

WSTĘPNA ANALIZA ZAKRESU BADAŃ GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH I PROBLEMÓW ZWIĄZANYCH Z POSADOWIENIEM PANELI FOTOWOLTAICZNYCH NA ZWAŁOWISKACH KOPALNI ODKRYWKOWYCH WĘGLA BRUNATNEGO - PRZEGLĄD LITERATURY

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE SCOPE OF GEOLOGICAL-ENGINEERING INVESTIGATIONS AND PROBLEMS CONNECTED WITH THE FOUNDATION OF PHOTOVOLTAIC PANELS ON SPOIL HEAPS OF LIGNITE OPENCAST MINES - A LITERATURE REVIEW

Zbigniew Bednarczyk - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W artykule przedstawiono wstępny przegląd pozycji literatury związanych z badaniami geologiczno-inżynierskimi dla celów posadowienia systemów paneli fotowoltaicznych na gruntach zwałowych towarzyszących eksploatacji węgla brunatnego. Przegląd literatury wykonano w ramach projektu SUMAD „Zrównoważone wykorzystanie zwałowisk górniczych” finansowanego ze środków Funduszu Badawczego Węgla i Stali UE współfinansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki. W artykule przedstawiono zagrożenia wynikające z posadowienia instalacji słonecznych na tego rodzaju gruntach. Pomimo tego, że tereny zwałowisk po eksploatacji węgla brunatnego są atrakcyjne w aspekcie ekonomicznym, to przy projektowaniu tego typu posadowienia należy brać pod uwagę zagrożenia geotechniczne i szczególnie uważnie wybierać bezpieczne pod tym względem lokalizacje. Antropogeniczne grunty zwałowe są specyficznym rodzajem podłoża budowlanego. Cechują się one zazwyczaj bardzo niekorzystnymi parametrami wytrzymałościowymi, przewagą frakcji ilastych, dużą domieszką substancji organicznych, niejednorodnością i wysoką ściśliwością. Powoduje to znaczne osiadania oraz możliwość występowania procesów osuwiskowych, szczególnie w pobliżu skarp, w miejscach podmokłych, w pobliżu zbiorników wodnych i rzek. Nierównomierne osiadanie podłoża gruntowego może powodować uszkodzenia paneli. Domieszki węgla brunatnego i substancji organicznych mogą stwarzać zagrożenie powstawania pożarów endogenicznych. Niektóre z rejonów zwałowisk mogą zawierać popioły paleniskowe i grunty pylaste mogące powodować pylenie, co wpływa znacząco na zmniejszenie efektywności instalacji solarnych [13]. W artykule wstępnie omówiono możliwe zagrożenia, wskazano też zakres badań geologiczno-inżynierskich dla tego typu instalacji.

Słowa kluczowe: geologia inżynierska, posadowienie instalacji słonecznych, grunty zwałowe

This paper presents a preliminary review of literature items related to geological-engineering investigations for the purpose of foundation of photovoltaic panel systems on lignite opencast mining spoil heaps. The literature review was carried out within the SUMAD project „Sustainable use of mining dumps” financed by the EU Coal and Steel Research Fund and co-financed by the Polish Ministry of Higher Education and Science. The paper presents the risks of placing solar panels on such a soils. In spite of the fact that lignite mining spoil heaps are economically favourable for photovoltaic system location, when designing the foundation the geotechnical risks should be take into account. Possible safe locations have to be chosen carefully. Anthropogenic lignite mining spoil heaps are a specific type of soils. They are usually characterized by very unfavourable strength parameters, predominance of clayey fractions, large admixture of organic substances, high heterogeneity and high compressibility. This results in significant subsidence and the possibility of landslides, especially near escarpments, wetlands, water reservoirs and rivers. Uneven subsidence of the subsoil may cause damage to the panels. Admixtures of lignite and organic material can cause endogenous fire hazards. Some areas of the spoil dumps may contain ash and dusty soil which can cause dusting and significantly reduce the efficiency of solar installations. The article initially discusses the possible risks indicated and the scope of geological-engineering investigations for this type of installations.

Keywords: engineering geology, photovoltaic system foundations, spoil heap soils

Wstęp

Warunkiem koniecznym bezpiecznego posadowienia instalacji fotowoltaicznych na zwałowiskach nadkładu powstałych po eksploatacji węgla brunatnego jest wybranie bezpiecznego miejsca ich lokalizacji. Zależy to od szeregu czynników, takich jak typ składowanych na zwałowisku gruntów, ich parametry wytrzymałościowe, warunki wodne, nośność podłoża, jego stateczność oraz brak podatności na procesy osuwiskowe. Istotne jest także ograniczenie możliwości generowania geozagrożeń w trakcie prac budowlanych. Zwałowiska kopalń odkrywkowych węgla brunatnego są zbudowane z gruntów antropogenicznych cechujących się dużą niejednorodnością, zmienną litologią oraz występowaniem osuwisk. Są to w przewadze grunty ilaste o niskiej wytrzymałości, a grunty piaszczyste o korzystnych parametrach występują zazwyczaj podrzędnie (w zależności od zwałowiska). Grunty te posiadają duże domieszki substancji organicznych, są podatne na znaczne osiady i mają dużą podatność osuwiskową. Charakteryzuje je wysokie ryzyko generowania przemieszczeń wgłębnych, nawet przy małych obciążeniach. Mogą też być bardzo niejednorodne. Oprócz międko plastycznych gruntów ilastych, czy piasków mogą zawierać: bloki betonowe, elementy stalowe, popioły paleniskowe itp. Miejsca gdzie gromadzą się wody opadowe i rejonu zabagnione przyczyniają się do znacznych i nierównomiernych osiadań terenu oraz generowania osuwisk. Grunty zwałowe o niskiej wytrzymałości i w rejonach osuwiskowych nie nadają się do posadowienia bezpośredniego instalacji fotowoltaicznych. Szczegółowa analiza zagrożeń i reprezentatywne badania geologiczno-inżynierskie mają podstawowe znaczenie dla rozpoznania przydatności gruntów dla posadowień budowlanych [35]. Prace dokumentacyjne powinny zawierać wzajemnie kalibrowane badania terenowe i laboratoryjne w tym testy in-situ. Modelowanie oraz analiza wyników badań terenowych, laboratoryjnych oraz dokumentacji geologiczno-inżynierskiej przez inżyniera geotechnika i projektanta fundamentów wymaga przyjęcia reprezentatywnego modelu geotechnicznego gruntu o wiarygodnych parametrach. Jest to niezbędne w celu sprawdzenia możliwości posadowienia. Parametry mechaniczne i odkształceniowe gruntu powinny realistycznie odzwierciedlać jego zachowanie na zwałowisku [2-4]. Oszacowanie nośności gruntu powinno uwzględniać teorię równowagi granicznej. Właściwe zaprojektowanie przez konstruktora fundamentu lub w przypadku takiej konieczności wzmocnienia podłoża gruntowego powinno gwarantować bezpieczne i ekonomiczne posadowienie. W każdym przypadku należy dokładnie rozważyć możliwość konkretnej lokalizacji w celu eliminacji rejonów osuwiskowych i niebezpiecznych miejsc. W innych rejonach, konieczne może być podjęcie specjalnych działań w zakresie specjalnych metod posadowienia, wzmocnienia gruntu różnymi technikami lub usunięcia gruntu o niskich parametrach [2-4, 28].

