konstrukcja nawodna platformy morskiej, na której znajduje się morska stacja elektroenergetyczna, ma wymiary podstawy podobne do wymiarów boiska piłkarskiego (100×75 m); znajdują się na niej – oprócz urządzeń elektroenergetycznych – umieszczone na kilku pokładach niezbędne urządzenia i układy technologiczne.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie narażenia pracowników w morskich stacjach elektroenergetycznych najwyższych napięć na szkodliwe czynniki i działań minimalizujących ryzyko zagrożenia.

W porównaniu z lądowymi stacjami elektroenergetycznymi w stacjach morskich występują specyficzne zagrożenia związane z transportem na platformę i z platformy oraz ewakuacją z platformy, z pobytami w przestrzeni zamkniętej, pracą w strefie urządzeń dźwigowych, nurkowaniem, pracą na wysokości i korzystaniem z wiatrów, uszkodzeniami mechanicznymi konstrukcji platformy. Wymienione zagrożenia i zagrożenia typowe dla obiektów elektroenergetycznych (np. oddziaływanie prądu elektrycznego oraz pola elektromagnetycznego) powodują, że morska stacja elektroenergetyczna stanowi szczególne miejsce pracy.

Do specyfiki pracy w morskich stacjach elektroenergetycznych należy również zmieniony tryb pracy. Przy jego planowaniu korzysta się z doświadczeń dotyczących morskich platform wydobywczych. Pracownicy podczas budowy i instalacji stacji najczęściej pracują na morzu przez 14 dni, po których przez 14 dni odpoczywają na lądzie (stosuje się także inne systemy, np. 21/21 dni). Każdego dnia pracownik pracuje 10–12 godzin. W celu utrzymania ciągłości pracy na stacji jednocześnie mogą przebywać 2 załogi. Jako kandydatów na pracowników w morskich stacjach elektroenergetycznych najczęściej szuka się osób mających doświadczenie na morskich platformach wydobywczych.

METODY PRZEGLĄDU

Przy opracowywaniu niniejszej pracy autorzy korzystali z elektronicznych baz danych książek, czasopism oraz dokumentów związanych z szeroko rozumianym zagadnieniem zagrożenia zdrowotnego u pracowników morskich stacji elektroenergetycznych.

Problem narażenia zdrowotnego pracowników morskich stacji elektroenergetycznych jest nowym zagadnieniem, dlatego podczas opracowywania niniejszego artykułu autorzy korzystali przede wszystkim z materiałów źródłowych opublikowanych w kraju i za granicą w ciągu ostatnich 10 lat. Dane wyszukiwano w następujących bazach: Web of Science, ScienceDirect, Springer i Google Scholar.

Ze względu na małą liczbę publikacji dotyczących problemu narażenia pracowników morskich stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć na szkodliwe czynniki przegląd materiałów rozszerzono o bazę e-cigre (baza największego na świecie międzynarodowego stowarzyszenia zrzeszającego ekspertów zajmujących się zagadnieniami elektroenergetycznymi) oraz IEEE Xplore Digital Library (baza organizacji skupiającej profesjonalistów z zakresu elektrotechniki oraz elektroniki).

Wyszukując publikacje, stosowano słowa kluczowe w języku angielskim (offshore substation, offshore platform, electrical design, hazard identification, inspections and maintenance, EMF, electrical shock, risk aspects, fire and explosion protection) oraz w języku polskim (morska stacja elektroenergetyczna, morska platforma, projekt elektryczny, identyfikacja zagrożenia, inspekcje oraz eksploatacja, pole elektromagnetyczne, porażenie prądem elektrycznym, aspekty ryzyka, ochrona przeciwpożarowa i przeciwybuchowa).

W pracy uwzględniono piśmiennictwo dotyczące m.in. zasad budowy, wyposażenia, eksploatacji, przeglądów, serwisowania, monitoringu oraz przepisów BHP w elektroenergetycznych stacjach morskich, szkodliwych czynników fizycznych (środowiska cieplnego, szkodliwego działania pola elektromagnetycznego (electromagnetic field – EMF), szkodliwego oddziaływania na zdrowie turbin wiatrowych, porażenia prądem elektrycznym, porażenia piorunem), chemicznych, biologicznych oraz psychofizycznych, na które narażeni są pracownicy stacji.

Żeby zwiększyć ilość materiałów źródłowych, dokonano również przeglądu stron internetowych krajowych i zagranicznych, stron administracji rządowej, instytucji związanych z administracją morską oraz towarzystw klasyfikacyjnych.

WYNIKI PRZEGLĄDU

Czynniki szkodliwe dla pracowników morskich stacji elektroenergetycznych

Pracownicy morskich stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć są narażeni na zagrożenia zdrowotne wynikające m.in. ze specyfiki usytuowania miejsca pracy (stacjonarny obiekt na morzu), związane ze sprzętem i urządzeniami znajdującymi się na platformie stacji morskiej oraz z bardzo bliskiego położenia morskiej stacji względem farmy wiatrowej. Nie są to jedyne czynniki zagrażające zdrowiu pracowników stacji morskiej. W tabeli 1. przedstawiono ogólną listę szkodliwych czynników i wybrane przyczyny czynników groźnych dla zdrowia.

Szkodliwe czynniki fizyczne

W morskich stacjach elektroenergetycznych w porównaniu z typowym środowiskiem pracy szkodliwe czynniki fizyczne mają znaczący wpływ na zdrowie pracowników. W kolejnych częściach pracy omówiono poszczególne rodzaje szkodliwych czynników fizycznych, wskazano ich główne źródła oraz przedstawiono sposoby minimalizowania związanego z nimi zagrożenia.

Środowisko cieplne

Położenie stacji elektroenergetycznej powoduje, że pracownicy są narażeni na szkodliwe środowisko cieplne. Mikroklimat (duża wilgotność, promieniowanie słońca, temperatura powietrza oraz ruch powietrza) wpływa na wydajność pracy. Podwyższona temperatura otoczenia ma także pośredni wpływ na choroby alergiczne układu oddechowego (zaostrenie objawów alergii wziewnej). Działanie pośrednie wysokiej wilgotności jest wywołane grzybami, które mogą powodować alergię, grzybicę oraz choroby nowotworowe. Bodźce świetlne (widzialny zakres promieniowania elektromagnetycznego) działające na światłoczułe komórki oka, pośrednio oddziałują na aktywność procesów biologicznych organizmu. Nagłe, krótkotrwałe zmiany pogody wpływają przede wszystkim na psychikę.

Niezbędne jest przeszkolenie pracowników stacji w zakresie zapobiegania chorobom związanym z zawodowymi czynnikami ryzyka w środowisku ciepłym, rozpoznawania ich objawów i reagowania w przypadku ich wystąpienia.

W stacji morskiej wysoka wilgotność panuje przez cały rok. Wilgotność względna powietrza na Bałtyku wynosi powyżej 80%. Najwyższa występuje w grudniu,

Tabela 1. Zagrożenia zdrowotne dla pracowników morskich stacji elektroenergetycznych
Table 1. Adverse human health effects among the workers of offshore substations

Czynnik szkodliwy Harmful factor	Źródło zagrożenia dla zdrowia Source of adverse health effects
Czynniki fizyczne / / Physical factors	środowisko ciepłe (praca na zewnątrz, klimat morski) / thermal environment (outdoor work, marine climate) pole EMF występujące w stacji (rozdzielnicza prądu stałego, radiostacje, kable i przewody energetyczne wysokiego napięcia) / / EMF occurring at the station (DC switchgear, radio stations, power supply cables and high-voltage power lines) turbiny wiatrowe znajdujące się w pobliżu stacji morskiej / wind turbines present in the vicinity of offshore substation on human health porażenie prądem elektrycznym (wyposażenie elektryczne stacji morskiej – prace serwisowe, przeglądy, naprawy urządzeń) / / electric shock (electrical equipment on offshore substation – servicing, inspection, repair devices) porażenie piorunem (wyładowania atmosferyczne – praca na zewnątrz) / lightning injury (atmospheric discharges – outdoor work)
Czynniki chemiczne / / Chemical factors	substancje chemiczne znajdujące się w stacji morskiej, szczególnie gaz SF ₆ i toksyczne produkty jego rozpadu / chemical substances on the offshore substation, SF ₆ gas and its toxic degradation products in particular
Czynniki biologiczne / / Biological factors	bakterie z rodzaju <i>Legionella</i> w magazynowanej wodzie, kontakt z bakteriami przy czyszczeniu systemów klimatyzacji / / <i>Legionella</i> bacteria inside storage water, contact with microbes during air conditioning systems cleaning
Czynniki psychofizyczne / / Psychophysical factors	położenie stacji na morzu (odizolowanie od rodziny, samotność, monotonia pracy, negatywny wpływ pracujących turbin wiatrowych na psychikę) / offshore substation location (isolation from family, desolation, the monotony of work, adverse effects of working wind turbines on workers' psyche)

EMF – pole elektromagnetyczne / electromagnetic field, DC – prąd stały / direct current, SF₆ – sześćfluorek siarki, nieorganiczny związek chemiczny o bardzo dobrych własnościach dielektrycznych / sulfur hexafluoride, a chemical compound with very good dielectric properties.

najniższa w maju i czerwcu. Wynikiem panującej wilgoci może być pojawienie się w pomieszczeniach stacji pleśni wpływających negatywnie na zdrowie pracowników. W wyniku działania grzybów pleśniowych może dojść do uszkodzenia i zaburzenia czynności wielu narządów i układów, m.in. układu oddechowego, nerwowego, immunologicznego, a także hematologicznego oraz skóry. Pleśń jest także przyczyną zagrażających życiu infekcji ogólnoustrojowych u pracowników z osłabionym układem immunologicznym. W pomieszczeniach mieszkalnych najczęściej występują m.in. *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Stachybotrys*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Wallemia*, *Trichoderma*, *Botrytis*, *Epicoccum* i *Fusarium*. Na pleśń i inne grzyby narażone są szczególnie tapicerka mebli i materiały, które powinny być okresowo starannie suszone.

W badaniach, których celem była identyfikacja ilościowa i jakościowa grzybów pleśniowych występujących w powietrzu wybranych pomieszczeń biurowych, wyizolowano 15 gatunków grzybów należących do 12 rodzajów [7]. Wśród grzybów pleśniowych znajdowały się powszechne gatunki saprofityczne, a także gatunki stanowiące zagrożenie dla pracowników ze względu na wytwarzanie mikotoksyn i działanie alergizujące. Do tych gatunków należą: *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus ochraceus*, *Cladosporium* spp., *Penicillium* spp. i *Alternaria* spp. Warto podkreślić, że po-

mieszczenia mieszkalne na terenie stacji morskiej nie są pomieszczeniami typowymi, więc konieczna jest analiza pozwalająca zidentyfikować rodzaje i gatunki grzybów w nich występujących.

Nadmierna wilgotność przy podwyższonej temperaturze otoczenia (lato) utrudnia organizmowi oddawanie ciepła, co w konsekwencji może powodować przegrzanie [8]. Przy obniżonej temperaturze (zima) powoduje szybką utratę ciepła i może przyczyniać się do zwiększonej podatności na choroby. Niska temperatura otoczenia stanowi obciążenie dla układu krążenia – zwiększa się zapotrzebowanie mięśnia sercowego na tlen. U pracowników z chorobami krążenia może dojść do ujawnienia się objawów choroby.

Nadmierne obciążenie cieplne organizmu ma dwa źródła: jedno to ciepło wytwarzane w organizmie w ilości zależnej od natężenia metabolizmu, drugie to otoczenie. Organizm może przyjmować ciepło z otoczenia drogą przewodzenia (dotykając nagrzaną powierzchnię, temperatura powietrza wyższa niż temperatura ciała) i promieniowania (jeżeli w otoczeniu są źródła promieniowania cieplnego) [8].

Stres cieplny może zagrażać życiu pracownika. Wysoka temperatura otoczenia powoduje gwałtowny wzrost temperatury ciała, a organizm nie jest w stanie sam wystarczająco się ochłodzić. Udar cieplny objawia się zatrzymaniem wydalania potu. Skóra staje się gorą-

ca i sucha, a wewnętrzna temperatura ciała może podnieść się do poziomu śmiertelnego, tzn. powyżej 43°C. Jest to stan zagrażający życiu. Reakcją organizmu na długotrwałe narażenie na wysoką temperaturę otoczenia mogą być kurcze mięśniowe. Kiedy system termoregulacyjny organizmu zostanie uszkodzony (wyczerpanie ciepłne), temperatura ciała rośnie, pojawiają się bladeść, zawroty głowy, intensywne pocenie się z jednoczesnym obniżeniem temperatury ciała i zwiększoną wilgotnością skóry. Taki stan może prowadzić do niewydolności układu krążenia, która jest zagrożeniem dla życia. Rozszerzenie naczyń krwionośnych skóry w gorącym otoczeniu może tak zmniejszyć opory naczyniowe, że obniża się ciśnienie tętnicze krwi (bywa to przyczyną omdlenia).

Wysilek fizyczny zwiększa obciążenie serca, następuje przyspieszenie jego akcji. Jednoczesne zmniejszenie napięcia naczyń kończyn dolnych jest przyczyną zmniejszenia dopływu krwi do serca. To z kolei może powodować niedokrwienie i zapaść. Ekspozycja na wysoką temperaturę zmniejsza przepływ krwi przez nerki. Osoby z chorobami układu krążenia nie powinny pracować w takim środowisku [8].

Zagrożenie zdrowotne wynikające ze środowiska cieplnego jest większe w przypadku pracowników z chorobami przewlekłymi układu krążenia i oddechowego.

