

RES-SKILL

**Przekwalifikowanie pracowników
przemysłu węglowego do sektora
energii odnawialnej**

O3-T2: RES-SKILL
Szkolenie 4

**Uwagi i protokół
bezpieczeństwa w branży
OZE**

Maj 2022



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union





Akronim Projektu: RES-SKILL

Nazwa Projektu: Reskilling coal industry workers for the renewables energy sector

Kod Projektu: 2020-1-EL01-KA202-079114

Historia zmian

Wersja	Data	Zmiany	Rodzaj zmiany	Dostarczone
1.0	31.05.2022	Dokument wstępny		LTT
1.1	08.09.2022	Składanie plików w jeden		LTT

Informacje o dokumencie O3: RES-SKILL learning Units

ID dokumentu:

Tytuł dokumentu: RES-SKILL learning units

Typ wyjścia: Wyjście intelektualne 3

Data dostarczenia: 08.09.2022

Rodzaj aktywności:

Lider aktywności: LTT

Poziom
rozpowszechniania: Confidential

Zastrzeżenie



Wsparcie Komisji Europejskiej dla przygotowania tej publikacji nie stanowi poparcia dla jej treści, która odzwierciedla jedynie poglądy autorów, a Komisja nie ponosi odpowiedzialności za jakiekolwiek wykorzystanie zawartych w niej informacji.

Niniejszy dokument jest własnością Konsorcjum RES-SKILL. Materiały projektowe opracowane w kontekście działań związanych z zarządzaniem i wdrażaniem projektów nie mogą być kopiowane ani rozpowszechniane w żadnej formie i w żaden sposób bez uprzedniej pisemnej zgody konsorcjum RES-SKILL.



1 Content

2	Safety in the Renewable Energy Industry	Error! Bookmark not defined.
3	Evaluate Potential Risks	Error! Bookmark not defined.
4	Fulfill Training Requirements	Error! Bookmark not defined.
5	Collaborate and Establish Expectations	Error! Bookmark not defined.
6	Maintain Equipment and PPE	Error! Bookmark not defined.
7	Building a Culture of Safety	Error! Bookmark not defined.
8	Work Safety: Renewable Energy vs. Fossil Fuels	Error! Bookmark not defined.
9	Common Hazards in the Renewable Energy Industry	Error! Bookmark not defined.
10	1. Machinery Misuse	Error! Bookmark not defined.
11	2. Fall Hazards	11
12	3. Electrical Currents	11
13	4. Confined Spaces	11
14	Renewable Energy Presents Unique Risks for Workers	Error! Bookmark not defined.
15	Health & safety in the wind industry	Error! Bookmark not defined.
16	OSH risks associated with the construction of wind turbines	Error! Bookmark not defined.
17	Onshore substation development	Error! Bookmark not defined.
18	Onshore wind farm	Error! Bookmark not defined.
19	Offshore wind farm	Error! Bookmark not defined.
20	Hazards encountered during the construction phase of wind farms	Error! Bookmark not defined.
21	Conclusions	Error! Bookmark not defined.
22	Introduction	Error! Bookmark not defined.
23	PV operations	Error! Bookmark not defined.
24	PV maintenance	Error! Bookmark not defined.
25	Health and Safety	Error! Bookmark not defined.



26	Health and Safety Checklist	Error! Bookmark not defined.
27	Maintenance of a solar installation: from the system check to refitting and repowering	Error! Bookmark not defined.
28	ROUTINE SCHEDULED PREVENTIVE MAINTENANCE	Error! Bookmark not defined.
29	General Site Annual Inspection	Error! Bookmark not defined.
30	Detailed Visual Inspection	Error! Bookmark not defined.
31	Manufacturer-Specific Inverter Inspection	Error! Bookmark not defined.
32	Manufacturer-Specific Tracker Inspection	Error! Bookmark not defined.
33	Manufacturer-Specific Data Acquisition System Inspection	Error! Bookmark not defined.
34	PV system installation and maintenance	Error! Bookmark not defined.
35	Typical PV system configurations	Error! Bookmark not defined.
36	How PV systems are different	Error! Bookmark not defined.
37	Potential PV problems	Error! Bookmark not defined.
38	Testing and troubleshooting	Error! Bookmark not defined.
39	Maintaining solar panels	Error! Bookmark not defined.
40	Cleaning solar panels	40
41	Things to check	Error! Bookmark not defined.
42	Work health and safety requirements for Solar PV installers	Error! Bookmark not defined.
43	What is a safe work method statement?	Error! Bookmark not defined.
44	Make the SWMS available	Error! Bookmark not defined.
45	The risk management process	Error! Bookmark not defined.
46	Common hazards for Solar PV installation	Error! Bookmark not defined.
47	Working on the roof	Error! Bookmark not defined.
48	Working in the ceiling	Error! Bookmark not defined.
49	Working on the ground	Error! Bookmark not defined.
50	Control measures	Error! Bookmark not defined.



51	Photovoltaic Systems - Safety at work- Safety first	Error! Bookmark not defined.
52	Legislative/Regulatory Requirements	Error! Bookmark not defined.
53	General Safety Considerations	Error! Bookmark not defined.
54	Electrical Hazards	Error! Bookmark not defined.
55	Important Points to Consider When Working On PV Systems	Error! Bookmark not defined.
56	Fall Protection	Error! Bookmark not defined.



2 Bezpieczeństwo w branży energii odnawialnej

Ponieważ wykorzystanie energii odnawialnej staje się coraz bardziej powszechne, ochrona osób pracujących w tej branży powinna być priorytetem.

Każda branża ma swój udział w ryzyku, a sektor energii odnawialnej nie jest wyjątkiem. Na szczęście wypadki śmiertelne zdarzają się rzadko. Jednak obrażenia są stosunkowo powszechne. Przestrzenie zamknięte, prądy elektryczne, ciężkie maszyny i wysokie urządzenia mogą okazać się bardzo niebezpieczne, zwłaszcza jeśli pracownicy nie są świadomi ryzyka.

Dlatego, aby zwiększyć bezpieczeństwo pracowników w branży, pracodawcy i firmy muszą zacząć standaryzować szkolenia, oceniać potencjalne zagrożenia i tworzyć kulturę bezpieczeństwa. Oto kilka sposobów, dzięki którym możesz zacząć poprawiać bezpieczeństwo w swoim zakładzie.

3 Ocena potencjalnego zagrożenia

Oczywiście jednym z najlepszych sposobów na zmniejszenie ryzyka jest uświadomienie sobie jego istnienia. Projekty związane z energią odnawialną wiążą się z wieloma takimi samymi zagrożeniami jak te występujące na placach budowy. Upadki, oparzenia, porażenia prądem i łuki elektryczne stanowią poważne zagrożenie dla pracowników. Jednak wyjątkowy charakter branży energii odnawialnej może nasilić te zagrożenia i uczynić je bardziej śmiertelnymi.

Na przykład pracownik budowlany może spaść z dwu- lub trzypiętrowego budynku i przeżyć. Jednak osoba pracująca przy turbinie wiatrowej o wysokości 100 stóp ma niewielkie szanse na przeżycie, jeżeli spadnie z wieży. Dlatego też regularne badanie miejsca pracy i kontrola infrastruktury może być pomocna w określeniu potencjalnych zagrożeń i zabezpieczeniu się przed nimi.

4 Spełnienie wymagań szkoleniowych

Managers and supervisors are sometimes more aware of risks than workers are.



Kierownicy i przełożeni są czasami bardziej świadomi zagrożeń niż pracownicy. Upewnij się, że wszyscy rozumieją potencjalne zagrożenia i sposoby bezpiecznego wykonywania zadań poprzez ustanowienie programów ciągłego szkolenia. Upewnij się, że każdy pracownik spełnia wymagania szkoleniowe i posiada praktyczną wiedzę na temat wszystkich niezbędnych urządzeń i maszyn. Zachęcaj ich do rozwoju osobistego i zawodowego, oferując możliwości awansu i premie, a także organizuj cotygodniowe spotkania, aby upewnić się, że wszyscy w Twoim zespole są zgodni co do zasad bezpieczeństwa.

Oprócz programów szkoleniowych dotyczących konkretnych stanowisk pracy, pracownicy powinni również przestrzegać wszystkich zasad bezpieczeństwa określonych przez OSHA (Occupational Safety and Health Administration). Na przykład pracodawcy zajmujący się energią słoneczną podłączoną do sieci muszą przestrzegać normy OSHA dotyczącej wytwarzania, przesyłania i dystrybucji energii elektrycznej. Prace konserwacyjne związane z turbinami wiatrowymi również podlegają jurysdykcji OSHA, która stara się chronić pracowników przed upadkiem za pomocą szeregu środków ochronnych.

5 Współpraca i ustalenie oczekiwań

W miarę rozwoju branży energii odnawialnej dostawcy będą przechodzić na działania na dużą skalę, a kolejne sektory będą musiały przestrzegać wymogów bezpieczeństwa OSHA. W końcu rozwiązania w zakresie energii wiatrowej, słonecznej i geotermalnej na skalę przemysłową przewyższą tradycyjną energię i zostaną objęte ścisłymi przepisami rządowymi. Do tego czasu małe firmy muszą współpracować ze sobą w celu ustalenia oczekiwań dotyczących bezpieczeństwa we wszystkich sektorach.

Oczywiście standaryzacja wymagań i programów szkoleniowych będzie wymagała komunikacji, współpracy i czasu. Jednak wielu dużych producentów już zaczęło współpracować i ustanawiać standardy dotyczące podstaw. Na przykład światowi liderzy w dziedzinie energii wiatrowej zebrali się, aby stworzyć Global Wind Organization, która obecnie oferuje kursy mające na celu zmniejszenie ryzyka i zagrożeń bezpieczeństwa w branży. Moduły oferują szkolenia z zakresu pierwszej



pomocy, naprawy łopat, zaawansowanego ratownictwa, sygnalizacji zawiesi i różnych innych podstawowych protokołów bezpieczeństwa.

6 Utrzymanie sprzętu i środków ochrony indywidualnej

Konserwacja sprzętu może również zwiększyć bezpieczeństwo pracowników w branży energii odnawialnej. Zaplanuj rutynowe kontrole, aby zapewnić, że ciężkie maszyny i sprzęt działają prawidłowo i wydajnie. Możesz również zainstalować systemy osłabiania kierowcy, konstrukcje zabezpieczające przed przewróceniem i inne środki ostrożności, aby zapobiec niepotrzebnym obrażeniom. Jeżeli często wykonujesz prace konserwacyjne i nadal musisz wymieniać sprzęt lub części, być może będziesz musiał poprawić szkolenie, aby nauczyć pracowników, jak ostrożniej obchodzić się ze sprzętem.

Nawet jeśli pracownicy podejmują wszystkie niezbędne środki ostrożności i prawidłowo konserwują sprzęt, wypadki nadal mogą się zdarzać. Dlatego mądrym posunięciem może być zainwestowanie w zaawansowane technologicznie PPE (Personal Protection Equipment). Jasne, mają już kaski i kamizelki odblaskowe, ale czy ten sprzęt może wyczuć, kiedy obiekt lub pojazd znajdzie się zbyt blisko? Znajdź inteligentne PPE, które ostrzega pracowników o niebezpiecznych sytuacjach i monitoruje ich zdrowie, aby mogli pozostać bezpieczni na placu budowy.

7 Budowanie kultury bezpieczeństwa

W ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat energia odnawialna ma szansę prześcignąć ropę, węgiel i gaz ziemny. Wraz z rosnącym połączeniem geograficznym energii słonecznej, wiatrowej i wodnej, przemysł będzie się rozwijał i zapewniał więcej miejsc pracy dla ludzi na całym świecie. Z tego względu istotne jest stworzenie kultury bezpieczeństwa, aby pracownicy mogli pozostać zdrowi i szczęśliwi, nawet gdy ich praca stanie się bardziej wymagająca.

Poprzez ustanowienie protokołów bezpieczeństwa, programów szkoleniowych i list kontrolnych dotyczących konserwacji już teraz, przemysł energii odnawialnej może przygotować się na świetlaną przyszłość, która przyniesie korzyści ludziom i planecie jednocześnie.



8 Bezpieczeństwo pracy: Energia odnawialna a paliwa kopalne

Czym różnią się zagrożenia bezpieczeństwa w sektorze energii odnawialnej i paliw kopalnych? Ważne jest, aby zauważyć, że każda branża ma podobne problemy, które obejmują głównie zagrożenia związane z upadkiem i prądy elektryczne. Ponadto zagrożeniem są ograniczone przestrzenie w elektrowniach i innych miejscach pracy.

