

## Narażenie pracowników zajmujących się instalacją, serwisem oraz demontażem systemów fotowoltaicznych na szkodliwe czynniki biologiczne, chemiczne i psychofizyczne

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono analizę czynników biologicznych, chemicznych i psychofizycznych, które stanowią zagrożenie dla pracowników zajmujących się systemami fotowoltaicznymi w sensie instalatorsko-eksploatacyjnym. Wskazano także działania na poziomie indywidualnym, organizacyjnym i systemowym, które powinny być podjęte aby zminimalizować ryzyka zagrożeń.

**Abstract.** This paper presents an analysis of biological, chemical and psychophysical factors, which pose a threat to workers engaged in photovoltaic systems in the installation and operating sense. Individual, organizational and systemic actions are indicated, which should be taken to minimize the risk of hazard. (*Photovoltaic system workers' exposure to harmful biological, chemical and psychophysical factors during installation, service and disassembly*)

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo i higiena pracy, system fotowoltaiczny, czynniki szkodliwe, zapobieganie zagrożeniom zdrowotnym  
**Keywords:** occupational safety and health, photovoltaic system, harmful factors, preventing adverse health effects.

### Wstęp

Do najważniejszych wyzwań przed jakimi stoi współczesna cywilizacja zalicza się ochronę środowiska naturalnego. W zakresie energetyki, spośród wielu działań mających proekologiczny charakter, szansę na poprawę sytuacji upatruje się w zmianie struktury wytwarzania energii elektrycznej, charakteryzującej się wzrostem wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) [1].

Obecnie systemy OZE mogą być elementem rozproszonych zasobów energii [2], to jest generacji rozproszonej, funkcjonującej w formie mikroinstalacji montowanych u prosumentów, ale także mogą stanowić wielkie źródła wytwórcze o mocy setek lub tysięcy megawatów. W systemach fotowoltaicznych energia słoneczna jest przetwarzana na energię elektryczną za pomocą metody helielektrycznej, która polega na bezpośredniej przemianie energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną na skutek efektu fotoelektrycznego, bez udziału mas wirujących. Ponieważ efekt fotowoltaiczny prowadzi do uzyskania energii związanej z przepływem niewielkiego prądu stałego, system fotowoltaiczny składa się z połączonych szeregowo i/lub równolegle ogniw fotowoltaicznych przyłączonych do sieci elektroenergetycznej za pomocą falownika.

Obecnie w Polsce, zgodnie z danymi Urzędu Regulacji Energetyki, zainstalowane są systemy fotowoltaiczne o mocy jedynie 99 MW [3], podczas gdy w Niemczech, kraju o podobnych do Polski warunkach nasłonecznienia, moc systemów fotowoltaicznych przekracza 40 GW. Jedną z barier szybkiego rozwoju systemów fotowoltaicznych w Polsce może być brak wykwalifikowanej kadry technicznej. Poniższy artykuł został opracowany w celu wypełnienia luki z zakresu tematyki bezpieczeństwa pracy osób związanych z montażem i serwisem systemów fotowoltaicznych.

Do zagrożeń zdrowotnych dla pracowników zajmujących się instalacją, serwisem oraz demontażem systemów fotowoltaicznych należą: czynniki fizyczne, biologiczne, chemiczne oraz czynniki psychofizyczne. Czynniki fizyczne omówione są w osobnym artykule.

### Szkodliwe czynniki chemiczne

*Szkodliwe substancje chemiczne znajdujące się w systemach fotowoltaicznych*

Osoby zawodowo zajmujące się systemami fotowoltaicznymi mogą mieć do czynienia z substancjami toksycznymi (na przykład – kadm, tellur oraz arsen),

zrącymi (silany, trichlorek fosforu, kwas siarkowy), łatwopalnymi (silany) a w konsekwencji doświadczyć różnych schorzeń i obrażeń [4].

Jednymi z najczęściej występujących schorzeń spowodowanych przez szkodliwe substancje występujące w systemach fotowoltaicznych mogą być: nowotwór (wywołany przez związki arsenu, związki kadmu oraz czterochlorek węgla), uszkodzenie nerek (wywołane przez arsyny, związki kadmu, german, ołów, trichlorek fosforu, związki telluru), uszkodzenie płuc (wywołane przez związki indu), uszkodzenia kości i zębów (wywołane przez fluorowodór) oraz uszkodzenia ośrodkowego układu nerwowego (wywołane przez diboran, german, siarkowodór, ołów lub związki telluru) [5].