Ograniczenie ryzyka zaostrzenia choroby i wypadków polega na właściwym wybieraniu pracowników (jest to działanie zapobiegawcze na poziomie indywidualnym, podobnie jak zapewnienie odpowiedniej ilości płynów w czasie pracy w podwyższonej temperaturze oraz uzupełnianie makroelementów, przede wszystkim chlorku sodu, które zmniejszają ryzyko wystąpienia przykurczów mięśni). Przykładem działania zapobiegawczego na poziomie organizacyjnym jest stosowanie systemów klimatyzacji oraz odpowiednich systemów filtrów redukcji wilgoci, co wpływa na komfort pracy i zmniejsza zagrożenie związane z narażeniem na pleśń. Na poziomie systemowym stosuje się przepisy prawne regulujące warunki pracy, jeśli występują zagrożenia ze strony środowiska cieplnego.

Szkodliwe działanie pola EMF

Pole elektromagnetyczne, stanowiące układ 2 pól: pola elektrycznego i magnetycznego, można scharakteryzować ze względu na częstotliwość, długość fali lub energię. Z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy istotne jest wskazanie urządzeń emitujących pole elektromagnetyczne o ekstremalnie niskiej częstotliwości

(extremely low frequency – ELF) i o częstotliwości radiowej (radio frequency – RF). Urządzenia elektroenergetyczne to źródła pola o niskiej częstotliwości, a urządzenia telekomunikacyjne są źródłami pola o wysokiej częstotliwości [9,10]. Dopuszczalny poziom emisji pola EMF podlega ścisłym regulacjom prawnym, których celem jest zapewnienie bezpieczeństwa pracowników w miejscu pracy. Problem ochrony pracowników przed polem elektromagnetycznym został przedstawiony np. w artykule Aniołczyk i Zmysłonego [11]. Publikacja zawiera charakterystykę oraz porównanie podstawowych przepisów regulujących problematykę narażenia pracowników na szkodliwe oddziaływanie pól EMF. Autorzy artykułu przeprowadzają wnikliwą analizę przepisów, zwracając szczególną uwagę na rolę badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy.

Niewielkie wymiary stacji morskich oraz bliskość urządzeń wysokiego napięcia powodują konieczność ograniczania pola magnetycznego na terenie stacji. Mając na uwadze bezpieczeństwo pracy pracowników, przy projektowaniu morskich obiektów stacyjnych dąży się do ograniczania niekorzystnego oddziaływania pola EMF.

W morskich stacjach elektroenergetycznych głównymi źródłami pola elektromagnetycznego o niskiej częstotliwości są transformatory, rozdzielnie oraz linie kablowe [9]. Źródłami pola elektromagnetycznego o wysokiej częstotliwości są: przekształtniki w stacjach z układami prądu stałego wysokiego napięcia (high voltage direct current – HVDC), radar, system telefonii komórkowej (Global System for Mobile Communications – GSM), radiolatarnia bezkierunkowa (non-directional beacon – NDB) oraz inne systemy komunikacyjne [10]. Wymienione urządzenia są instalowane także na morskich stacjach wydobywczych, dlatego pracownicy pracujący na nich są narażeni na oddziaływanie pól EMF.

Zasadnicza różnica między morskimi stacjami elektroenergetycznymi i wydobywczymi wynika z odmiennego charakteru pracy urządzeń zainstalowanych na obu stacjach. Maksymalne wartości natężenia pól EMF w morskiej stacji elektroenergetycznej i w morskiej stacji wydobywczej zależą od obciążenia urządzeń najwyższych napięć. W przypadku morskich stacji elektroenergetycznych obciążenie to zależy od wartości mocy generowanej przez morskie turbiny wiatrowe, natomiast w przypadku morskich stacji wydobywczych – od intensywności pracy urządzeń wydobywczych. Morskie stacje elektroenergetyczne są

mniejsze w porównaniu z morskimi stacjami wydobyczymi, co z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy pracowników jest mniej korzystne. Bliższe położenie urządzeń na morskich stacjach elektroenergetycznych zwiększa oddziaływanie pól EMF.

Wpływ pól EMF na zdrowie pracowników

Analizując oddziaływanie EMF, szczególną uwagę zwraca się na stacje morskie, w których pracownicy będą przebywać dłużej niż dobę [12]. Stacje takie to obiekty, w których zainstalowane są urządzenia dużej mocy emitujące pola EMF o niskiej częstotliwości oraz urządzenia telekomunikacyjne będące źródłem pola EMF o wysokiej częstotliwości [10]. Natężenie pola elektrycznego i magnetycznego o niskiej częstotliwości ściśle zależy od napięcia znamionowego oraz specyfiki pracy danego urządzenia. Dla linii kablowych najwyższych napięć 132 kV i 400 kV wartość natężenia pola magnetycznego wynosi odpowiednio 2,48 μT i 324 μT , natomiast wartość pola elektrycznego dla obu poziomów napięć to ok. 1 V/m.

Analizując wpływ pola EMF na zdrowie pracowników, należy również określić skutki krótkofalowe i długofalowe. Zasadniczo u Mogos [9] i w raporcie „EMF briefing note” [13] nie wskazano szkodliwych dla zdrowia skutków oddziaływania pola elektromagnetycznego o niskiej częstotliwości (wyjątkiem są statyczne pole magnetyczne oraz pole ELF, które mogą uszkodzić tkanki). Jednym z zauważalnych skutków krótkotrwałego oddziaływania takiego pola może być indukcja pola elektromagnetycznego wewnątrz organizmu człowieka, która wywołuje pobudzenie połączeń nerwowych i wpływa na pracę mięśni. Indukcja pola może spowodować nieprawidłową pracę siatkówki oka, skutkującą zakłóceniami widzenia. Pole EMF indukuje ładunki elektryczne na powierzchni skóry i/lub ubrania, które są przyczyną niebezpiecznych wyładowań kontaktowych, np. w pomieszczeniach z materiałami łatwopalnymi [9,13]. Pole ELF może także wywoływać zaburzenie psychiczne i emocjonalne, m.in. zaburzenia snu, pamięci czy koncentracji, a także poczucie dyskomfortu. Zaburzenie snu jest spowodowane skróceniem czasu trwania fazy snu wolnofalowego odpowiedzialnego za wypoczynek. Oddziaływanie pola EMF o wysokiej częstotliwości ma znacznie poważniejsze skutki w porównaniu z oddziaływaniem pola EMF o niskiej częstotliwości. W przypadku częstotliwości około 10 MHz, stosowanych w komunikacji i systemach radarowych, występuje zjawisko absorpcji energii do wnętrza powodujące wzrost tempera-

tury tkanek. W przypadku częstotliwości od 100 kHz do 10 MHz, typowych dla systemów nawigacji, również występuje termiczne oddziaływanie na organizm człowieka [10]. Niebezpieczny wzrost temperatury pojawia się przy ogrzaniu tkanek o 1–2°C pod wpływem pola EMF [9]. Przy aktualnym stanie wiedzy trudno określić skutki długofalowego oddziaływania pola elektromagnetycznego na organizm człowieka. Uważa się, że może ono przyczyniać się do przyspieszenia rozwoju istniejących komórek nowotworowych lub destabilizacji pracy układu immunologicznego. Należy podkreślić, że oddziaływanie pola EMF jest zjawiskiem indywidualnym i zależy od organizmu [9,13].

Ograniczanie skutków promieniowania pola EMF

Morskie stacje elektroenergetyczne podlegają przepisom International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Przepisy określają bezpieczne poziomy natężenia pól dla pracowników obsługujących urządzenia. W stacjach morskich znajdują się oddzielne miejsca pracy (przede wszystkim pomieszczenia, w których instalowana jest aparatura stacyjna) i pomieszczenia socjalne do wypoczynku. Dopuszczalne natężenie pola elektromagnetycznego w pomieszczeniach socjalnych wynosi 100 μT , a w miejscu pracy – 1000 μT . Jeśli natężenie pola elektromagnetycznego w pomieszczeniach przekracza wartość 6000 μT , należy wprowadzić dodatkowe środki ograniczające oddziaływanie pola. Dotychczas normy określały dopuszczalne natężenie pola EMF dla stacji lądowych, na których ludzie przebywali tylko w czasie pracy. W rozwiązaniach offshore pracownicy przebywają na stacji nawet przez kilka dni, narażając się na oddziaływanie pola elektromagnetycznego przez długi czas [12].

Ocena bezpieczeństwa pracy w morskiej stacji elektroenergetycznej wymaga sprawdzenia, czy natężenie pola EMF nie przekracza wartości zagrażającej zdrowiu pracowników. Stosowane w praktyce wartości natężenia pola, których przekroczenie może oddziaływać negatywnie na zdrowie pracowników, przedstawiła Mogos [9], np. wartość natężenia pola ELF dla osoby narażonej na oddziaływanie pola w czasie pracy niezagrażająca jej zdrowiu wynosi 10 kV/m [9].

Morskie stacje elektroenergetyczne są projektowane w oparciu o standardy, których celem jest stworzenie pracownikom bezpiecznych warunków pracy. Projektowanie stacji uwzględnia dopuszczalne natężenia pól EMF, które zapewniają bezpieczne warunki pracy. Żeby zmniejszyć oddziaływanie pola EMF na pracowników stacji, rozmieszcza się odpowiednio urządzenia

oraz pomieszczenia socjalne na stacji, stosuje się uziemione ekranowane bariery między pomieszczeniami, w których znajdują się urządzenia i wykorzystuje się systemy zdalnego sterowania urządzeniami, bezpieczny harmonogram i właściwą organizację pracy [14,15].

Projektując morską stację elektroenergetyczną, pomieszczenia socjalne umieszcza się zazwyczaj na górnych pokładach tak, żeby odległość między pomieszczeniem a źródłami emisji pola EMF była jak największa. W niektórych stacjach część socjalna znajduje się na oddzielnej platformie, dzięki czemu ryzyko oddziaływania pola elektromagnetycznego jest zminimalizowane [14]. Ściany dzielące pomieszczenia, w których pracują urządzenia wysokiego napięcia i urządzenia telekomunikacyjne, zbudowane są z żelaznych lub stalowych płyt. Ze względu na sposób rozprzestrzeniania się pola elektromagnetycznego ściany o takiej konstrukcji stanowią skuteczne ekrany. Największe natężenie pola EMF występuje wtedy wewnątrz pomieszczeń, w których urządzenia się znajdują [15]. Żeby zminimalizować konieczność wchodzenia pracowników do tych pomieszczeń, stosuje się systemy zdalnego sterowania. Obecność człowieka ogranicza się wówczas do prac eksploatacyjnych, oględzin lub napraw urządzeń [14]. Jeśli wejście do pomieszczeń jest konieczne, ustala się taki harmonogram prac, który skraca do minimum czas przebywania wewnątrz.

Natężenie generowanego pola EMF zależy od stanu pracy – jeśli urządzenia pracują przy największym obciążeniu, zabrania się otwierania drzwi do pomieszczeń oraz przebywania w pobliżu tych pomieszczeń. Drzwi wejściowe do poszczególnych pomieszczeń są wyposażone w zabezpieczenia uniemożliwiające przypadkowe otwarcie lub wejście do nich osób niewykwalifikowanych [14].

Szkodliwy wpływ turbin wiatrowych

Znajdująca się w bezpośrednim sąsiedztwie elektroenergetycznej stacji morskiej farma wiatrowa z dużą liczbą turbin wiatrowych może stanowić zagrożenie dla zdrowia pracowników stacji. Obszerne zestawienie przeglądowe różnych źródeł na temat wpływu turbin wiatrowych na zdrowie przedstawili Pawlas i wsp. [16]. Turbiny wiatrowe znajdują się najczęściej w odległości 500–1500 m od stacji morskiej. Mogą być położone wokół stacji, z jednej strony stacji lub z kilku jej stron. Szkodliwe działanie wynikające bezpośrednio z pracy turbin wiatrowych to hałas słyszalny, infradźwięki, pole elektromagnetyczne o niskiej częstotliwości i efekt migotania cieni.

Hałas emitowany przez turbiny wiatrowe pod względem źródeł emisji akustycznej dzieli się na hałas mechaniczny – pochodzący z generatora, przekładni, skrzyni biegów itd., oraz hałas aerodynamiczny – wywołany ruchem obracających się łopat powodującym zawirowania powietrza na końcówkach łopat, turbulencje, kawitację powietrzną czy zmiany ciśnienia podczas przejścia łopaty obok wieży.

Charakter dźwięku i jego rozprzestrzenianie się w środowisku zależą od wielu czynników (np. konstrukcji turbiny wiatrowej, jej wysokości wraz z wirnikiem, liczby turbin) [17]. Obracające się łopaty wytwarzają dźwięk o charakterze pulsacyjnym. Mogą występować także interakcje między poszczególnymi turbinami [18]. Hałas generowany przez turbiny wiatrowe, według zdecydowanej większości wyników badań, nie przekracza ciśnienia akustycznego wynoszącego 85 dB. Słyszalnym efektem pracy elektrowni wiatrowych jest charakterystyczny, pochodzący od śmigieł turbin, świst – szerokopasmowy hałas o wyższych częstotliwościach, modulowany amplitudowo na niższych częstotliwościach. Może on zwiększyć subiektywne odczucie głośności i powodować irytację. Charakterystyczne są również wibracje, które mogą powodować delikatne ruchy przedmiotów lub drgania okien [19].