Każdy sektor stanowi również wyjątkowe wyzwanie. Ci, którzy pracują w przemyśle węglowym nie zawsze napotkają te same wyzwania, co pracownicy w przemyśle słonecznym. W tych środowiskach zachodzą różne procesy. To dlatego wskaźnik śmiertelności w przypadku węgla na terawatogodzinę jest znacznie wyższy niż w przypadku energii słonecznej.

Ale nawet jeśli sektor energii odnawialnej może być bezpieczniejszy, pracownicy nadal mogą codziennie spotykać się z zagrożeniami zawodowymi.

9 Typowe zagrożenia w branży OZE

Zagrożenia, z którymi stykają się pracownicy sektora energii odnawialnej, są często uniwersalne i dotyczą ludzi z podobnych dziedzin. Jednak alternatywne źródła czystej energii, takie jak wiatr, mają specyficzne wyzwania, które zwiększają ryzyko bezpieczeństwa dla operatorów i mechaników. Branża ta nie jest odporna na zagrożenia.

Oto kilka z nich, które warto rozważyć:

10 1. Niewłaściwe użytkowanie maszyn

Pomiędzy pompami geotermalnymi a turbinami wiatrowymi, energia odnawialna charakteryzuje się wyjątkowym sprzętem i narzędziami. Na przykład energia słoneczna wymaga układu modułów fotowoltaicznych jako źródła energii, więc pracownicy muszą wiedzieć, jak je zainstalować. Zadanie to wymaga szczególnej wiedzy.



Każdy, kto niewłaściwie używa maszyn, może narazić się na ryzyko związane z bezpieczeństwem. Tak jest w każdej dziedzinie - ale szczególnie w tych, które wymagają specjalistycznych komponentów. W przeciwnym razie pracownicy mogą paść ofiarą oparzeń termicznych, toksycznych substancji chemicznych i innych.

11 2. Zagrożenia związane z upadkiem

Osoby pracujące w sektorze energii odnawialnej są tak samo narażone na upadki jak pracownicy zajmujący się paliwami kopalnymi. Weźmy jako przykład energię wiatrową. Obok energii słonecznej, sektor ten odnotowuje największy wzrost zatrudnienia w czystej energii*. Jednak sektor energii wiatrowej może być również najbardziej niebezpieczny pod względem upadków.

Wiele turbin wiatrowych ma wysokość około 250 stóp, co oznacza, że osoby pracujące przy nich muszą zachować maksymalną ostrożność. Dlatego właśnie urządzenia chroniące przed upadkiem są kluczowe. Bez nich pracownicy prawdopodobnie doznają śmiertelnych obrażeń.

12 3. Prąd elektryczny

Istotą energii odnawialnej jest dostarczanie prądu. Dlatego pracownicy są narażeni na urazy związane z elektrycznością, w tym oparzenia i porażenia. Nie jest to wyjątkowe dla sektora czystej energii, ale ludzie nadal powinni zdawać sobie sprawę, że prądy elektryczne mogą stanowić istotny problem.

13 4. Przestrzenie zamknięte

Operatorzy w zakładach energii odnawialnej mogą napotkać zamknięte przestrzenie. Ponieważ niektóre źródła energii zawierają niebezpieczne chemikalia i gazy w fazie produkcji, pracownicy muszą podjąć odpowiednie środki ostrożności, aby uniknąć obrażeń. Ważne jest również zachowanie ostrożności podczas produkcji.

OSHA zauważa, że zamknięte przestrzenie mogą powodować takie problemy jak uduszenie, ze względu na niski poziom tlenu. Dlatego menedżerowie muszą wcześniej



sprawdzić obszary, aby chronić pracowników. Problemy te są najbardziej obecne w sektorze wiatrowym, ponieważ turbiny wymagają pracy wewnątrz i obsługi.

14 Energia odnawialna stwarza wyjątkowe zagrożenia dla pracowników

Chociaż energia odnawialna jest najlepsza dla zdrowia planety, pracownicy zaangażowani w tej dziedzinie mogą napotkać wyjątkowe problemy związane z bezpieczeństwem. Wiele zagrożeń jest wspólnych dla całego sektora energetycznego, ale czysta energia wymaga specjalistycznych działań. Oznacza to, że istnieją inne zagrożenia.

W miarę rozwoju branży czystej energii menedżerowie, instalatorzy i operatorzy muszą tworzyć środki bezpieczeństwa. Organy takie jak OSHA oferują pomocne i możliwe do zastosowania procedury dla wszystkich pracowników sektora energetycznego, co jest solidnym miejscem do rozpoczęcia. Jednak w przyszłości potrzeba więcej pracy

15 Zdrowie i bezpieczeństwo w przemyśle wiatrowym

Rozwój sektora energetyki wiatrowej od lat 80. ubiegłego wieku stanowi istotne wyzwanie w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy. Charakterystyka BHP w całym łańcuchu dostaw przemysłu wiatrowego: produkcja, lokalizacja, transport, budowa i konserwacja, różni się od charakterystyki innych sektorów przemysłowych. Unikalne warunki środowiskowe i miejsca pracy sprawiają, że problemy związane z BHP są znaczące.

Praktyki BHP w przemyśle wiatrowym, w tym szkolenia, certyfikacja i standardowe procedury operacyjne, zostały dostosowane do wzrostu i zapotrzebowania. Postęp technologiczny i rozwój zostały wykorzystane w celu zapewnienia jak najbezpieczniejszych warunków. Główne czynniki ewolucji bhp obejmują:

- Przekonanie i zaangażowanie firm z branży
- Przejrzystość
- Komunikacja
- Zaangażowanie pracowników
- Ciągłe dążenie do poprawy



Obecnie bhp jest jedną z kluczowych sił napędowych sektora wiatrowego w dążeniu do uczynienia energii wiatrowej niezawodną i zrównoważoną.

Wielodyscyplinarny cykl przemysłowy związany z energią wiatrową obejmuje tworzenie map wiatru, produkcję i transport maszyn i części, instalacje i uruchamianie itp. Tak więc, począwszy od badań, poprzez produkcję elementów turbin wiatrowych, aż po transport i serwisowanie turbin, zagrożenia związane z BHP występują na każdym etapie procesu.

Choć sektor energetyki wiatrowej jest szczególnie złożony i wyjątkowy, to jednak wiąże się z dodatkowymi zagrożeniami. Wynikają one z istotnych działań biznesowych lub zależą od czynników topograficznych, środowiskowych i innych.

Sektor energii wiatrowej rozwija się, a wraz z tym pojawia się ciągła odpowiedzialność za zapewnienie bezpiecznych warunków pracy pracownikom wykonującym instalacje, procedury konserwacyjne i rutynowe operacje. Większość pracowników, zarówno na lądzie, jak i na morzu, pracuje na wysokościach, wiele razy dziennie wspina się po drabinach, pracuje w zamkniętych przestrzeniach (a czasem w niewygodnych pozycjach), wkłada duży wysiłek fizyczny i jest narażona na działanie chemikaliów, oparów i pyłów. Jako że BHP leży na pierwszym planie każdego przemysłowego łańcucha dostaw, wysiłki mające na celu promowanie bezpieczniejszych środowisk pracy w sektorze energii wiatrowej urzeczywistniają się na kilka sposobów.

Środowisko pracy na morzu stwarza dodatkowe zagrożenia, takie jak:

1. Transfery personelu: Podczas transferów pomiędzy statkami morskimi, helikopterami lub turbinami wiatrowymi istnieje ryzyko kolizji lub upadku do wody.
2. Operacje nurkowe: Zagrożenia podczas instalacji, układania kabli i konserwacji.
3. Ewakuacje awaryjne: W przypadku pożaru, eksplozji lub ciężkich warunków pogodowych mogą spowodować opóźnienia w wysyłce, a pracownicy mogą utknąć na wiele dni. W tym przypadku należy również rozważyć odległości podróży podczas sytuacji awaryjnych.
4. Ryzyko strukturalne: Prądy, działanie fal i korozja wpływają na elementy turbiny.
5. Operacje podnoszenia: Zwiększone obciążenia wiatrem stwarzają ryzyko przemieszczania się statków podczas podnoszenia i ruchu turbin.



Kluczowe znaczenie ma włączenie bezpieczeństwa do środowiska pracy, a nacisk kładzie się na podejście "bezpieczne w fazie projektowania". Oznacza to określenie potrzeby eskorty, planowania awaryjnego, ograniczonych dróg dostępu, ograniczonych korytarzy drogowych i ograniczania punktów zwrotnych.

Gdy pracownicy wspinają się na turbiny, powinni być wspomagani przez najnowocześniejsze technologie - tj. urządzenia zabezpieczające, narzędzia dostępu i sprzęt kontrolny. Bezzałogowe statki powietrzne (drony) mogą zmniejszyć potrzebę fizycznych kontroli, a ponadto są szybsze, bezpieczniejsze i nie stanowią zagrożenia dla pracowników.

Po zapewnieniu, że podejścia do bezpieczeństwa w sektorze są "bezpieczne w fazie projektowania", kolejnym krytycznym elementem jest właściwe szkolenie. Skuteczne zarządzanie projektem zależy od:

- Dostępność kompetentnych osób do pełnienia ról związanych z bezpieczeństwem
- Skuteczne przekazywanie informacji dotyczących bezpieczeństwa odpowiednim osobom (wykonawcom i pracownikom)
- Określenie kluczowych wskaźników efektywności w celu promowania bezpiecznych warunków pracy
- Monitorowanie wyników zgodnie z instrukcjami dotyczącymi metod pracy

Szkolenia (czy to na morzu, czy na lądzie) powinny obejmować podstawową pierwszą pomoc, świadomość pożarową, ratownictwo na morzu, szkolenia w zakresie ucieczki z helikoptera pod wodą, odpowiednie stosowanie PPE i bezpieczeństwo osobiste. Pracownicy powinni posiadać solidną wiedzę na temat systemów ochrony przed upadkiem oraz sprzętu do wykonywania zadań związanych z konserwacją i inspekcją. Lepsze kontrole inżynierskie, skrócone cykle konserwacji i zdalne inspekcje pomagają poprawić zdrowie i bezpieczeństwo pracowników. Global Wind Organization (GWO) jest wiodącą organizacją non-profit, która dba o standardy szkoleniowe w sektorze energii wiatrowej.

Mimo że energia wiatrowa jest "zielona" i "dobra" dla środowiska, konieczna jest wystarczająca ostrożność i zapobieganie, aby przezwyciężyć zagrożenia związane z BHP. Kiedy wytyczne i procedury są zharmonizowane, firmy mogą współpracować w



lepszy sposób, mogą "zaprojektować" zagrożenia i ryzyko, co prowadzi do znacznej poprawy najlepszych praktyk w całej branży.

16 Zagrożenia BHP związane z budową turbin wiatrowych

Budowa jest postrzegana jako najbardziej skomplikowany i prawdopodobnie najbardziej niebezpieczny etap cyklu życia turbiny wiatrowej, ponieważ obejmuje instalację głównych komponentów, w tym fundamentu i elementu przejściowego oraz montaż turbiny wiatrowej. Obejmuje on większość ciężkich prac związanych z podnoszeniem elementów turbiny oraz wykonywanie wielu zadań w krótkim czasie, co stwarza szereg problemów związanych z bezpieczeństwem. Mimo że liczba pracowników zaangażowanych w fazę montażu zależy od wielkości farmy wiatrowej, jest to najbardziej pracochłonna faza w jej rozwoju i eksploatacji. Wreszcie, należy pamiętać, że prace budowlane odbywają się na obszarach wietrznych, a wysokość turbin projektuje się tak, aby umieścić łopaty w miejscach, gdzie wiatr wieje najsilniej. Implikacje dotyczące bezpieczeństwa pracy na wysokości oraz narażenia na działanie silnego wiatru muszą być dokładnie rozważone w trakcie całego etapu budowy. Ruchliwe obszary, takie jak Morze Północne, w ciągu najbliższych kilku lat będą nadal obserwować wzrost aktywności. Przemysł morskiej energetyki wiatrowej konkuruje o przestrzeń ze szlakami żegludowymi, operatorami platform morskich i innymi interesariuszami. Ponieważ dostęp do morskich platform wiertniczych odbywa się zazwyczaj za pomocą helikoptera, budowa morskich farm wiatrowych w pobliżu tych platform stanowi wyzwanie. Należy wziąć pod uwagę kwestie bezpieczeństwa helikopterów, a czas niedostępności platformy nie powinien się zbytnio wydłużyć. Kluczowe etapy budowy farmy wiatrowej obejmują:

17 Rozwój podstawy lądowych

- Roboty ziemne i kopce ekranujące
- Budowa dróg dojazdowych
- Budowa sterowni
- Dostawa transformatora
- Wewnętrzne drogi betonowe i chodniki
- Instalacje elektryczne i mechaniczne



- Uruchomienie podstacji
- Montaż kabli eksportowych
- Zakończenie budowy

18 Lądowa farma wiatrowa

- Budowa drogi dojazdowej
- Wykopy pod fundamenty
- Zbrojenie stalowe i podstawa
- Zakończono budowę podstawy turbiny i obudowy transformatora
- Montaż pierwszej sekcji wieży i gondoli
- Zamontowanie łopatek
- Prowadzenie kabli do podstacji

19 Morska farma wiatrowa

- Baza konstrukcji offshore budowana w porcie
- Instalacja fundamentów
- Instalacja podstacji morskich i rozpoczęcie instalacji kabli macierzystych
- Instalacja pierwszego kabla eksportowego
- Instalacja turbiny
- Instalacja pozostałych kabli eksportowych
- Wygenerowanie pierwszej mocy
- Montaż ostatniej turbiny
- Przekazanie projektu zespołowi ds. eksploatacji i konserwacji

20 Zagrożenia występujące na etapie budowy farm wiatrowych

Poniżej przedstawiono główne zagrożenia, z którymi pracownicy będą mieli do czynienia podczas budowy farm wiatrowych zarówno na lądzie, jak i na morzu.