Badania geologiczno-inżynierskie pod instalacje fotowoltaiczne

Bez dokładnych badań geologiczno-inżynierskich nie można zakładać, że wytypowane zwałowisko nadkładu po eksploatacji węgla brunatnego będzie odpowiednie i bezpieczne do instalacji na nim systemów fotowoltaicznych. Dokładnie

należy sprawdzić możliwość występowania tam wszelkiego rodzaju zagrożeń geotechnicznych i geosrodowiskowych. Kompleksowa analiza tych zagadnień musi zostać wykonana przed realizacją projektu prac geologicznych i następnie szczegółowo zbadana. Jest to kluczowe dla określenia możliwości realizacji tego typu inwestycji w danej lokalizacji. Wymaga to współpracy geologa inżynierskiego, geotechnika i projektanta. Należy też zaznaczyć, że w przypadku nieczynnych zwałowisk kopalni węgla brunatnego, ze względu na zmienność panujących tam warunków, zazwyczaj brak jest wiarygodnych i aktualnych danych o parametrach wytrzymałościowych gruntów i zagrożeniach geotechnicznych.

Szczególną uwagę należy zwrócić na wykluczenie rejonów z aktywnymi procesami osuwiskowymi i dużymi osiadaniami terenu. W rejonach położonych w pobliżu rzek i cieków wodnych należy zwrócić uwagę na możliwość zalewania terenu przez opady atmosferyczne, wody powodziowe oraz narażenie na procesy erozyjne. Instalacje fotowoltaiczne nie powinny także znajdować się w bezpośrednim sąsiedztwie zboczy zwałowisk. Konieczna jest szczegółowa analiza dotycząca stateczności zbocza zwałowiska znajdującego się w pobliżu (metody równowagi granicznej LEM lub elementów skończonych FEM), uwzględniająca jego nachylenie w oparciu o aktualną mapę topograficzną oraz wiarygodne, otrzymane na podstawie badań laboratoryjnych, parametry wytrzymałościowe gruntów w podłożu.

Zbyt duże nachylenie zbocza, obecność gruntów ilastych o niskich parametrach wytrzymałościowych, niejednorodna budowa np. występowanie wysoko ściśliwych gruntów organicznych, gruntów pylastych obok dużych bloków betonowych powodujących obciążenia statyczne, oddziaływanie dużych obciążeń dynamicznych, np. drogi zlokalizowanej na zwałowisku, po której będą się często przemieszczać samochody ciężarowe lub inny ciężki sprzęt budowlany mogą poważnie zagrozić inwestycji. Istotna jest też analiza interakcji paneli słonecznych z gruntem i podłożem zwałowisk oraz warunków hydrogeologicznych.

Systemy fotowoltaiczne na obszarach po eksploatacji węgla brunatnego

Obecnie budowy farm fotowoltaicznych na terenach należących do kopalni odkrywkowych węgla brunatnego lub w ich pobliżu prowadzone są w kilku miejscach w Polsce. W rejonie Bogatyni i KWB Turów (w pobliżu złoża węgla brunatnego Radomierzyce) PGE GiEKSA buduje instalację w Ręczynie [8]. W ramach projektu powstaje farma fotowoltaiczna o mocy 55 MW, która wraz z już działającą instalacją o mocy 21 MW jest największą tego typu inwestycją w Polsce (rys. 1).

W rejonie Bełchatowa PGE GiEKSA dysponuje łącznie czterema lokalizacjami, które mogą zostać przeznaczone pod budowę instalacji fotowoltaicznych. Przedsięwzięcie ma umożliwić osiągnięcie do 2030 r. ok. 2,5 GW mocy z energii słonecznej [36]. Oprócz wydzierżawionych gruntów przez PGE Energia Odnawialna rozważany jest teren zwałowiska wewnętrznego Pola Bełchatów o powierzchni ok. 11 ha, teren składowania surowców towarzyszących o powierzchni ok. 31 ha oraz teren zwałowiska zewnętrznego Pola Szczerców o powierzchni ok. 47 ha. Firmy związane z węglem brunatnym inwestują także w instalacje poza terenami górniczymi. W 2020 r. PGE uruchomił cztery, jednomegawatowe instalacje



Rys. 1. Budowa elektrowni fotowoltaicznej w rejonie Bogatyni (2021) (źródło: <https://www.facebook.com/TelewizjaBogatynia/videos/1520337278147988>)
 Fig. 1. The construction of the photovoltaic power plant in the region of Bogatynia (2021)



Rys. 2. Budowa elektrowni fotowoltaicznej na terenie MPWiK w Koninie (2021) (źródło: <https://twwarta.pl/trwaja-prace-przy-budowie-farmy-fotowoltaicznej/>)
 Fig. 2. The construction of the photovoltaic power plant in Konin (2021)

fotowoltaiczne w województwie lubelskim, podkarpackim i lubuskim. Aktualnie PGE ma zabezpieczone umowami dzierżaw ponad 2000 ha gruntów, co wystarczy na ok. 1,25 GW elektrowni PV [9,11].

