

PONOWNE WYKORZYSTANIE TERENÓW ZREKULTYWOWANYCH

7.1. Wprowadzenie

Rekultywacja nieuporządkowanych składowisk odpadów jest procesem złożonym, uwzględniającym zarówno aspekty techniczne, jak i biologiczne. Równie złożony jest wpływ nieuporządkowanych wysypisk na środowisko oraz szkodliwe jego skutki, które mogą wystąpić długo po ich zamknięciu i rekultywacji. Te negatywne oddziaływania można złagodzić i zminimalizować poprzez zastosowanie właściwego projektu i wdrożenie procesu rekultywacji, ale także poprzez długoterminową opiekę nad otwartymi składowiskami.

Podejścia i podejmowane środki na rzecz skutecznych praktyk po zamknięciu wymagają ustanowienia i wdrożenia odpowiedniej strategii opieki “poeksploatacyjnej”, która może jeszcze bardziej zminimalizować potencjał wszelkich niekorzystnych oddziaływań ze strony zrekultywowanego nieuporządkowanego składowiska odpadów. Taka strategia musi obejmować koncepcyjny plan ponownego wykorzystania zrekultywowanych terenów oraz odpowiednią, zaplanowaną z wyprzedzeniem opiekę poeksploatacyjną, podczas projektowania i wczesnych faz operacyjnych procesu rekultywacji. Plan koncepcyjny musi dotyczyć możliwości późniejszego wykorzystania zrekultywowanego terenu i zazwyczaj obejmuje:

- Możliwe późniejsze wykorzystanie zrekultywowanego nieuporządkowanego wysypiska śmieci w odniesieniu do zarówno obecnego, jak i przewidywanego zagospodarowania terenu w obszarze wokół obiektu;
- Wszystkie wymagania techniczne i operacyjne, które gwarantują prawidłowy projekt i układanie pokrywy w celu dopasowania do zamierzonego późniejszego wykorzystania, w tym materiały, które należy zastosować;
- Zarysy krajobrazu/powierzchni przed i po zasiedleniu;

- Założenie/utrzymanie instalacji do prowadzenia monitoringu/kontroli środowiska.

Działania związane z rekultywacją nieuporządkowanych wysypisk obejmują utwardzenie i ponowną wegetację zgodnie z lokalnymi wymogami prawnymi, a następnie instalację i dalszą konserwację lub wymianę istniejących systemów zbierania gazu/odcieku oraz rozbiórkę wszelkiej infrastruktury, która nie jest już potrzebna. Działania te przynoszą korzyści dla środowiska, zdrowia publicznego i zarządzania, zwłaszcza teraz, gdy społeczeństwa wdrażają politykę odzyskiwania odpadów po COVID 19, środki i działania. Do głównych korzyści należą:

- Zmniejszenie wytwarzania odcieków, zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych, zanieczyszczenia gleby;

- Ograniczenie zanieczyszczenia powietrza z powodu czarnego dymu ze spalania, osłabienie negatywnego wpływu na klimat z powodu czarnego dymu i metanu;

- Minimalizacja inwazyjnych zapachów, szkodników i rozprzestrzeniania się chorób, w tym przenoszenia wektorów;

- Zminimalizowanie ryzyka problemów zdrowotnych i bezpieczeństwa ze względu na zbieraczy odpadów mających dostęp do nieuporządkowanego wysypiska, czyli zminimalizowanie kosztów zdrowia publicznego;

- Przechwytywanie i oczyszczanie gazu, szczególnie w okresie jego największej produkcji;

- Minimalizacja kosztów związanych z utratą wody pitnej i innych zasobów, kosztów wartości gruntów, kosztów oczyszczania;

- Realizacja zwrotu kosztów w okresie po zamknięciu zrekultywowanego nieuporządkowanego wysypiska.

Planując późniejsze wykorzystanie zrekultywowanego nieuporządkowanego składowiska odpadów, należy wziąć pod uwagę kilka ważnych czynników: lokalizację składowiska, potrzeby społeczeństwa/społeczności na poziomie lokalnym, otoczenie nieuporządkowanego składowiska pod względem krajobrazu i zagospodarowania terenu, charakter działań rekultywacyjnych. Wszystkie te czynniki wyznaczają granice projektowe i określają działania/struktury, które mają być podjęte/stworzone na rekultywowanym terenie (Grudziecki i Buachoom, 2016).

W tym kontekście należy również skonsultować się z władzami odpowiedzialnymi za planowanie i regulację, ponieważ późniejsze wykorzystanie zrehabilitowanego terenu musi być zgodne z lokalnymi/regionalnymi strategicznymi planami rozwoju oraz przewidywanymi sposobami wykorzystania zrehabilitowanego terenu. Teren zrehabilitowany nie powinien być izolowany; musi pasować do jego topograficznego i ekologicznego środowiska i musi być traktowany jako opcja projektowa, a nie izolowany i ignorowany kawałek ziemi (Jenkins, 2016).

Wszystkie propozycje dotyczące późniejszego wykorzystania pełnego nieuporządkowanego wysypiska muszą być na tyle elastyczne, aby zagwarantować trwałość tego późniejszego wykorzystania niezależnie od zmian w planowaniu lub postawach społeczeństwa w perspektywie długoterminowej. Ponadto, należy przewidzieć regularne przeglądy i (w razie potrzeby) aktualizacje możliwości zagospodarowania poeksploatacyjnego, ponieważ jest to podejście zapewniające spójność między działaniami rekultywacyjnymi a przewidywanym zagospodarowaniem poeksploatacyjnym terenu.