- Spadające konstrukcje, ładunki lub przedmioty podczas operacji podnoszenia.
- Upadki z wysokości.
- Zagrożenia mechaniczne, takie jak kontakt z ruchomymi częściami.
- Offshore - operacje morskie i transport, na przykład kolizje statków lub wypadnięcie człowieka za burtę.



- Elektryczne - zwarcia, przeładowania, zjawiska elektrostatyczne lub upadki z powodu porażenia prądem.
- Pożar lub wybuch turbiny (użycie materiałów łatwopalnych) lub statku.
- Ręczne przemieszczanie.
- Ergonomia - skutki fizjologiczne w wyniku podnoszenia ciężarów i powtarzających się ruchów, zmęczenie związane z wchodzeniem na drabiny lub pracą w ograniczonych przestrzeniach. Praca z substancjami niebezpiecznymi.
- Praca w przestrzeniach zamkniętych - konfiguracja wszystkich gondoli klasyfikuje je jako przestrzeń zamkniętą.
- Środowiskowe - wiatr, fale i prądy, czy wyładowania atmosferyczne. Organizacyjne - presja czasu, niewystarczające wyposażenie bezpieczeństwa lub jego brak, brak kompetencji lub umiejętności w zakresie sektora energetyki wiatrowej, różne podmioty/firmy zaangażowane w tę samą operację.
- Narażenie na hałas i wibracje.
- Ewakuacja osób z turbin wiatrowych w wyniku zmieniających się warunków pogodowych i lokalizacji może stanowić wyzwanie.

21 Konkluzje

Ogólnie rzecz biorąc, nasz przegląd sugeruje, że istnieje ograniczona recenzowana literatura naukowa dotycząca zagrożeń dla zdrowia w pracy w sektorze farm wiatrowych, przy czym badania dotyczące eksploatacji i konserwacji FW koncentrują się głównie na stresie fizycznym. Dlatego też dla higienistów pracy oraz specjalistów ds. bezpieczeństwa i higieny pracy branża FW stanowi wyzwanie do zrozumienia ze względu na brak badań specyficznych dla danego kontekstu, dotyczących unikalnych i połączonych zagrożeń oraz dostosowanych do nich kontroli prewencyjnych. Pomimo tego, że istnieje wiele badań dotyczących zdrowia środowiskowego farm wiatrowych i ich potencjalnego wpływu na mieszkańców pobliskich społeczności.

Dlatego też konieczna jest dalsza współpraca pomiędzy władzami rządowymi i regulacyjnymi, instytucjami akademickimi i badawczymi oraz przemysłem w celu zwiększenia wiedzy na temat zagrożeń BHP i ryzyka w sektorze farm wiatrowych. Jest to istotne ze względu na prognozowany wzrost liczby farm wiatrowych i związany z



tym wzrost zatrudnienia w branży, co może zwiększyć potencjał narażenia, zwłaszcza w przypadku istnienia zagrożeń ukrytych. Ponieważ sektor energii wiatrowej jest stosunkowo nowy, długoterminowy wpływ nowych konstrukcji turbin wiatrowych, materiałów i zdalnych instalacji na zdrowie pracowników pozostaje nieznany.

22 Wprowadzenie

Celem tego kursu jest obniżenie kosztów i poprawa efektywności obsługi i konserwacji (O&M) systemów fotowoltaicznych (PV) oraz połączonych systemów fotowoltaicznych i magazynów energii. Raportowane koszty O&M różnią się znacznie w zależności od wymagań systemu i charakteru umowy O&M, ale bardziej standardowe podejście do planowania i dostarczania O&M ma potencjał, aby zarówno zmniejszyć koszty, jak i uczynić je bardziej przewidywalnymi w czasie. Jednak większą korzyścią z usprawnień w zakresie O&M jest zwiększenie wydajności. Dane aktuarialne wskazują, że kompleksowa O&M systemu fotowoltaicznego mogłaby poprawić średni współczynnik wydajności (PR, skorygowany o wiek i temperaturę) systemów z 91,7 do co najmniej 95%, co stanowi znaczny wzrost przychodów i korzyści środowiskowych systemu fotowoltaicznego (oSPARC 2018). Do czynników napędzających poprawę O&M należą: zwiększenie wydajności i dostawy energii (kWh/kW), zmniejszenie przestojów (godziny/rok), wydłużenie żywotności systemu (np. z 25 do 40 lat dla modułów fotowoltaicznych), zmniejszenie kosztów O&M (\$/kW/rok), zapewnienie bezpieczeństwa i zmniejszenie ryzyka, poprawa wyglądu oraz spełnienie wymogów finansowania i gwarancji. Na potrzeby tego kursu kluczowe terminy zostały zdefiniowane poniżej.

Zarządzanie aktywami to systematyczny proces planowania, eksploatacji, utrzymania, modernizacji i wymiany lub pozbywania się aktywów w sposób efektywny przy minimalnym ryzyku i na oczekiwanym poziomie obsługi przez cały cykl życia aktywów. Obejmuje on zatem wszystkie usługi, które wchodziłyby w zakres O&M, ale także operacje usług biznesowych, takie jak wystawianie rachunków i zbieranie należności z umów o zakup energii (PPA) i systemów opartych na leasingu (DOT 1999). Zarządzanie majątkiem obejmuje planowanie i budżetowanie O&M, administrację, fakturowanie, księgowość, przygotowywanie i wypełnianie dokumentów podatkowych, zatrudnianie podwykonawców, egzekwowanie gwarancji, zarządzanie



budżetem i rezerwami, polisy ubezpieczeniowe, certyfikację i handel certyfikatami energii odnawialnej (REC), raportowanie wydajności, nadzór nad zakładem, kontrolę jakości, dokumentację powykonawczą zakładu, bieżącą zgodność z przepisami ochrony środowiska oraz zgodność z wszelkimi innymi wymogami prawnymi lub użytkowymi.

Właściciel aktywów posiada tytuł prawny do systemu fotowoltaicznego lub portfela systemów i może być osobą fizyczną, korporacją lub, najczęściej, korporacją specjalnego przeznaczenia, taką jak spółka z ograniczoną odpowiedzialnością (LLC), utworzoną wyłącznie w celu realizacji i obsługi projektu fotowoltaicznego.

23 Działania fotowoltaiczne

Działalność fotowoltaiczna obejmuje pięć następujących obszarów:

1. Administrowanie operacjami: Zapewnia efektywne wdrożenie i kontrolę usług O&M, w tym przechowywanie rysunków powykonawczych, inwentaryzacji sprzętu, instrukcji dla właścicieli i obsługi oraz gwarancji. Kuratorstwo obejmuje nie tylko prowadzenie archiwum, ale także wybór tego, co należy zachować, poszukiwanie brakujących dokumentów, konserwację dokumentów, ich aktualizację i wreszcie archiwizację dokumentów. Administracja obejmuje prowadzenie rejestrów wydajności i środków O&M, przygotowywanie zakresów prac i kryteriów wyboru dla dostawców usług, zawieranie umów z dostawcami i usługodawcami, płacenie faktur, przygotowywanie budżetu oraz zabezpieczanie finansowania i planów awaryjnych dla usług O&M. Administracja obejmuje również przestrzeganie przepisów wydanych przez rząd lub właściwe władze oraz obowiązkowych wytycznych wydanych przez przedsiębiorstwa użyteczności publicznej.

2. Prowadzenie operacji: Zapewnia wydajne, bezpieczne i niezawodne działanie procesu, w tym podejmowanie decyzji o działaniach konserwacyjnych w oparciu o analizę kosztów i korzyści. Obejmuje to pełnienie funkcji punktu kontaktowego dla personelu w zakresie obsługi systemu fotowoltaicznego, koordynację działań z innymi podmiotami w zakresie obsługi systemu, przygotowywanie prognoz dotyczących mocy i energii, planowanie działań konserwacyjnych, sporządzanie wykazu zapasów części zamiennych (znajdujących się w magazynie na miejscu lub w magazynach



konsygnacyjnych dostawców) oraz kontrolę prac i zatwierdzanie faktur. W międzyczasie eksploatacja obejmuje każdą codzienną obsługę systemu w celu maksymalizacji dostaw energii, oceny wydajności i trendów, obsługi interfejsu sieciowego, zarządzania ograniczeniami lub regulacji ustawień, takich jak współczynnik mocy lub inne usługi pomocnicze. Działania operacyjne związane ze współpracą z przedsiębiorstwem energetycznym lub integracją/kontrolą systemu dystrybucyjnego mają coraz większe znaczenie, ponieważ poszczególne elektrownie stają się coraz większe, a penetracja systemów fotowoltaicznych coraz bardziej skoncentrowana.

3. Kierunki wykonywania prac: Określa zasady i przepisy zapewniające bezpieczne i efektywne wykonywanie prac konserwacyjnych, w tym formalizację i egzekwowanie polityki bezpieczeństwa [w tym szkolenia w zakresie bezpieczeństwa prądu stałego (DC) i prądu zmiennego (AC)], bezpieczeństwa na dachach, minimalnych wymagań dotyczących personelu, błysku łuku elektrycznego oraz blokady/wyłączenia urządzenia (lock-out/tag-out); godzin pracy; dostępu do miejsca, obszarów rozładunku i parkingu; oraz wszelkich innych warunków, na podstawie których wykonywane są prace. Obejmuje to potwierdzenie i egzekwowanie kwalifikacji dostawców usług, jak również zgodność z wszelkimi zasadami ochrony środowiska lub zasadami na poziomie zakładu dotyczącymi obchodzenia się z materiałami kontrolowanymi (np. rozpuszczalnikami, środkami chwastobójczymi, insektami).

4. Monitorowanie: Utrzymanie systemu monitorowania i analiza danych wynikowych w celu uzyskania informacji o stanie systemu, pomiarach przychodów, alarmach, diagnostyce i monitorowaniu bezpieczeństwa. Obejmuje porównywanie wyników monitorowania systemu z oczekiwanymi wzorcami i dostarczanie raportów zainteresowanym stronom obiektu. Obejmuje to okresowe przygotowywanie raportów zgodnie z wymogami umowy O&M lub wymogami właściciela systemu, w tym raportów dotyczących wydajności zakładu, kluczowych wskaźników wydajności, problemów i alarmów oraz wykonanych usług konserwacyjnych. Ochrona obiektu jest realizowana zarówno lokalnie jak i poprzez zdalny monitoring (np. kamery, alarmy przeciwwłamaniowe) w celu ochrony przed kradzieżą i wandalizmem.



5. Wiedza operatora, protokoły, dokumentacja: Zapewnia, że wiedza operatora, szkolenie i wydajność będą wspierać bezpieczne i niezawodne działanie zakładu. Informacje takie jak rysunki elektryczne, specyfikacje części, podręczniki, informacje o wydajności i zapisy muszą być celowo utrzymywane i odpowiednio przechowywane/katalogowane.

24 Konserwacja fotowoltaiczna

Konserwacja fotowoltaiczna obejmuje następujące cztery rodzaje procedur konserwacyjnych:

1. Zarządzanie utrzymaniem: Pokrywa się z "administrowaniem eksploatacją" i zapewnia skuteczne wdrożenie, kontrolę i dokumentację usług i wyników konserwacji. Administracja obejmuje tworzenie budżetów i zabezpieczanie funduszy na konserwację zapobiegawczą, tworzenie rezerw lub linii kredytowych na konserwację naprawczą, planowanie usług w celu uniknięcia konfliktu z działaniem systemu lub działaniem u klienta, korespondencję z klientami, wybór i zawieranie umów z dostawcami usług i producentami sprzętu, prowadzenie rejestrów, egzekwowanie gwarancji, przekazywanie informacji zwrotnych projektantom nowych systemów oraz sporządzanie raportów dotyczących działania systemu i skuteczności programu konserwacji i utrzymania.