Szczególną uwagę należy zwrócić na obecność kadmu. Jest on szeroko używany przy produkcji systemów fotowoltaicznych i może powodować szereg zagrożeń dla ludzi. Teoretycznie skutki szkodliwego oddziaływania kadmu i jego związków (chlorek kadmu, siarczek kadmu, tellurek kadmu) będą zależne od psychicznych i farmakologicznych czynników [6]. Narażenie na pyły i opary kadmu może powodować różne dolegliwości w zależności od czasu trwania kontaktu. Jeżeli pracownik będzie narażony na pyły i opary kadmu o koncentracji 40-50 mg/m<sup>3</sup> w ciągu godziny, 9 mg/m<sup>3</sup> przez 5 godzin lub 5 mg/m<sup>3</sup> w 8 godzin to po upływie następnego kilku godzin mogą nastąpić poważne podrażnienia płuc i oskrzeli [6]. Do zatrucia kadmem może dojść w czasie palenia tytoniu, spożywania posiłku lub nawet obgryzania paznokci w pracy [6] (np. pracownik dotyka ręką ust, która miała wcześniej kontakt z kadmem). Niebezpieczne dla pracowników zajmujących się montażem może być pęknięcie panelu zawierającego kadm. Do objawów zatrucia kadmem należą: biegunki, wymioty i bóle brzucha. Użycie kadmu, pomimo jego szkodliwości, nie jest zabronione pod warunkiem, że występuje on jako np. tellurek kadmu (CdTe) [7].

Kolejnym zagrożeniem są silany stanowiące grupę związków chemicznych, w których centralnym atomem jest krzem (Si). W przemyśle fotowoltaicznym wykorzystuje się różne odmiany silanów. Do najpopularniejszych należą m. in. czterochlorek krzemu SiCl<sub>4</sub> (ekstremalnie toksyczny w przypadku kontaktu z wodą, wywołuje podrażnienia i oparzenia skóry) oraz krzem amorficzny (a-Si), który może być domieszkowany z innymi pierwiastkami lub związkami chemicznymi. Szczególnie groźne są domieszki wykonane z: germanu (powodujące uszkodzenia nerek, zatrucie krwi),

dyboranu  $B_2H_6$  (powodujące uszkodzenia płuc) oraz fosforowodoru  $PH_3$  (łatwopalny) [8].

W celu ograniczenia ryzyka oddziaływania szkodliwych substancji chemicznych znajdujących się w systemach fotowoltaicznych na pracowników należy podjąć odpowiednie działania zapobiegawcze. Na poziomie indywidualnym będzie to wyposażenie pracowników w ubrania ochronne (określone w ramach PPE) [9]. Dodatkowo, zaleca się, by rękawice były wykonane z takich materiałów jak np. poliuretan, SARANEX 23p zaś fartuch np. z polichlorku winylu lub TRELLECHEM HPS [10]. Na poziomie organizacyjnym należy przestrzegać obostrzeń pochodzących od dostawców poszczególnych elementów systemu fotowoltaicznego. Na poziomie systemowym zaś zaleca się zapoznanie się różnymi rozporządzeniami np. dyrektywą RoHS 2002/95/EC, której wprowadzenie skutkuje zmniejszeniem obecności szkodliwych substancji w produktach elektronicznych dopuszczonych do obrotu na terenie UE [11] lub dokumentami amerykańskim publikowanymi przez OSHA.

#### *Pożar elementów systemu fotowoltaicznego*

Pożar elementów systemu fotowoltaicznego to także narażenie pracowników na szkodliwe czynniki chemiczne. W trakcie pożaru produkty spalania i rozkładu termicznego tworzą szkodliwe dla człowieka mieszaniny gazów i cząstek. Do organizmu człowieka szkodliwe substancje przedostają się poprzez wdychanie, przenikanie przez skórę lub też wchłanianie przez przewód pokarmowy [12]. Dobrze zaprojektowany i zmontowany system fotowoltaiczny bardzo rzadko jest źródłem pożaru. Jednakże pożar systemu fotowoltaicznego może być również wywołany pośrednio np. przez pożar dachu budynku, na którym się on znajduje. Naukowcy badający zagadnienia pożarowe systemów fotowoltaicznych nie są zgodni co do stanowiska czy pożar taki jest naprawdę w praktyce aż tak bardzo niebezpieczny, gdyż z reguły występuje krótki czas trwania pożaru oraz wysoka temperatura topnienia materiałów z jakich wykonane są poszczególne elementy [13]. Jednym z parametrów służących do określania toksyczności środowiska pożarowego jest Cząstkowa Dawka Efektywna (FED - ang. Fractional Effective Dose) [14] i określa działania duszących gazów. Według przeprowadzonych badań, emisja tlenku węgla przy pożarze systemu fotowoltaicznego jest znikoma gdyż uzyskane wartości FED są bardzo małe [15]. Ryzyko narażenia pracowników na szkodliwe czynniki chemiczne w wyniku pożaru systemu fotowoltaicznego uzależnione jest od miejsca jego instalacji. Największe jest w przypadku obiektów przemysłowych (większa powierzchnia, temperatura pożaru). W przypadku domów jednorodzinnych ryzyko jest znacznie mniejsze. Jednym z potencjalnych zagrożeń jest, że względu na swoje toksyczne właściwości, jest tellurek kadmu - jest on nierozpuszczalny w wodzie przez co można stwierdzić, że jest mniej szkodliwy niż sam kadm [16]. Warto również zauważyć, że z reguły temperatura pożaru typowego dachu domu jednorodzinnego wynosi około  $800-900^{\circ}C$  zaś temperatura topnienia CdTe to  $1050^{\circ}C$ , co oznacza, że nie ma dużego zagrożenia [7].