Inwestycje fotowoltaiczne na terenach zwałowisk nadkładu po eksploatacji węgla brunatnego planuje Energa z Grupy Orlen [5], która posiada dwie farmy fotowoltaiczne, w tym jedną z największych tego typu instalacji w Polsce. Projekt fotowoltaiczny „Gryf”, o mocy 19,83 MW, ma powstać na terenach po kopalni odkrywkowej węgla brunatnego Adamów (powiat Turek) w gminie Przykona, gdzie wcześniej powstała farma wiatrowa. Farma fotowoltaiczna będzie utworzona z ok. 70 tys. paneli polikrystalicznych PV. Łączna moc wyniesie

19,83 MW. Umowa zawarta pomiędzy Konsorcjum Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin (ZE PAK), a konsorcjum firm Esoleo (dostawcą instalacji fotowoltaicznych) z Grupy Polsat i Przedsiębiorstwem Remontowym PAK przewiduje instalację na gruntach zwałowych o powierzchni 100 hektarów [7]. Oczekuje się, że będzie to jedna z największych tego typu farm w Polsce. Projekt zakłada, że farma będzie eksploatowana, co najmniej przez 25 lat. Inna mniejsza inwestycja o mocy 2,2 MW jest realizowana w tym rejonie przez Miejskie przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji na terenie oczyszczalni ścieków w Koninie (rys. 2).

W innych krajach europejskich przykładem może być elektrownia fotowoltaiczna o mocy 18 MW zbudowana w ko-

palni węgla brunatnego w północno-wschodnich Węgrzech. Projekt instalacji PV o mocy 5 MW funkcjonuje również na terenie ostatniej kopalni węgla w Wielkiej Brytanii. Inny projekt o mocy 10 MW jest obecnie w przygotowaniu przez firmę JUVI, Lausitz Energie Bergbau AG i Lausitz Energie Kraftwerke AG w kopalni odkrywkowej Welzow-Süd, w Brandenburgii w Niemczech [12]. W kraju tym inwestuje się także w pływające elektrownie fotowoltaiczne na zbiornikach w byłych zalanych wyrobiskach kopalni odkrywkowych węgla brunatnego i wewnętrznych składowisk nadkładu (typu „floating”). Pierwsza pływająca elektrownia fotowoltaiczna o mocy 750 kWa została zbudowana w takim zalanym wyrobisku w Niemczech w ubiegłym roku. Fotowoltaika w wersji „floating” to wyższe uzyski energii niż w przypadku gruntowych instalacji – dzięki efektowi chłodzenia paneli przez wodę. Na razie, w Niemczech ich moc jest ograniczona ze względu na obowiązujące tam wielkości dotacji i fakt, że tego typu instalacje są droższe od naziemnych. Frahofer ISE ocenia, że przeciętnie można dzięki temu wyprodukować około 10-15 proc. energii więcej. Firma ta zidentyfikowała w Niemczech około 500 sztucznych zbiorników, które powstały na terenach byłych kopalń węgla brunatnego. Teoretyczny potencjał instalacji, które można by na nich umieścić, oszacowano na 56 GW – co jest zbliżoną wartością do całkowitego potencjału fotowoltaiki, który obecnie posiada ten kraj [10].

Podstawy prawne dotyczące badań geologiczno-inżynierskich i zakres badań

W polskim prawie budowlanym brak jest norm dotyczących badań podłoża dla posadowienia instalacji solarnych. Obiekty posadawiane na terenach górniczych są według Prawa Geologicznego i Górniczego zaliczane do trzeciej kategorii geotechnicznej, która wymaga szczegółowych badań geotechnicznych, dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz projektowania geotechnicznego według norm PN-EN1997-1 EUROKOD7 i PN-83/B-03020 oraz rozporządzeniami [18-22,27,31-35]. Zagadnienia geotechniczne reguluje „Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych” [26].

Badania terenów górniczych i poeksploatacyjnych, a takimi są zwałowiska nadkładu kopalni węgla brunatnego, są zaliczane do trzeciej kategorii geotechnicznej. Obszary te narażone są na procesy osuwiskowe i znaczne osiadania. W przypadku trzeciej kategorii geotechnicznej wymagane są szczegółowe badania terenowe i laboratoryjne. Ich zakres uzgadnia się z projektantem inwestycji oraz wykonawcą robót geotechnicznych – zależy to od specyfiki obiektu oraz od warunków gruntowych. Rozmieszczenie pełnordzeniowych otworów wiertniczych należy wybrać, jako funkcję warunków geologicznych rozmiarów infrastruktury i występujących problemów inżynierskich. W przypadku obiektów większych niż 600 m² odległości pomiędzy otworami nie powinny być mniejsze niż 30 m. Przy wyborze lokalizacji otworów powinny być one rozmieszczone w taki sposób, aby układ warstw mógł być określony na całym obszarze planowanej inwestycji. Dla rejonów zlokalizowanych w pobliżu skarp i stoków obszar badań powinien objąć również obszary położone na zewnątrz projektowanego obiektu, tak aby reprezentatywnie mogła być

określona ich stateczność, a głębokość otworów powinna osiągnąć podłoże zwałowiska i rozpoznać je na głębokość poniżej potencjalnej powierzchni poślizgu (nie mniej niż 1/4 wysokości zwałowiska). Głębokość badań powinna obejmować wszystkie warstwy, których dotyczy dokumentacja i te, na które będzie oddziaływać inwestycja. Wszystkie warstwy gruntów o niekorzystnych parametrach wytrzymałościowych muszą być przewiercone do spągu z konsekwencją niejednokrotnie dużego zwiększenia zaplanowanego wstępnie metrażu odwiertów. Projektowany do rozpoznania obszar powinien obejmować także sąsiadujący teren na odległość, gdzie nie przewiduje się już oddziaływania inwestycji i zwałowiska. Może to znacznie zwiększyć pierwotnie planowany zakres badań w stosunku do instalacji zlokalizowanej na terenie naturalnym (w warunkach terenów naturalnych przyjmuje się, że dla instalacji fotowoltaicznej o mocy 1MW potrzeba ok. 2 hektarów powierzchni, w warunkach zwałowiska nadkładu obszar rozpoznania będzie musiał być znacznie większy i obejmować tereny do niego przyległe).

W wybranych otworach rozpoznawczych zaleca się zainstalowanie piezometrów i inklinometrów do monitoringu w trakcie budowy i po jej zakończeniu oraz wykonywanie regularnych pomiarów i porównywanie wyników w celu przeciwdziałania zagrożeniom [28, 29].