Obecnie pojawia się innowacyjna koncepcja, która uwzględnia nie tylko projekt prostego miejsca do zbierania odpadów, ale także planowanie pożądanego przez społeczność przestrzeni i struktur związanych z miejscem po jego wykorzystaniu. Należy mieć na uwadze, że wizja potencjalnego późniejszego użytkowania terenu będzie pomocna w przeprowadzeniu odpowiednich operacji w celu dostosowania ostatecznego profilu terenu do założeń. Na przykład formy terenu obejmujące zbocza nie są odpowiednie do tworzenia parków i innych otwartych przestrzeni publicznych (Artuso i Cossu, 2018).

Najpopularniejsze zastosowania wtórne zrehabilitowanych nieuporządkowanych wysypisk są związane z działalnością rekreacyjną (w tym obiekty sportowe, nieuporządkowane przestrzenie publiczne, siedliska przyrodnicze), rolniczą (uprawa roślin, tworzenie pastwisk, do odzysku energii) i specjalistyczną działalnością budowlaną (rysunek 7.1).

Przy planowaniu rodzaju dalszego użytkowania należy wziąć pod uwagę, że zrehabilitowane nieuporządkowane wysypisko jest terenem zanieczyszczonym i wszelkiego rodzaju działania związane z dalszym użytkowaniem terenu (oraz terenu w jego otoczeniu) muszą być ocenione przez odpowiednie organy zajmujące się ochroną środowiska. Ponadto wszelkie działania związane z zagospodarowaniem poeksploatacyjnym powinny być podejmowane po

przeprowadzeniu dogłębnej oceny ryzyka związanego z zamkniętymi składowiskami (np. ryzyka emisji gazów, wpływu na zaopatrzenie w wodę itp.) oraz potwierdzeniu, że nie stanowią one już zagrożenia.



Rysunek 7.1. Najczęstsze sposoby późniejszego wykorzystania rekultywowanych obiektów.






Biorąc pod uwagę potencjalnych użytkowników końcowych zamkniętego obiektu do unieszkodliwiania stałych odpadów komunalnych (SOD), osoby zaangażowane w późniejsze użytkowanie rekultywowanego obiektu - od właścicieli, przez urzędników samorządowych, po planistów gminnych - muszą rozważyć wyżej wymienione opcje. Należy podjąć decyzję o najbardziej odpowiednim końcowym wykorzystaniu zrehabilitowanego terenu w odniesieniu do wpływu na krajobraz, zrównoważenia środowiskowego i porozumienia społecznego (Artuso i Cossu, 2018a). Korzyści społeczne i środowiskowe z wyżej wymienionych opcji zostały podsumowane na rysunku 7.2. Wszystkie z nich mogą być traktowane jako aktywa dla lokalnej społeczności na różne sposoby (patrz sekcje 7.2 do 7.4 poniżej). Aktywa te mogą również służyć w różny sposób: z bezpośrednimi korzyściami dla społeczeństwa (nowe obszary łądowe, siedliska dzikiej przyrody, cele komercyjne itp.) lub z pośrednim wpływem (odzysk energii i materiałów).

7.2. Wykorzystanie rekreacyjne

Opcja użytkowania rekreacyjnego w przypadku eksploatacji rekultywowanych terenów jest dobrą okazją dla poprawy infrastruktury wolnoczasowej przez lokalną społeczność, a tym samym pośrednio do zwiększenia wartości nieruchomości w otoczeniu terenu. Wykorzystanie

rekreacyjne jest w rzeczywistości najczęściej wybieraną opcją dla zamkniętych nieuporządkowanych wysypisk. Szczególnie w przypadku, gdy rekultywowany teren sąsiaduje z obszarami miejskimi o dużej gęstości zaludnienia, utworzenie publicznej przestrzeni rekreacyjnej, która oferuje strefy zielone odpowiednie dla ścieżek przyrodniczych lub aktywności sportowej na otwartej przestrzeni jest dużą zaletą, ponieważ promuje zdrowie i dobre samopoczucie społeczeństwa. Dodatkowo, ten rodzaj użytkowania przyczynia się do odbudowy krajowych siedlisk, wspierania utrzymania lokalnej dzikiej przyrody, obserwacji i badań.

Działania rekreacyjne różnią się nie tylko swoim charakterem, ale także złożonością: od zwykłej otwartej przestrzeni do wysoko zorganizowanych wieloczęściowych obiektów. Różnice zależą również od krajobrazu rekultywowanego miejsca oraz od wymagań społeczności dotyczących charakterystyki działań. W konsekwencji, zrekultywowany teren może łączyć kilka zastosowań rekreacyjnych. Tak więc, aby określić najbardziej odpowiednie zastosowanie rekreacyjne należy rozważyć różne kwestie i znaleźć właściwą równowagę pomiędzy korzyściami i obawami. Oba kryteria zostały opisane w podrozdziałach od 2.1 do 2.4 poniżej.

	Zastosowanie rekreacyjne Publiczne ograniczone zastosowanie: siedliska przyrodnicze (otwarta przestrzeń) Publiczne nieograniczone zastosowanie: parki (otwarta przestrzeń) Działalność intensywna: sport (otwarta przestrzeń + pomocnicze struktury i cechy)
	Rolnictwo Uprawy rolne (otwarta przestrzeń) Sianokosy (otwarta przestrzeń) Trawnikowanie (otwarta przestrzeń)
	Budowa Obiekty komunalne: parkingi, sklepy detaliczne, budynki obsługi technicznej Obiekty ukierunkowane na zrównoważony rozwój: ekologiczne centra edukacyjne, punkty zbiórki surowców wtórnych, punkty zbiórki odpadów niebezpiecznych z gospodarstw domowych
	Wytwarzanie energii Zbieranie i utylizacja LFG, Umieszczenie paneli słonecznych Umieszczenie turbin wiatrowych
	Górnictwo Usuwanie odpadów z problematycznych miejsc Odzysk cennych materiałów

7.2.1 Tworzenie rezerwatu przyrody/siedliska

Ustanowienie ostoi/siedliska przyrodniczego na zrehabilitowanym terenie zapewnia istotne korzyści w porównaniu z obsianiem trawą lub sadzeniem monokultury (mniej więcej standardowa praktyka rekultywacyjna). W tym celu należy rozważyć różne cechy roślinności i krajobrazu, aby skutecznie osiągnąć cele kompletnego systemu pokrycia, w tym minimalizację infiltracji cieczy do odpadów. Ponadto, cechy te muszą być zgodne z celem zapewnienia warunków dla dzikiej przyrody i rekreacji, które są jak najbardziej zbliżone do naturalnych.