2. Konserwacja zapobiegawcza: Harmonogram i częstotliwość konserwacji zapobiegawczej ustala funkcja operacyjna, a wpływ na nią ma wiele czynników, takich jak typ sprzętu, warunki środowiskowe w miejscu instalacji (np. morskie, śnieg, pyłki, wilgotność, kurz, dzikie zwierzęta) oraz warunki gwarancji. Planowa konserwacja jest często przeprowadzana w odstępach czasu zgodnych z zaleceniami producentów, zgodnie z gwarancjami na sprzęt.

3. Konserwacja naprawcza: Wymagana do naprawy uszkodzeń lub wymiany uszkodzonych komponentów. Niektóre czynności konserwacyjne, takie jak reset falownika lub reset komunikacji, można wykonać zdalnie. Ponadto mniej pilne zadania związane z konserwacją korygującą można połączyć z zaplanowanymi zadaniami związanymi z konserwacją zapobiegawczą.



4. Konserwacja oparta na stanie: Konserwacja oparta na stanie to praktyka wykorzystywania informacji w czasie rzeczywistym z rejestratorów danych do planowania działań zapobiegawczych, takich jak czyszczenie, lub do zapobiegania problemom związanym z konserwacją korygującą poprzez przewidywanie awarii lub ich wczesne wychwytywanie. Ponieważ środki uruchamiane w zależności od stanu są takie same jak środki zapobiegawcze i naprawcze, nie wymienia się ich osobno. Raczej konserwacja oparta na stanie

25 Zdrowie i bezpieczeństwo

Właściciel aktywów jest ostatecznie odpowiedzialny za bezpieczeństwo związane z systemem fotowoltaicznym i musi spełnić tę odpowiedzialność poprzez określone wymagania umów serwisowych O&M oraz ograniczyć ryzyko poprzez ubezpieczenie od wypadków i odpowiedzialności. Serwisowanie i konserwacja systemów akumulatorowych wiąże się z ważnymi kwestiami dotyczącymi środowiska i bezpieczeństwa. Akumulatory często zawierają materiały takie jak kwas i ołów znajdujące się w akumulatorach kwasowo-ołowiowych, które stanowią nie tylko bezpośrednie zagrożenie dla personelu, ale również staranną opiekę nad nimi przez cały okres eksploatacji, kończący się pełnym recyklingiem zużytego akumulatora.

W Stanach Zjednoczonych OSHA (www.osha.gov) promulguje przepisy związane z bezpieczeństwem w miejscu pracy. Kwestie bezpieczeństwa i higieny pracy w sektorze fotowoltaicznym dotyczą osób zaangażowanych w prace budowlane lub konserwację urządzeń elektrycznych, kontrolę roślinności i systemów fotowoltaicznych. Ochrona przed upadkiem z dachu, porażenie prądem, ochrona przed łukiem elektrycznym, lock-out/tag-out oraz odwodnienie i stres cieplny mają szczególne znaczenie dla pracowników zajmujących się konserwacją systemów fotowoltaicznych. Należy pamiętać, że kwestie bezpieczeństwa i higieny pracy dotyczą wszystkich pracowników i miejsc pracy, nawet pracowników biurowych (np. ergonomia, bezpieczne środowisko pracy). Wszyscy pracownicy muszą przejść przynajmniej podstawowe szkolenie z zakresu bezpieczeństwa i przynajmniej orientować się w zagrożeniach charakterystycznych dla każdego systemu.

Usługi O&M są zwykle świadczone przez małe zespoły pracowników, a posiadanie w każdym zespole specjalisty ds. bezpieczeństwa i higieny pracy podczas każdej wizyty



na budowie jest nieopłacalne. W rezultacie wykonawca usług O&M zależy od silnej kultury bezpieczeństwa oraz dobrze wyszkolonych pracowników. Bezpieczeństwo i higiena pracy są zwykle uważane za koszty pośrednie i należą do kategorii kosztów ogólnych. Składa się głównie z funkcji szkoleniowych, inspekcyjnych i audytowych, z typowymi usługami, które mogą obejmować:

- Okresowe kontrole środków ochrony osobistej
- Obserwacja pracowników podczas wykonywania przez nich pracy, wykorzystująca momenty, w których można się czegoś nauczyć.
- inspekcje w miejscu pracy w celu zapewnienia, że środki takie jak martwe fronty na panelach elektrycznych i inne osłony są na miejscu.

Ponieważ systemy fotowoltaiczne produkują energię tylko od wschodu do zachodu słońca, zespoły O&M muszą wyłączać instalację każdej nocy. Wielu wykonawców O&M wykonuje swoje prace w nocy, pracując tylko na systemach wyłączonych spod napięcia. Chociaż praca w nocy niesie ze sobą pewne ryzyko, jest ono niższe niż to, które występuje, gdy urządzenia są pod napięciem. Praca w nocy zakłada, że problemy zostały zidentyfikowane w sposób pewny i że wykonywana praca prawdopodobnie rozwiąże problem (EUCI 2016).

Środki ochrony indywidualnej są wymagane na wszystkich stanowiskach pracy w zależności od zagrożeń. Ważne jest, aby zrozumieć, że zapewnienie sprzętu nie jest wystarczające - użytkownik sprzętu musi być przeszkolony i w większości przypadków certyfikowany w zakresie jego użytkowania, a stan sprzętu musi być stale oceniany i w razie potrzeby wymieniany. Środki ochrony indywidualnej często spotykane w konserwacji systemów fotowoltaicznych obejmują następujące elementy (które nie są wyczerpujące i zależą od konkretnych okoliczności):

- Ogólne: Większość miejsc wymaga przez cały czas noszenia kasku, okularów ochronnych, kamizelki ochronnej i butów roboczych (preferowane są buty ze stalowymi palcami).
- Blokada/wyłączenie: Blokad i znaczniki są ukształtowane tak, aby pasowały do typów wyłączników i wyłączników w systemie oraz procedury blokowania obwodów, aby ktoś nieświadomy nie włączył pod napięcie obwodu, nad którym pracuje ktoś inny.



- Ochrona przed upadkiem: Praca na podwyższonych wysokościach wymaga ochrony przed upadkiem, która może obejmować osobiste systemy zatrzymywania upadków i poręcze wokół otworów i krawędzi dachów.
- Ochrona przed łukiem elektrycznym: Osłona twarzy, kask, rękawice i fartuch dostosowane do ilości energii łuku elektrycznego, która jest obliczana na podstawie szczegółów obwodu, nad którym się pracuje.

Systemy magazynowania w instalacjach fotowoltaicznych i magazynowych wymagają wielu pokrywających się norm bezpieczeństwa i środków ostrożności, szczególnie tych, które dotyczą pracy na przewodach prądu stałego, a także wnoszą zestaw nowych, specyficznych dla danej technologii aspektów. Wiele systemów magazynowych będzie budowanych zgodnie z różnymi standardami bezpieczeństwa, ale w utrzymaniu ich w odpowiednim stanie technicznym ważną rolę odgrywają także służby utrzymania ruchu.

26 Lista kontrolna BHP

Do rozważań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy należą:

1. Spotkaj się z "pierwszymi respondentami", takimi jak szeryf pożarny, lokalna straż pożarna, osoby udzielające pierwszej pomocy i policja, aby zapoznać ich z dostępem i wyłączeniami oraz uświadomić im cel i lokalizację zakładu.

2. Kontroluj dostęp do miejsca i poinformuj gości i pracowników o procedurach bezpieczeństwa.

3. Identyfikacja zagrożeń unikalnych dla danego miejsca i systemu oraz planowanie pracy w celu zmniejszenia ryzyka związanego z tymi i wszystkimi zagrożeniami.

4. Stosowanie firmowego podręcznika BHP, który ustanawia odpowiednie zasady i procedury dotyczące zgłaszania problemów związanych ze zdrowiem i bezpieczeństwem, urazów, niebezpiecznych warunków, oceny ryzyka oraz udzielania pierwszej pomocy i reagowania w sytuacjach awaryjnych.



5.Sprawdź, czy spełnia on wszystkie prawa i przepisy dotyczące bezpieczeństwa w miejscu pracy; podręcznik powinien zawierać pełną listę wymagań dotyczących szkoleń personelu i certyfikatów.

6.Wyznaczenie koordynatora ds. zdrowia i bezpieczeństwa lub punktu kontaktowego dla pytań lub skarg.

7.Posiadanie jednostki uprawnionej do okresowej inspekcji i zatrzymywania prac w celu weryfikacji, czy środki bezpieczeństwa są stosowane i przestrzegane.

8.Upewnić się, że cały personel budowy jest wyposażony w kompletny sprzęt ochrony osobistej do wykonania zadania, w tym ochronę przed upadkiem z dachów i ochronę przed łukiem elektrycznym przy pracy na obwodach pod napięciem.

9.Upewnić się, że cały personel spełnił wymagania szkoleniowe i certyfikacyjne NFPA 70E dotyczące bycia pracownikiem wykwalifikowanym.

10.Upewnić się, że obszary zagrożone posiadają jasne i wyraźne oznakowanie identyfikujące zagrożenie dla uprawnionych lub nieuprawnionych gości oraz że goście są odsunięci od zagrożeń za pomocą obudów i barier.

11.Upewnienie się, że kierownik budowy (jeśli dotyczy) posiada minimum certyfikat OSHA 30, a cały personel budowy posiada certyfikat OSHA 10.

12.Utrzymanie wskaźnika całkowitego przypadku OSHA na poziomie 5,00 lub mniejszym lub podobnego wskaźnika opartego na zasadniczo równoważnym, przyjętym środku używanym do zgłaszania urazów w miejscu pracy.

27 Konserwacja instalacji solarnej: od kontroli systemu po doposażenie i ponowne zasilenie

Wydajność odgrywa ważną rolę w eksploatacji instalacji solarnej. Samo zainstalowanie instalacji fotowoltaicznej to jeszcze nie koniec: aby zapewnić optymalny uzysk z poszczególnych paneli słonecznych, konieczna jest regularna konserwacja. Mimo że systemy fotowoltaiczne są z reguły bezobsługowe i mogą działać bezawaryjnie przez wiele lat, są one jednak instalacjami elektrycznymi.



Oznacza to, że istnieją prawne wymagania dotyczące regularnych kontroli, których muszą przestrzegać operatorzy instalacji.

W tym celu operatorzy instalacji słonecznych mogą zlecić usługodawcy przeprowadzenie konserwacji w formie kontroli systemu, a w razie potrzeby także działań związanych z przebudową lub zasilaniem. Zespół ekspertów z działu SENS Service specjalizuje się w optymalizacji, monitorowaniu i naprawach systemów fotowoltaicznych.

Ogólnie rzecz biorąc, można rozróżnić trzy rodzaje konserwacji:

1. konserwacja naprawcza
2. konserwacja zapobiegawcza
3. konserwacja prewencyjna

Konserwacja naprawcza obejmuje naprawę systemu po otrzymaniu komunikatu o błędzie. Chociaż **konserwacja predykcyjna** nadal stanowi opcję na przyszłość, ponieważ obejmuje interwencje oparte na danych historycznych i danych w czasie rzeczywistym dotyczących konserwacji, obecnie coraz częściej stosuje się **konserwację zapobiegawczą**. Ma to tę zaletę, że konserwacja nie jest przeprowadzana tylko w przypadku problemu, ale odbywa się regularnie, aby zapewnić optymalne działanie systemu. Zapobiega to awariom, a tym samym oszczędza koszty. Poniższy tekst dotyczy konserwacji zapobiegawczej.

Dla takich przypadków SENS oferuje swoim klientom konserwację blokową w oparciu o standardowe umowy. Gwarantują one przejrzystość i pozostawiają klientowi decyzję o tym, jakie działania zostaną podjęte podczas konserwacji. Oprócz wspomnianych powyżej usług naprawczych i zapobiegawczych, specyfikacja takiej umowy konserwacyjnej obejmuje również ekspertyzy, kontrole systemu i monitorowanie instalacji. Konserwacja istniejącego systemu odbywa się w kilku etapach.



Krok 1: kontrola systemu jako podstawa konserwacji systemu fotowoltaicznego

Tak zwane "kontrole systemu" stanowią podstawę prewencyjnej konserwacji instalacji solarnych, która ma na celu pomoc w zapewnieniu bezstratnego uzysku. Jest to analiza aktualnej sytuacji. Kontrola systemu służy przede wszystkim do identyfikacji błędów i możliwości optymalizacji w istniejącej instalacji oraz do ich bezpośredniego usunięcia w krótkim lub średnim terminie. Rejestrowane są m.in. materiały, z których wykonane są kable, charakterystyki, ustawienia regulatorów prądu, rodzaj instalacji falownika oraz ułożenie kabli na miejscu. Na przykład należy zidentyfikować wadliwe moduły fotowoltaiczne lub falowniki. Dzięki tej kontroli można określić aktualny stan systemu, a potencjał poprawy staje się bezpośrednio widoczny.