Badania terenowe i laboratoryjne muszą doprowadzić do określenia rodzaju i fizycznych oraz mechanicznych parametrów gruntu. Do badań laboratoryjnych należy pobrać próbki gruntów *in-situ* klasy A. Powinny być zbadane efektywne wartości spójności, kąta tarcia wewnętrznego, moduły odkształceń. Badania *in-situ*, o których mowa, to sondowania statyczne CPTU, sondowania dynamiczne i obrotowe, badania dylatometryczne i presjometyczne, próbne obciążenia gruntu. Badania laboratoryjne powinny zawierać podstawowe parametry fizyczne gruntu, badania ściśliwości w edometrze oraz badania efektywnej wytrzymałości w aparacie trójosiowym. Przy budowach ziemnych, czy zwałowiskach wykonuje się dodatkowo badania wodoprzepuszczalności gruntów, natomiast przy wzmacnianiu gruntów przeprowadza się badania materiałów wykorzystywanych do ulepszenia podłoża gruntowego oraz badania już wzmocnionych gruntów. Konieczne jest również ustalenie poziomu oraz chemicznych właściwości wód gruntowych. Wyniki przedstawia się w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Badania pod posadowienie paneli fotowoltaicznych zlokalizowanych na zwałowiskach nadkładu kopalni węgla brunatnego należy zaliczyć do III kategorii geotechnicznej.

Dokumentację geologiczno-inżynierską dla budowy obiektów położonych na obszarach zwałowisk kopalni odkrywkowych węgla brunatnego powinna wykonać osoba posiadająca uprawnienia Ministerstwa Środowiska kat. VI - określanie warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby: zagospodarowania przestrzennego, posadowienia obiektów budowlanych, w tym obiektów budowlanych zakładów górniczych i budownictwa wodnego, podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji lub podziemnego składowania odpadów, składowania odpadów na powierzchni, poszukiwania i rozpoznawania kompleksu podziemnego składowania dwutlenku węgla, a także podziemnego składowania dwutlenku węgla.

Każdy projekt systemu fotowoltaicznego na zwałowisku nadkładu powinien być dostosowany do konkretnych wa-

runków geotechnicznych. Projekt instalacji fotowoltaicznej powinna wykonać osoba, która posiada uprawnienia budowlane do projektowania w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji, urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych (Dz. U. z 2018 r. poz. 1202 z późn. zm.) lub certyfikat wystawiony przez Prezesa Urzędu Dozoru Technicznego w zakresie systemów fotowoltaicznych.

Zezwolenia i koncesje są procesem, w którym uczestniczy wiele instytucji państwowych i samorządowych. Lista najważniejszych potrzebnych zezwoleń zawiera 1) umowę dzierżawy gruntu; 2) pozwolenie na dostęp do terenu; 3) pozwolenie na budowę; 4) pozwolenie środowiskowe; 5) umowę o przyłączenie do sieci; oraz 6) koncesję operatora lub producenta energii elektrycznej.

Oceny środowiskowe muszą być przeprowadzane na wczesnym etapie procesu planowania projektu, w celu złagodzenia potencjalnych negatywnych skutków środowiskowych. W niektórych przypadkach ogólna koordynacja jest wykonywana przez właściciela instalacji fotowoltaicznej, (jeśli posiada on wewnętrzną wiedzę inżynierską i doświadczenie w podobnych projektach) lub przez firmę inżynierską, która jest zatrudniona, jako wykonawca zarządzający działający w imieniu właściciela. Jednak najbardziej powszechnym podejściem przy budowie instalacji fotowoltaicznych jest odpowiedzialność „pod klucz” w ramach kontraktu.

Kluczowe działania związane z zarządzaniem projektem, które będą musiały zostać przeprowadzone przez inwestora lub wykonawcę, obejmują planowanie projektu, zarządzanie jakością wykonania prac budowlanych, aspektami środowiskowymi, geotechnicznymi i bezpieczeństwem użytkownika instalacji. Wymagana jest także szczegółowa ocena oddziaływania inwestycji na środowisko wykonana przez uprawnionego specjalistę. Powinna ona sprawdzić jak będzie ona wpływać na obszary chronione, tereny leśne, obszary podmokłe, faunę i florę. Zarządzanie realizacją projektu fotowoltaicznego powinno być zgodne z ogólnymi najlepszymi praktykami zarządzania budową. Zaleca się, aby Inwestor był na bieżąco informowany o rozwoju sytuacji podczas budowy [1]. Nadzór budowlany może być prowadzony przy pomocy środków własnych. Alternatywnie, do wykonania prac można zlecić nadzór doradcy technicznego - inżyniera projektu z ramienia Inwestora. Rola doradcy technicznego na etapie budowy polega na zapewnieniu przestrzegania przez wykonawcę odpowiednich norm i umów, a także na składaniu sprawozdań z postępu prac. W skład zespołu nadzoru budowlanego wchodzi z reguły inżynier budowlany i inżynier elektryk wspierany przez ekspertów technicznych w tym geotechnika. Głównymi zadaniami doradców technicznych są przegląd proponowanych projektów, monitoring budowy oraz nadzór realizacji kluczowych zadań.

Uwarunkowania geotechniczne

Istnieją pewne zalety i wady, gdy decydujemy się na budowę farmy słonecznej na zwałowisku nadkładu czy innego rodzaju składowisku odpadów. Niektóre z zalet to duża otwarta lokalizacja, łatwy dostęp do budowy, ograniczone zacienienie i niski koszt nieruchomości gruntowej. Z drugiej strony, zwałowiska posiadają ograniczenia i zagrożenia związane z tego typu terenami i wtedy powstaje konieczność wykonania dodatkowych szczegółowych badań i ekspertyz geotechnicznych, środowiskowych oraz uzyskanie odpowiednich zgód formalnych.

Szczegółowe rozliczenie wszystkich kosztów i ocena potencjalnych zagrożeń jest jedną z kluczowych czynności, które należy przeprowadzić na wczesnym etapie oceny wykonalności inwestycji [2]. Niespełnienie tego warunku może spowodować fiasko całej inwestycji.

Zaprojektowanie instalacji fotowoltaicznej na zwałowisku nadkładu wymaga uwzględnienia następującego zakresu badań podczas wstępnych badań, projektowania, budowy i eksploatacji (tab. 1).