Wybór roślinności musi być dokonany w taki sposób, aby spełniał następujące wymagania:

- Być dostosowana do warunków środowiskowych panujących w danym miejscu;
- być rodzima i/lub odporna na suszę
- Ograniczone potrzeby w zakresie koszenia;
- Zmniejszone zapotrzebowanie na nawozy;
- Aby umożliwić właściwą kontrolę utrzymania: łatwą kontrolę i usuwanie chwastów/inwazyjnych roślin.

Takie podejście nie tylko przyczynia się do naturalnego wyglądu siedliska dzikiej przyrody, ale także liczy się do lepszego zarządzania kosztami operacyjnymi utrzymania pokrywy roślinnej (Simmons, 1999).

Przed rozpoczęciem działań związanych z tworzeniem siedlisk przyrodniczych należy przeprowadzić specjalne badania mające na celu zebranie użytecznych informacji wstępnych na temat gatunków roślin występujących na zrehabilitowanym obszarze i w jego otoczeniu oraz dominujących warunków potrzebnych do utworzenia siedliska przyrodniczego. Na podstawie wyników badań, budowa siedliska przyrodniczego może być zorganizowana poprzez następujące podejścia (Simmons, 1999):

- Naturalna regeneracja: przy niewielkim, jeśli w ogóle, wysiłku i ingerencji człowieka;
- Tworzenie podstawowych elementów siedliska przyrodniczego (zakładanie roślinności, ogólne kształtowanie krajobrazu), a następnie ograniczona ingerencja człowieka wzdłuż naturalnego rozwoju i dla celów utrzymania;
- Ustanowienie głównych cech siedliska przyrodniczego i ich utrzymanie w czasie, aby

bezpośrednio dopasować się do oczekiwanych przez ludzi rezultatów.

Niezależnie od tego, jakie podejście do tworzenia siedliska przyrodniczego zostanie wybrane, podstawowym zadaniem wymagającym uwagi jest dbałość o integralność funkcji systemu pokrycia roślinnego, ochrona infrastruktury terenu i spełnienie życzeń użytkowników końcowych. Jest to złożony problem, który należy rozwiązać za pomocą różnych możliwych opcji. Na przykład, elementy systemu zamknięcia nieuporządkowanego wysypiska muszą być zaprojektowane w taki sposób, aby szanować siedliska dzikich zwierząt. Badanie przedrealizacyjne jest bardzo przydatne do tego celu, ponieważ jego dane mogą dostarczyć informacji o możliwych negatywnych związkach pomiędzy naturalną florą i fauną a infrastrukturą składowiska (np. ocena ryzyka szkód wyrządzonych przez dzikie gatunki zwierząt w systemie pokrywy i infrastrukturze).

7.2.2. Parki i obiekty sportowe

Wspólną cechą parków i terenów sportowych jest otwarta przestrzeń, co z kolei stanowi przewagę nad obiektami rekreacyjnymi obejmującymi budynki. Wynika to z faktu, że te otwarte przestrzenie nie są zagrożone akumulacją gazów, które są głównym problemem w przypadku obiektów zamkniętych. Jeśli chodzi o gospodarkę wodną, to działania na terenach rekreacyjnych typu "open space" nie naruszają norm dotyczących zamknięcia nieuporządkowanych wysypisk. Woda spływowa musi być odprowadzana i należy unikać tworzenia się stawów wodnych poprzez staranny dobór właściwych warunków dla przepływu wody.

Ogólnie rzecz biorąc, otwarte tereny rekreacyjne nie posiadają budynków strukturalnych. Mogą jednak występować obiekty małej architektury, takie jak miejsca na piknik, szlaki, ławki, miejsca obserwacyjne, pawilony itp. Kiedy otwarta przestrzeń rekreacyjna znajduje się w pobliżu obszaru silnie zurbanizowanego, należy podjąć środki ostrożności w celu ochrony systemu osłonowego i związanej z nim infrastruktury. Środki te zazwyczaj obejmują umieszczenie znaków lub notatek wskazujących obszary, które są zabronione dla niektórych działań lub powinny być traktowane ze szczególną uwagą.

W przypadku działań rekreacyjnych, które obejmują udział sporej liczby osób, zaleca się bardziej uporządkowanego zakresu infrastruktury. W tym przypadku należy zaplanować budynki administracyjne, magazyny, toalety itp., które mogą wymagać m.in. systemów oświetleniowych.

Wskazane jest, aby takie obiekty budowlane były zlokalizowane poza granicami rekultywowanego terenu. Jednak efektywne wykorzystanie rekreacyjne może wymagać ustawienia, niektórych obiektów budowlanych bezpośrednio na terenie. W takim przypadku istnieją wymagania dotyczące fundamentów tych budynków oraz ich elementów pomocniczych (ławki, pawilony, place zabaw), takie jak dodatkowe ilości gruntu oraz stabilizatory istniejącego podłoża. Konieczna jest również właściwa kontrola LFG, aby uniknąć ewentualnych wybuchów.