Krok 2: planowanie środków w zakresie modernizacji, przekształcenia, przebudowy lub ponownego zasilania

Po pomyślnym zakończeniu kontroli systemu nasi eksperci mogą ocenić jej wyniki: wspólnie z klientem opracowywany jest plan działań w zakresie modernizacji, przebudowy, doposażenia lub ponownego zasilania. Na tym etapie należy zawsze uwzględnić specyfikacje producenta, regulacje operatora sieci, obowiązujące normy i przepisy oraz lokalne warunki pogodowe. Często wystarczy wymienić uszkodzone komponenty, jeśli nie spełniają one już najnowszych osiągnięć technologicznych lub wykazują wady funkcjonalne.

Krok 3: oszczędzające zasoby zaopatrzenie w materiały

Po zakończeniu planowania uzgodnionych działań można rozpocząć ich realizację. Istotną rolę odgrywa przy tym zaopatrzenie w materiały. SENS dba o to, aby wymagania zostały określone jak najdokładniej, aby następnie maksymalnie oszczędzić zasoby. Oznacza to również znaczne oszczędności dla klienta.

Krok 4: doposażenie i zasilanie systemu solarnego



Po wyjaśnieniu wszystkich podstawowych warunków konserwacji można rozpocząć refitting lub repowering systemu fotowoltaicznego. Oba te terminy techniczne nie są chronione i zasadniczo opisują modernizację całego systemu lub przynajmniej poszczególnych jego elementów. Dla ekspertów z firmy SENS refitting oznacza ulepszenie komponentów nieistotnych dla produkcji, takich jak np. system zdalnego monitoringu. W przeciwieństwie do repoweringu, tutaj efekt jest często niedoceniany. Jednak zmiana dostawcy monitoringu wraz z ewentualną wymianą sprzętu do rejestracji danych może również w znacznym stopniu przyczynić się do poprawy czasu reakcji w przypadku awarii, a tym samym do zwiększenia wydajności instalacji. Szczególnie z powodu rozwoju technicznego często zachodzi potrzeba modernizacji systemu.

28 RUTYNOWA PLANOWA KONSERWACJA ZAPOBIEGAWCZA

Jedną z najcenniejszych technik identyfikacji istniejących problemów i zapobiegania przyszłym problemom jest spacer po obiekcie i przeprowadzenie dokładnej kontroli wizualnej i praktycznej komponentów systemu fotowoltaicznego.

Kontrole te powinny być przeprowadzane w regularnych odstępach czasu, a personel powinien korzystać z list kontrolnych opracowanych dla tych okresowych czynności konserwacyjnych, aby zapewnić, że kontrole są dokładne i kompletne.

29 Ogólna roczna inspekcja terenu

Przynajmniej raz w roku personel O&M powinien przeprowadzić ogólną inspekcję miejsca instalacji fotowoltaicznej. Podczas tej inspekcji technicy powinni:

- zapewnić wodoszczelność przejść dachowych, jeśli dotyczy
- upewnić się, że odwadnianie dachu jest odpowiednie, że odpływy dachowe nie są zatkane, oraz potwierdzić, że nie ma śladów gromadzenia się wody w pobliżu macierzy
- sprawdzić, czy nie ma wzrostu roślinności lub innych nowych elementów zacieniających, takich jak antena satelitarna
- sprawdzić, czy nie występuje erozja gruntu w pobliżu stóp systemu montowanego na ziemi;



- sprawdzić, czy zastosowano właściwe oznakowanie systemu
- sprawdzić, czy w długich przewodach zastosowano odpowiednie kompensatory, tam gdzie jest to konieczne;
- sprawdzić, czy dostęp do obudów elektrycznych ma tylko upoważniony personel, czy są one zabezpieczone kłódkami lub zamkami szyfrowymi i czy mają oznakowanie ograniczonego dostępu;
- sprawdzić, czy na zewnątrz obudów i systemu regałów nie ma korozji;
- sprawdzić czystość w całym obiekcie - nie powinno być żadnych zanieczyszczeń w obszarze poduszki falownika ani w innych miejscach;
- sprawdzić, czy nie ma luźno zwisających przewodów w tablicy;
- sprawdzenie, czy pod urządzeniami nie ma śladów obecności zwierząt.

30 Szczegółowe kontrole wizualne

Instalacja powinna być regularnie kontrolowana pod kątem problemów, które mają wpływ na integralność fizyczną lub wydajność systemu fotowoltaicznego.

Oględziny powinny obejmować następujące czynności:

- Sprawdzić falownik/podkładkę elektryczną, czy nie wykazuje nadmiernych pęknięć lub oznak zużycia. Przetwornica powinna być przykręcona do podkładki we wszystkich punktach mocowania zgodnie z wymaganiami instalacyjnymi producenta. W zależności od wielkości, lokalizacji i dostępności systemu dla niewykwalifikowanego personelu, falowniki, skrzynki rozdzielcze i odłączniki powinny wymagać narzędzi lub posiadać blokady zapobiegające nieautoryzowanemu dostępowi do sprzętu.
- Należy zwrócić uwagę na tabliczki ostrzegawcze zawierające informacje o błysku łuku elektrycznego lub wymaganiach dotyczących środków ochrony indywidualnej przy dostępie do urządzeń. Należy pamiętać o przestrzeganiu wszystkich tabliczek ostrzegawczych. Jeśli nie ma żadnych tabliczek lub brakuje niektórych, należy to zanotować i zainstalować brakujące tabliczki podczas wizyty konserwacyjnej. W celu określenia wymagań dotyczących oznakowania należy zapoznać się z



normami NEC i Underwriters Laboratories (UL) oraz z gospodarzem obiektu.

- Sprawdzić moduły fotowoltaiczne pod kątem wad, które mogą występować w postaci śladów spalania, odbarwień, rozwarstwień lub pękniętego szkła. - Sprawdzić moduły pod kątem nadmiernego zabrudzenia przez nagromadzony brud lub odchody zwierząt. (Właściwe procedury czyszczenia matrycy - patrz Procedura mycia matrycy).
- Upewnić się, że okablowanie modułu jest zabezpieczone i nie spoczywa na dachu, nie zwisa luźno i nie jest narażone na potencjalne uszkodzenia, nie jest wygięte do niezatwierdzonego promienia ani rozciągnięte na ostrych lub ściernych powierzchniach.
- Sprawdzić system regałów pod kątem wad, w tym rdzy, korozji, zwisów i brakujących lub złamanych klipsów lub śrub.
- Jeśli do zraszania macierzy używane są zraszacze, należy sprawdzić, czy woda jest wolna od minerałów (zdemineralizowana), ponieważ minerały te mogą powodować stopniowe pogorszenie wydajności.
- Sprawdzić przewody pod kątem prawidłowego podparcia, tuleje i kompensatory, tam gdzie to konieczne.
- W systemach montowanych na dachu należy sprawdzić integralność przepustów.
- W przypadku systemów montowanych na ziemi należy poszukać śladów korozji w pobliżu wsporników.
- Otworzyć puszki rozgałęźne i sprawdzić, czy na połączeniach nie ma śladów momentu obrotowego. Oznaczenia momentu obrotowego są wykonywane, gdy końcówki zostały dokręcone do właściwej wartości momentu obrotowego. Najlepiej, jeśli są one nanoszone podczas pierwszej instalacji, ale jeśli nie, technik może oznaczyć końcówkę po dokręceniu podczas wizyty konserwacyjnej. Właściwe oznaczenie momentu obrotowego wykonuje się za pomocą specjalistycznego pisaka do oznaczania momentu obrotowego. Oznaczenie to jest linią prostą przechodzącą przez końcówkę i obudowę. Z czasem, jeśli linia rozdzieli się między końcówką a obudową, oznacza to, że końcówka się



przesunęła i należy ją ponownie dokręcić. Poszukaj gruzu wewnątrz skrzynek i wszelkich dowodów na szkodliwe działanie wody. Poszukaj odbarwień na zaciskach, tablicach i uchwytach bezpieczników.

- Otworzyć drzwi do rozłącznika(ów) i poszukać śladów korozji lub uszkodzeń. Sprawdzić, czy otwory w szafie są prawidłowo uszczelnione i czy nie ma śladów wnikania wody. Sprawdzić, czy na zaciskach nie ma znaczników momentu obrotowego.
- Przeprowadzić kontrolę wzrokową wnętrza i zewnętrznej strony przetwornicy. Poszukaj śladów przedostania się wody, gryzoni lub kurzu do przetwornicy. Sprawdź, czy na zaciskach polowych nie ma znaczników momentu obrotowego.
- Jeśli obecna jest stacja meteorologiczna, upewnij się, że czujniki znajdują się w odpowiednim miejscu oraz przy odpowiednim nachyleniu i azymucie. Globalny czujnik irradiancji w poziomie powinien być płaski, a czujnik irradiancji w płaszczyźnie matrycy powinien być zainstalowany w tym samym nachyleniu i orientacji co matryca. Czujniki irradiancji powinny być czyszczone w celu usunięcia zanieczyszczeń i ptasich odchodów.

31 Kontrola przetwornicy w zależności od producenta

Każdy producent falowników ma określone wymagania dotyczące kontroli, testów, usług i dokumentacji w celu spełnienia zobowiązań gwarancyjnych.

Typowe wymagania dotyczące kontroli falowników obejmują:

- Zapisać ostatni zarejestrowany błąd systemu.
- Wyczyścić filtry.
- Wyczyścić wnętrze szafy.
- Przetestować wentylatory pod kątem poprawności działania.
- Sprawdzić bezpieczniki.
- Sprawdzić moment obrotowy na końcówkach.
- Sprawdzić uszczelkę.
- Upewnić się, że etykiety ostrzegawcze są na miejscu.



- Sprawdzić, czy nie ma przebarwień spowodowanych nadmiernym nagrzewaniem się urządzenia.
- Sprawdzić integralność odgromników.
- Sprawdzić ciągłość uziemienia systemu i uziemienia sprzętu.
- Sprawdzić mechaniczne połączenie falownika ze ścianą lub uziemieniem.
- Sprawdzić działanie wewnętrznego odłącznika.
- Sprawdzić, czy zainstalowane jest aktualne oprogramowanie.
- Skontaktuj się z instalatorem i/lub producentem w sprawie wszelkich znalezionych problemów.
- Udokumentuj ustalenia dotyczące wszystkich wykonanych prac.

32 Inspekcja nadążna specyficzna dla producenta

Producenci systemów śledzących mają określone wymagania dotyczące kontroli, testowania, serwisowania i dokumentacji, aby spełnić swoje zobowiązania gwarancyjne.

Typowe wymagania dotyczące konserwacji lub uruchomienia systemów trackerów obejmują:

- Nasmarować gąsienicę poprzez wprowadzenie smaru za pomocą smarownicy do odpowiednich nakładek smarowych zgodnie z zaleceniami producenta dotyczącymi konserwacji.
- Sprawdź napięcia wewnątrz skrzynki sterownika.
- Za pomocą poziomicy cyfrowej sprawdź kalibrację i ustawienie inklinometrów.
- Sprawdź tablicę pod kątem śladów uderzania lub ocierania się części o inne części.
- Usuń roślinność znajdującą się w pobliżu wału napędowego lub ruchomych elementów.
- Sprawdź działanie układu wiatrowo-stabilizacyjnego.
- Użyj odpowiednich mierników (wolt, om, dc clamp-on) do sprawdzenia:



- ciągłość uziemienia sprzętu przy falowniku, skrzynkach sumatora i odłącznikach;
- ciągłość wszystkich bezpieczników systemowych przy skrzynkach rozgałęźnych, odłącznikach i wewnątrz falownika(ów);
- napięcie otwartego obwodu (V_{oc}) wszystkich ciągów przy wyłączonym falowniku; oraz
- prąd maksymalnej mocy (I_{mp}) wszystkich ciągów przy włączonej przetwornicy i przy określonych lub zarejestrowanych poziomach mocy.
- Dodatkowe badania (stosowane w przypadku stwierdzenia problemów lub wymagane przez warunki umowy) mogą obejmować:
- obrazy termiczne skrzynek sumatora (otwartych i zamkniętych), odłączników, falowników (zewnętrznych i wewnętrznych w określonym punkcie pracy przez określony czas) oraz modułów;
- testy zwarcia (I_{sc}) ciągów;
- badanie krzywej prądowo-napięciowej (IV) ciągów;
- badania rezystancji izolacji (znane również jako badania "megger") przewodów przy określonym napięciu; oraz
- porównanie skorygowanego o warunki pogodowe obliczenia wydajności oczekiwanej mocy z rzeczywistą mocą systemu.