#### *Kwas w akumulatorach*

W akumulatorach ołowiano-kwasowych występuje kwas siarkowy (w elektrolicie) będący szczególnie niebezpiecznym dla człowieka. W ramach normalnego użytkowania, zgodnie z zaleceniami producenta, ryzyko oddziaływania tego kwasu na pracowników jest bardzo małe. Pracownicy zajmujący się montażem lub eksploatacją akumulatorów powinni uważać, gdyż w przypadku ich

uszkodzenia (np. podczas przenoszenia) mogą być narażeni na bezpośredni kontakt z kwasem siarkowym. Skutkami mogą być uszkodzenia nieosłoniętych części ciała, głównie skóry rąk oraz oczów. Oprócz tego pojawić się może uszkodzenie tkanki śluzowej i dróg oddechowych [10] wskutek wdychania oparów kwasu siarkowego. Do objawów kontaktu człowieka z kwasem siarkowym należą: uczucie pieczenia, kaszel, spływanie oddechu oraz wymioty. W przypadku pożaru akumulatora istnieje ryzyko wycieku kwasu poprzez stopioną plastikową obudowę. W celu ograniczenia ryzyka związanego z obecnością kwasu w akumulatorze należy podjąć odpowiednie działania zapobiegawcze. Na poziomie indywidualnym będą to: zakładanie przez pracowników specjalnych fartuchów aby uniknąć wypalenia dziur w ubraniu w przypadku kontaktu z kwasem, używanie okularów ochronnych, używanie kwasoodpornych rękawiczek ochronnych. Na poziomie organizacyjnym zaleca się: unikanie jakiegokolwiek pracy z akumulatorami jeżeli w ich pobliżu czuć silny zapach kwasu, zakaz palenia tytoniu, dostęp do czystej wody w celu obmycia skóry mającej kontakt z kwasem, dostęp do wodorowęglanu sody z wodą w celu neutralizacji kwasu rozlanego na podłoże, unikanie zwarcia zacisków akumulatora (ryzyko wybuchu) [17]. Na poziomie systemowym zaś zaleca się stosowanie do obostrzeń wydanych przez producenta baterii oraz przepisów OSHA.

#### **Szkodliwe czynniki biologiczne**

##### *Niebezpieczne zwierzęta*

Wśród elementów systemu fotowoltaicznego istnieją takie, w których wewnątrz lub w pobliżu spotkać można niebezpieczne zwierzęta. Do każdego z paneli fotowoltaicznych znajdujących się na dachu budynku przymocowana jest do jego spodu puszka, w której znajduje się mikrofalownik lub inteligentne bloki elektroniki w technologii SMART [18]. W przypadku pożaru, każdy panel fotowoltaiczny jest odłączony przez strażaka poprzez wyciągnięcie przewodów z puszek przyłączeniowej. Odłączenie przewodów wykonywane jest także przez pracownika, który ma wykonać prace konserwacyjne lub zdemontować system fotowoltaiczny. Jak zaobserwowano w wielu przypadkach [19,20], pudełko puszek przyłączeniowej bywa zamieszkiwane przez pająki, osy lub inne owady. Pracownik narażony jest więc na ukąszenie przez niebezpieczne zwierzęta, szczególnie w trakcie otwierania pudełka puszek przyłączeniowej, odłączania od panelu fotowoltaicznego lub demontażu systemu fotowoltaicznego (konieczność transportu z dachu puszek przyłączeniowej). Jak wynika z obserwacji, zdarza się, że osy budują gniazda pod panelami fotowoltaicznymi [19]. Zagrożenie dla pracowników stanowią również pszczoły oraz szerszenie znajdujące się przy panelach fotowoltaicznych. Z kolei jadowite żmije (np. grzechotnikowate (*Crotalinae*) chętnie chowają się w cieniu pod panelami fotowoltaicznymi w przypadku instalacji systemu fotowoltaicznego bezpośrednio na ziemi. W Polsce potencjalne zagrożenie stanowi jedynie jadowita żmija zygzakowata (*Vipera berus*). W Polsce do jadowitych gatunków pająków, które potrafią boleśnie ukąsić i które mogą potencjalnie znajdować się pod panelem fotowoltaicznym lub wewnątrz pudełka puszek przyłączeniowej należą: kolczak zbrojny (*Chiracanthium puncturium*) oraz sieciarz jaskiniowy (*Meta menardi*), który zamieszkuje najczęściej studzienki kanalizacyjne, piwnice oraz jaskinie.