Jednym z najbardziej praktycznych zastosowań rekultywowanych terenów jest pole golfowe. Chociaż pole golfowe wymaga stosunkowo dużej powierzchni (ok. 700 000 m²) (Golf, 2013), jest uważane za dobrą inwestycję i potencjalne źródło dochodu (Wallace, 2000). Najkosztowniejszą częścią budowy pola golfowego na zrekultywowanym terenie jest duża ilość ziemi, którą trzeba przenieść i ułożyć, aby ukształtować idealne warunki do gry w golfa. Dlatego osoby zajmujące się zagospodarowaniem terenów zrekultywowanych muszą uwzględnić cel budowy pola golfowego i włączyć go do swoich planów przedrozwojowych dotyczących zagospodarowania terenów zrekultywowanych.

Przy projektowaniu pola golfowego musi zostać wdrożony system LFG, który będzie mógł być eksploatowany przez długi okres czasu. System ten musi odpowiadać zarówno cechom technicznym urządzenia do zbierania gazu, jak i potrzebom estetycznym pola golfowego.

Przewidywane miejsce pola golfowego musi być ocenione podczas budowy obiektu, aby zapewnić odpowiednie nachylenie powierzchni do gry, które jest ważne dla zasad gry i uniknąć wszelkich różnicowych osiadań, które mogą prowadzić do powstawania stawów lub stopni powierzchni z negatywnym wpływem na ogólny widok pola golfowego.

Specyficzną cechą pola golfowego, która odróżnia je od innych zastosowań rekreacyjnych, jest wymóg właściwego nawadniania. Biorąc pod uwagę fakt, że otwarte systemy nawadniania mają na celu zminimalizowanie infiltracji wody w korpusie obiektu, planowanie, projektowanie i eksploatacja systemu nawadniania powinny mieć szczególne znaczenie, zsynchronizowane z ogólnymi celami obiektu. Stabilność linii nawadniających oraz duże i stałe zaopatrzenie w wodę należą do głównych wyzwań związanych z aranżacją nawadniania. Należy również rozważyć możliwość wykorzystania do tych celów wody uzdatnionej.

7.2.3. Inne zastosowania rekreacyjne

Inne zastosowania rekreacyjne rekultywowanego terenu mogą obejmować obiekty otwartej przestrzeni dla aktywności sportowej, takie jak stoki do jazdy na nartach i sankach, lodowiska, strzelnice łucznicze, ścieżki rowerowe itp. Chociaż tego typu zastosowania nie są tak powszechne jak parki i sportowe place zabaw, powinny być rozważane jako opcja alternatywna. Prawdą jest, że te zajęcia sportowe są ryzykowne, ponieważ są mniej praktykowane, a deweloperzy terenów rekreacyjnych lub organy regulacyjne mogą obawiać się o zdrowie użytkowników końcowych. Niemniej jednak, jeśli taki projekt odpowiada potrzebom społeczeństwa i spełnia lokalne przepisy, może zostać zaakceptowany i wdrożony.

7.3. Wykorzystanie do celów rolniczych

7.3.1. Tworzenie obszarów trawiastych, uprawa roślin, wypas zwierząt

Istnieje kilka sposobów użytkowania rolniczego, które są odpowiednie do wykorzystania po rekultywacji (Kovac i Goodburn, 2010). Wśród nich można wymienić: tworzenie obszarów trawiastych, wypasanie zwierząt, sadzenie i uprawę roślin oraz hodowlę lasu.

Tworzenie obszarów trawiastych jest dobrym rozwiązaniem terenów po zamknięciu wysypisk, ponieważ jest stosunkowo łatwe do wykonania i późniejszego utrzymania. Istnieje jednak kilka istotnych cech gatunków trawiastych, które należy wziąć pod uwagę przy planowaniu projektu tworzenia obszarów trawiastych. Na przykład, gatunki traw muszą być typu kłączowokępowego, aby tworzyły równą, gęstą i trwałą darni. Zaleca się, aby były one odporne na choroby i suszę, tolerancyjne w odniesieniu do dostępności składników odżywczych i przystosowujące się do skrajnych warunków środowiskowych. Jeżeli obszary trawiaste nie są przewidziane do wypasu, gatunki trawiaste muszą być nieatrakcyjne dla zwierząt. W celu łatwego utrzymania preferowane są gatunki, które nie wymagają częstego koszenia i posiadają dobrą zdolność do łatwej regeneracji po skoszeniu (Maiti i Maiti, 2015).

Do celów wypasu gatunki roślin muszą być szybko rosnące i atrakcyjne dla zwierząt (Grazing former landfills. Legacy Grazing case studies <https://www.legacygrazing.org.uk/case-studies/landfills>).

W przypadku hodowli lasu, krzewy i drzewa są powszechnie planowane do sadzenia na

peryferiach i zboczach, aby umożliwić ochronę przed erozją, a także w celu ochrony łąki przed innymi uszkodzeniami, takimi jak nielegalne koszenie, wypas lub ingerencja ludzi (Moffat i McNeill, 1994).

7.3.2. Obawy związane z użytkowaniem rolniczym

Istnieją dwa główne problemy związane z rolniczym wykorzystaniem terenów rekultywowanych:

- Przeniesienie zanieczyszczenia wzdłuż łańcucha pokarmowego poprzez skażone źródła żywności z emisji z zrekultywowanego terenu;
- Utrzymanie integralności warstw osłonowych i ochrona przed potencjalnymi uszkodzeniami spowodowanymi działalnością rolniczą.