Tab. 1. Zakres badań terenowych i związanych z nimi badań geologiczno-inżynierskich dla posadowienia farm fotowoltaicznych (na podstawie [16, 24])

Tab. 1. The scope of field research and related geological and engineering research for the foundation of photovoltaic farms

Etap projektu	Cel
Wstępne studia	- identyfikacja zagrożeń geologicznych - wstępna ocena warunków geologiczno-inżynierskich - identyfikacja czynników geologiczno-inżynierskich, które mogą mieć wpływ na wykonalność projektu
Projekt wstępny	- wybór miejsca instalacji - określenie wstępnych parametrów wytrzymałościowych gruntów. - rozwiązania geotechniczne posadowienia
Projekt	- szczegółowa charakterystyka geomechaniczna (na podstawie badań polowych i laboratoryjnych) - parametry geomechaniczne do projektowania fundamentów - analizy stateczności
Budowa	- monitoring zagrożeń - kontrola w trakcie budowy - przeciwdziałanie zagrożeniom
Użytkowanie	- kontrola interakcji konstrukcji z podłożem gruntowym - monitoring

Niezbędne jest szczegółowe rozpoznanie następujących problemów:

- Rozpoznanie warunków geotechnicznych zwałowiska. Należy poznać właściwości wytrzymałościowe gruntów zwałowych, które mają być wykorzystane pod fundamenty systemu fotowoltaicznego, a także warunki klimatyczne, hydrologiczne i topograficzne wybranego obszaru oraz sposób wykonania projektu technicznego. Nie chodzi tu o proste standardowe badania geologiczno-inżynierskie świdrem ręcznym do 4 m. Nie można ignorować topografii wybranego miejsca lokalizacji systemu fotowoltaicznego, parametrów gruntów zwałowych i ich podłoża.
- Nawet dla zazwyczaj suchych zwałowisk, może dojść do znacznej infiltracji wód (w okresie 5-10 lat), spowodowanej intensywnymi opadami atmosferycznymi lub w niektórych przypadkach poprzez powódzie, które

mogą nasycić zwałowisko nadkładu lub znajdujące się pod nim grunty lub podłoże zwałowiska. Oznacza to, że nawet przy zagwarantowanej stateczności w warunkach suchych, jeśli grunty zostaną nasycone, zmiana ciśnienia porowego może łatwo zmniejszyć współczynnik stateczności F_s o 30-50%. W niektórych przypadkach wartość F_s może być nawet mniejsza od połowy wartości początkowej.

- Procesy erozji mogą wpływać na warunki wytrzymałościowe gruntów zwałowiska nadkładu w średnim lub długim okresie czasu.
- Stabilność samego zwałowiska w rejonie instalacji systemu fotowoltaicznego musi być zapewniona przed wystąpieniem warunków krytycznych.
- Należy wziąć pod uwagę także możliwość deformacji zwałowiska, spowodowaną zaleganiem i parametrami wytrzymałościowymi jego podłoża.

Wszystkie te aspekty muszą być wzięte pod uwagę, jeśli zwałowisko ma spełniać krótko- i długoterminowe warunki wymagane do rozważenia miejsca na posadowienie systemu fotowoltaicznego. Różnorodne czynniki środowiskowe i osiadania mogą także wpływać na parametry geotechniczne zwałowiska, a woda jest tu potencjalnie najbardziej niebezpieczna. Osiadania na zwałowiskach nadkładu kopalni odkrywkowych i innych składowiskach odpadów po ich zamknięciu zazwyczaj zanikają w okresie 10-15 lat [2]. Czas i wielkość występowania osiadań będzie dla każdego zwałowiska zróżnicowany w zależności od całkowitej kubatury składowanych mas ziemnych, ich wysokości, rodzaju gruntów, zachodzących reakcji chemicznych (w przypadku ich występowania) i historii eksploatacji. W celu sprawdzenia wykonalności projektu należy też wykonać prognozy osiadań i przemieszczeń gruntów. Powinny one zawierać trzy podstawowe czynniki: ocenę zagrożenia osuwiskowego, wielkości konsolidacji gruntów i możliwość procesów pęcznienia gruntu.

Na podstawie tej oceny i badań geotechnicznych na miejscu należy opracować szczegółowy projekt fundamentowania systemu fotowoltaicznego. Zaprojektowane fundamenty muszą być wystarczająco stabilne, zdolne do przyjęcia obciążenia samego systemu paneli słonecznych i umieszczone z wystarczającą separacją, aby uniknąć ewentualnej kolizji pomiędzy panelami w przypadku wystąpienia osiadania różnicowego. Dodatkowo, muszą one uwzględnić i zapewnić niektóre dodatkowe obciążenia, w tym powodowane przez śnieg i wiatr. Te dwa czynniki nie są zazwyczaj decydujące, ale wnoszą pewien wpływ na osiadania. W tym celu należy przyjąć średni ciężar pokrywy śnieżnej na metr kwadratowy w ciągu roku dla danego miejsca. Wiatr powoduje stosunkowo niskie obciążenia przyczyniające się do zróżnicowanych osiadań, jednak przy bardzo silnych porywach może spowodować uszkodzenia paneli. Należy także uwzględnić wpływ obciążeń opadami atmosferycznymi i wodami burzowymi. Proces konsolidacji gruntów przebiega stopniowo. Najpierw zamykają się pustki powietrzne w gruncie, towarzyszy temu odsączenie wód międzycząsteczkowych ze szkieletu gruntowego. W gruntach ilastych mogą wystąpić także procesy pęcznienia.

Kwestie związane z budową konstrukcji montażowych obejmują także zapobieganie pylenia podłoża gruntu zwałowiska prowadzące do nadmiernego gromadzenia się zanieczyszczeń na modułach fotowoltaicznych. Może to mieć duże znaczenie w przypadku instalacji na niedostatecznie

zrehabilitowanych zwałowiskach nadkładu kopalni odkrywkowych węgla brunatnego. Tego typu zagrożenie musi być dokładnie przeanalizowane i wyeliminowane, gdyż niektóre duże zwałowiska mogą powodować pylenie zmniejszające efektywność paneli fotowoltaicznych. Ważne są także kwestie hydrotechniczne. Nieodpowiednie zaprojektowanie systemu drenażu powierzchniowego i zarządzanie odpływem wód powierzchniowych podczas budowy i w trakcie eksploatacji może prowadzić do zagrożeń spowodowanych przez zalanie terenu. Oprócz dokładnego profilu podłoża konieczna jest także dokładna znajomość głębokości występowania zwierciadła wód gruntowych i ich zmian w okresie, co najmniej rocznym.