Toksyny owadów, pająków oraz żmii.

Jad jest złożoną, toksyczną mieszaniną związków o różnym działaniu. Najczęściej są to związki białkowe (skład chemiczny zależy od gatunku zwierzęcia).

Pojedyncze użądlenie pszczoły pozostawia przeciętnie 50-100 mg jadu, natomiast użądlenie osy pozostawia od 2 do 10 mg jadu. Jady osy i pszczoły różnią się, aczkolwiek niektóre z ich składników mają bardzo zbliżoną budowę, jak enzymy hialuronidaza oraz w mniejszym stopniu, fosfolipaza [21]. Peptyd silnie uszkadzający komórki – melityna – występuje jedynie w jadzie pszczoły, podczas gdy białko – antygen 5 – występuje tylko w jadzie osowatych. Użądlenie szerszenia jest boleśniejsze od użądleń pszczół lub os z powodu większego i głębiej penetrującego żądła oraz około 5% zawartości acetylocholino w jadzie, powodującej silne pieczenie rany. Jeden szerszeń potrafi wstrzyknąć mniej niż 0,2 mg jadu za każdym użądleniem (dawka śmiertelna jadu szerszenia w przypadku osób nie uczulonych na jad wynosi od 10 do 90 mg). Jad szerszenia wprowadzony do ciała w wyniku ukąszenia jest od 1,7 do 15 razy słabszy niż jad pszczoły.

Jedynie 3% pajaków posiada jad, który może być niebezpieczny dla człowieka. Istnieje kilka rodzajów jadu pajęczego. Jad neurotoksyczny (zawiera neurotoksyny) atakuje układ nerwowy człowieka i znajduje się w większości jadów o działaniu śmiertelnym (pająki tych gatunków nie występują na terenie Polski). Jad cytotoxyczny (zawiera cytolizyny) może doprowadzić do powstawania trudno gojących się ran oraz zapaleń skórnych wraz z elementami martwiczymi i wystąpieniem pęcherzy - rany są bardzo trudne do wyleczenia, wymagają wielu zabiegów chirurgicznych lub przeszczepów skóry (pająki tych gatunków nie występują na terenie Polski). Jad hemolityczny (zawiera hemolizynę) powoduje uszkodzenie czerwonych krwinek, niszczy naczynia krwionośne, powoduje martwicę tkanek oraz trudno gojące się rany.

W przypadku występującej w Polsce żmii zygzakowatej, typowa dawka jadu pozostająca w ciele po ukąszeniu wynosi od 6 do 18 mg, a wartość LD50 dla człowieka wynosi 0,55 (mg/kg masy ciała). Średnia dawka śmiertelna dla człowieka to 6,45 mg jadu na kilogram masy ciała (przy podaniu podskórnym). Jad żmii zygzakowatej wykazuje działanie hemolityczne, proteolityczne oraz cytotoxyczne, prowadzące do zaburzeń hemostazy [22] Skutki użądleń.

Skutki ukąszeń jadowitych zwierząt mogą być różne w zależności od gatunku zwierzęcia oraz ilości i toksyczności jadu, który pozostaje w ciele człowieka. Niebezpieczne są użądlenia w jamie nosowo-gardłowej oraz w układzie oddechowym, ze względu na możliwy obrzęk. U około 90 % osób użądlenie przez pszczołę lub osę wywołuje jedynie ograniczoną reakcję miejscową pod postacią obrzęku, zaczerwienienia i świądu utrzymującego się przez 24 godziny. O skutkach ukąszenia owada lub pająka decydują [23]: gatunek pająka, dawka jadu, miejsce ukąszenia, indywidualna wrażliwość na toksynę, wiek i masa ciała poszkodowanego. Znacznie poważniejsze skutki występują po ukąszeniu przez owada u osób uczulonych na jad owadów. Najczęstsza jest alergia na jad owadów z rzędu błonkoskrzydłych, do których należą pszczołowate: pszczoła miodna (*Apis mellifera*), trzmiel (pszczoły z rodzaju *Bombus*) oraz grupa osowatych: osa zwyczajna (*Vespa vulgaris*), owady z rodziny osowatych (*Dolichovespula*) oraz szerszeń europejski (*Vespa crabro*) [21]. Częstość alergii na jad owadów u osób dorosłych w Europie wynosi 0,6-3,5% [21]. Reakcja uczuleniowa po użądleniu owada może mieć charakter tzw. dużej reakcji miejscowej lub reakcji ogólnej (całego organizmu) [21]. Duża reakcja miejscowa to bolesność, zaczerwienienie oraz obrzęk o średnicy powyżej 10 cm, trwający dłużej niż 24 godziny w miejscu użądlenia. Nie jest ona groźna dla zdrowia jeśli dotyczy kończyn, jednak może zagrażać życiu, jeśli użądlenie nastąpiło w okolicę szyi, głowy, a zwłaszcza