Aby uniknąć takich sytuacji, należy stosować dobre praktyki sadzenia, zbioru i wypasu. Efektywnie zrekultywowane tereny wspierane w okresie poeksploatacyjnym nie powinny umożliwiać przenoszenia zanieczyszczeń na florę i faunę na powierzchni obszaru. Bardzo ważne jest również utrzymanie Systemu Gromadzenia i Kontroli Gazu (GCCS) oraz spływu i odprowadzania wody. Ingerencja w system pokrycia i infrastrukturę terenu może prowadzić do szkód i jest zależna w dużym stopniu od grubości warstwy gleby nad pokryciem terenu. Ta warstwa gleby powinna być na tyle głęboka, aby umożliwić prawidłowe ukorzenie się roślin, a jednocześnie utrzymać system korzeniowy z dala od krytycznych elementów warstw osłonowych i leżących pod nimi odpadów. To samo dotyczy maszyn rolniczych i/lub dzikich zwierząt. Dlatego też infrastruktura terenu powinna być odpowiednio umieszczona pod ziemią, a jeśli znajduje się na powierzchni - odpowiednio oznakowana.

Wykorzystanie rekultywowanych terenów do celów rolniczych nie wszędzie jest powszechną praktyką. W niektórych krajach przepisy krajowe nie odnoszą się w sposób szczegółowy do wykorzystania zamkniętych terenów do takich celów, mimo że utrzymanie systemu pokrywy i kontrola wód opadowych są aktywne. Istnieją przypadki, w których wykorzystanie rolnicze jest wysoce zabronione. Wreszcie, regulacje prawne niektórych krajów dotyczące zastosowań rolniczych w zakresie wypasu zwierząt, produkcji roślinnej i leśnej są bardziej precyzyjne.

Ponadto należy pamiętać o kilku ważnych kwestiach zarówno o charakterze technicznym, jak i agromelioracyjnym. Większość z nich wymieniono w tabeli 7.1.

Tabela 7.1. Techniczne i agromelioracyjne uwarunkowania rolniczego wykorzystania terenów zrehabilitowanych.

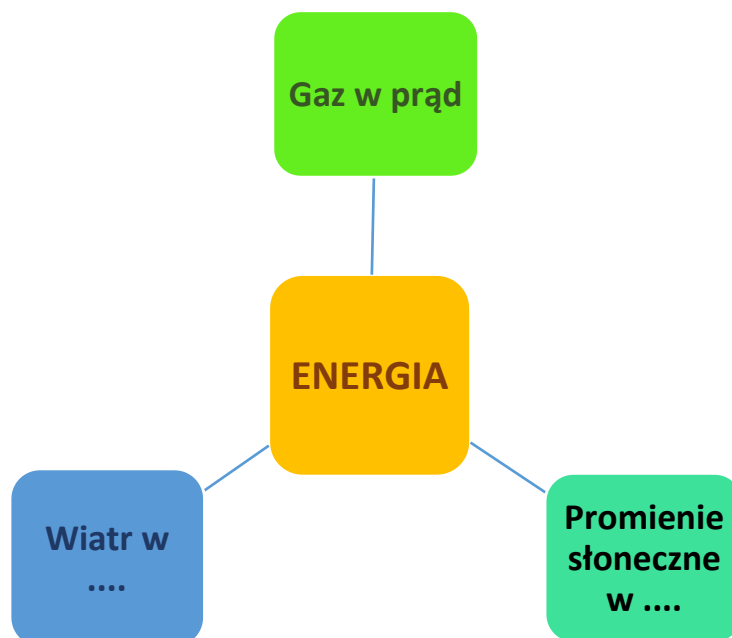
Rodzaje rozważań	Opis
Agro-melioracyjne	Rośliny, które mają być użyte do sadzenia Wymagania dotyczące gleby uzupełniającej w zakresie grubości warstwy gleby, zdolności podporowej w odniesieniu do strefy korzeniowej Głębokość orki Dawki sadzenia Dawki nawozu Rozpoczęcie produkcji roślinnej - ramy czasowe Środki kontroli procesów erozyjnych Zarządzanie glebą Harmonogram rotacji kultur roślinnych Harmonogram wypasu zwierząt Zaopatrzenie w wodę do nawadniania
Techniczne	Niezbędny sprzęt Niezbędne obiekty do przechowywania i ich lokalizacja Zamierzone zmiany w zakresie ponownego wykorzystania terenu w porównaniu z obecnymi warunkami

7.3.3. Wykorzystanie ukierunkowane na zasoby i odzysk energii

Rehabilitowane tereny mogą być wykorzystywane jako obiekty generujące energię. Istnieją trzy główne rodzaje energii odnawialnej, które mogą być wykorzystane: gaz do produkcji energii elektrycznej, energia słoneczna i wiatrowa (Rysunek 7.3). Ponowne wykorzystanie terenów do celów pozyskiwania energii może być połączone z innymi zastosowaniami (np. rekreacyjnymi) lub odbywać się samodzielnie. W tym drugim przypadku ryzyko dla potencjalnych

użytkowników końcowych jest mniejsze, ponieważ dostęp do terenu ma tylko upoważniony personel.

Rysunek 7.3. Rodzaje energii odnawialnej z obszarów zrehabilitowanych.



Głównym źródłem energii dla rekultywowanego terenu jest gaz metanowy. Jest on przetwarzany na energię elektryczną, która przewyższa ryzyko wybuchu związane z samym metanem. Innym potencjalnym źródłem energii mogą być panele słoneczne i/lub turbiny wiatrowe. Produkcja energii przynosi istotne korzyści dla rekultywowanego terenu i lokalnej społeczności, takie jak pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną (częściowo lub całkowicie), wyrównanie nieodnawialnych źródeł energii, podniesienie motywacji do zbierania gazu, co z kolei przyczynia się do ochrony środowiska poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych (GHG) i uciążliwości.

Poniżej omówiono szczegółowo kluczowe uwarunkowania wdrożenia tych technologii na terenach rekultywowanych.