Infradźwięki to z fizycznego punktu widzenia wszystkie dźwięki poniżej progu słyszalności, czyli niższe niż 20 Hz. Przy poziomie ciśnienia akustycznego infradźwięki są odbierane przez narząd słuchu i układ przedsionkowy. Według normy ISO 7196 [20] infradźwiękami nazywamy dźwięki lub hałas, którego widmo częstotliwościowe zawarte jest w zakresie 1–20 Hz. W odniesieniu do infradźwięków sztucznego pochodzenia wprowadzono pojęcie hałasu infradźwiękowego oraz hałasu niskoczęstotliwościowego (norma PN-Z-01338:2010 [21]). Nadmierna i długotrwała ekspozycja na infradźwięki i dźwięki o niskiej częstotliwości może wywoływać chorobę wibroakustyczną (vibroacoustic disease – VAD) według Alves-Pereiry i wsp. [22]. Może się ona objawiać powstaniem zwłóknień w układzie sercowo-naczyniowym i płucnym oraz zaburzeniami psychomotorycznymi.

Badań dotyczących wpływu farm wiatrowych na zdrowie człowieka jest niewiele, ale uzyskane wyniki świadczą, że takiego wpływu nie można wykluczyć [17]. Wiele opracowań wskazuje, że narażenie na infradźwięki może wywołać uczucie ucisku w uszach, dyskomfortu, nadmiernego zmęczenia, senności oraz zaburzenia sprawności psychomotorycznej i funkcji fizjologicznych, a nawet apatię i depresję. Wykazano,

że hałas turbin wiatrowych o prognozowanym poziomie dźwięku A 30–48 dB był odbierany (na zewnątrz) jako uciążliwy przez co 3. osobę mieszkającą w sąsiedztwie farm wiatrowych [23]. Wrażliwość poszczególnych osób na ekspozycję infradźwiękową jest bardzo zróżnicowana [24].

Większość autorów opracowań podaje, że nie ma wiarygodnych dowodów na negatywne fizjologiczne czy psychiczne oddziaływanie infradźwięków poniżej 10 Hz na człowieka. Dźwięki słyszalne o niskich częstotliwościach (nieco ponad 20 Hz) mogą być odbierane jako silny hałas, niewielki hałas lub zupełny brak hałasu w zależności od indywidualnej wrażliwości. Turbiny z wirnikiem ustawionym pod wiatr wytwarzają niewiele infradźwięków, poniżej progu odbierania przez człowieka, nawet jeśli przebywa w niewielkiej odległości od ich źródła. Można więc pomijać ten aspekt przy ocenie wpływu turbin na środowisko [19]. Turbiny z wirnikiem ustawionym z wiatrem generują infradźwięki o 10–30 dB wyższe, dlatego ich praca może wpływać na znajdujące się niedaleko obiekty mieszkalne i ludzi.

Uregulowania prawne w Danii dopuszczają wewnątrz obiektu mieszkalnego natężenie infradźwięków około 85 dB (G), czyli co najmniej 10 dB poniżej progu słyszalności [19]. Norma IEC 61400-11 [25] określa standardy pomiaru dźwięku turbin wiatrowych i jest stosowana w certyfikacji turbin wiatrowych. Z uwagi na bardzo dużą długość fali (powyżej 17 m) infradźwięki są słabo tłumione i mogą rozchodzić się na znaczną odległość. Stosowanie ekranów akustycznych nie jest skuteczne, ponieważ słabo tłumią one fale dźwiękowe. Natężenie dźwięku emitowanego przez turbiny wiatrowe wzrasta wraz z mocą znamionową turbin [26]. Stwierdzono, że wzrost ten jest mniejszy w przypadku turbin o mocy znamionowej powyżej 1 MW niż turbin o mniejszej mocy znamionowej. Hałas o niskich częstotliwościach wewnątrz pomieszczeń w pobliżu farmy wiatrowej nie powinien wzrosnąć w pomieszczeniach, które znajdują się w minimalnej odległości, wynoszącej 4-krotność całkowitej wysokości turbiny (zgodnie z przepisami duńskimi).

Migotanie cieni jest zjawiskiem związanym z turbinami wiatrowymi, które może wystąpić, kiedy światło słoneczne pada na łopaty wiatraka, rzucając cień na obiekty znajdujące się pod wiatrakiem [27]. W Stanach Zjednoczonych problem ten, zdaniem American Wind Energy Association (AWEA, Amerykańskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej), jest dużo mniej znaczący niż w Europie ze względu na mniejsze szerokości geograficzne i większy kąt padania promieni słonecznych w USA.

Uważa się, że migotanie cieni może powodować ataki padaczki [28]. Częstotliwość migotania nie jest tak duża, żeby rzeczywiście mogła wywołać napady epilepsji. W przypadku osób chorujących na padaczkę fotogenną – wrażliwych na migotanie światła – częstotliwość migotania, która może wywołać atak, wynosi 3–5 błysków na sekundę, a turbina wiatrowa nie może obracać się tak szybko. Efekt migotania cieni występuje najczęściej w godzinach porannych i wieczornych, kiedy słońce znajduje się nisko nad horyzontem i cienie są wydłużone [29]. Nie występuje natomiast, kiedy wirnik turbiny jest położony równolegle do receptora, kiedy turbina jest wyłączona ani kiedy na drodze światła słonecznego znajdują się chmury, mgła albo inny obiekt rzucający cień. W przypadku pomieszczenia z oknami, w którym jest źródło sztucznego światła lub naturalne światło dociera przez inne okna, intensywność cieni jest znacznie mniejsza. Efekt, według Kreiselmanna [29], nie jest odczuwalny w odległości od turbiny większej niż 10 wymiarów wirnika, czyli ok. 800–1000 m. Warto zwrócić uwagę, że w obecnie budowanych turbinach wiatrowych zjawisko to zostało wyeliminowane dzięki pokrywaniu powierzchni śmiegiel powłoką nieodbijającą światła [16].

Pole elektromagnetyczne, którego źródłem jest generator turbiny wiatrowej, może również wywoływać zaburzenia zdrowia. Typowymi objawami są rozdrażnienie, bóle głowy, wzmożona pobudliwość, osłabienie, zmiany morfologiczne krwinek i zaburzenia czynności morfologicznych w mózgu. Stosowanie metalowego ekranowania generatora turbiny zmniejsza oddziaływanie pola EMF na człowieka.

W literaturze znane jest kontrowersyjne pojęcie – tzw. syndrom turbin wiatrowych (wind turbine syndrome – WTS), czyli zespół dolegliwości, które mogą odczuwać osoby przebywające na stałe w pobliżu farm wiatrowych. Termin ten wprowadziła Pierpont [30]. Według jej badań turbiny wiatrowe są przyczyną występowania zespołu objawów, na który składają się zaburzenia snu i pogorszenie jego jakości, ból głowy, szum w uszach, uczucie zwiększonego ciśnienia w uchu, zawroty głowy, nudności, pogorszenie ostrości widzenia, tachykardia, drażliwość, problemy z koncentracją i pamięcią oraz napady paniki, związane z uczuciem przemieszczania się obiektów z otoczenia lub drżenia wewnątrz ciała, które pojawia się zarówno w czasie snu, jak i na jawie. Objawy te występują, kiedy badane osoby znajdują się w pobliżu turbin wiatrowych, i ustępują samoistnie, kiedy znika narażenie na ich działanie.

Istnienie syndromu jest przedmiotem kontrowersji wśród naukowców. Wielu z nich neguje jego istnienie i uważa, że należy przeprowadzić badania dotyczące liczniejszych grup osób (w badaniach Pierpont wzięło udział tylko 38 osób) [31,32]. Według autorów wielu opracowań [16,31,32] koncepcja syndromu turbin wiatrowych opiera się na niewłaściwej interpretacji danych fizjologicznych osób cierpiących na tę jednostkę chorobową. Jego objawy w rzeczywistości składają się na tzw. zespół rozdrażnienia, który może być wywołany przez wiele czynników i którego nie można wiązać tylko z obecnością turbin wiatrowych [16].

Istnieją jednak opracowania potwierdzające negatywny wpływ infradźwięków emitowanych przez turbiny wiatrowe na zdrowie. Frey i Hadden [18] zaobserwowali występowanie negatywnych objawów wegetatywnych i psychosomatycznych u osób mieszkających w pobliżu turbin. Autorzy jako minimalną odległość turbin wiatrowych od obiektów mieszkalnych sugerują 2000 m. W przypadku turbin o mocy powyżej 2 MW odległość powinna być jeszcze większa.

Badania wykonane przez Coopera w roku 2014 potwierdziły szkodliwy wpływ pracujących turbin wiatrowych [33]. Badanie, w całości sfinansowane przez operatora turbin wiatrowych Pacific Hydro, przeprowadzono w Cape Bridgewater w południowo-zachodniej części stanu Wiktorja na terenie farmy wiatrowej, której sąsiedzi od dawna zgłaszali zaburzenia psychosomatyczne [34]. W ramach badania osoby mieszkające w odległości 650–1600 m od turbin wiatrowych poproszono o podanie, jakie dolegliwości odczuwają. Badani wskazali m.in. bóle głowy, zwiększone ciśnienie odczuwane w głowie, w uszach czy klatce piersiowej, dzwonienie w uszach, przyspieszone bicie serca lub uczucie ciężkości. Fizyczne dolegliwości podzielono na 3 kategorie – związane z hałasem, wibracjami i odczuciami zmysłowymi.

Cooper twierdzi, że uciążliwe ciśnienie akustyczne (infradźwięki) jest emitowane w 4 fazach pracy turbiny – przy jej uruchomieniu, podczas maksymalnej produkcji oraz przy zwiększeniu i zmniejszeniu obciążenia o ponad 20%. Należy podkreślić, że ilość energii elektrycznej produkowanej przez turbinę wiatrową zależy nie tylko od ilości energii pierwotnej wiatru, ale także od warunków pracy systemu elektroenergetycznego [35].

Zarówno Pacific Hydro, jak i Cooper są zdania, że potrzebne są dalsze badania prowadzone na większą skalę. Sąsiadów farmy wiatrowej w Cape Bridgewater, włączonych do grupy badawczej, było zbyt mało (6 osób), żeby badanie można było uznać za w pełni wiarygodne.

Żeby zminimalizować szkodliwe czynniki pracujących turbin wiatrowych dla zdrowia pracowników elektroenergetycznej stacji morskiej, należy stosować materiały dźwiękochłonne i instalować turbiny wiatrowe, szczególnie te o dużej mocy, jak najdalej od stacji (co najmniej 1500 m). Są to przykłady działań zapobiegawczych na poziomie organizacyjnym. Przykładem działań zapobiegawczych na poziomie indywidualnym jest stosowanie przez pracowników stacji morskiej w czasie pracy słuchawek z systemem redukcji hałasu, a w czasie snu – dousznych tłumików hałasu (stopery). Odpowiednie regulacje prawne są działaniami zapobiegawczymi na poziomie systemowym.

W Polsce istnieją podobne przepisy prawne jak w innych krajach członkowskich UE, tzn. odległość turbin wiatrowych od zabudowy mieszkalnej jest wyznaczana w oparciu o normy dotyczące hałasu [36]. Oddziaływanie akustyczne turbin jest określane na etapie ich projektowania na podstawie modelu matematycznego przedstawionego w normie PN ISO 9613-2 [37]. Wskazane byłoby wykorzystanie odpowiednich aplikacji do opracowania krótkoterminowych prognoz wielkości produkcji energii elektrycznej przez farmę wiatrową na kilka-kilkanaście godzin. Sugestie dotyczące preferowanych modeli prognostycznych przedstawił Piotrowski [38].

Zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym

Przebywanie w morskiej stacji elektroenergetycznej wiąże się, ze względu na pełnioną przez nią funkcję, z możliwością porażenia prądem elektrycznym. Duża liczba urządzeń i instalacji elektrycznych oraz różne poziomy napięcia występujące na platformie zwiększają narażenie pracowników na szkodliwe działanie prądu elektrycznego.

Zidentyfikowano, w jakich sytuacjach może dojść do porażenia prądem elektrycznym w stacjach elektroenergetycznych znajdujących się na morzu [14] – podczas prac serwisowych przy urządzeniach elektrycznych, jeśli pracownicy nie są odpowiednio przeszkoleni oraz kiedy występują niebezpieczne napięcia dotykowe. Cechą charakterystyczną morskiej stacji elektroenergetycznej jest występowanie różnych napięć, które zagrażają osobom przebywającym w strefie ich działania. Na platformie występują napięcia od niskiego do wysokiego (najwyższego) prądu stałego i przemiennego.

Prąd stały o wartości 220 V jest stosowany w układach potrzeb własnych stacji, takich jak obwody sygnalizacyjne, sterownicze czy napędy aparatów elektrycznych. Wysokie napięcie takiego prądu występuje

w stacjach HVDC – stacjach przekształtnikowych wysokiego napięcia prądu stałego. Dopuszczalne długotrwale napięcie dotykowe w warunkach normalnych wynosi 50 V dla prądu przemiennego i 120 V dla prądu stałego. W przypadku warunków szczególnych (np. zwiększona wilgotność) napięcie bezpieczne wynosi 25 V dla prądu przemiennego i 60 V dla prądu stałego [39–41].

Prąd elektryczny wywołujący rażenie elektryczne, określany jako prąd rażeniowy, to przepływ ładunku elektrycznego przez ciało człowieka, który dotyka jednego lub większej liczby miejsc będących pod napięciem. Prąd rażeniowy, przepływając przez ciało człowieka, wywołuje zmiany fizyczne, chemiczne i biologiczne. Szczególnie negatywnie wpływa na pracę układu nerwowego, oddechowego oraz krwionośnego. Skutki porażenia elektrycznego zależą od rodzaju prądu, jego natężenia i częstotliwości, drogi przepływu, czasu trwania rażenia oraz indywidualnych cech ciała człowieka i warunków środowiskowych [42–44].