we wnętrzu jamy ustnej i na języku, lub jeśli doszło do połknięcia owada. W takich sytuacjach reakcja miejscowa tkanek może doprowadzić do obrzęku gardła lub krtani i spowodować śmierć wskutek uduszenia. Ogólne objawy alergiczne mogą być łagodne, umiarkowane lub ciężkie, w zależności od tego, jakich narządów dotyczą – skóry, przewodu pokarmowego, układu oddechowego lub układu sercowo-naczyniowego. Obrzęk naczynioruchowy związany z głębszymi warstwami skóry najczęściej dotyczy okolic dobrze unaczynionych: powiek, ust, twarzy, uszu [21]. Objawy alergii mogą także dotyczyć przewodu pokarmowego i wtedy mają postać kurczowych (kolkowych) bólów brzucha, nudności lub wymiotów. Objawy ogólne ze strony układu oddechowego mogą dotyczyć obrzęku gardła (trudności w polykaniu, zaburzenia mowy), obrzęku krtani (chrypka, świszczący wdech), skurczu oskrzeli (świszczący wydłużony wydech) [21]. Objawy ogólne ze strony układu krążenia obejmują: spadek ciśnienia tętniczego, sinicę, zapaść (brak tętna na obwodowych naczyniach tętniczych), utratę przytomności oraz rzadko obserwowane rozluźnienie zwieraczy układu moczowego (oddanie moczu) i zwieraczy przewodu pokarmowego (oddanie stolca) [21]. W przypadku użądlenia osoby uczulonej istotne jest ustalenie rodzaju żądającego owada [24]. Osy nie pozostawiają żądła w skórze, mogą więc żądlić wielokrotnie, a porcja jadu jest kilkakrotnie mniejsza niż w przypadku pszczoły. Miejsce ukąszenia przez pszczołę piecze, swędzi i pojawia się rumień z opuchlizną. W przypadku osób uczulonych na jad ugryzienie nawet jednego owada może wywołać wstrząs anafilaktyczny. Jad pojedynczej osy nie jest groźny dla człowieka, który nie jest uczulony na jad, choć użądlenia są bolesne [25]. Aby spowodować zgon dorosłego człowieka potrzeba kilkuset użądleń osy. Pięć użądleń pszczoły to dawka toksyczna, kilkadziesiąt użądleń może wywołać ciężkie objawy chorobowe. U osób uczulonych na jad os, mogą pojawić się zaburzenia krążenia krwi, skrócony oddech, w najgorszych przypadkach nawet zgon. Jad szerszenia europejskiego jest porównywalny z jadem pszczół i os, zawiera jednak nieznacznie większą dawkę toksyn. W miejscu użądlenia przez szerszenia niemal natychmiast pojawia się silny piekący ból, a na ciele pojawia się mocna opuchlizna. Kilka użądleń szerszenia może u osób wrażliwych (alergicy) spowodować śmierć lub poważne problemy zdrowotne. Trzmiel nie zostawia w ciele żądła, podobnie jak osa. Po ukąszeniu odczuwamy silne pieczenie. Na ciele pojawia się mała sina kropka z opuchlizną, która po kilku dniach sama znika. U osób uczulonych obserwuje się niekiedy silnie, częściej średnio i słabo nasilone objawy ze strony układu krążenia lub duże odczyn miejscowe w postaci obrzęku tkanki podskórnej. Rzadziej splotręga się objawy ze strony przewodu pokarmowego, napady astmy lub wysiewy pokrzywki. W jadzie wydzielanym przez trzmiela w czasie jednego użądlenia znajduje się trzykrotnie mniej białka, niż wykryto u pszczoły.

Zażywanie pewnych leków ( $\beta$ -blokery, leki obniżające ciśnienie tętnicze krwi z grupy inhibitorów enzymu konwertującego angiotensynę) przez pracowników mających alergię na owady może powodować groźniejszy przebieg lub gorszy efekt leczenia ciężkiej reakcji uczuleniowej [21]. Większość z pajaków występujących na terenie Polski nie jest w stanie przebić ludzkiej skóry, a ich jad jest mało toksyczny. Odczuwalne skutki ukąszeń przez pająki dotyczą w praktyce tylko kilku gatunków. Kolczak zbrojny (*Chiracanthium punctatorum*) jest jednym z nielicznych pajaków występujących w Polsce (głównie na południu kraju), których ukąszenie wywołuje objawy zatrucia. Ukąszenie powoduje piekący ból i stan zapalny. Jad zawiera hemolizynę. U człowieka powoduje długotrwałe