Metan i dwutlenek węgla są głównymi składnikami gazu, który jest wydobywany i gromadzony przez GCCS. Jego dalsze wykorzystanie może być skierowane na dwie opcje: bezpośrednie spalanie lub wykorzystanie do produkcji energii elektrycznej. W drugiej opcji, surowy gaz może być przekształcony w paliwo do produkcji energii elektrycznej poprzez kilka etapów

przetwarzania. Trzecią opcją jest oczyszczenie gazu w celu zwiększenia jego zawartości energii dla innych użytecznych zastosowań. Niektóre z tych technologii konwergencji energetycznej i ich charakterystyka zostały wymienione w tabeli 7.2.

Tabela 7.2. Technologie konwergencji gazu z energią (źródło: https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_ibpgcomplete.pdf)

Technologia	Charakterystyka
Turbina gazowa	<ul style="list-style-type: none"> - Działa przy niskich stężeniach gazu Damage resistant - Sprawność elektryczna: 40-80%. - Niska wydajność ekonomiczna - wymaga dużej ilości gazu
Silnik z wewnętrznym spalaniem	<ul style="list-style-type: none"> - Wytwarzanie energii elektrycznej w sposób tradycyjny o umiarkowanej sprawności
Silnik z zewnętrznym spalaniem	<ul style="list-style-type: none"> - Mieszanka paliwa z powietrzem, aby ułatwić spalanie - Wstępna obróbka gazu nie jest konieczna ze względu na jego wysoką tolerancję na zanieczyszczenia - Sprawność elektryczna: 30%.
Silnik pracujący w cyklu kombinowanym	<ul style="list-style-type: none"> - Wykorzystanie turbin gazowych i parowych - Turbina gazowa wytwarza ciepło do produkcji pary - Działa na dużą skalę
Kogeneracja	<ul style="list-style-type: none"> - Wytwarza energię cieplną i elektryczną z pary/gorącej wody - Może odzyskać ciepło, tracone z turbin i silników, zwiększając ich wydajność
Mikroturbina	<ul style="list-style-type: none"> - Pracuje z mniejszym przepływem gazu przy małych stężeniach gazu Needs gas pre-treatment to discard moisture and remove impurities - Sprawność elektryczna: 20-30%

Turbina parowa	<ul style="list-style-type: none"> - Bezpośrednie wykorzystanie gazu - Generowanie pary poprzez spalanie w celu zasilenia turbin parowych - Niezbyt popularne w zastosowaniach elektrycznych
Ogniwo paliwowe	<ul style="list-style-type: none"> - Łączy dwa strumienie (gazu i powietrza), które wchodzi do dwóch komórek w celu wytworzenia elektronów, które są dalej przekazywane do akceptora - tlenu atmosferycznego - Sprawność zależy od jakości gazu: wysokie stężenie metanu i mała ilość zanieczyszczeń

Na efektywność wytwarzania energii z wykorzystaniem gazu wpływa wiele czynników. Do najważniejszych należą: wielkość obiektu, rodzaj i wiek odpadów, sprawność GCCS oraz zastosowana technologia przetwarzania gazu na energię. Ilość produkowanego gazu jest często kluczowym czynnikiem decydującym o ekonomice procesu konwergencji i wpływa np. na ceny energii elektrycznej, a pośrednio - na warunki środowiskowe.

Konwersja gazu na energię rozpoczyna się zwykle w trakcie eksploatacji obiektu, ale może być kontynuowana przez wiele lat po jego zamknięciu. Tak więc wartość aktywów systemów konwersji gazu na energię może być zwiększona poprzez dobre zaplanowanie technologii, które zwiększają szybkość zbierania gazu w okresach jego silnego nagromadzenia w trakcie działań związanych z gromadzeniem odpadów. Planowanie GCCS z punktu widzenia dalszego korzystnego wykorzystania terenu zagwarantuje lepsze wykorzystanie terenu jako dobra publicznego.

Wykorzystanie terenu jako miejsca do realizacji projektów związanych z energią słoneczną jest stosunkowo nową inicjatywą. Zainteresowanie tym rodzajem pozyskiwania energii wzrasta ostatnio, ponieważ koszty systemów solarnych stopniowo maleją (Millbrandt et al., 2013). Rekultywowane tereny obejmują duże obszary otwartej przestrzeni, które są bardzo odpowiednie do umieszczenia systemów słonecznych. Ponadto tereny te są w zasadzie wyposażone w

infrastrukturę do dystrybucji energii elektrycznej, co ułatwia cały proces wytwarzania i przesyłania energii elektrycznej.

System solarny działa na zasadzie: konwersji energii słonecznej (buforowanej przez panele słoneczne) w użyteczną energię elektryczną. Istnieją dwa kluczowe rodzaje technologii energii słonecznej:

- Fotowoltaika (PV): stosowane są półprzewodniki, które generują ładunek elektryczny poprzez efekt PV. PV jest najczęściej stosowaną technologią słoneczną.
- Koncentracja energii słonecznej (CSP): stosuje się system soczewek i luster, które skupiają i koncentrują światło słoneczne.

Aby zrealizować efektywną produkcję energii słonecznej na terenach rekultywowanych należy wziąć pod uwagę kilka ważnych czynników.

- Ilość dostępnej energii słonecznej na danym obszarze. Oznacza to, że należy wziąć pod uwagę średnie roczne promieniowanie słoneczne w ciągu dnia. W tym celu należy zbadać odpowiednie mapy promieniowania słonecznego dla okresu około 10 lat, aby uzyskać odpowiednie dane dotyczące opłacalności założenia systemu solarnego.
- Motywacja ekonomiczna i polityczna. Tutaj należy omówić relacje z dostawcami energii elektrycznej na poziomie lokalnym. Kolejnym tematem do dyskusji jest logistyka miejsca instalacji dla przesyłu wytworzonej energii oraz bezpieczeństwo miejsca.