Prace budowlane związane z budową posadowienia instalacji fotowoltaicznej są stosunkowo proste. Jednakże, mogą one być obciążone poważnymi i kosztownymi konsekwencjami, jeśli nie zostaną prawidłowo wykonane badania geotechniczne i odpowiednio zaprojektowane fundamenty systemu fotowoltaicznego. Główne ryzyko wiąże się z warunkami gruntowymi. Co ważne, nieadekwatne badania gruntu niedostarczające szczegółowych informacji o podłożu gruntowym mogą prowadzić do błędnej interpretacji warunków geologiczno-inżynierskich. W konsekwencji prowadzi to do niewłaściwego zaprojektowania fundamentów. Niedokładne lub przeprowadzone w niewystarczającej ilości prace terenowe, takie jak np. wiercenia rdzeniowe czy sondowania statyczne i dynamiczne, które nie są skrupulatnie skalibrowane przez badania laboratoryjne i modelowanie lub niewłaściwa interpretacja tych danych może prowadzić do takich zagrożeń, jak osiadanie fundamentów [17].

Tereny zwałowisk nadkładu kopalni odkrywkowych węgla brunatnego, rejonów występowania gruntów ilastych w stanie miękkoplastycznym oraz gruntów organicznych i torfów o wysokiej ściśliwości stwarzają ryzyko podczas budowy wszystkich typów obiektów inżynierskich. Ze względu na charakter prac fundamentowych prowadzenie wykopów lub wbijanie pali pod fundamenty, w takich rejonach wiąże się z szeregiem zagrożeń geotechnicznych. Ważne jest, aby być świadomym niebezpieczeństw i przeszkód występujących poniżej poziomu terenu. Jest to szczególnie ważne, gdy weźmiemy pod uwagę byłe obiekty wykorzystywane przez górnictwo i przemysł. Typowe zagrożenia mogą obejmować osuwiska, emisje gazów, pożary endogeniczne i odcieki z dawnych składowisk. Badania geotechniczne powinny być dostosowane do konkretnych wymagań projektu. Kluczowe badania podłoża przed podjęciem prac budowlanych powinny być uzupełnione nadzorem geotechnicznym w trakcie wykonywania prac budowlanych i inspekcją fundamentów. W niektórych przypadkach istnieje wymóg, aby niezależny inżynier lub konsultant z zakresu geotechniki z doświadczeniem w fundamentowaniu instalacji fotowoltaicznych sprawdził, czy prace spełniają wszystkie standardy i normy w imieniu przedsiębiorstwa energetycznego lub nabywcy energii elektrycznej.

Instalacja fotowoltaiczna na zwałowisku nadkładu jest zazwyczaj umocowana do systemu montażowego, zakotwiczonego w fundamencie z betonu balastowego. Równomiernie obciążony fundament przy jednorodnym podłożu gruntowym powinien w przybliżeniu w podobny sposób osiadać. Zróżnicowane wielkości osiadań mogą nastąpić po dodaniu dodatkowych obciążeń do systemu fotowoltaicznego i fundamentu. Na podstawie informacji z dotychczas wykonywanych

badania można stwierdzić, że osiadanie na zwałowiskach może się bardzo znacznie różnić w zależności od rejonu i gruntów budujących podłoże, aż do ~40%.

Osiadanie na zwałowisku następuje w wyniku procesu zwałowania i innych nasypujących po nim procesów mechanicznych biologicznych i chemicznych. Proces ten zależy od kilku czynników, w tym: rodzaju gruntów zwałowych, składu odcieków, pH i temperatury. Dokładne przewidywanie wielkości osiadań i ich czasu jest bardzo trudne. Wpływa na to fakt, że zazwyczaj brak jest reprezentatywnych parametrów wytrzymałościowych gruntów zwałowych. Osiadanie na składowisku podzielone jest na dwie główne kategorie: jednolite i różnicowe. Do prognozowania osiadania struktury paneli fotowoltaicznych na zwałowisku należy wykorzystywać tzw. reprezentatywne wartości średnie oraz informacje dotyczące tego typu zwałowisk w innych miejscach w danym rejonie z uwzględnieniem ciężaru zastosowanych fundamentów, ciężaru systemu fotowoltaicznego, wymiarów zwałowiska i jego nachylenia. Osiadania różnicowe mają miejsce wtedy, gdy fundament osiada nierównomiernie. Nierównomierne osiadania występują, gdy grunt pod strukturą rozszerza się, kurczy lub przesuwają. Całkowite osiadania konstrukcji to wielkość, którą obniży się po zakończeniu budowy [24].

Na zwałowisku może wystąpić zróżnicowane osiadanie, ponieważ grunty zwałowe są bardzo zróżnicowane pod względem wytrzymałościowym, począwszy od miękkoplastycznych gruntów ilastych aż do żwirów i piasków gruboziarnistych. Związana z tym jest nośność tych gruntów, która jest bardzo zróżnicowana. W praktyce, obok obserwacji terenowych, w celu szacowania osiadań na zwałowiskach powszechnie są stosowane metody empiryczne [15,16]. Osiadanie na zwałowisku jest procesem złożonym i zdominowanym przez konsolidację wtórną i osiadanie [3,16]. Trudno jest obliczyć potencjalne osiadania różnicowe, ponieważ nie ma ogólnie przyjętych metod obliczania tych wartości. Potencjalne szkody, jakie mogą wyrządzić instalacji fotowoltaicznej osiadania różnicowe, polegają na zmianach kątów nachylenia paneli i możliwych uszkodzeniach systemu ich mocowania. W związku z tym, osiadanie różnicowe może spowodować, że panele fotowoltaiczne będą zasłaniały się wzajemnie, co może wpływać na zwiększenie obszaru zacinienia. Niektóre z nich mogą też w przypadku większych osiadań ulec przemieszczeniu i w wyniku tego być ustawiane pod mniej optymalnymi kątami w stosunku do promieni słonecznych, pękać lub ulec zniszczeniu. Żeby temu zapobiec projektanci mogą stosować ułożenie specjalnych płytowych fundamentów betonowych, zapewniając bardziej równomierny rozkład obciążeń na powierzchni gruntu. Ponadto, w przypadku ryzyka osiadań różnicowych zalecane jest pozostawienie większych odstępów pomiędzy panelami słonecznymi i ich mocowaniami. Pozwalają one na niewielkie przemieszczanie poszczególnych paneli i zapobiegają ich zderzeniom lub zacińnięciu. Dzięki tym dwóm metodom, można w pewien sposób ograniczyć potencjalne problemy stwarzane przez osiadania różnicowe, ale należy podkreślić, że nie można dopuścić, by grunt pod instalacją fotowoltaiczną ulegał osiadań i zawsze należy dążyć do całkowitej eliminacji tego zjawiska. Zastosowanie specjalnego rodzaju wzmocnionych fundamentów betonowych może kosztować nawet do 25% całego kosztu inwestycyjnego, co w niektórych lokalizacjach może nawet doprowadzić do braku możliwości realizacji projektu

w nieodpowiednio wybranym miejscu. Innym rozwiązaniem mogą być systemy mikropali, jeżeli w podłożu zwałowiska na płytkiej głębokości występuje podłoże charakteryzujące się korzystnymi parametrami wytrzymałościowymi.