Do najpoważniejszych skutków przepływu prądu elektrycznego przez ciało człowieka należą skurcze mięśni (skurcz mięśni dłoni może uniemożliwić samouwolnienie się osoby porażonej), oparzenia (zewnątrzne i wewnętrzne), utrata świadomości, zakłócenia w pracy serca, utrata przytomności i zatrzymanie oddychania [41,45]. Długotrwały przepływ prądu przez organizm ludzki powoduje, zgodnie z prawem Joule’a, wydzielenie energii cieplnej proporcjonalnej do natężenia prądu i rezystancji tkanek. Wzrost temperatury powyżej 45°C skutkuje denaturacją białka i zahamowaniem procesów metabolicznych. Oparzone tkanki rozpadają się, a produkty rozpadu działają toksycznie na organizm, ponieważ są przez niego wchłaniane [46].

Najniebezpieczniejszą drogą przepływu prądu przez organizm ludzki jest droga przez serce, czyli ręka–ręka lub ręka–nogi. Najczęstszą przyczyną śmierci człowieka przy porażeniu jest fibrylacja komór serca (niesynchroniczne skurcze włókien mięśnia sercowego powodujące nieskoordynowaną pracę komór serca), która występuje najintensywniej przy częstotliwościach 40–60 Hz (częstotliwość sieciowa to 50 Hz). Prąd przemienny jest bardziej niebezpieczny niż prąd stały [40,42,43,47]. Przepływu prądu stałego, w przeciwieństwie do przepływu prądu przemiennego, nie charakteryzuje zmienność natężenia związana z wyłączaniem i włączaniem się prądu. Mniejsze jest więc zagrożenie wystąpienia migotania komór serca. Wartość natężenia prądu stałego powodująca fibrylację komór sercowych jest 2–4 razy większa niż w przypadku prądu

przemiennego. Jeśli czas przepływu prądu jest krótszy niż 200 ms, wartość prądu stałego powodująca migotanie komór jest porównywalna z prądem przemiennym [41,42].

Żeby ograniczyć prawdopodobieństwo wystąpienia porażenia elektrycznego, należy stosować:

- środki i metody nietechniczne – działania organizacyjne, których celem jest bezpieczna organizacja pracy, m.in. poprzez odpowiednie szkolenia, wymóg posiadania odpowiednich świadectw kwalifikacyjnych, egzekwowanie przestrzegania reguł związanych z bezpieczeństwem, badania okresowe itp. [48];
- środki i metody techniczne – mają za zadanie nie dopuścić do przepływu niebezpiecznego prądu rażeniowego przez ciało człowieka.

Realizacja ochrony przeciwporażeniowej polega na zmniejszeniu natężenia prądów rażeniowych do wartości bezpiecznych oraz na zmniejszeniu czasu przepływu prądu rażeniowego (szybkie wyłączenie zasilania). Zgodnie z wymogami określonymi w Polskim Rejestrze Statków [49] przy wykonywaniu przeglądu po zainstalowaniu urządzeń na platformie konieczne jest sprawdzenie, czy zostały przewidziane wymagane środki ochrony przed porażeniem elektrycznym.

Do technicznych środków ochrony przeciwporażeniowej zalicza się ochronę podstawową (przed dotykiem bezpośrednim), ochronę dodatkową (w przypadku uszkodzenia ochrony podstawowej, stanowiąca ochronę przed dotykiem pośrednim) oraz ochronę przed dotykiem zarówno bezpośrednim, jak i pośrednim [42,43]. Środkami ochrony podstawowej są: izolacja podstawowa (izolowanie części czynnych – elementów znajdujących się pod napięciem w prawidłowym stanie pracy), obudowy, przegrody, przeszkody, bariery oraz umieszczanie części czynnych (będących pod napięciem) poza zasięgiem ręki. Ich zadaniem jest niedopuszczenie do dotknięcia części czynnych urządzeń [42,43,50].

Ochrona przed dotykiem bezpośrednim obejmuje wszystkie działania podjęte w celu ochrony osób przed zagrożeniami związanymi z kontaktem z częściami obwodów elektrycznych. Elementy elektryczne muszą być zaprojektowane tak, żeby podczas zwykłego użytkowania nie można było ich dotknąć ani zbliżyć się do nich na niebezpieczną odległość. Pokrywy i osłony urządzeń elektrycznych zlokalizowanych w miejscach, do których dostęp mogą mieć osoby postronne, powinny pozwalać na otwarcie ich tylko za pomocą narzędzi. Odstępy izolacyjne powinny być dostosowane do napięć roboczych oraz warunków pracy urządzenia [49].

W stacjach morskich, ze względu na trudne warunki środowiskowe, wymagania dotyczące ochrony obudów urządzeń elektrycznych są szczególne. Stopnie ochrony są oznaczane za pomocą 2-cyfrowego kodu IP (International Protection). Minimalny stopień ochrony powinien odpowiadać warunkom, w jakim urządzenia się znajdują. Należy zapewnić ochronę przeciwporażeniową za pomocą wszystkich możliwych środków, jeśli prace odbywają się w pobliżu części czynnych. Zaciski urządzeń przełączających będące pod napięciem, kiedy urządzenie jest wyłączone, muszą być zawsze zabezpieczone w stopniu co najmniej IP20, jeżeli możliwy jest dostęp do części czynnych bez użycia narzędzi [51].

Ochrona przed dotykiem pośrednim powinna być zapewniona w taki sposób, żeby w razie uszkodzenia izolacji nie wystąpiły niebezpieczne napięcia dotykowe. W tym celu na platformie musi być jeden ze środków ochrony dodatkowej, taki jak uziemienie ochronne, izolacja ochronna (podwójna), napięcie bezpieczne, samoczynne wyłączenie zasilania [15]. Na platformie wszystkie części przewodzące dostępne i obce (części niebędące elementami urządzenia, które mogą znaleźć się pod napięciem) muszą być uziemione. Metalowe części konstrukcji powinny być połączone z głównym uziemieniem, co chroni przed porażeniem prądem elektrycznym. Zwiększenie niezawodności i trwałości konstrukcji można uzyskać poprzez zastosowanie ochrony układu uziemienia przed korozją [52].

Zagrożenie porażeniem piorunem

Skutki porażenia piorunem

Zagrożenie związane z wyładowaniami atmosferycznymi na otwartych obszarach morskich jest mniejsze niż na lądzie, jednak istnieje [53]. Wyładowania atmosferyczne są niebezpieczne dla pracowników pracujących zarówno na zewnątrz, jak i w pomieszczeniach stacji morskich. Pracownicy mogą być narażeni na porażenie piorunem także w czasie transportu na platformę.

Przepływ prądu udarowego o dużym natężeniu przez stalową konstrukcję platformy indukuje silne pola w instalacjach elektrycznych wewnątrz platformy. Mogą być one przyczyną powstania przepięć i stanowić zagrożenie w postaci napięć dotykowych i krokowych. Bezpośredni udar piorunowy może spowodować awarię systemów bezpieczeństwa oraz komunikacji na platformie [53,54]. Skutkiem porażenia jest przepływ przez ciało człowieka prądu o dużym natężeniu, który może powodować uszkodzenie układu nerwowego,

obrzęk mózgu, zatrzymanie akcji serca lub zaburzenie jego rytmu, poparzenie termiczne, urazy, apatię, pobudzenie, utratę przytomności, drgawki, ogłuchnięcie, zaburzenie widzenia, zatrzymanie oddechu, zatrzymanie krążenia oraz tępe uszkodzenie kończyn, kręgosłupa i narządów wewnętrznych [55]. W przypadku porażenia piorunem poszkodowany powinien jak najszybciej znaleźć się pod opieką lekarzy. Zaleca się przynajmniej 1 dzień hospitalizacji [54,55].

Systemy ochrony przed wyładowaniami atmosferycznymi

Podstawowymi zabezpieczeniami są instalacja odgromowa i system uziemienia. Zgodnie z normą PN-EN 62305-1:2011 [56] oba środki stanowią ochronę zewnętrzną oraz wewnętrzną. Zewnętrzny system instalacji odgromowej (external lightning protection system – ELPS) chroni zewnętrzną metalową konstrukcję platformy, sprowadzając wyładowania do potencjału zerowego, którym jest dno morza. System uziemień zapewnia bezpieczeństwo pracy wewnątrz stacji, zapobiegając ryzyku porażenia prądem elektrycznym [53].

W instalacji wewnętrznej stosowane są ograniczniki przepięć (surge protection device – SPD) chroniące pracowników przed porażeniami [57,58]. Ze względu na silnie korozyjne środowisko zaleca się stosowanie ochrony przeciwkorozyjnej oraz rutynowe sprawdzanie stanu instalacji odgromowej i uziemiającej [14,15,57]. Stację morską chronią także połączenia wyrównawcze wszystkich zewnętrznych elementów konstrukcji (pierścieni ekwipotencjalny) [57]. Nowoczesne konstrukcje morskich stacji elektroenergetycznych ograniczają potrzebę pracy ludzi na zewnątrz (konieczne są tylko prace naprawcze i konserwacyjne). W morskich stacjach elektroenergetycznych instalowane są stacje meteorologiczne w postaci zintegrowanej lub jako oddzielne platformy. W przypadku prac planowanych na zewnątrz sprawdzana jest prognoza pogody [14].

Narażenie na substancje chemiczne

Dzięki swoim właściwościom chemicznym i fizycznym gaz SF₆ (sześćfluorek siarki) znalazł szerokie zastosowanie w elektroenergetyce. Jest stosowany jako medium izolacyjne, dzięki któremu aparatura rozdzielcza ma mniejsze wymiary. Dostarczany SF₆ jest gazem niepalnym, bezbarwnym i nietrującym. Nie jest rakotwórczy. Ma 5-krotnie większą gęstość niż powietrze, dlatego w otwartych pomieszczeniach opada do poziomu podłogi [59]. Podlega dysocjacji w temperaturze powyżej 200°C, co powoduje pojawienie się produktów roz-

padu. Produkty te łatwo wchodzą w reakcję chemiczną, w czego wyniku powstają związki toksyczne. Gaz powstały na bazie SF₆ na skutek działania łuku elektrycznego jest uznawany za substancję toksyczną [59].

Powierzchnie użytkowe morskich stacji elektroenergetycznych są znacznie mniejsze niż stacji lądowych. Konieczne jest instalowanie jak najmniejszych urządzeń. Jednym z nich jest rozdzielnia wysokiego napięcia wykonana w izolacji SF₆. Ilość gazu SF₆ w rozdzielniach najwyższych napięć zależy od wymiarów urządzenia, które są ściśle powiązane z napięciem znamionowym. Ze względów eksploatacyjnych w morskich stacjach elektroenergetycznych gaz SF₆ jest przechowywany w cylindrach i magazynowany w pomieszczeniach technicznych.

Rozdzielnie najwyższych napięć (NN) wymagają okresowych przeglądów technicznych przeprowadzanych przez pracowników morskich stacji elektroenergetycznych. Podczas przeglądu pracownicy są narażeni na działanie gazu SF₆. Rozdzielnia w czasie eksploatacji może znajdować się w różnych stanach pracy. Kontakt pracowników z gazem SF₆ może wynikać ze standardowych prac eksploatacyjnych lub z nieprzewidzianych wycieków gazu z obudowy rozdzielni do pomieszczenia, w którym się ona znajduje. Do typowych prac eksploatacyjnych przy rozdzielniach najwyższych napięć w morskich stacjach elektroenergetycznych można zaliczyć dopełnianie urządzeń gazem, usuwanie i wymianę gazu podczas konserwacji, remontów lub rozbudowy urządzenia, pracę z nowym gazem SF₆ (np. napełnianie i dopełnianie urządzeń), pracę z SF₆ zawierającym produkty rozpadu – prace konserwacyjne i obsługowe, usuwanie gazu z urządzeń wycofanych z eksploatacji, ocenę stanu gazu, składowanie gazu, pobieranie próbek gazu lub okresowe sprawdzania ciśnienia [59].

Przyczynami niekontrolowanych wycieków gazu SF₆ są: powstanie łuku elektrycznego wewnątrz rozdzielni, uszkodzenie mechaniczne obudowy rozdzielni, wibracje spowodowane oddziaływaniem fal morskich i wiatru na konstrukcję stacji, zwarcie wewnętrzne w rozdzielni i pożar na zewnątrz urządzenia [59]. W czasie prac związanych z dopełnianiem rozdzielni gazem SF₆ (podczas przetaczania gazu z butli ciśnieniowej) należy stosować reduktor i szybki zawór. Żeby zapobiec wprowadzeniu zanieczyszczeń – takich jak wilgoć, powietrze czy olej – należy stosować szczelny układ dopełnienia z wypompowaniem substancji, pompę próżniową lub upuszczać porcje SF₆ z butli do atmosfery przez złącze zlokalizowane tuż przy obudowie dopełniaczy [59].