Aby określić, czy projekt solarny jest możliwy do zrealizowania czy nie, należy zwrócić uwagę na szereg czynników (EPA/600/R-14/349).

- Lokalizacja systemu słonecznego: sposób budowy systemu słonecznego zależy od jego umiejscowienia na terenie - na szczycie zamkniętego, nieuporządkowanego wysypiska lub zamontowanego w ziemi. W pierwszym przypadku konstrukcja musi uwzględniać integralność systemu pokrywy i innych elementów zamknięcia. W drugim przypadku, wykopy w systemie pokrywy i umieszczenie konstrukcji podtrzymujących elementy solarne, muszą być wykonane z zachowaniem środków ostrożności dla utrzymania warstwy pokrywy w nienaruszonej formie, uniknięcia jakichkolwiek uszkodzeń pokrywy terenu, oraz ingerencji w ACCS lub systemy

zarządzania wodą deszczową. Ogólnie rzecz biorąc, płaski krajobraz jest preferowany w stosunku do podejścia montażowego. Ustawienie paneli słonecznych na płaskiej powierzchni terenu w kierunku południowym jest dobrym rozwiązaniem z ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ wszelkie dodatkowe prace budowlane mogą potencjalnie zwiększyć koszty i spowodować dodatkowe problemy z utrzymaniem systemów zarządzania wodą deszczową.

- **Lokalizacja miejsca:** obszary o dobrym potencjale słonecznym i niezablokowanym światłem słonecznym.

- **Bezpieczeństwo miejsca:** panele słoneczne muszą być umieszczone w strefie wolnej od zagrożeń fizycznych, takich jak rzucanie kamieniami.

- **Logistyka energetyczna:** musi istnieć połączenie z siecią energetyczną, droga dojazdowa i warstwy pokrycia o wystarczającej grubości, aby ułożyć linie elektryczne. Ponadto, firma elektryczna musi zapewnić rozsądne koszty i harmonogramy dostaw.

- **Ekonomia i motywacja finansowa:** te systemy wytwarzania energii umożliwiają zarówno widoczność, jak i elastyczność w kontroli kosztów pracy. Obie cechy są ważne dla celów marketingowych. Ludzie będą motywowani do płacenia więcej za energię słoneczną poprzez ulgi podatkowe, dotacje lub zachęty.

- **Polityka związana z dystrybucją energii:** motywy polityki energetycznej dla energii słonecznej, np. wymóg, aby 2 lub więcej procent energii pochodziło z energii słonecznej.

7.4. Wykorzystanie do celów budowlanych

Budowa budynków, jako część rekreacyjnego wykorzystania terenów zrekultywowanych, została omówiona w sekcji 7.2 powyżej. Ogólnie rzecz biorąc, budynki te są lekkimi konstrukcjami montowanymi na zasadzie modułowej i przenośnej. Duże trwałe konstrukcje są kolejną opcją ponownego wykorzystania zrekultywowanych terenów zamkniętych, choć nie jest ona najlepsza. Istnieją obawy, z których główną jest wytrzymałość fundamentów budynków i migracja gazu.

Wykorzystanie zamkniętych terenów do budowy budynków jest mniej popularne niż ich rekreacyjna eksploatacja ze względu na duże wyzwania, które trzeba pokonać, aby zapewnić

zarówno odpowiednią wydajność konstrukcji, jak i przestrzeganie zasad ochrony środowiska. Przeszkody, które należy wziąć pod uwagę, związane są z kwestiami regulacyjnymi, projektowymi, ekonomicznymi i bezpieczeństwa.

W niektórych krajach istnieją przepisy określające wymagania dotyczące budowy budynków na zamkniętych terenach rekultywowanych.

Istnieją trzy kwestie o podstawowym znaczeniu związane z budynkami na zamkniętych składowiskach nieuporządkowanych:

- Utrzymanie integralności systemu pokrywowego;
- Kontrola gazu;
- Posadowienie i osiadanie budynków.

7.4.1. Budynki utrzymujące integralność systemu pokrywy

Ostateczny system pokrycia zamkniętych obiektów jest głównym czynnikiem, który należy uwzględnić we wszystkich terenach przeznaczonych do ponownego wykorzystania. Jego integralność zależy od systemów infiltracji wilgoci, kontroli gazu i kanalizacji deszczowej.

W trakcie procesu budowy, fundament budynku jest umieszczany bezpośrednio na powierzchni terenu, zagrażając uszkodzeniem elementów systemu ostatecznej pokrywy. Niedopuszczalna jest penetracja lub pogorszenie stanu warstw penultima w systemie pokrywowym. Należy zminimalizować fizyczne naprężenia dla pokrycia i systemów odwadniających.

7.4.2. Kontrola gazu

Skład chemiczny i właściwości fizyczne gazu sprawiają, że jest on wybuchowy i potencjalnie niebezpieczny. W związku z tym budynki znajdujące się na terenach rekultywowanych muszą być zaprojektowane, skonstruowane i utrzymywane w taki sposób, aby uwzględnione zostały wszystkie środki ostrożności dotyczące ich ingerencji w GCCS obiektu oraz ewentualnego działania wybuchowego lub toksycznego. Obowiązkowe wymagania obejmują:

- **Wentylację gazową.** Szeroko stosowanym środkiem w tym kontekście jest ułożenie warstwy wentylacyjnej pomiędzy płytą budowlaną a podłożem. Najczęściej składa się ona z

geomembrany pokrytej warstwą przepuszczalną oraz systemu perforowanych rur, których koniec znajduje się na zewnątrz budynków. Takie warstwy odpowietrzające pozwalają uniknąć przenikania gazu przez fundamenty budynków. Ewentualna penetracja jest dodatkowo zabezpieczona poprzez umieszczenie pokrywy uszczelniającej.