Ocena oddziaływania na środowisko

Dla tego typu inwestycji jest wymagana ocena oddziaływania na środowisko. Przy czym według obowiązującego Prawa Ochrony Środowiska zależy to od lokalizacji i powierzchni inwestycji. Inwestycje mogące oddziaływać znacząco na środowisko (Prawa Ochrony Środowiska. art. 3 ust. 1 pkt 52 lit. b), to zabudowa przemysłowa lub magazynowa, wraz z towarzyszącą jej infrastrukturą, o powierzchni zabudowy nie mniejszej niż: a) 0, 5 ha na obszarach objętych formami ochrony przyrody, o których mowa w art. 6 ust. 1 pkt 1-5, 8 i art. 9 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody, lub w otulinach form ochrony przyrody, o których mowa w art. 6 ust. 1 pkt 1 - 3 tej ustawy, b) 1 ha na obszarach innych, niż wymienione w lit. a). Przy czym przez powierzchnię zabudowy rozumie się powierzchnię terenu zajęłą przez obiekty budowlane oraz pozostałą powierzchnię przeznaczoną do przekształcenia w wyniku realizacji przedsięwzięcia zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r., w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz. U. z 2010 r., Nr 213, poz. 1397). Uprawniony specjalista ds. ochrony środowiska powinien przeprowadzić wymagane przez ustawę badania w celu sprawdzenia, jak może ona wpłynąć np. na obszary chronione np. Natura 2000, lokalną faunę i florę, tereny leśne i warunki wodne. Na podstawie takiej analizy należy określić czy będą poważne zagrożenia dla środowiska i jaki będzie wpływ inwestycji na środowisko w trakcie wykonywania prac budowlanych, eksploatacji oraz po likwidacji inwestycji. Dodatkowo, przeanalizowane powinny być zagrożenia związane z lokalizacją inwestycji na zwałowisku nadkładu kopalni odkrywkowej węgla brunatnego. Analizami powinny być objęte osuwiska, zanieczyszczenie wód gruntowych, występujące tam reakcje chemiczne, np. kwaśne wody, związane z obecnością np. pirytu, emisje gazów, pożary endogeniczne, brak drenażu podłoża (zbiorniki bezodpływowe) i możliwy wpływ tych czynników na bezpieczeństwo inwestycji [13,14,23,27].

Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono zagadnienia geologiczno-inżynierskie z jakimi wiąże się posadowienie instalacji fotowoltaicznych na terenach po eksploatacji węgla brunatnego oraz związane z tym problemy geotechniczne i środowiskowe. Przedstawiono przykłady obecnie realizowanych i planowanych tego typu projektów w Polsce i innych krajach europejskich. Omówiono także obowiązujące przepisy prawne, zakres badań geologiczno-inżynierskich i analiz niezbędnych dla bezpiecznego posadowienia takich instalacji. Lokalizacja tego typu inwestycji na terenach po górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego ma szereg zalet, należy jednak pamiętać, że musi być ona dogłębnie przeanalizowana, rejon ewidentnie do tego nienadające się, powinny być wykluczone przed rozpoczęciem wykonywania projektu prac geologicznych i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Badania geologiczno-inżynierskie powinny być wykonane

zgodnie z obowiązującymi przepisami, a parametry wytrzymałościowe gruntów określone na podstawie badań *in-situ* skalibrowanych badaniami laboratoryjnymi parametrów wytrzymałościowych w warunkach efektywnych. W przypadku, gdy wyniki dokumentacji geologiczno-inżynierskiej będą wskazywać na niekorzystne warunki geotechniczne należy rozważyć wzmocnienie podłoża (jeżeli będzie to w stanie zapewnić bezpieczeństwo) oraz zastosować system monitoringu wgłębnego i powierzchniowego lub zmienić planowaną lokalizację i wykonać ponowne badania. Przy każdej lokalizacji systemu fotowoltaicznego na zwałowisku nadkładu należy też prowadzić regularny monitoring geode-

zyjny podczas prowadzenia i po jej ukończeniu przez okres co najmniej 1 roku (co najmniej 10 pomiarów). Dla zapewnienia prawidłowej pracy i ograniczenia możliwości uszkodzenia, bądź zniszczenia systemu fotowoltaicznego należy unikać lokalizacji w pobliżu skarp, a szczególnie byłych i obecnych terenów osuwiskowych. Należy także wyeliminować obszary charakteryzujące się dużymi osiadaniami, terenów podmokłych i zabagnionych oraz terenów w pobliżu rzek z czynnymi procesami erozyjnymi. Należy też wykluczyć zwałowiska gdzie może dochodzić do dużej emisji pyłu.

Projekt finansowany ze środków Funduszu Badawczego Węgla i Stali (Umowa nr 847227).