Przy ocenianiu gazu w nowych urządzeniach próbki pobiera się, żeby sprawdzić zawartość wilgoci, tlenu, związków kwasowych i uwodnionych związków fluoru. Celem oceny stanu gazu w urządzeniach eksploatacyjnych jest określenie produktów rozpadu gazu i stopnia jego zanieczyszczenia [59]. Gaz SF₆ powinien być przechowywany w oznakowanych butlach ciśnieniowych składowanych w czystych, suchych oraz chłodnych pomieszczeniach. Pomieszczenia powinny być wentylowane i znajdować się daleko od materiałów łatwopalnych. Należy zabezpieczyć butle przed działaniem promieniowania słonecznego i wstrząsami mechanicznymi. Gaz SF₆ jest przechowywany w stanie ciekłym: jego ogrzanie promieniami słonecznymi może spowodować naprężenia mechaniczne butli ciśnieniowej [59]. Istnieje ryzyko nagłej dekompresji obudowy rozdzielnic podczas eksploatacji rozdzielnic z gazem SF₆. Gaz może wtedy wydobyć się na zewnątrz, stwarzając bezpośrednie zagrożenie dla pracowników.

Gaz SF₆ i produkty jego rozpadu mogą wywołać podrażnienia skóry, oczu lub dróg oddechowych [59]. W przypadku podrażnienia skóry zaleca się zdjęcie uszkodzonego ubrania i przemycie podrażnionych miejsc bieżącą wodą. Jeśli podrażnieniu ulegną oczy, konieczne jest przemywanie ich czystą bieżącą wodą przez co najmniej 15 min. Podrażnienie dróg oddechowych może być przyczyną wystąpienia trudności z oddychaniem lub rozedmy płuc. Osobę z takim objawem należy natychmiast wyprowadzić na świeże powietrze. Należy zdjąć jej kombinezon, przykryć ją kocem i natychmiast wezwać pogotowie ratunkowe.

Bezpieczeństwo pracy zapewniają systemy detekcji wycieku i systemy wentylacji. Pracownicy są zobowiązani do stosowania środków ochrony osobistej i środków pierwszej pomocy, gdy wystąpi zagrożenie [59]. W pomieszczeniach, w których znajdują się urządzenia z gazem SF₆, instalowane są systemy wentylacji, które w sposób ciągły nadzorują stężenie gazu SF₆ w pomieszczeniach i w przypadku wykrycia wycieku rozpoczynają pracę.

Ilość stężonego gazu w pomieszczeniach określają przepisy. Zależnie od rodzaju awarii wynosi ona [59]:

- dla czystego gazu – do 1000 ppmv (6000 mg/m³),
- dla gazu wyciekającego z urządzeń – do 200 ppmv (1200 mg/m³ – tworzenie się związków toksycznych),
- dla zwarcia – do 20 ppmv (120 mg/m³).

Jeśli wystąpi zwarcie, konieczna jest ewakuacja pracowników. Prace remontowe można podjąć po przewietrzeniu pomieszczenia. Gaszenie pożaru wymaga stosowania specjalnej maski. Standardy i specyfikacje

techniczne dotyczące budowy morskich stacji elektroenergetycznych uwzględniają ryzyko rozszczelnienia się obudów urządzeń zawierających gaz SF₆. Pomieszczenia, w których znajdują się rozdzielnie, są projektowane tak, żeby ograniczyć rozprzestrzenianie się uwolnionego gazu do innych pomieszczeń [59]. Istotne jest przestrzeganie przez pracowników zasad bezpieczeństwa pracy i stosowanie następujących środków ochrony osobistej [59]:

- nieprzemakalny kombinezon bez kieszeni, z zatraskami na nadgarstkach i przy kostkach,
- buty ochronne,
- rękawice przemysłowe (np. neoprenowe, cienkie do pracy i grube do transportu zbiorników z gazem),
- okulary ochronne chroniące przed substancjami chemicznymi,
- wykrywacz gazu,
- sprzęt do zabezpieczenia dróg oddechowych (do prac z proszkowymi produktami rozpadu – pełna maska, do krótkotrwałych inspekcji – półmaska z filtrem),
- urządzenia do przewietrzania (np. do prac w kanałach kablowych),
- specjalny odkurzacz o dużej skuteczności z filtrem do wyłapywania cząsteczek o wymiarach w mikrometrach,
- sprzęt do przetłaczania i składowania gazu,
- sprzęt i płyn do neutralizacji produktów rozpadu gazu i pyłu.

Istotnym zaleceniem jest używanie podczas pracy ze sprężonym gazem rękawic. Nagłemu rozprężeniu się gazu, np. podczas nalewania, towarzyszy gwałtowne obniżenie się temperatury. W pomieszczeniach, w których istnieje ryzyko gromadzenia się czystego gazu, zabrania się stosowania urządzeń z otwartym ogniem, palenia tytoniu, spawania, używania urządzeń, których temperatura przekracza 200°C [59]. Nie należy używać sprężonego powietrza do usuwania produktów rozpadu, ponieważ wydmuchany pył będzie wdychany. Pod wpływem wilgoci rozproszony w pomieszczeniu pył tworzy trwałe, przylegające do różnych powierzchni związki toksyczne.

Rodzaj i ilość zgromadzonego sprzętu ochrony osobistej są ściśle uzależnione od przewidywanego zakresu prac. Pełny zestaw sprzętu, którego elementy wymieniono wyżej, przewiduje się w przypadku wykonywania demontażu rozdzielni, w których z powodu występowania łuku elektrycznego mogą znajdować się produkty rozpadu gazu SF₆. Takie prace wymagają specjalnych pomieszczeń i przeszkolonych pracowników.

Kombinezon, buty i narzędzia używane podczas prac eksploatacyjnych przy rozdzielniach z gazem SF₆ powinny być w przyszłości używane tylko do prac przy gazie SF₆. Po zakończeniu prac odzież ochronna i narzędzia powinny zostać namoczone w płynie do neutralizacji produktów rozpadu gazów i pyłu na godzinę, a następnie wypłukane i wysuszone.

Ze względu na ryzyko kontaktu pracowników z gazem SF₆ w morskiej stacji elektroenergetycznej powinny znajdować się następujące środki pierwszej pomocy: apteczka pierwszej pomocy (typowa), procedura postępowania w przypadku zagrożenia, środki do przemywania oczu oraz środki łączności do wezwania pogotowia [59].

Gaz SF₆ w czystej postaci jest niewyczuwalny dla człowieka; produkty rozpadu gazu mają intensywny zapach siarkowodoru. Do ustalenia, z którego miejsca rozdzielni wydobywa się gaz, wykorzystuje się detektory SF₆. Pozwalają zlokalizować miejsce przecieku gazu z czułością 0,1 ppmV oraz miejsce wycieku z czułością do 10 ppmV. Przebywanie w pomieszczeniach, w których stężenie gazu nie przekracza wymienionych poziomów, jest bezpieczne [59].

Zagrożenie szkodliwymi czynnikami biologicznymi

W elektroenergetycznej stacji morskiej należy zadbać o minimalizację ryzyka wystąpienia zakażenia bakteriami z rodzaju *Legionella*, które mogą rozwinąć się w zbiornikach ze słodką wodą zbyt długo przechowywaną w niezbyt wysokiej temperaturze (najbardziej niebezpieczna jest temperatura około 40°C). Rozwój bakterii zatrzymuje się w temperaturze poniżej 20°C, natomiast giną one natychmiast w temperaturze 70°C. Najczęstsza postać legionellozy charakteryzuje się objawami typowymi dla zapalenia płuc – złym samopoczuciem, gorączką, bólami w klatce piersiowej, kaszlem i trudnościami w oddychaniu. Śmiertelność sięga kilkunastu procent, a w warunkach szpitalnych (osoby osłabione) jest jeszcze większa.

Woda przeznaczona do spożycia musi zostać zagotowana (działanie zapobiegawcze na poziomie indywidualnym). Podczas mycia ciała w skażonej wodzie do zakażenia chorobowego dochodzi najczęściej w wyniku wdychania aerozolu wodnego (powietrza zawierającego parę wodną), rzadziej powodem jest zachłyśnięcie się wodą. Działania zapobiegawcze na poziomie organizacyjnym to np. okresowe czyszczenie zbiorników z wodą (polegające na podgrzaniu wody do temperatury 70°C, przeprowadzeniu dezynfekcji chemicznej lub

promieniami UV), prowadzenie okresowego monitoringu mikrobiologicznej jakości wody i wprowadzenie harmonogramu czyszczenia i dezynfekcji zbiorników wody [60].

Warunki panujące w instalacjach wentylacyjnych znajdujących się w stacji morskiej (jak w większości takich instalacji) sprzyjają rozwojowi mikroorganizmów (przede wszystkim bakterii i grzybów). Przyczyniają się do tego powierzchnie zanieczyszczone cząstkami pyłu i zwiększona wilgotność powietrza w kanałach wentylacyjnych (spowodowana przez filtry powietrza, izolacje cieplne, tłumiki hałasu, chłodnice powietrza itp.) [61]. Narażenie na czynniki chemiczne pracowników wykonujących prace związane z czyszczeniem i dezynfekcją instalacji wentylacyjnych wynika z kontaktu z zanieczyszczeniami uwalnianymi ze zużytych materiałów uszczelniających, klejów, ognioodpornych wykładzin i materiałów izolacyjnych, lotnych związków organicznych w filtrach powietrza, tłumikach hałasu i materiałach izolacyjnych oraz ze środków czyszczących i dezynfekujących.

Narażenie na szkodliwe czynniki biologiczne i chemiczne może prowadzić do wystąpienia reakcji alergicznych, reakcji toksycznych i infekcji. Zalecenia dotyczące częstotliwości kontroli czystości instalacji wentylacyjnej można znaleźć w 2 polskich normach – PN-EN 15239:2010 i PN-EN 15240:2007 [62,63]. W załączniku D normy PN-EN 15239:2010 zalecono przeprowadzanie kontroli wszystkich systemów i elementów instalacji wentylacyjnych co 5 lat, natomiast w załączniku F wskazano, że częstotliwość kontroli instalacji wentylacyjnej zależy od jej rodzaju, podatności na zanieczyszczenie, czasu eksploatacji, kierunku przepływu powietrza i konserwacji [62] (działania te można określić jako działania zapobiegawcze na poziomie systemowym).

Szkodliwe czynniki psychofizyczne

Praca na platformie elektroenergetycznej stacji morskiej wiąże się ze zwiększonym poziomem stresu wywołanego określonymi czynnikami psychospołecznymi. Wskazanie narażenia na czynniki psychospołeczne jest trudne, ponieważ mają one charakter subiektywny [8]. Czynnikiem psychospołecznym może być każda cecha pracy, która w wyniku subiektywnego odczucia jej znaczenia u pracownika może wywołać stres.

Negatywny stres u pracowników stacji morskiej zwiększają: zakłócenie relacji praca–dom w wyniku czasowego braku bezpośrednich kontaktów z rodziną i przyjaciółmi, uciążliwości i nieprzyjemne odczucia

związane z hałasem i infradźwiękami generowanymi przez turbiny wiatrowe, monotonię pracy (rutynowe czynności) oraz specyficzne parametry fizyczne otoczenia. Innymi źródłami psychofizycznych zagrożeń dla zdrowia są również: obciążenie fizyczne statyczne wywołane długotrwałym napięciem mięśni spowodowanym utrzymywaniem przez dłuższy czas ciała lub przedmiotów w tej samej pozycji, obciążenie fizyczne dynamiczne związane z aktywnością ruchową podczas pracy oraz obciążenie nerwowo-psychiczne wynikające z obciążenia umysłu (nadmierna aktywność całej psychiki lub jednej z jej funkcji) lub niedociążenia lub przeciążenia percepcyjnego.

Niektóre czynniki wpływają na tzw. komfort pracy – człowiek może funkcjonować w określonym zakresie parametrów fizycznych otoczenia (temperatura, ciśnienie, wilgotność, oświetlenie, poziom hałasu). Parametry te są bezpośrednio odbierane przez zmysły (wzrok, dotyk słuch, poczucie ciepła itd.) [64]. W stacji morskiej pracownik jest narażony zarówno na niekomfortowe temperatury, jak i na zwiększony poziom wilgotności oraz hałasu. Na komfort pracy wpływają też inne parametry, np. rodzaj ubrania i jego stan (przemoczenie).

Negatywny stres wywołuje demobilizację organizmu i reakcje obronne. Stres wywołany tym samym czynnikiem może powodować zaburzenia w obrębie różnych narządów. Do zdrowotnych skutków stresu można zaliczyć [8]:

- choroby układu krążenia (nadciśnienie, choroba niedokrwienna serca, udary mózgu);
- choroby układu pokarmowego (choroba wrzodowa, biegunki lub zaparcia);
- choroby psychiczne i zaburzenia sfery psychicznej (depresje, nerwice lękowe, zaburzenia snu);
- choroby układu immunologicznego (alergie, infekcje, nowotwory).

W stacji morskiej nie da się wyeliminować cech pracy zwiększających negatywny stres. Działania zapobiegawcze dzielą się na indywidualne, organizacyjne oraz systemowe. Zapewnienie pracownikom stałego dostępu do Internetu jest przykładem działania na poziomie indywidualnym (wykorzystanie komunikatorów internetowych do kontaktów z rodziną). Pozytywnie na komfort i samopoczucie mogą działać tzw. bodźce tła – człowiek lubi przebywać w warunkach, które nie są dla niego zaskoczeniem, słyszeć znane dźwięki i oglądać znane obrazy [64]. Wskazana jest indywidualizacja wystroju pomieszczeń mieszkalnych oraz zapewnienie dostępu do telewizji i radia. Rezygnacja z monitoringu w pomieszczeniach mieszkalnych zwiększa

poczucie komfortu w zakresie ochrony prywatności [64], a zezwolenie na opiekowanie się niewielkim zwierzęciem (np. chomikiem, rybkami) łagodzi negatywne skutki stresu.