33 Kontrola systemu akwizycji danych specyficzna dla producenta

Producenci systemów akwizycji danych (DAS) mają określone wymagania dotyczące kontroli, testowania, serwisowania i dokumentacji w celu spełnienia zobowiązań gwarancyjnych.

Typowe wymagania dotyczące konserwacji lub uruchomienia systemów DAS obejmują:

- dokonywanie odczytów napięcia w zasilaczach,
- sprawdzanie poprawności odczytów z przetwornika prądu poprzez porównanie ze skalibrowanym sprzętem, oraz
- sprawdzanie poprawności odczytów czujników przez porównanie z urządzeniami skalibrowanymi.



Aby potwierdzić prawidłowe działanie systemu DAS, wartości zmierzone przez system DAS muszą być zweryfikowane z wartościami uzyskanymi z urządzeń posiadających identyfikowalne zapisy kalibracji. Porównanie pomiarów napromieniowania, temperatury i mocy zarejestrowanych przez DAS z wartościami uzyskanymi z kalibrowanych przyrządów pomoże zidentyfikować problemy z kalibracją czujników, które mogłyby spowodować, że dane z DAS będą nieprawidłowe.

Branża fotowoltaiczna jako całość jest coraz lepsza w zakresie instalacji i dokumentacji DAS, ale nadal typowe jest pomijanie lub niedostateczne uszczegóławianie planów DAS. W wyniku takiego pominięcia osoby sprawdzające plany często nie sprawdzają błędów w projekcie DAS, a inspektorzy nie mają z czym porównać danych powykonawczych pod kątem zgodności z przepisami. Jeżeli system DAS będzie podłączony do systemu informatycznego budynku, personel O&M powinien być świadomy, że modernizacja sieci w budynku lub rutynowa konserwacja może spowodować problemy z łącznością.

34 Instalacja i konserwacja systemu fotowoltaicznego

Inżynierowie powinni znać podstawy doboru, specyfikacji i testowania systemów fotowoltaicznych, aby zapewnić klientom najbezpieczniejszy produkt.

35 Typowe konfiguracje systemów fotowoltaicznych

Typowe komercyjne ogniwo fotowoltaiczne o powierzchni 25 cali kwadratowych wytwarza około 2 W mocy w warunkach szczytowego nasłonecznienia. Jeśli natężenie światła słonecznego wynosi 40% wartości szczytowej, ogniwo wytwarza około 0,8 W. Aby ogniwa fotowoltaiczne stały się użyteczne jako źródło energii elektrycznej, muszą być połączone w szeregową i/lub równoległą konfigurację obwodów, aby wytworzyć wyższe napięcie i prąd. Łączenie modułów szeregowo w "ciągi" zwiększa napięcie; łączenie ciągów równoległe zwiększa prąd. Układ 30 modułów o mocy 135 W może wytworzyć 4 kW.

Producenci łączą obwody ogniw fotowoltaicznych w szczelne, chroniące środowisko laminaty, tworząc moduły fotowoltaiczne - podstawowe elementy składowe systemów generujących energię elektryczną. Panele PV składają się z kilku



modułów fotowoltaicznych, zmontowanych i wstępnie okablowanych, które można zainstalować w terenie. Tablica fotowoltaiczna to kompletny zespół generujący energię, który może zawierać dowolną liczbę modułów i paneli PV.

Systemy fotowoltaiczne mogą stanowić dodatkowe źródło energii dla domów, firm, gmin, instalacji wojskowych lub każdego, kto jest skłonny podjąć zobowiązanie i inwestycję. Systemy fotowoltaiczne mogą być podstawowym źródłem energii dla odległych systemów, na przykład w przemyśle przetwórczym, jak również w tymczasowych sytuacjach pracy w terenie. Chociaż większość informacji zawartych w tym artykule dotyczy zarówno domowych, jak i komercyjnych instalacji fotowoltaicznych, główny nacisk położono na instalacje komercyjne. Zazwyczaj systemy mieszkaniowe różnią się tylko wielkością. Zasady działania i konfiguracje są bardzo podobne. Systemy komercyjne są zwykle bardziej złożone, ale nie zawsze tak jest.

Instalacje fotowoltaiczne mogą być umieszczone na dachu obiektu - jak w przypadku sklepu w Bakersfield - lub na terenie przyległym do obiektu. Zazwyczaj panele słoneczne wymagają około 3 do 5 akrów/MW. Instalacje dachowe i montowane na budynkach maksymalizują całkowitą powierzchnię kolektorów słonecznych dostępną dla danego miejsca. Należy jednak wziąć pod uwagę możliwość penetracji dachu i obciążenia dachu oraz ich konsekwencje.

Podstawą koncepcyjną niemal każdej użytecznej instalacji solarnej jest zbieranie światła słonecznego przez panele fotowoltaiczne. Tablica fotowoltaiczna dostarcza napięcie stałe do inwertera, który przekształca je w prąd zmienny o częstotliwości 60 Hz. Prąd przemienny z falownika dostarcza energię do obiektu lub domu (patrz rys. 1).

Oczywiście brakuje kilku ważnych elementów, aby ten przykładowy system był użyteczny i bezpieczny. W zależności od wymagań obiektu, system może również zawierać dowolną liczbę urządzeń przełączających i zabezpieczających prąd stały, takich jak skrzynki rozdzielcze prądu stałego, wyłączniki, odłączniki i styczniki. (Puszka sumatora to pushka łączeniowa używana jako punkt równoległego połączenia dwóch



lub więcej obwodów). Inwertery są dostępne w wielu konfiguracjach i zakresach mocy. Niektóre duże instalacje wykorzystują kilka inwerterów. W skład "prawdziwego" systemu wchodzi również urządzenia przełączające i zabezpieczające prądu przemiennego, takie jak tablice i rozdzielnice prądu przemiennego, odłączniki, wyłączniki, rozdzielnice niskiego i średniego napięcia oraz transformatory niskiego i średniego napięcia. Niektóre instalacje mogą również posiadać akumulatory, automatyczne zespoły przełączające, sprzęt monitorujący i pomiarowy oraz urządzenia umożliwiające zwrotne dostarczanie energii elektrycznej do sieci.

Wymagania funkcjonalne i operacyjne, konfiguracje komponentów oraz sposób połączenia urządzeń z innymi źródłami energii i obciążeniami elektrycznymi określają klasyfikację fotowoltaicznych systemów energetycznych. Dwie główne klasyfikacje to systemy podłączone do sieci (lub interaktywne) i systemy autonomiczne. Systemy podłączone do sieci działają w połączeniu z siecią energetyczną. Oprócz samej macierzy fotowoltaicznej głównym elementem systemu przyłączonego do sieci jest falownik. System fotowoltaiczny, a w szczególności inwerter, łączy się dwukierunkowo z siecią elektryczną, zwykle w lokalnym panelu dystrybucyjnym lub przy wejściu do sieci.

Samodzielne systemy fotowoltaiczne działają niezależnie od sieci energetycznej. Obiekty korzystające z autonomicznego systemu fotowoltaicznego zazwyczaj wykorzystują akumulatory do przechowywania energii. Akumulatory przechowują energię z macierzy fotowoltaicznej w ciągu dnia i dostarczają ją do odbiorników elektrycznych w nocy lub w pochmurne dni. Akumulatory pomagają również stabilizować napięcie w systemie i w razie potrzeby dostarczają prąd przepięciowy do odbiorników elektrycznych. Zazwyczaj kontrolery ładowania akumulatorów chronią je przed przeładowaniem i nadmiernym rozładowaniem.

36 Czym różnią się systemy fotowoltaiczne

Oczywistą różnicą pomiędzy systemami elektrycznymi fotowoltaicznymi a energią elektryczną dostarczaną przez zakład energetyczny jest to, że matryce fotowoltaiczne generują prąd stały. Wygenerowana energia elektryczna nie staje się prądem przemiennym, dopóki nie zostanie przetworzona przez falownik. Część



instalacji fotowoltaicznej to z konieczności prąd stały, co wymaga zastosowania innych typów komponentów niż w przypadku instalacji prądu przemiennego. Do elementów systemów fotowoltaicznych, które nie występują w systemach ac, należą skrzynki rozdzielcze i rozłączniki prądu stałego.

Sumatory solarne łączą prąd stały z matrycy fotowoltaicznej i zapewniają zabezpieczenie nadprądowe zgodnie z wymogami National Electrical Code (NEC). Poszczególne wejścia są podłączone do podstawek bezpiecznikowych. Obciążeniowe strony podstawek bezpiecznikowych łączą się ze sobą tworząc wspólną szynę, która łączy się z końcówkami wyjściowymi. Skrzynki rozgałęźne są albo źródłowymi, albo matrycowymi. Kombinatory źródłowe znajdują się bliżej paneli fotowoltaicznych. Kombinatory matrycowe - lub rekombinatory - agregują wyjścia z kilku kombinatorów źródłowych w jeden obwód i są spotykane w dużych instalacjach. Sumatory matrycowe mają wyższe wejściowe uchwyty bezpiecznikowe i wyższy prąd wyjściowy.

Typowe systemy fotowoltaiczne generują napięcie w zakresie od 400 do 600 Vdc, czyli znacznie wyższe niż w większości systemów budowlanych. Połączenie tego wyższego napięcia z brakiem sinusoidy z przecięciami zerowymi stwarza kilka problemów związanych z konstrukcją systemu, komponentami i okablowaniem - zwłaszcza przy włączaniu i wyłączaniu obwodów prądu stałego. W porównaniu z systemami prądu przemiennego z sinusoidą zerową, przerwanie obwodów prądu stałego o wyższym napięciu wymaga zwiększonej szczeliny powietrznej, aby bezpiecznie i szybko przerwać łuk. Połączenie wielu biegunów jednego wyłącznika w szereg tworzy zwiększoną szczelinę powietrzną dla bezpiecznego przerywania łuku.

Ponieważ obwody prądu stałego składają się z dwóch przewodów - dodatniego i ujemnego - jeden z nich musi służyć jako uziemienie w większości systemów fotowoltaicznych, podobnie jak przewód neutralny w systemie ac. Producent panelu słonecznego określa, który z tych dwóch przewodów jest uziemiony. Ujemne uziemienie jest bardziej powszechną konfiguracją. To połączenie jest zwykle wykonywane przy falowniku. Zgodnie z NEC tylko przewód przewodzący prąd, nieuziemiony, powinien być przełączany.



37 Potencjalne problemy fotowoltaiczne

Większość systemów fotowoltaicznych, które są instalowane przez wykwalifikowanych i renomowanych specjalistów, są instalowane bezpiecznie i niezawodnie. Jednak zlecenie instalacji fotowoltaicznego systemu elektrycznego osobom nieprzeszkolonym może prowadzić do kłopotów. Niektóre z powszechnych problemów związanych z projektowaniem, instalacją i eksploatacją systemów fotowoltaicznych obejmują:

- Duże zacienienie instalacji fotowoltaicznej
- Niepewne mocowanie konstrukcyjne do dachów i innych konstrukcji
- Nieodpowiednie uszczelnienie pogodowe dachu i innych przejść
- Niebezpieczne okablowanie
- Niebezpieczna instalacja akumulatora lub niewłaściwa konserwacja lub użytkowanie akumulatora
- Niewystarczająca obciążalność prądowa przewodów i/lub rodzaj izolacji
- Używanie niewymienionych urządzeń
- Niewłaściwe zastosowanie wymienionych lub niewymienionych urządzeń
- Niewłaściwe rozmieszczenie zabezpieczeń nadprądowych i urządzeń odłączających
- Niewłaściwe uziemienie systemu
- Nieodpowiednie oznakowanie głównych elementów systemu i urządzeń odłączających.
- Nieodpowiednia dokumentacja dotycząca projektu systemu oraz wymagań dotyczących eksploatacji i konserwacji
- Nieodpowiednia ochrona środowiska dla niektórych elementów systemu.

38 Testowanie i rozwiązywanie problemów

Każdy pakiet projektowy systemu fotowoltaicznego musi zawierać dokumentację pomocniczą, która powinna - jako minimum - zawierać specyfikacje systemu, schematy elektryczne, rysunki mechaniczne, listy części, listy materiałów i listy źródeł. Dokumentacja powinna również zawierać procedury instalacyjne i kontrolne, szkolenie użytkowników i operatorów, wymagania konserwacyjne, przewodniki rozwiązywania



problemów oraz listę konkretnych narzędzi i urządzeń wymaganych do wykonania tych zadań.