bóle, osłabienie i dreszcze. Objawy ukąszenia mogą utrzymywać się do dwóch tygodni. U osoby ugryzionej mogą wystąpić również inne objawy: puchnięcie rany, przyspieszone bicie serca, omdlenia oraz wymioty. Nigdy nie odnotowano jednak wypadków zgonów po ugryzieniu koleczka zbrojnego. Natomiast jad sieciarza jaskiniowego (*Meta menardi*), pomimo tego, że jest najbardziej jadowitym pająkiem w Polsce (i w Europie), nie stanowi zagrożenia dla ludzi. Jego ukąszenie jest jednak wyjątkowo nieprzyjemne – porównywalne do użądlenia przez sporego szerszenia. W przypadku ukąszenia człowieka przez inne mniej jadowite pająki, w miejscu ugryzienia powstaje najczęściej miejscowy odczyn zapalny skóry (zaczerwienienie, obrzęk, świąd oraz bolesne pieczenie). Najczęściej nie wymaga to interwencji lekarza, a rana goi się sama. W przypadku gdy człowiek jest uczulony na pajęczy jad mogą wystąpić dodatkowe objawy: osłabienie, bóle głowy, bóle stawów, bóle brzucha oraz wylewy podskórne.

Do objawów ukąszenia przez jedyną występującą w Polsce jadowitą żmiją zygzakowatą należą m. in.: rozszerzenie źrenic, obrzęk i ból w miejscu ukąszenia, obrzęk twarzy, rozpad krwinek czerwonych, zaburzenia krzepnięcia krwi, osłabienie, wymioty, zawroty głowy, zaburzenia żołądkowo-jelitowe, podwyższenie temperatury ciała, przyspieszenie oddechu oraz spadek ciśnienia krwi. Śmiertelność u osób dorosłych wynosi średnio 1%. Szczegółowo mechanizm działania jadu żmii opisano w [22].

Działania zapobiegawcze.

Do działań zapobiegawczych na poziomie indywidualnym, minimalizujących ryzyko ukąszenia przez jadowite owady lub pająki zaliczyć można: stosowanie rękawic ochronnych, ubrań zakrywających ciało (długie spodnie, koszule z długim rękawem), stosowanie czapki (na dachu budynku kasku), osłony z siatki na twarz (osoby uczulone na jad owadów), stosowanie na nieosłonięte części ciała substancji chemicznych w postaci sprayu lub żelu o działaniu odstraszającym, dbanie o higienę osobistą (zapach potu silnie wabi owady), unikanie stosowania perfum, dezodorantów oraz spożywania w miejscu pracy owoców, dżemów i innych słodkich pokarmów (przyciągają owady). Do działań zapobiegawczych na poziomie organizacyjnym należą: obowiązkowa dokładna obserwacja miejsca, w którym wykonywana będzie praca (w szczególności przestrzeń pod panelem fotowoltaicznym, puszka przyłączeniowa i jej okolice), nakaz otwierania puszki przyłączeniowej wyłącznie przez pracownika nieuczulonego na jad owadów oraz pająków, obowiązkowe tymczasowe opuszczenie miejsca pracy w przypadku zagrożenia np. rój pszczół, usunięcie przez odpowiednie służby znalezionej gniazda os lub szerszenia przed przystąpieniem do pracy przy module fotowoltaicznym. Na poziomie systemowym stosuje się przepisy prawne regulujące warunki pracy. Zaleca się, by pracownicy mieli wykonane testy weryfikujące czy są uczuleni na jad owadów oraz pająków. Obowiązkowe szkolenie pracowników powinno obejmować informacje na temat zagrożeń ze strony niebezpiecznych zwierząt, a w szczególności rozpoznawania stopnia zagrożenia z ich strony (umiejętność rozpoznawania niebezpiecznego gatunku i odróżniania od gatunku bezpiecznego).

### Szkodliwe czynniki psychofizyczne - stres

W przypadku, gdy instalacja, serwis oraz demontaż systemu fotowoltaicznego odbywa się na dużej wysokości (dach budynku), pracownicy narażeni są na różne szkodliwe czynniki psychofizyczne.

Bardzo wysoka temperatura (szczególnie przy dużej wilgotności oraz silnym nasłonecznieniu) jak również silny mroz oraz silny wiatr, podobnie jak gwałtowne zmiany

pogody (szczególnie zmiany ciśnienia) wpływają negatywnie na psychikę pracowników i mogą powodować zmniejszenie wydajności pracy oraz zwiększać ryzyko wypadku. Do działań zapobiegawczych na poziomie indywidualnym należą: stosowanie właściwych ubiór oraz zapewnienie płynów chłodzących (latem) oraz rozgrzewających (zimą). Przykładami działań zapobiegawczych na poziomie organizacyjnym są: praca rotacyjna w przypadku trudnych warunkach pogodowych, odpowiednie przerwy w trakcie pracy, zakaz wykonywania pracy na dachu budynku w przypadku ekstremalnych warunków pogodowych.