Działaniem na poziomie organizacji jest skrócenie okresów stałego pobytu w stacji morskiej, zwiększenie częstotliwości pobytu na lądzie umożliwiające kontakt z rodziną oraz rotacja pracowników przy wykonywaniu rutynowych czynności (pozwalająca uniknąć monotonii pracy). Dostosowanie prawa jest przykładem działania na poziomie systemowym (zaostrożenie norm/przepisów dotyczących czynników zwiększających negatywny stres, np. zbyt małej odległości turbin wiatrowych od stacji morskiej, zaostrożenie przepisów związanych z dopuszczalnym poziomem emisji fal elektromagnetycznych oraz dopuszczalnym poziomem hałasu i infradźwięków).

Wybrane sposoby zmniejszania zagrożenia dla zdrowia

Żeby zmniejszyć zagrożenie związane np. z pożarem, wybuchem oraz oddziaływaniem pola EMF na pracowników, należy podzielić stację na strefy. Urządzenia i sprzęt powinny znajdować się w różnych strefach w zależności od ich przeznaczenia i zagrożenia, jakie stanowią dla pracowników [14,65].

Podział polega na zapewnieniu odpowiedniej odległości od strefy niebezpiecznej lub zastosowaniu odpowiednich barier, jeśli nie można zapewnić tej odległości. Strefy o wysokim zagrożeniu powinny być oddzielone od stref o niskim zagrożeniu. Strefy bezpieczne nie powinny być zbyt blisko stref niebezpiecznych. Strefy niebezpieczne powinny być oddzielone od stref roboczych oraz od strefy mieszkalnej. Barierę mogą stanowić ściany ognioodporne, ściany odporne na wybuch i uderzenia.

Należy uwzględnić dominujące warunki atmosferyczne, przede wszystkim kierunek wiatru. Za miejsce niebezpieczne uznaje się takie, w którym znajdują się następujące niebezpieczne substancje: łatwopalne gazy i opary, łatwopalne płyny, które mogą osiągnąć temperaturę zapłonu w trakcie przemieszczania lub po wydostaniu się ze zbiornika, i te, które mogą przyjąć formę łatwopalnych oparów [14]. Szczególnie niebezpieczne są miejsca magazynowania paliwa i miejsca ładowania baterii akumulatorów (ryzyko uwolnienia się wodoru). Niebezpieczeństwo wiąże się także z załadunkiem paliwa dla śmigłowców i przenoszeniem paliwa do agregatów prądotwórczych. Stopień zagrożenia zależy od właściwości substancji, tempa jej uwalniania się i wentylacji.

Zaleca się stosowanie systemów osuszania i systemów wentylacyjnych. Systemy wentylacyjne dla stref niebezpiecznych powinny być inne (podciśnieniowe) niż dla stref bezpiecznych (nadciśnieniowe). Ilość sprzętu elektrycznego i kabli w strefie niebezpiecznej powinna być jak najmniejsza.

Do stref niebezpiecznych zalicza się strefy, w których występuje pole elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne niebezpieczne dla zdrowia i bezpieczeństwa człowieka. Niebezpieczna jest także strefa pracy żurawia (ryzyko np. upadku ładunku na pracowników stacji lub uderzenia pracownika stacji przez poruszający się bądź wiszący ładunek). W takich strefach należy zastosować barierki i znaki ostrzegawcze zapobiegające przedostaniu się pracowników nieuprawnionych do strefy zagrożenia. Niezbędna jest budowa w stacji morskiej grodzi minimalizujących skutki eksplozji będących wynikiem nadciśnienia w urządzeniach wykorzystujących do chłodzenia olej. Zestaw pierwszej pomocy powinien składać się przynajmniej z lekarstw, specjalistycznych noszy lekarskich i sprzętu do defibrylacji [14]. Konieczne jest także stanowisko do przemywania oka [14].

W stacji morskiej znajdują się stanowiska pracy, czyli miejsca, w których pracownicy przebywają i wykonują rutynowe czynności, oraz miejsca wypoczynku. Stanowiskami pracy nie są miejsca rzadko wykorzystywane, np. podlegające okresowym przeglądom i konserwacji. Na wszystkich stacjach, zarówno obsługowych, jak i bezobsługowych, powinny znajdować się następujące elementy wyposażenia: zabezpieczenia czynne i bierne przed niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi, wibracjami, hałasem i silnym polem elektromagnetycznym, toalety awaryjne, awaryjne (ratunkowe) porcje żywności i wody, śpiwory, stoły do pracy przy komputerze [14].

Miejsca zakwaterowania i inne strefy ważne dla bezpieczeństwa, takie jak pomieszczenia kontrolne, powinny znajdować się w strefach zaklasyfikowanych jako bezpieczne, położone jak najdalej od stref niebezpiecznych [14]. W przypadku stacji HVDC całkowite uniknięcie oddziaływania pola elektromagnetycznego w strefie, w której znajdują się miejsca zakwaterowania, nie jest możliwe. Należy zadbać, żeby ta strefa była maksymalnie oddalona od źródeł pola elektromagnetycznego (żeby natężenie pola elektromagnetycznego nie przekraczało wartości dozwolonych lokalnymi przepisami). Pokoje sypialne (w liczbie odpowiadającej liczbie pracowników) powinny zapewniać przestrzeń wystarczającą do zmiany ubrania, suszenia i magazynowania ubrań

oraz wyposażenia ochronnego. Miejsce zakwaterowania powinno być wyposażone w kabiny prysznicowe, toalety i urządzenia do prania. Na terenie stacji zabronione jest palenie papierosów poza specjalnie wydzielonymi strefami dla palaczy. Liczbę i położenie takich stref należy ustalić podczas projektowania stacji.

Plany orientacyjne i ewakuacyjne na terenie stacji powinny być umieszczone w najważniejszych punktach stacji i przy najważniejszych instalacjach (np. w pobliżu głównych schodów). Powinny się tam znaleźć: plan sytuacyjny każdego poziomu stacji, oznaczenie dróg ewakuacyjnych, położenia miejsc zbiórki (schronów), miejsc wsiadania i wysiadania ze statku, przechowywania sprzętu do ewakuacji, miejsc ewakuacji ze stacji, drabin, wyposażenia pierwszej pomocy, wyposażenia ochronnego dla pracowników, przycisków alarmowych i przycisków wyłączania instalacji na stacji [14]. Drogi ewakuacyjne należy odpowiednio oznaczyć – wyraźnie widoczne powinny być kierunki ewakuacji, położenie miejsc zbiórki i miejsc opuszczania stacji.

Maszty meteorologiczne powinny znajdować się w strefie, w której ryzyko uszkodzenia przez niego lądującego lub startującego śmigłowca jest minimalne (należy uwzględnić typowy kierunek wiatru) [15].

Wloty wentylacyjne zasysające powietrze do systemów wentylacji oraz spalania powinny znajdować się w miejscach, które nie są narażone na przypadkowe zasysanie niebezpiecznych substancji [15]. Wloty powinny znajdować się poza strefami niebezpiecznymi. Wyloty powietrza z systemów wentylacji i spalania powinny być położone tak, żeby gazy z wylotów nie przedostały się do systemów wlotu powietrza zasysanego.

Systemy bezpieczeństwa powinny znajdować się w miejscach, w których będą działać mimo zdarzeń losowych [15]. Redundantny system bezpieczeństwa powinien być odporny na zdarzenia, które mogą unieruchomić główny system bezpieczeństwa.

Konstrukcja urządzeń dźwignicowych na pokładach otwartych powinna zapewniać ich bezpieczną eksploatację w strefie pracy oraz w zakresie temperatury otoczenia, w jakim mają być eksploatowane [49]. Osie i sworznie służące za oparcie dla zespołów i elementów obrotowych powinny być odpowiednio zabezpieczone przed obrotem i przemieszczaniem osiowym. Elementy zabezpieczające należy dobrać tak, żeby nie zostały zniszczone przez siły reakcji. Zamontowane na sworzniach rolki kierunkowe i jezdne, a także stałe końcówki mocujące linę do konstrukcji należy odpowiednio zabezpieczyć przed przemieszczaniem się poosiowym. Elementy zabezpieczające, przejmujące siły

poosiowe, nie powinny być obciążone siłami przenoszonymi przez sworznie. Wszystkie punkty, które będą podlegać smarowaniu, powinny być tak rozmieszczone, żeby ich obsługa była wygodna i bezpieczna. Konstrukcja mechanizmów urządzeń dźwignicowych z odłączalnym od mechanizmów napędem powinna chronić przed upadkiem ładunku i zabezpieczać przed samoczynnym ruchem urządzenia lub jego ruchomych elementów po odłączeniu napędu. Mechanizmy z napędem hydraulicznym należy wyposażyć w urządzenie zabezpieczające przed opadaniem ładunku i samoczynnym ruchem jego elementów, gdy zmniejszy się ciśnienie w układzie hydraulicznym.

W miejscach, w których znajdują się substancje łatwopalne, wybuchowe lub inne niebezpieczne, powinny być wyraźnie widoczne znaki ostrzegawcze. Wejścia do pomieszczeń zamkniętych, w których istnieje zagrożenie niedotlenieniem lub pojawieniem się toksycznych gazów, powinny być oznaczone odpowiednimi symbolami. Samozamykające się drzwi (śluzy) między strefami o różnej klasyfikacji powinny być zaopatrzone w odpowiednie znaki informacyjne zgodnie z normą IEC 61892-7 [66]. Odpowiednie tablice ostrzegawcze powinny być umieszczone na drzwiach i włazach otwieranych bezpośrednio w stronę morza.

W czasie okresowych przeglądów systemów bezpieczeństwa i systemów alarmowych należy sprawdzać [14] światła alarmowe, systemy komunikacyjne, wyposażenie ratunkowe, ewakuacyjne systemy opuszczania pracowników (system lin, zaczepów, mocowań), osobiste elementy wyposażenia związane z zapewnieniem bezpieczeństwa i ochrony, systemy oznaczeń, ostrzeżenia i tabliczki identyfikacyjne.

Na stacji należy używać systemu sygnałów alarmowych związanych z wykryciem zagrożeń. System alarmowy powinien uwzględniać m.in. następujące zdarzenia i polecenia wyłączenie stacji z działania, zbiórkę ewakuacyjną, detekcję gazu, detekcję ognia (dymu), uwolnienie środka gaśniczego mającego śmiertelne stężenie dla pracowników (np. CO₂), detekcję uszkodzenia głównych elementów stacji i automatyczne zamykanie wodoszczelnych systemów drzwi (śluz) [14]. Instalacja alarmowa powinna mieć publiczny system nagłaśniający, a sygnały alarmowe powinny mieć priorytet dostępu do sygnału w takim systemie. Natężenie dźwięku powinno być właściwe dla sygnałów alarmowych. Wszystkie elementy systemu nagłaśniającego powinny być redundantne. Przewody sygnałowe i urządzenia redundantne powinny znajdować się w innych lokalizacjach.

Przepisy BHP – ochrona przeciwpożarowa

Przeszkolenie pracowników stacji morskiej w zakresie ochrony przeciwpożarowej to przykład działania zapobiegawczego na poziomie indywidualnym. Działania zapobiegawcze na poziomie organizacyjnym – m.in. przeglądy, konserwacja i naprawy stałych instalacji gaśniczych, instalacji sygnalizacji wykrycia pożaru i detekcji gazów palnych, sprzętu pożarniczego (gaśnice i przenośne zestawy pianowe), aparatów oddechowych oraz systemów oświetlenia dolnego dróg ewakuacji – mogą być przeprowadzane tylko przez certyfikowane stacje serwisowe [49,65].

W stacji powinien znajdować się „Plan ochrony przeciwpożarowej”, opracowany na bazie planu ogólnego, wskazujący rozmieszczenie wszystkich elementów systemu przeciwpożarowego. Z kolei „Plan utrzymania i konserwacji” powinien zawierać informacje dotyczące przeprowadzania przez pracowników jednostki konserwacji, prób i przeglądów instalacji gaśniczych, urządzeń i wyposażenia przeciwpożarowego. Przeglądy, konserwację i testy systemów przeciwpożarowych należy przeprowadzać z częstotliwością wynikającą z przepisów dotyczących systemów przeciwpożarowych [49].

Systemy przeciwpożarowe podlegają krajowym regulacjom prawnym [14], które opisują zbiór działań zapobiegawczych na poziomie systemowym. Sprzęt gaśniczy powinien znajdować się w łatwo dostępnych i widocznych miejscach na jednostce. Powinien być przymocowany do elementów konstrukcji ścian/oszalowań/pokładów w sposób trwały, a jednocześnie umożliwiając natychmiastowe użycie [49]. Sprzęt powinien być utrzymywany w należytym stanie technicznym i gotowości do wykorzystania. Sprzętu należy używać tylko do akcji ratowniczo-gaśniczych i celów szkoleniowych.

W pomieszczeniach z urządzeniami elektrycznymi powinny być zamontowane czujniki dymu. Każda instalacja wykrywania i sygnalizacji pożaru powinna składać się z czujek wykrywających pożar, ręcznych przycisków pożarowych i centralki sygnalizacji pożarowej. Instalacja powinna być stale gotowa do natychmiastowego działania [49]. Instalacja wykrywania i sygnalizacji pożaru powinna być tak zaprojektowana, a czujki tak rozmieszczone, żeby możliwe było wykrycie pożaru w każdej części zabezpieczonego pomieszczenia, w standardowych warunkach pracy mechanizmów i urządzeń oraz przy zmianach pracy instalacji wentylacyjnej wymaganych ze względu na zmiany temperatury otoczenia.