Wymagania dotyczące konserwacji instalacji fotowoltaicznych zależą od rodzaju konstrukcji systemu i zastosowanych urządzeń. Niektóre instalacje wymagają bardzo mało uwagi, być może tylko corocznych przeglądów. Inne - zwłaszcza te z akumulatorami - mogą wymagać okresów konserwacji od czterech do sześciu miesięcy, a nawet wymiany komponentów (zwykle akumulatorów) w okresie eksploatacji systemu. Typowe elementy konserwacji, których może wymagać instalacja fotowoltaiczna to:

- Sprawdzenie połączeń i końcówek przewodów pod kątem luzów i korozji
- Sprawdzenie wiązek przewodów w celu zapewnienia, że są one starannie spięte i zabezpieczone
- Kontrola matrycy fotowoltaicznej pod kątem czystości, braku uszkodzeń i integralności strukturalnej
- Sprawdzenie przepustów dachowych i uszczelnienia przed wpływem warunków atmosferycznych
- Konserwacja akumulatorów, która może obejmować czyszczenie, dodawanie elektrolitu, wyrównywanie poziomu naładowania i w razie potrzeby wymianę.

Niezależnie od tego, czy instalujesz czy konserwujesz system fotowoltaiczny, używaj narzędzi odpowiednich do tego zadania. Zazwyczaj większość zadań związanych z modułami fotowoltaicznymi i powiązanych z nimi obwodami prądu stałego można wykonać za pomocą wysokiej jakości multimetru cyfrowego (DMM) z cęgiem do pomiaru prądu lub miernika cęgowego z możliwością pomiaru napięcia.

Świadomość potencjalnych problemów oraz testowanie i rozwiązywanie problemów przy użyciu narzędzi odpowiednich do danego zadania pomoże uzyskać - i utrzymać - bezpieczne i niezawodne działanie systemu fotowoltaicznego.



39 Konserwacja paneli słonecznych

40 Cleaning solar panels

Utrzymuj panele słoneczne w czystości, aby działały wydajnie i bezpiecznie.

Przy czyszczeniu paneli słonecznych należy postępować zgodnie z zaleceniami producenta. Kompetentna osoba (najlepiej Twój licencjonowany elektryk lub osoba pod nadzorem licencjonowanego elektryka) powinna:

- przed czyszczeniem należy sprawdzić, czy panele nie są uszkodzone
- używać wody, a nie środków czyszczących
- nie używać szorowarek ani innych ściernych środków czyszczących
- unikać stosowania myjek wodnych pod wysokim ciśnieniem
- nie opierać wiader ani nie opierać się o panele.

Wszelkie uszkodzone panele lub uszkodzone inne części systemu fotowoltaicznego powinny zostać naprawione lub wymienione przez licencjonowanego elektryka przed przystąpieniem do czyszczenia.

41 Rzeczy do sprawdzenia

Aby system działał bezpiecznie, można rutynowo sprawdzać (z bezpiecznej odległości) kilka podstawowych rzeczy, szczególnie po burzy. Jeśli zauważysz jakiegokolwiek problemy, zadzwoń do swojego elektryka lub instalatora solarnego.

- Sprawdzić wzrokowo panele pod kątem pęknięć lub wyszczerbień szkła, odbarwień lub innych widocznych wad.
- Sprawdzić wzrokowo, czy panele i ramy nośne nie poluzowały się i czy nie są wolne od zanieczyszczeń.
- Sprawdzić wzrokowo, czy mocowania i kable przy panelach i przetwornicy nie poluzowały się.
- Przejrzyj panel wyświetlacza falownika pod kątem zarejestrowanych usterek (zapoznaj się z instrukcją producenta).



- Sprawdź, czy procedury awaryjne dotyczące wyłączenia i izolacji są wyraźnie widoczne.
- Upewnić się, że otwory wentylacyjne falownika są wolne od zanieczyszczeń.
- Zapewnić łatwy dostęp do przełączników izolujących system.

42 Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy dla instalatorów fotowoltaicznych.

Instalacja fotowoltaiczna jest zaliczana do robót budowlanych wysokiego ryzyka.

Przepisy BHP definiują znaczenie prac budowlanych, które obejmują instalację, testowanie lub konserwację istotnej usługi w odniesieniu do konstrukcji.

Instalacja, testowanie lub konserwacja paneli słonecznych jest uważana za instalację usługi podstawowej (energii elektrycznej) i dlatego jest uważana za pracę budowlaną. Oznacza to, że dla tych prac należy przygotować oświadczenie o bezpiecznej metodzie pracy (SWMS).

Instalatorzy paneli fotowoltaicznych mogą wykonywać następujące prace, które zgodnie z przepisami są uznawane za prace budowlane wysokiego ryzyka:

- Prace związane z ryzykiem upadku osoby z wysokości ponad 2 metrów (np. instalacja paneli fotowoltaicznych na dachu).
- Prace wykonywane lub w pobliżu instalacji lub usług elektrycznych pod napięciem (np. instalacja paneli fotowoltaicznych w pobliżu napowietrznej linii zasilającej lub praca w przestrzeni sufitowej w pobliżu kabli zasilających rozdzielnicę).
- Prace wykonywane w obszarze miejsca pracy, w którym występuje jakikolwiek ruch zmechanizowanych urządzeń ruchomych (np. używanie dźwigu lub podnośnika nożycowego do przenoszenia sprzętu na dach).
- Praca wykonywana w obszarze, w którym występują sztuczne skrajności temperatur (np. praca w przestrzeni sufitowej w celu podłączenia kabli zasilających do jednostki inwertera).



Firma instalująca system fotowoltaiczny musi przygotować instrukcję bezpiecznej pracy (SWMS) - lub zapewnić jej przygotowanie - przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac budowlanych o wysokim stopniu ryzyka.

43 Co to jest deklaracja bezpiecznej metody pracy?

SWMS to pisemny dokument, który pomaga przedsiębiorstwu, kierownikom i pracownikom wdrażać i monitorować środki kontroli ustanowione w miejscu pracy w celu zapewnienia bezpiecznego prowadzenia prac budowlanych o wysokim stopniu ryzyka.

SWMS musi identyfikować i dokumentować:

- czynności związane z pracami budowlanymi wysokiego ryzyka, które mają być wykonywane w miejscu pracy;
- zagrożenia i ryzyko dla zdrowia i bezpieczeństwa związane z tymi czynnościami
- środki, które należy wdrożyć w celu kontroli ryzyka; oraz
- jak środki kontroli mają być wdrażane, monitorowane i poddawane przeglądowi.

Osoba odpowiedzialna za prowadzenie prac budowlanych wysokiego ryzyka jest w stanie najlepiej przygotować SWMS w porozumieniu z pracownikami, którzy będą bezpośrednio zaangażowani w prace budowlane wysokiego ryzyka. Praca w ramach procesu zarządzania ryzykiem dostarczy informacji potrzebnych do SWMS.

44 Udostępnienie SWMS

SWMS musi być łatwo dostępny dla każdej osoby wykonującej prace budowlane wysokiego ryzyka oraz do kontroli przez inspektora WorkSafe. SWMS należy przechowywać do czasu zakończenia prac budowlanych wysokiego ryzyka, dla których został przygotowany, lub przez co najmniej 2 lata, jeżeli podczas prac budowlanych wysokiego ryzyka doszło do zdarzenia podlegającego zgłoszeniu.

Jeżeli SWMS jest zmieniany, należy przechowywać każdą jego wersję.



45 Proces zarządzania ryzykiem

Proces zarządzania ryzykiem jest systematycznym procesem, w którym zastanawiasz się, co może pójść źle w miejscu pracy i jakie mogą być tego konsekwencje. Następnie należy zrobić wszystko, co możliwe (innymi słowy, co jest "rozsądnie wykonalne"), aby wyeliminować lub zminimalizować zagrożenia dla zdrowia i bezpieczeństwa wynikające z wykonywanych czynności zawodowych.

W dokumencie How to manage work health and safety risks - Code of Practice wyszczególniono następujące cztery kroki w procesie zarządzania ryzykiem:.

1. Zidentyfikuj zagrożenia:

Dowiedz się, co może spowodować szkody dla ludzi.

2. Oceń ryzyko

Zrozumienie charakteru szkody, jak poważna może być i prawdopodobieństwo jej wystąpienia. Ten krok może nie być konieczny, jeśli mamy do czynienia ze znanym ryzykiem i znanymi środkami kontroli.

3. Kontroluj ryzyko

Wdrożenie najskuteczniejszego środka kontroli, który jest racjonalnie wykonalny w danych okolicznościach i zapewnienie jego skuteczności w czasie.

4. Przegląd środków kontroli

Dokonaj przeglądu zagrożeń i środków kontroli, aby upewnić się, że działają one zgodnie z planem.

Dwa ważne elementy, które muszą wystąpić na każdym etapie, to zaangażowanie kierownictwa w bezpieczeństwo i konsultacje z pracownikami. Jeżeli w miejscu pracy pracują inni rzemieślnicy, wszyscy muszą się ze sobą konsultować i koordynować swoje działania.



46 Najczęstsze zagrożenia związane z instalacją fotowoltaiczną

Identifying and understanding the hazards in the workplace is the important first step in completing a SWMS. The following are some common hazards faced by Solar PV installers. Two important elements that must occur at each step are management commitment to safety and employee consultation. If there are other craftsmen on the job site, everyone must consult and coordinate with each other.

47 Praca na dachu

- Upadki z wysokości - z otwartych krawędzi dachu lub przez kruche fragmenty pokrycia dachowego, takie jak świetliki, lub potknięcia podczas przechodzenia z jednego poziomu na drugi (np. z drabiny na dach).
- Uderzenie przez spadające przedmioty - zwichnięte lub niezabezpieczone przedmioty lub narzędzia spadające i uderzające pracowników znajdujących się poniżej.
- Porażenie prądem i pożar - uszkodzone panele słoneczne lub zwarcia w okablowaniu matrycy stwarzają ryzyko porażenia prądem i pożaru, gdy panele generują prąd pod wpływem światła słonecznego. Przypadkowy kontakt z linią napowietrzną również stanowi ryzyko porażenia prądem.
- Stres cieplny - ekspozycja na słońce w połączeniu z ciepłem promieniującym z dachu zwiększa ryzyko stresu cieplnego dla pracowników na dachu.
- Narażenie na działanie azbestu - starsze budynki zbudowane przed latami 90. prawdopodobnie zawierają azbest. Okapy i panele rozdzielcze są częstym miejscem występowania azbestu na Terytorium Północnym.

48 Praca pod sufitem

- Stres cieplny - ciepło promieniujące z dachu zwiększa temperaturę wewnątrz zamkniętej przestrzeni sufitowej.
- Porażenie prądem - gryzonie i inne szkodniki mogą uszkodzić przewody elektryczne w przestrzeni sufitowej. Przewody elektryczne zasilające tablicę rozdzielczą są pod napięciem, o ile nie zostaną odłączone. Przewody zasilające od paneli słonecznych do jednostki inwertera będą pod napięciem, gdy panele słoneczne będą wytwarzać energię elektryczną.



- Ostre przedmioty - wystające śruby i gwoździe w więźbie dachowej i belkach stropowych.
- Jadowne stworzenia - węże, pająki lub inne owady kłujące mogą znajdować się w przestrzeni sufitowej.
- Narażenie na działanie azbestu - wiele budynków w Terytorium Północnym prawdopodobnie zawiera azbest. Wspólne obszary, w których można znaleźć azbest, to sufit, okap i tablice rozdzielcze.
- Narażenie na działanie produktów do zwalczania szkodników rozprowadzonych w przestrzeni sufitowej

49 Praca na ziemi

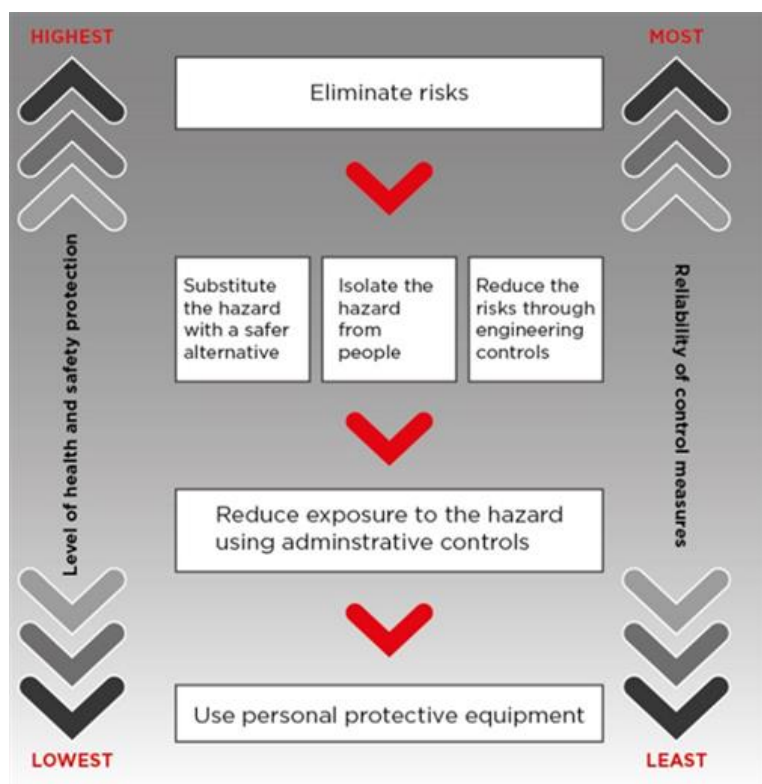
- Uderzenie przez spadające przedmioty - rozrzucone lub niezabezpieczone przedmioty lub narzędzia spadające z dachu.
- Poślizgnięcia i upadki z niezabezpieczonych drabin.
- Uderzenie przez ruchomą instalację - ruchome instalacje, takie jak dźwigi lub podwyższone platformy robocze, zderzające się z pracownikami.
- Narażenie na działanie azbestu.