Praca naukowa opublikowana w ramach projektu międzynarodowego współfinansowanego ze środków programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pn. „PMW” w latach 2019-2022; umowa nr 5029/FBWiS/2019/2

Literatura

- [1] Dyrektywy 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych „Coal 101: The 4 Types of Coal and Their Uses.” Investing News Network. N.p., 03 Mar. 2017. web. 25 Apr. 2017. <<http://investingnews.com/daily/resource-investing/industrial-metals-investing/coal-investing/types-of-coal/>>
- [2] Deval L. Patrick, Timothy P. Murray, Richard K. Sullivan Jr; (2016). Commonwealth of Massachusetts, The Guide to Developing Solar Photovoltaic's at Massachusetts Landfills. <<https://landss.soton.ac.uk/landfill-settlement/>>.” Distributed Generation Renewable Energy Estimate of Costs.” NREL: Energy Analysis – Energy Technology Cost and Performance Data. NREL, Feb. 2016
- [3] Edil, T. B., V. J. Ranguette, and W. W. Wuellner. (1990). —Settlement of Municipal Refuse. In: Geotechnics of Waste Fills – Theory and Practice: ASTM STP 1070
- [4] Feasibility Study Sitting of PV Solar Panels on a Landfill and Adjoining Land in Bethel, NY Final Report Prepared By Cornell Spring CEE 5910 PV Solar Team Adam Schecter, Shiqi Fan, Kaiwen Deng, Fangzheng Peng, Bolun Xu, and Diego Carbonara 5/19/2017 <http://csc-site-persistent-prod.s3.amazonaws.com/fileadmin/cicbase/documents/2018/3/2/15200015122555.pdf>
- [5] <https://300gospodarka.pl/300klimat/energia-wybuduje-farme-fotowoltaiczna-na-terenach-po-kopalni-odkrywkowej>
- [6] https://www.odkrywamyzakryte.com/kopalnia-wegla-farma-sloneczna-w-polsce/Dawna_Kopalnia_Węgla_Stanie_Się_Największą_Farmą_Słoneczną_W_Polsce
- [7] <https://samorzad.pap.pl/kategoria/aktualnosci/wiceminister-klimatu-na-najwiekszej-farmie-fotowoltaicznej-w-polsce>
- [8] <https://globenergia.pl/fotowoltaika-pomoze-regionom-weglowym-odejsc-od-wegla-bedzie-praca-energia-i-oszczednosci/>
- [9] <https://www.gramzielone.pl/energia-sloneczna/102424/plywajaca-fotowoltaika-na-zbiornikach-po-kopalniach-wegla>
- [10] <https://www.onet.pl/biznes/biznesalert/nie-ma-powrotu-do-wegla-czyli-rok-prezesa-pge/80ez67y,30bc1058>
- [11] <https://www.renewable-energy-industry.com/news/press-releases/pm-6325-solar-power-near-lignite-mine-juwi-plans-and-builds-10-megawatt-pv-plant-for-leag-in-brandenburg>
- [12] Jordan, D. C., & Kurtz, S. R. (2013). Photovoltaic degradation rates—an analytical review. *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, 21(1), 12-29
- [13] Kręciproch, K., Kręciproch P., Ułańczyk M., Sieracki M. (2019) Raport o Oddziaływaniu na Środowisko „Budowa kompleksu odrębnych farm fotowoltaicznych do 1 MW każda o łącznej mocy do 15 MW, zlokalizowanych w miejscowości Tułowice wraz z zagospodarowaniem terenu i niezbędną dla każdej z farm infrastrukturą” Wnioskodawca: EW GREENFIELD 12 Sp. z o.o.ul. Plac Rodła 8 70-419 Szczecin
- [14] Kumar, S. (1997). „Settlement Prediction for Landfills. Paper submitted for publication in the J. Geotech. Eng. „ASCE
- [15] „Landfill Settlement.” Landfill Settlement | LANDSS: Landfill (Aftercare) Decision Support System. N.p., n.d. Web. 13 May 2017
- [16] Photovoltaics at Massachusetts Landfills Commonwealth of Massachusetts (Rep.) doi:<<http://www.mass.gov/eea/docs/doer/green-communities/ems/guide-to-developing-solar-pv-at-massachusetts-landfills.pdf>>
- [17] PN-EN 1997 – 1 EUROKOD 7, Projektowanie geotechniczne. Część 1: zasady ogólne
- [18] PN-EN 1997 2: Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- [19] Polska Norma PN – 83/B – 03020, Posadowienie bezpośrednie budowli
- [20] PN-B-03040: 1980 Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyny - Obliczenia i projektowanie

- [21] Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U.2020.0.1064 t.j. - Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r.
- [22] Prepared in Partnership with the Environmental Protection Agency for the RE-Powering America's Land Initiative: Siting Renewable Energy on Potentially Contaminated Land and Mine Sites (No. NREL/TP-7A40-58760). National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO. SEIA. Net Metering. Retrieved May 02, 2017, from <http://www.seia.org/policy/distributed-solar/net-metering>
- [23] Rodriguez, J. (2017) „Differential Settlements Definition.” The Balance. N.p., n.d. Web. 26 Apr. 2017. <<https://www.thebalance.com/differential-settlements-844692>>
- [24] Rosado, F., Vince, P. (2006) Siting Solar Photovoltaics at the Town of Bethel Landfill . Rep. N.p.: Environmental Protection Agency, Region 2 , n.d. Print
- [25] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. ws. ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych
- [26] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. ws. przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko
- [27] Salasovich, J., Geiger, J., Mosey, G., & Healey, V. (2013). Feasibility Study of Economics and Performance of Solar Photovoltaics at the Kolthoff Landfill in Cleveland, Ohio. A Study
- [28] „Solar PV Generation - Live Performance Data.” Newquay Weather Station. N.p., n.d. Web. Apr. 2017. <<http://www.newquayweather.com/wxsolarpv.php>>
- [29] Terrasmart, (2017) „Solar Ground Mounts - TF2.” TerraSmart. N.p., n.d. Web. 13 May 2017
- [30] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Tekst jednolity: Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150 z późn. zm.) wraz z aktami wykonawczymi do ustawy
- [31] Ustawa z dnia 14 grudzień 2012 r. o odpadach (Tekst jednolity: Dz. U. z 2013 r. poz. 21) wraz z aktami wykonawczymi do ustawy
- [32] Ustawa z dnia 27.07.2001 r. o wprowadzeniu ustawy - Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz. U. Nr 100., poz. 1085 z późn. zm.)
- [33] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Tekst jednolity: Dz. U. z 2009 r., Nr 151, poz. 1220 z późn. zm.) wraz z aktami wykonawczymi do ustawy
- [34] Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1227 z późn. zm.) wraz z aktami wykonawczymi do ustawy
- [35] Wiłun, Z. Zarys geotechniki, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2005, in Polish
- [36] Węgiel brunatny nr 4 (109) 2019 pp 43-44 http://www.ppwb.org.pl/Static/upload/File/wegiel_109.pdf



Kopalnia wapienia. Widok na ocios. Przygotowania do odstrzału