Lądowisko śmigłowca powinno być wyposażone w stałą instalację gaśniczą pianową [49], na bieżąco monitorowane i utrzymywane w czystości. W rejonie lądowiska powinny znajdować się co najmniej 2 zawory hydrantowe i 2 prądownice wodne uniwersalne (dające zwarty i rozpylony strumień wody), z węzłem pożarniczym umożliwiającym podanie wody do każdego miejsca na powierzchni lądowiska.

Transport pracowników i ładunku oraz ewakuacja

Sytuacje zagrożenia mogą wynikać ze standardowych działań na stacji (nieszczęśliwy wypadek), nietypowych niebezpiecznych czynności, transportu, przenoszenia i magazynowania niebezpiecznych materiałów [14]. W przypadku pożaru, wybuchu lub innych zdarzeń losowych konieczna jest ewakuacja pracowników, znacznie utrudniona z uwagi na położenie stacji. Najczęściej następuje wybuch [14] wodoru wydzielającego się z baterii akumulatorów zasilania rezerwowego lub wybuch paliwa lotniczego magazynowanego na terenie stacji. Przyczyną wybuchu może być pęknięcie zbiornika z olejem w transformatorze i wydobywanie się z niego łatwopalnych oparów oleju, nadciśnienie w urządzeniach z systemem chłodzenia olejem oraz nadciśnienie w rozdzielniczy wysokiego napięcia.

Ogólne zasady transportu

Z zagrożeniem może też wiązać się rutynowy transport pracowników na stację i ze stacji, który niesie ze sobą ryzyko utonięcia lub uszkodzenia ciała. Transport powinien być zawsze bezpieczny i przeprowadzany w sposób kontrolowany. Należy ustalić zasady transportu planowanego (plan), transportu związanego z okresowymi przeglądami i pracami konserwacyjnymi oraz transportu w sytuacjach awaryjnych [14,65]. Szczegółowemu opisowi powinny podlegać m.in.:

- wyposażenie oraz strefa wykorzystywane do bezpiecznego cumowania statku i lądowania śmigłowca,
 - wyposażenie niezbędne do bezpiecznego transportu pracowników i ładunku (elementy stacji) w trakcie budowy stacji i jej elementów składowych,
 - metody transferu z miejsca lądowania śmigłowca oraz cumowania statku do pomieszczeń obsługowych i funkcjonalnych stacji,
 - zasady ewakuacji ze stacji uszkodzonych pracowników i chorych,
 - ochrona przed nieupoważnionym dostępem do stacji.
- Należy ustalić zasady bezpieczeństwa i kwalifikowania osób do różnych sposobów transportu. Zasady

te powinny być uwzględnione na etapie projektowania stacji morskiej.

W przypadku transportu drogą morską (statek) do istotnych czynników, od których zależy możliwość przeprowadzania transportu i jego bezpieczeństwo, należą [14]:

- odpowiednie warunki meteorologiczne i morskie,
- właściwy dobór statku do zadania transportowego (transport pracowników, transport ładunku),
- właściwe przeszkolenie i kompetencje załogi statku,
- zapewnienie odpowiedniej przestrzeni na statku do transportu oraz elementów wyposażenia zapewniających stabilność i bezpieczeństwo transportu,
- zabezpieczenie działania dźwigu do załadunku na statek oraz dostępności żurawia,
- zminimalizowanie możliwości poślizgnięcia się, potknięcia się, zmiążdżenia przez ładunek lub wpadnięcia do wody,
- dostęp do transportu dla rannych pracowników.

W przypadku transportu drogą powietrzną (śmigłowiec) do istotnych czynników, od których zależy możliwość przeprowadzenia transportu i jego bezpieczeństwo, należą: ocena turbulencji na drodze transportu, oszacowanie czasu przestoju śmigłowca na lądowisku stacji morskiej, sprawność i niezawodność systemu przeciwpożarowego ochrony lądowiska [14].

Podczas projektowania stacji trzeba wziąć pod uwagę następujące aspekty BHP związane z transportem i ewakuacją [14]:

- odpowiednia odległość oraz dostępność urządzeń komunikacyjnych i urządzeń alarmowych,
- konieczność przechodzenia przez strefy niebezpieczne, które potencjalnie zagrażają osobom transportowanym na stację i ze stacji,
- środki dostępu, np. drabina,
- system zabezpieczający przed upadkiem z wysokości,
- możliwość przeprowadzenia ewakuacji medycznej (leczenie w nagłych wypadkach i konieczny transport do szpitala),
- ewakuacja awaryjna i wszelkie związane z nią elementy (oznakowania, swobodne przejścia itp.),
- dostępność służby ratowniczej.

Ewakuacja w sytuacji zagrożenia – wytyczne

Należy zapewnić środki bezpiecznej ewakuacji pracowników z terenu stacji morskiej do miejsca, w którym osoby ranne zostaną poddane zabiegom leczniczym. Drogi ewakuacji powinny zapewniać osobom znajdującym się na jednostce opuszczenie pomieszczeń/rejonów oraz bezpieczne i szybkie dostanie się na

pokład, z którego wsiada się do łodzi i tratw ratunkowych. Pokład ten powinien być dostępny z innych pokładów otwartych, do których prowadzą drogi ewakuacji [14,49].

Należy zapewnić drogi ewakuacji po obu stronach jednostki [14,49]. Drogi ewakuacji muszą być odpowiedniej szerokości, żeby umożliwiały szybkie i sprawne przemieszczanie się maksymalnej liczby pracowników oraz łatwe przemieszczanie sprzętu przeciwpożarowego i używanie noszy. Powierzchnie pokładów, przejść, podestów, schodów, szczebli drabin itp. powinny być antypoślizgowe i wykonane tak, żeby łatwo można było odprowadzać z nich wodę, usuwać błoto, olej i inne zanieczyszczenia [14,49]. Drogi ewakuacji służą także jako dojścia do pomieszczeń. Zamknięcia drzwi nie mogą więc utrudniać spełnienia żadnej z tych funkcji. Drzwi muszą być otwierane z obu stron [14,49].

Pionowymi drogami ewakuacji są schody, jednak można dopuścić zastosowanie pionowych drabin, jeśli zamontowanie schodów nie jest możliwe. Każda droga ewakuacji powinna być łatwo dostępna i pozbawiona przeszkód, łatwo dostępne powinny być także wszystkie drzwi wyjściowe na trasie ewakuacji. Ślepe korytarze nie mogą być dłuższe niż 7 m. Wszystkie schody w pomieszczeniach powinny mieć szkielet stalowy lub wykonany z innego materiału odpowiadającego stali [14,49].

Wszystkie ważne drogi przemieszczania się w czasie ewakuacji powinny mieć odpowiednie oświetlenie ewakuacyjne zasilane z zasilania awaryjnego [14]. Oświetlenie ewakuacyjne powinno być charakterystyczne i łatwe do odróżnienia od innych źródeł oświetlenia. Miejsca zbiórki (schrony) powinny być łatwo dostępne w czasie ewakuacji i usytuowane w pobliżu miejsca wsiadania pracowników na statek [14]. Powierzchnia miejsca zbiórki powinna pozwalać na łatwe policzenie osób ewakuowanych oraz swobodne zakładanie przez nie ubrań i sprzętu ochronnego. Planując wielkość miejsca zbiórki, należy przyjąć dla 1 osoby przynajmniej 0,35 m² (zalecane: 0,7 m²) [14]. Miejsce zbiórki powinno być wyposażone w odpowiedni sprzęt do komunikacji i odpowiednie źródła światła. Schron, łódzie ratunkowe i drogi ewakuacyjne powinny pozostać nieuszkodzone przez co najmniej 30 min od chwili zdarzenia (wypadku) [14]. Schron powinien zapewniać ochronę przed niebezpieczeństwem, takim jak dym, ogień i gazy.

Sprzęt stosowany podczas ewakuacji powinien minimalizować ryzyko urazów i zagrożenie związane

z samą ewakuacją. Niezbędne są m.in. spuszczone na wodę szalupy ratunkowe z napędem, kamizelki ratunkowe utrzymujące osobę ewakuującą się na powierzchni wody, statek transportowy lub ratowniczy (najlepiej ze sprzętem do wciągania lub żurawiem) oraz śmigłowiec [14]. Na stacji powinno być kilka miejsc umożliwiających bezpieczną ewakuację pracowników do wody. Miejsca te powinny być odpowiednio wyposażone, m.in. w dźwig, wyciągarkę, drabiny, szalupy ratunkowe, pontony ratunkowe, koła ratunkowe, system pochylni (zamkniętych zjeżdżalni) do ewakuacji i siatki załadunkowe [14].

Każda stacja morska powinna mieć na wyposażeniu co najmniej jeden ponton ratunkowy, który może zmieścić jak największą liczbę pracowników. W przypadku stacji bezobsługowych, w których pracownicy przebywają tylko czasowo, w pobliżu powinien znajdować się statek ratowniczy szybkiego reagowania (emergency response and rescue vessel – ERRV). Statek ratowniczy powinien być wyposażony w bardzo szybką łódź ratowniczą. W stacji ze stałymi pracownikami powinna znajdować się jedna łódź ratownicza z liczbą miejsc odpowiadającą liczbie osób przebywających na stałe i czasowo w stacji.

Wyposażenie stacji (środki medyczne i ratunkowe, m.in. pierwszej pomocy) powinno pozwalać ratować osoby ranne i/lub chore. Transport ratunkowy powinien być możliwy w prawie każdych warunkach pogodowych (z wyjątkiem ekstremalnych, które powinny być ściśle zdefiniowane). Na stacji powinny znajdować się środki ratunkowe dla osób, które były bliskie utonięcia, wychłodzenia zimną wodą lub w stanie hipotermii. Szybka łódź ratownicza powinna mieć środki komunikacji ze statkiem ratowniczym.

Statek ratowniczy powinien być wyposażony w odpowiednie środki. Na jego pokładzie powinni znajdować się pracownicy medyczni zapewniający szybką pomoc osobom rannym i chorym. Statek ratowniczy powinien znajdować się nie dalej niż o 1 godz. drogi lub nie dalej niż 10 mil morskich od miejsca akcji ratunkowej. W przypadkach szczególnych, np. zagrożenia życia, wykorzystać można śmigłowiec ratunkowy (inny niż śmigłowiec do transportu pracowników) z odpowiednim wyposażeniem.

WNIOSKI

Budowa i rozwój morskich systemów elektroenergetycznych w Europie jest już faktem. W Polsce przygotowano wstępne scenariusze budowy pierwszych mor-

skich farm wiatrowych oraz morskich sieci i stacji elektroenergetycznych. Potrzebne jest opracowanie przepisów BHP dla nowego rodzaju obiektów, jakimi będą morskie stacje elektroenergetyczne czy morskie farmy wiatrowe. Do przygotowania tych regulacji konieczne jest wskazanie i opisanie szkodliwych czynników, które mogą oddziaływać na pracowników morskich stacji elektroenergetycznych.

Złożoność techniczna morskiej stacji elektroenergetycznej, na której realizowane są różne procesy technologiczne, oraz warunki środowiskowe w miejscu posadowienia platformy ze stacją stwarzają różne zagrożenia dla pracowników. W niniejszym artykule opisano szkodliwe czynniki fizyczne, chemiczne, biologiczne i psychofizyczne. Wyniki przeglądu wskazują, że szkodliwe czynniki fizyczne związane z pracą w morskich stacjach elektroenergetycznych są większe w porównaniu z typowym środowiskiem pracy. Wiążą się ze środowiskiem cieplnym, działaniem pola elektromagnetycznego, oddziaływaniem turbin wiatrowych usytuowanych w pobliżu stacji i porażeniem prądem elektrycznym. Szkodliwe czynniki chemiczne są związane przede wszystkim z obecnością na stacji urządzeń elektroenergetycznych zawierających gaz SF₆. Z kolei szkodliwe czynniki biologiczne wynikają z konieczności magazynowania wody pitnej, a szkodliwe czynniki psychofizyczne w dużym stopniu są związane z pracą w warunkach trudnych i w odosobnieniu.

Stosunkowo długi czas transportu ludzi ze stacji na ląd wymusza zaostreżenie norm i standardów dotyczących projektowania oraz budowy morskich platform. Należy zauważyć, że stworzenie bezpiecznych warunków pracy w morskich stacjach elektroenergetycznych wymaga zarówno instalowania systemów bezpieczeństwa, jak i stosowania przez pracowników środków ochrony. Ze względu na liczbę i różnorodność zagrożeń morskie stacje elektroenergetyczne są projektowane jako obiekty bezobsługowe. Ze względu na m.in. konieczność prowadzenia prac serwisowych i napraw podczas codziennej pracy stacji nie można wykluczyć obecności na niej pracowników.

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane działania i sposoby zmniejszania zagrożenia dla zdrowia pracowników elektroenergetycznej stacji morskiej. Wskazano, że jednym z najważniejszych działań jest podział stacji na strefy związane z ryzykiem występowania zagrożeń. Ważne jest także przygotowanie środków i procedur transportu i ewakuacji pracowników w sytuacjach zagrożenia.