Ważne jest, aby podczas przygotowywania SWMS zidentyfikować wszystkie zagrożenia występujące w każdym konkretnym miejscu pracy, a nie polegać na ogólnym SWMS obejmującym czynności robocze wysokiego ryzyka, które zwykle wykonują pracownicy.

Przykład: Niektóre zagrożenia mogą być unikalne dla konkretnego miejsca pracy, np. stary dom nadal ma dach z azbestu. SWMS w tym przypadku będzie musiał szczegółowo określać środki kontroli ryzyka narażenia na kontakt z azbestem.

50 Środki kontroli

Zaczynając od góry hierarchii, należy zawsze starać się wyeliminować ryzyko, ponieważ jest to najskuteczniejsza kontrola. Jeżeli wyeliminowanie ryzyka nie jest możliwe, należy je zminimalizować poprzez zastosowanie alternatywnych rozwiązań w hierarchii.



Obraz: Hierarchia środków kontroli.

Można połączyć kilka różnych środków kontroli, jeżeli uważa się, że zapewnia to najwyższy poziom ochrony pracowników. Sprawdź przepisy, aby upewnić się, że posiadasz odpowiednie informacje, ponieważ niektóre szczególne zagrożenia, takie jak upadek z wysokości i azbest, mają szczególne wymagania.

Przykłady zastosowania kombinacji środków kontroli

Przykład 1: Kontakt z przewodami pod napięciem w przestrzeni sufitowej. Aby zmniejszyć ryzyko, firma może wprowadzić następujące środki kontroli:

- Odłączyć całe zasilanie w rozdzielnicach przed wejściem do przestrzeni sufitowej (**wyeliminować**);
- Zablokować wyłącznik główny, aby zapobiec przypadkowemu włączeniu do prądu (**inżynieria**);
- Zidentyfikować i unikać potencjalnie zasilanych kabli, takich jak fotowoltaiczne i zasilające rozdzielnicę (**administracja**);



- Odpowiednie oświetlenie bez użycia rąk (takie jak latarka montowana na głowie lub wolnostojące światło obszarowe), które pozwala pracownikom bezpiecznie poruszać się w przestrzeni sufitowej (**środki ochrony indywidualnej**).

Przykład 2: Interakcja między wózkiem widłowym a pracownikami jest powszechnym zagrożeniem w magazynach, które może spowodować poważne urazy zmiężdżeniowe. Aby zarządzać tym ryzykiem, można wprowadzić następujące środki kontroli:

- Zainstalowanie alarmów cofania i migających świateł na wszystkich wózkach widłowych (**inżynieria**);
- Pomaluj wyznaczone przejścia dla pracowników (**administracyjne**); oraz
- Wymagaj od wszystkich pracowników noszenia kamizelek odblaskowych (**środki ochrony osobistej**).

51 Systemy fotowoltaiczne - Bezpieczeństwo w pracy - Safety first

Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła z energii słonecznej jest rozwijającą się branżą, a podczas budowy (instalacji), eksploatacji i konserwacji urządzeń i systemów energii słonecznej występują różne zagrożenia dla zdrowia i bezpieczeństwa pracowników. Celem niniejszego ostrzeżenia jest podniesienie świadomości na temat tych zagrożeń. W szczególności instalacja systemów fotowoltaicznych (konwersja energii słonecznej na elektryczną) stanowi zagrożenie dla zdrowia i bezpieczeństwa pracowników zaangażowanych w budowę (instalację) i konserwację systemów, jak również innych pracowników (np. pracowników służb ratowniczych lub konserwatorów systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC)), którzy pracują przy tego typu systemach lub w ich pobliżu.

52 Wymogi legislacyjne/regulacyjne

Zgodnie z ustawą o bezpieczeństwie i higienie pracy (Occupational Health and Safety Act, OHSA) pracodawcy mają obowiązek zapewnić, że pracownicy i ich przełożeni są świadomi wszelkich zagrożeń związanych z pracą oraz zagrożeń



związanych z obsługą, użytkowaniem i transportem wszelkich urządzeń. Pracodawcy są również zobowiązani do zapewnienia, że pracownik przeszedł szkolenie, które jest odpowiednie dla ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracownika podczas wykonywania pracy. W zależności od konkretnych zagrożeń, szkolenie to może obejmować, ale nie jest ograniczone do niektórych lub wszystkich następujących elementów:

- Podstawy zagrożeń elektrycznych;
- Wymagania dotyczące ochrony przed upadkiem z wysokości i stosowanie sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości;
- Bezpieczne przenoszenie, użytkowanie i transport materiałów;
- Bezpieczne użytkowanie drabin;
- Zagrożenia i kontrole podczas pracy na pochyłych pokryciach dachowych;
- Zagrożenia i kontrole podczas pracy na krawędzi dachu;
- Zagrożenia i kontrole podczas pracy wokół krytych świetlików i otworów dachowych;
- Kontrole przed montażem, plan awaryjny i pierwsza pomoc.

Nadzór musi być zapewniony w celu ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracownika. Wyznaczając osobę nadzorującą, pracodawcy muszą wyznaczyć osobę kompetentną.

Pracodawcy muszą podjąć wszelkie uzasadnione w danych okolicznościach środki ostrożności w celu ochrony pracownika. W zależności od okoliczności, rozsądnym środkiem ostrożności może być ustanowienie przez pracodawcę pisemnych procedur, których należy przestrzegać, gdy pracownik musi pracować przy systemie fotowoltaicznym lub w jego pobliżu, w tym środków i procedur ewakuacji obszaru, na którym znajdują się systemy fotowoltaiczne, w przypadku zagrożenia.

53 Ogólne uwagi dotyczące bezpieczeństwa

Budowa, instalacja i konserwacja paneli słonecznych oraz związanych z nimi urządzeń może być niebezpieczna, jeśli zagrożenia związane z pracą nie zostaną zidentyfikowane, a wszelkie związane z nimi ryzyko ograniczone.

Niektóre powszechne zagrożenia, na które napotykają pracownicy, obejmują:



- Zagrożenia związane z kontaktem elektrycznym;
- Zagrożenia upadkiem związane z pracą na wysokości;
- Poślizgnięcia, potknięcia i upadki;
- Narażenie na działanie gorącego lub zimnego środowiska; oraz,
- Urazy związane z zaburzeniami mięśniowo-szkieletowymi (MSD) spowodowane niewłaściwymi technikami podnoszenia.

54 Zagrożenia elektryczne

Zarówno porażenie prądem elektrycznym, jak i eksplozje łuku elektrycznego są potencjalnymi zagrożeniami, przed którymi należy chronić pracowników podczas prac przy systemach fotowoltaicznych.

W systemach fotowoltaicznych występują zwykle dwa potencjalne źródła energii elektrycznej:

1. moduł słoneczny, który wytwarza prąd stały (DC) (w każdym momencie, gdy jest wystawiony na działanie światła)
2. zakład energetyczny, który dostarcza energię elektryczną prądu zmiennego (AC)

Energia elektryczna prądu stałego z paneli słonecznych jest przekazywana do inwertera, który przekształca ją w energię elektryczną prądu przemiennego do wykorzystania na miejscu, a wszelkie nadwyżki są przekazywane do sieci lub do magazynów (akumulatorów), jeśli system zawiera takie rozwiązanie. Energia elektryczna prądu przemiennego jest również dostarczana z sieci, gdy system fotowoltaiczny/akumulatory nie dostarczają wystarczającej ilości energii do użytku lokalnego. Odłączenie sieci od systemu na głównym wyłączniku zasilania nie powstrzymuje systemu fotowoltaicznego od wytwarzania energii elektrycznej w obecności światła. Nawet przy słabym oświetleniu może powstać potencjał napięcia, który może doprowadzić do porażenia prądem lub porażenia łukiem elektrycznym. Jeśli akumulatory są używane do przechowywania energii elektrycznej, należy je traktować jako drugie źródło prądu stałego, które musi być brane pod uwagę podczas wykonywania prac na systemie.



Należy zauważyć, że zarówno prąd zmienny, jak i stały stanowią istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa i w obu przypadkach należy zastosować odpowiednie środki ostrożności, aby chronić pracowników.

55 Ważne punkty do rozważenia podczas pracy nad systemami fotowoltaicznymi

- Wszyscy pracownicy muszą być odpowiednio przeszkoleni w zakresie systemów fotowoltaicznych przed przystąpieniem do pracy nad nimi
- Zawsze należy postępować zgodnie z instrukcjami producenta komponentów/systemu fotowoltaicznego.
- Niewielkie ilości światła słonecznego mogą wytworzyć w systemie fotowoltaicznym potencjał napięcia, który może spowodować porażenie prądem lub porażenie łukiem elektrycznym.
- Przed odłączeniem lub podłączeniem ciągu paneli fotowoltaicznych należy odłączyć wyłącznik prądu stałego. Obejmuje to podłączanie lub odłączanie złączy z ochroną przed wnikaniem (tj. złącza bezpieczne dla palców, gdzie styki elektryczne okablowania nie mogą być dotknięte i spowodować porażenia prądem).
- Każdy przepis sektorowy wymaga stosowania blokady i oznaczenia urządzeń elektrycznych przed rozpoczęciem pracy oraz w trakcie jej trwania w określonych warunkach. Miejsca pracy nieobjęte przepisami branżowymi powinny wdrożyć odpowiednie procedury blokowania i znakowania jako środek ostrożności uzasadniony okolicznościami dla ochrony pracownika. Procedury blokowania i znakowania powinny być wdrożone przed zainstalowaniem okablowania między skrzynkami sumatora a odłączeniem źródła (fotowoltaicznego) przy falowniku i przed podłączeniem zasilania sieciowego do licznika usług.

56 Ochrona przed upadkiem z wysokości

Konstruktorzy i pracodawcy muszą zapewnić odpowiednie systemy ochrony przed upadkiem (tj. systemy poręczy i systemy powstrzymywania spadania), które będą stosowane przez pracowników w miejscach, w których znajdują się lub są



instalowane systemy fotowoltaiczne i pracownicy mogą być narażeni na upadek. Muszą również zapewnić, że pracownicy są odpowiednio przeszkoleni i nadzorowani w zakresie bezpiecznego korzystania z elementów zabezpieczających przed upadkiem i sprzętu dostępowego.

Referencje

<http://www.solarabcs.org/about/publications/reports/operations-maintenance/pdfs/SolarABCs-35-2013.pdf>

<https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73822.pdf>

<https://www.intechopen.com/chapters/68880>

<https://www.rpc.com.au/pdf/Solar%20PV%20Maintenance.pdf>

<https://solarrooftop.gov.in/knowledge/file-79.pdf>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721004303>

[https://research.unl.pt/ws/portalfiles/portal/5518661/OSH in Wind energy sector.pdf](https://research.unl.pt/ws/portalfiles/portal/5518661/OSH_in_Wind_energy_sector.pdf)

https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/b82d0563-b39a-42a7-b94e-0b926b4a82f9/FINAL_Aug%2B2015_Wind%2BEnergy_EHS%2BGuideline.pdf?MOD=AJPERES&CVID=mpusVXy

<https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-858.pdf?v=2020-02-18>

https://www.osha.gov/sites/default/files/2018-12/fy10_sh-21009-10_Participant_Booklet.pdf

<https://worksafe.nt.gov.au/forms-and-resources/bulletins/work-health-and-safety-requirements-for-solar-pv-installers>

https://www.ihsa.ca/pdfs/magazine/volume_18_Issue_2/working-safely-with-pv-systems.pdf