Pracownicy odczuwający lęk przed przebywaniem na dużej wysokości i spadnięciem (akrofobia) mogą w zależności od stopnia nasilenia fobii pracować mniej wydajnie lub wręcz mogą odmówić wykonywania pracy na wysokości. Do objawów akrofobii należą m.in.: duszność, niepokój, zimny pot, przyspieszone tętno, drżenie kończyn, wzrost napięcia mięśniowego, objawy podobne do migreny, strach przed śmiercią oraz panika. Pracownicy odczuwający silny, nieuzasadniony lęk przed owadami i insektami (insektofobia), pająkami (arachnofobia) oraz węzami (ofidiofobia) są narażeni na silny stres w przypadku spotkania z tymi zwierzętami w miejscu pracy. Do najczęstszych objawów arachnofobii, insektofobii oraz ofidiofobii należą m.in.: gęsia skórka, dreszcze, roztrzęsienie, drgawki, chęć najszybszego oddalenia się oraz panika. Jedynym węzem w Polsce, który potrafi się wspinać po murach i wejść np. pod panel fotowoltaiczny znajdujący się na dachu budynku jest wąż Eskulapa (*Zamenis longissimus*). W przypadku pracowników z objawami arachnofobii, szczególnie stresujące może być spotkanie z bardzo dużymi pająkami. Na terenie Polski żyje bardzo pospolity pająk - Kątnik większy (*Tegenaria atrica*), który z odużami ma wielkość do 8 cm. W wyniku paniki na skutek zauważenia lub dotknięcia, któregoś z wymienionych zwierząt może dojść do upadku z wysokości, zranienia się niebezpiecznym narzędziem (np. nóż, wiertarka) wypuszczenia z rąk przenoszonego elementu systemu fotowoltaicznego (szczególnie gdy dach jest pochylony), czy też porażenia prądem w przypadku prac elektrycznych pod napięciem. Do działań zapobiegawczych na poziomie indywidualnym zaliczyć można: wykluczenie z wykonywania prac na wysokości pracowników z objawami akrofobii, preferowanie czynności, przy których ryzyko kontaktu z owadami i insektami, pająkami oraz węzami jest znikome dla pracowników z objawami odpowiednio insektofobii, arachnofobii oraz ofidiofobii. Działaniem zapobiegawczym na poziomie organizacyjnym jest obowiązkowa dokładna obserwacja miejsca, w którym wykonywana będzie praca. Na poziomie systemowym stosuje się przepisy prawne regulujące warunki pracy.

### Wnioski

Na podstawie danych literaturowych należy zauważyć, że wśród czynników szkodliwych mogących negatywnie wpływać na osoby zajmujące się instalacją, serwisem oraz demontażem systemów fotowoltaicznych wyszczególnić można czynniki: fizyczne, chemiczne, biologiczne i psychofizyczne. Zagrożenia wynikające z czynników chemicznych to głównie: szkodliwe substancje chemiczne znajdujące się w ogniwach fotowoltaicznych oraz akumulatorach zintegrowanych z systemem fotowoltaicznym. Zagrożenia o charakterze biologicznym są związane z niebezpiecznymi zwierzętami, które mogą być spotykane w otoczeniu urządzeń systemów fotowoltaicznych. Natomiast zagrożenia o charakterze psychofizycznym wynikają głównie ze stresu wywołanego pracą w niebezpiecznym środowisku.

W najbliższych latach w Polsce spodziewany jest znaczący przyrost liczby instalacji systemów fotowoltaicznych. Będzie to wymagało wykwalifikowanej kadry instalatorów oraz inżynierów serwisu. Pracownicy ci powinni być świadomi złożoności zagrożeń, jakie mogą wystąpić w związku z instalacją, serwisem oraz demontażem systemów fotowoltaicznych. W niniejszym artykule, oprócz opisu potencjalnych zagrożeń, przedstawiono wybrane działania i sposoby zmniejszania zagrożenia dla zdrowia pracowników związanych z szerokokorozumianą obsługą systemów fotowoltaicznych.

**Autorzy:** dr hab. inż. Dariusz Baczyński, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [dariusz.baczyński@ee.pw.edu.pl](mailto:dariusz.baczyński@ee.pw.edu.pl);  
dr inż. Piotr Helt, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [piotr.helt@ee.pw.edu.pl](mailto:piotr.helt@ee.pw.edu.pl);  
mgr inż. Piotr Kapler, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [piotr.kapler@ee.pw.edu.pl](mailto:piotr.kapler@ee.pw.edu.pl);  
dr hab. inż. Paweł Piotrowski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [pawel.piotrowski@ee.pw.edu.pl](mailto:pawel.piotrowski@ee.pw.edu.pl);  
dr hab. inż. Sylwester Robak, prof. nzw. PW, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [sylwester.robak@ee.pw.edu.pl](mailto:sylwester.robak@ee.pw.edu.pl).