PIŚMIENNICTWO

1. Robak S., Rasolomampionona D.D.: Rozproszone zasoby energii – przegląd zagadnienia. *Przegl. Elektrotech.* 2011;87(6):63–66
2. Ministerstwo Energii [Internet]: Ministerstwo 2015 [cytowany 9 czerwca 2015]. *Energetyka. Polityka energetyczna. Załącznik do uchwały nr 157/2010 Rady Ministrów z dnia 29 września 2010 r. Polityka energetyczna Polski do 2030 r.* Adres: <http://www.mg.gov.pl/Energetyka/Polityka+energetyczna>
3. Biuletyn Informacji Publicznej Ministerstwa Energii [Internet]: Biuletyn 2013 [cytowany 9 czerwca 2015]. *Polityka energetyczna Polski do 2050 roku. Projekt.* Adres: <http://bip.me.gov.pl/node/24670>
4. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. *DzU z 2015 r., poz. 478*
5. Urząd Regulacji Energetyki [Internet]: Urząd, Warszawa 1998–2014 [cytowany 4 lipca 2015]. *Mapa odnawialnych źródeł energii.* Adres: <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html>
6. Gutkowski B., Sawicki J.: *Polskie Sieci Morskie. Założenia koncepcyjne przesyłowej podmorskiej sieci elektroenergetycznej w polskich obszarach morskich.* Konsorcjum „Polskie Sieci Morskie”, Gdańsk 2009
7. Buczyńska A., Cyprowski M., Piotrowska M., Szadkowska-Stańczyk I.: Grzyby pleśniowe w powietrzu pomieszczeń biurowych – wyniki interwencji środowiskowej. *Med. Pr.* 2007;8(6):521–525
8. Gałusza M.: *Poradnik BHP dla pracodawców oraz osób kierujących pracownikami.* Tarbonus, Kraków 2008
9. Mogos F.M.: Occupational protection against exposure to radioactive sources and electromagnetic fields in the offshore petroleum industry. NTNU, Trondheim 2014
10. Gryz K., Karpowicz J., Leszko W.: Evaluation of exposure to electromagnetic radiofrequency radiation in the indoor workplace accessible to the public by the use of frequency-selective exposure. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2014;27(6):1043–1054, <http://dx.doi.org/10.2478/s13382-014-0334-0>
11. Aniołczyk H., Zmyślony M.: Wymagania przepisów dotyczących ochrony pracowników przed polami elektromagnetycznymi występującymi w środowisku pracy. *Med. Pr.* 2006;57(2):161–169
12. Koers F.M., Landau H., Tap G.E., Juhlin L.E., Andersson O., Skansens J.: EMC considerations and planning for an offshore HVDC. CIGRE, Paris 2014
13. Walney Extension Offshore Wind Farm. Supporting document. EMF briefing note. Dong Energy, London 2013
14. DNV-OS-J201. Offshore substations for wind farms. Det Norske Veritas AS, Høvik 2013
15. Rules for the certification and construction. IV. Industrial services. 7. Offshore substations. Chapter 5. Electrical equipment. Germanischer Lloyd SE, Hamburg 2013
16. Pawlas K., Pawlas N., Boroń M.: Życie w pobliżu turbin wiatrowych, ich wpływ na zdrowie – przegląd piśmiennictwa. *Med. Środ.* 2012;15(4):150–158
17. Związek Gmin Wiejskich Województwa Podlaskiego [Internet]: Związek, Białystok [cytowany 26 czerwca 2015]. *Odpowiedź z Ministerstwa Środowiska z dnia 14 września 2012 r. na wystąpienie posła Krzysztofa Jurgieła w sprawie pisma Związku Gmin Województwa Podlaskiego z dnia 23 lipca br., dotyczącego wyjaśnienia kwestii związanych z budową turbin wiatrowych.* Adres: http://www.zgwwp.org.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=554
18. Frey B.J., Hadden P.J.: Noise radiation from wind turbines installed near homes: Effects on health. With an annotated review of the research and related issues [Internet]: windturbinehealthhumanrights.com [cytowany 3 lutego 2016]. Adres: <http://s3.amazonaws.com/windaction/attachments/721/wtnoisehealth.pdf>
19. Jakobsen J.: Infrasound emission from wind turbines. *J. Low Freq. Noise V. A.* 2005;23(3):145–155, <http://dx.doi.org/10.1260/026309205775374451>
20. ISO 7196:1995. Acoustics – Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements. International Organization for Standardization, Geneva 1995
21. PN-Z-01338:2010. Hałas infradźwiękowy. Dopuszczalne wartości poziomów ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące wykonywania pomiarów. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010
22. Alves-Pereira M., Castelo B.N.A.A.: In-home wind turbine noise is conducive to vibroacoustic disease. Proceedings of Second International Meeting on Wind Turbine Noise. 20–21 września 2007, Lyon, Francja. INCE/Europe, New Brighton 2007
23. Solecki L.: XIX Międzynarodowe Seminarium Ergonomii, Higieny i Bezpieczeństwa Pracy w Rolnictwie „Praktyczne problemy związane z ochroną pracy w rolnictwie”. *Med. Pr.* 2013;64(1):131–134
24. Pawlas K.: Wpływ infradźwięków i hałasu o niskich częstotliwościach na człowieka – przegląd piśmiennictwa. *Pod. Met. Oceny Środ. Pr.* 2009;2(60):27–64
25. IEC 61400-11. Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques. International Electrotechnical Commission, Genewa 2012

26. Danish Electronics, Light and Acoustics. EFP-06 Project. Low frequency noise from large wind turbines. Summary and conclusions on measurements and methods. DELTA, Hørsholm 2008. Projekt nr A401929-01 z Danish Energy Authority
27. Harry A.: Wind turbines, noise and health [Internet]: windturbinesyndrom.com, Malone 2007 [cytowany 1 lutego 2016]. Adres: <http://www.windturbinesyndrom.com/wp-content/uploads/2012/11/Amanda-Harry-Wind-Turbines-Noise-and-Health-2007.pdf>
28. Oddziaływaniawiatrakow.pl [Internet]: Fundacja na rzecz Energetyki Zrównoważonej, Warszawa 2016 [cytowany 5 czerwca 2015]. Efekt migotania cieni. Adres: <http://www.oddzialywaniawiatrakow.pl/oddzia%C5%82ywaniawiatrak%C3%B3w%2Cmenu%2C49%2C74.html>
29. AWS Truewind: Deerfield shadow flicker analysis. Vermont Environmental Research Associates, Albany 2006. Zamówienie z Vermont Environmental Research Associates
30. Pierpont N.: Wind turbine syndrome: A report on a natural experiment. K-Selected Books, Santa Fe 2009
31. RenewableUK: Wind turbine syndrome (WTS). An independent review of the state of knowledge about the alleged health condition. RenewableUK, London 2010
32. Knopper L.D., Ollson C.A.: Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environ. Health* 2011;10(78), <http://dx.doi.org/10.1186/1476-069X-10-78>
33. Acoustic Group: The results of an acoustic testing program. Cape Bridgewater wind farm. 44.5100.R7:MCS [Internet]: The Group, Lilyfield 2014 [cytowany 10 czerwca 2015]. Adres: <http://www.pacifichydro.com.au/files/2015/01/Cape-Bridgewater-Acoustic-Report.pdf>
34. STOPwiatrakom.eu [Internet]: STOPwiatrakom.eu, Warszawa [opublikowany 13 lutego 2015; cytowany 22 czerwca 2015]. Australia: „Pierwsze” badania na temat szkodliwości infradźwięków wytwarzanych przez turbiny wiatrowe dla zdrowia mieszkańców. Adres: <http://stopwiatrakom.eu/194-wiadomo%C5%9Bci-z-zagranicy/1378-australia-%E2%80%9E-pierwsze%E2%80%9D-badania-na-temat-szkodliw%C5%9Bci-infrad%C5%BAwi%C4%99k%C3%B3w-wytwarzanych-przez-turbiny-wiatrowe-dla-zdrowia-mieszka%C5%84c%C3%B3w.html>
35. Robak S.: Źródła niepewności w analizie systemów elektroenergetycznych. *Przegl. Elektrotech.* 2008;84(1):54–57
36. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku z dnia 14 czerwca 2007 r. *DzU z 2007 r. nr 120, poz. 826 z późn. zm.*
37. PN-ISO 9613-2:2002. Akustyka – tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej – ogólna metoda obliczania. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
38. Piotrowski P.: Analiza statystyczna danych mających wpływ na produkcję energii elektrycznej przez farmę wiatrową oraz przykładowe prognozy krótkoterminowe. *Przegl. Elektrotech.* 2012;88(3a):161–164
39. PN-HD 60364-4-41:2009P. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – ochrona przed porażeniem elektrycznym. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009
40. Fryśkowski B., Świątek-Fryśkowska D.: Problem narażenia pracowników stacji obsługi pojazdów na porażenie prądem z układu zapłonowego. *Med. Pr.* 2014;65(3): 419–427, <http://dx.doi.org/10.13075/mp.5893.2014.038>
41. Niestępski S., Parol M., Pasternakiewicz J., Wiśniewski T.: Instalacje elektryczne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011
42. Markiewicz H.: Instalacje elektryczne. Wydawnictwo WNT, Warszawa 2008
43. Orlik W.: Egzamin kwalifikacyjny elektryka w pytaniach i odpowiedziach. Wydawnictwo KaBe, Krosno 2009
44. Lanzisero T.: Electric shock hazards – Risk assessment and safety management. Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers Symposium on Product Compliance Engineering (ISPCE). 5–6 listopada 2012, Portland, USA. Institute, Piscataway 2012, s. 1–6, <http://dx.doi.org/10.1109/ISPCE.2012.6398296>
45. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy [Internet]: Instytut, Warszawa [cytowany 6 czerwca 2015]. Oddziaływanie prądu elektrycznego na organizm ludzki. Adres: <http://archiwum.ciop.pl/6598.html>
46. Tsong T.Y., Su Z.D.: Biological effects of electric shock and heat denaturation and oxidation of molecules, membranes, and cellular functions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1999;888:211–232, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.1999.tb07958.x>
47. Dalziel C.F.: Electric shock hazard. *IEEE Spectr. Mag.* 1972;9(2):41–50, <http://dx.doi.org/10.1109/MSPEC.1972.5218692>
48. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy [Internet]: Instytut, Warszawa [cytowany 9 czerwca 2015]. Ochrona przeciwporażeniowa. Adres: <http://archiwum.ciop.pl/6599.html>
49. Morskie stacjonarne platformy produkcyjne. Przepisy budowy i nadzoru. Przepisy. Publikacja nr 105/P. Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2014
50. Parise G.: A summary on the IEC protection against electric shock. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 1998;34(5):911–922, <http://dx.doi.org/10.1109/28.720429>
51. Energinet.dk. Offshore substation. MV, LV, signal cables and cable routing. ETS-03 Rev. 3. Energinet.dk document no. 56008-10 Sag 10/4054 – ETS-03 v. 3, Fredericia 2012

52. Guidelines for design and construction of AC offshore substations for wind power plants – WG B3.26. *Electra* 2011 Dec;259:76–83
53. *Lightning Eliminators. Rigs and platforms: Assessing vulnerability and protection against lightning strike.* Lightning Eliminators, Boulder 2009
54. Skrok M., Nowicka A., Jurgowski P.: Skutki porażenia wyładowaniami atmosferycznymi. *Na Ratunek* 2009;3:34–37
55. Nieradko-Iwanicka B.: Wpływ czynników fizycznych w środowisku na organizm człowieka: prąd elektryczny, promieniowanie jonizujące i niejonizujące [Internet]: Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Lublin 2014 [cytowany 22 czerwca 2015]. Adres: https://www.umlub.pl/download/gfx/umlub/pl/defaultopisy/4486/1046/3/skrypt_wplyw_czynnikow_fizycznych_w_srodowisku_na_organizm_czlowieka.doc.
56. PN-EN 62305-1:2011. Ochrona odgromowa – Część 1: Zasady ogólne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011
57. Galvan A.: A technical basis for guidance of lightning protection for offshore oil installation. *J. Lightning Res.* 2007;3:1–9
58. Boryń H.: Zmiany zasad oceny zagrożenia piorunowego budynków w normalizacji krajowej. *INPE* 2011; 146–147:3–18
59. Żółtowski K.: Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych. Załącznik nr 6. Zasady bezpiecznego postępowania przy eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych z gazem SF₆. PSE Operator S.A., Warszawa 2005
60. Krogulska B., Matuszewska R., Krogulski A., Szotko M., Bartosik M., Maziarska D. i wsp.: Występowanie bakterii z rodzaju *Legionella* w wodzie technologicznej oraz badania ogólnej liczby bakterii i grzybów w powietrzu na stanowiskach pracy, na których generowany jest aerozol wodny. *Med. Pr.* 2014;65(3):325–334, <http://dx.doi.org/10.13075/mp.5893.2014.040>
61. Gołofit-Szymczak M., Jeżewska A., Ławniczek-Wałczyk A., Górny R.: Narażenie pracowników konserwujących instalacje wentylacyjne na szkodliwe czynniki biologiczne i chemiczne. *Med. Pr.* 2012;63(6):711–722
62. PN-EN 15239:2010. Wentylacja budynków – charakterystyka energetyczna budynków – wytyczne dotyczące inspekcji systemów wentylacji. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010
63. PN-EN 15240:2007. Wentylacja budynków – charakterystyka energetyczna budynków – wytyczne dotyczące kontroli instalacji klimatyzacji. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2007
64. Rykowski J.: Modelowanie (dys)komfortu w domach inteligentnych. *Napędy i Sterowanie* 2015;194(6):90–101
65. Robak S., Parol M., Rokicki Ł., Wójtowicz T., Raczkowski R.: Opracowanie standardowych wymagań technicznych w zakresie projektowania oraz budowy morskich stacji węzłowych HV z układami przekształtnikowymi. Etap 3. Praca na zlecenie PSE Innowacje Sp. z o.o. 2015. Praca niepublikowana
66. IEC 61892-7. Mobile and fixed offshore units – Electrical installations – Part 7: Hazardous areas. International Electrotechnical Commission, Geneva 2014