#### LITERATURA

- [1] Ministerstwo Energii, Energetyka. Polityka energetyczna Polski do 2050 roku, <http://bip.me.gov.pl/node/24670>
- [2] Robak S., Rasolomampionona D.D., Rozproszone zasoby energii – przegląd zagadnienia, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87 (2011), nr 6, 63–66.
- [3] Urząd Regulacji Energetyki, Mapa odnawialnych źródeł energii, <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html>
- [4] Kuilk-Kupka K., Koszowska A., Brończyk-Puzoń A., Nowak J., Gwizdek K., Zubelewicz-Szkodzińska B., Arsen – trucizna czy lek?, *Medycyna Pracy*. 67 (2016), nr 1, 89–96
- [5] McEvoy A., Markvart T., Castaner L., Practical Handbook of Photovoltaics. Fundamentals and Applications, Elsevier, (2012)
- [6] Moskowitz P. D., Zewelbel K., Fthenakis V. M., Health, Safety and Environmental Issues Relating to Cadmium Usage in Photovoltaic Energy Systems, Solar Energy Research Institute, <http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/3621.pdf>
- [7] What is the environmental impact of photovoltaic (PV) solar panels ? CAT Information Service, <http://info.cat.org.uk/questions/pv/what-environmental-impact-photovoltaic-pv-solar-panels>
- [8] Sundaram S., Benson D., Mallic T. K., Solar Photovoltaic Technology Production. Potential Environmental Impacts and Implications for Governance, Elsevier, (2016)
- [9] Fletcher G. W., The Guide to Photovoltaic System Installation. Delmar Cengage Learning, (2014)
- [10] DePhilips M. P., Moskowitz P. D., Fthenakis V. M.: SUNRAYCE 95: Working safely with lead-acid batteries and photovoltaic power systems, <http://www.osti.gov/scitech/biblio/10158667-LlwOaf/webviewable/>
- [11] Barboni A., Giovannone M.: Occupational Health and Safety Issues in the Photovoltaics Industry , [http://www.bollettinoadapt.it/old/files/document/4236AB\\_MG\\_2\\_0\\_11\\_09.pdf](http://www.bollettinoadapt.it/old/files/document/4236AB_MG_2_0_11_09.pdf)
- [12] Sawicki T., Czynniki zagrażające bezpieczeństwu strażaków w warunkach pożarów, *Bezpieczeństwo Pracy*. 7-8 (2004), 35-38
- [13] Health and Safety Concerns of Photovoltaic Solar Panels, <http://www.gusd.net/cms/lib03/CA01000648/Centricity/Domain/53/6.%20OR%20PV%20health%20and%20safety.pdf>
- [14] Jaskółowski W., Toksyczność środowiska pożarowego w budynkach a bezpieczna i skuteczna ewakuacja ludzi, *Przegląd Budowlany*. 1 (2012), 40-45
- [15] Haong-Yun Y., Xiao-Dong Z., Li-Zhong Y., Tao-Lin Z.: Experimental Studies on the Flammability and Fire Hazards of Photovoltaic Modules, *Materials*. 8 (2015), 4210-4225
- [16] Solar power system electrical safety, [https://www.worksafe.qld.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0005/123854/Solar-power-system-electrical-safety-brochure.pdf](https://www.worksafe.qld.gov.au/_data/assets/pdf_file/0005/123854/Solar-power-system-electrical-safety-brochure.pdf)
- [17] Solar PV systems. User's maintenance guide. Australian Business Council for Sustainable Energy, <http://www.rpc.com.au/pdf/Solar%20PV%20Maintenance.pdf>
- [18] Sarniak M., Budowa i eksploatacja systemów fotowoltaicznych. Wydawnictwo Grupa MEDIUM, Warszawa (2015)
- [19] Balfour J., Shaw M., Bremer N., Advanced Photovoltaic System Design. Jones & Bartlett Learning, Burlington (2013)
- [20] Working Safely with Photovoltaic system, <https://www.wbdg.org/ccb/DOE/TECH/wksafe.pdf>
- [21] Jutel M., Cichocka Jarosz E., Alergia na jad owadów, <http://alergie.mp.pl/chorobyalergiczne/choroby/59841.alergia-na-jad-owadow>
- [22] Czajka U., Wiatrzyk A., Lutyńska A., Mechanizm działania zmił zygakowatej i zasady zastosowania antytoksyny w leczeniu, *Przegląd Epidemiologiczny*, 67 (2013), nr 4, 729-733
- [23] Orzyłowska-Słowińska O., Świat według pajaków. *Wiedza i Życie*, 936 (2012), nr 12, 52-55
- [24] Rudzki E., Uczulenie na jad os. <http://alergie.mp.pl/chorobyalergiczne/alergeny/jadowadow/58591.uczulenie-na-jad-os>
- [25] Sandner H., Owady. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, (1990)