- **Monitoring gazu.** Kolejnym ważnym działaniem jest stały lub okresowy monitoring budynków powstałych na terenach rekultywowanych. Zazwyczaj wewnątrz lub pod budynkami (w systemie wentylacji fundamentów) umieszcza się czujniki metanu. Czujniki te wskazują określony próg poziomu metanu (około 25% dolnej granicy wybuchowości) i odpowiednio alarmują o tym. Takie samo podejście stosuje się w przypadku innych niebezpiecznych gazów, np. siarkowodoru. Jako dodatkowe zabezpieczenie, w określonych odstępach czasu mogą być pobierane próbki gazu w celu oceny składu chemicznego gazu poprzez analizę laboratoryjną.

7.4.3. Wymagania dotyczące fundamentów budynków i osiadania

Budowa budynków zlokalizowanych na terenach zamkniętych musi być wykonana zgodnie z techniką inżynierską i sztuką budowlą przewidzianymi dla materiałów fundamentowych o niższej jakości. Sprasowane odpady w bryle terenu stanowią taki rodzaj materiału, ponieważ nie mają takiej wytrzymałości jak grunt.

Na etapie projektowania fundamentów budynku należy pamiętać o dwóch ważnych czynnikach (Sharma i Anirban 2007). Są to:

- **Nośność powierzchni terenu.** Ten parametr techniczny stanowi o zdolności fundamentu budynku do przenoszenia obciążeń powierzchni gruntu przez konstrukcję. Jest to krótkoterminowa ocena zdolności do podtrzymywania ciężaru budynku. Nośność musi być obliczona w projekcie budowlanym, na podstawie danych dotyczących gruntu zalegającego nad odpadami. W niektórych przypadkach może być potrzebna dodatkowa warstwa gruntu.

- **Potencjał terenu do długotrwałego osiadania.** W perspektywie długoterminowej rekultywowany teren ulega zmniejszeniu objętości i wysokości odpadów, co powoduje osiadanie powierzchni. Wynika to ze zmian zachodzących z odpadami w czasie. Proces osiadania ma charakter wieloaspektowy. Przyczyny mogą być:

- Fizyczne i mechaniczne - reorientacja i przemieszczanie się cząstek w miejsca puste lub

zapadanie się pustych przestrzeni;

- Chemiczne - utlenianie, przenikanie cieczy, które rozpuszczają substancje rozpuszczalne i prowadzą do powstawania odcieków;
- Biologiczne - rozkład materii organicznej o różnym tempie zależnym od temperatury, obecności substratów organicznych, wilgotności.

Proces osiadania obejmuje dwa etapy: pierwotny i wtórny. Pierwotny, zwany też wstępnym, obejmuje kilka pierwszych miesięcy po zdeponowaniu odpadów. W jego trakcie następuje osiadanie w wyniku procesów fizycznych i mechanicznych. Osiadanie wtórne wynika z rozkładu biochemicznego i fizyko-chemicznego, który zachodzi w większych okresach czasu, przy względnie stałym obciążeniu po zakończeniu etapu pierwotnego. Logicznie rzecz biorąc, im starszy jest obiekt, tym mniej problemów z osiadaniem.

Istnieją różne techniki, które pomagają w przewidywaniu osiadania w długoterminowym regresie. Aby uniknąć problemów związanych z osiadaniem po zakończeniu budowy, na etapie projektowania należy przygotować mapę przewidywanego osiadania i plan monitorowania w celu ulepszenia projektu i wydania planów operacyjnych i konserwacyjnych. Możliwe problemy związane z długotrwałym osiadaniem są związane m.in. z nachyleniem systemu nośnego budynków, gromadzeniem się wody, przerwami w liniach energetycznych. Decyzje techniczne, które mogą zapobiec pojawieniu się takich problemów, obejmują specyficzny projekt uwzględniający osiadania, zastosowanie odpowiednich materiałów do fundamentów budynków, elastyczne połączenia w instalacjach komunalnych, wzmocnienie/stabilizację gruntu.

7.5. Wyzwania związane z wykorzystaniem terenów porehabilitacyjnych

Ocena efektywności posprzedażowego wykorzystania terenów zrehabilitowanych jako zasobu społeczności lokalnej wskazuje na pewne wyzwania w osiąganiu zamierzonych celów i narzuca wdrożenie działań naprawczych lub zapobiegawczych. Listę najczęściej spotykanych wyzwań i ich cechy przedstawiono w tabeli 7.3.

Tabela 7.3. Wyzwania związane z zagospodarowaniem terenów porehabilitacyjnych.

Wyzwanie	Właściwości
Zachowanie integralności	Zamknięte nieuporządkowane wysypiska posiadają system

systemu osłonowego

pokrywy, który jest celowo zaprojektowany. System ten wymaga regularnych działań konserwacyjnych, których celem jest kontrola stanu systemu pokryw, wykrywanie i naprawa wszelkich uszkodzeń. Konserwacja ta jest również ważna dla zarządzania wytwarzaniem odcieków, migracją gazów i narażeniem materiałów odpadowych. Ponadto, korzystne użytkowanie po zakończeniu eksploatacji może również spowodować uszkodzenie systemu pokryw. Dlatego też monitorowanie i konserwacja systemu osłonowego jest obowiązkowa dla wszystkich późniejszych zastosowań rekultywowanych terenów.

Zarządzanie gazem

Migracja gazu z terenu budowy musi być utrzymywana na minimalnym poziomie. W tym celu teren musi być wyposażony w aktywny system zbierania i kontroli gazu lub co najmniej w pasywny system odprowadzania gazu. Prawidłowe funkcjonowanie tych systemów zapobiega powstawaniu warunków wybuchowych, ponieważ nie pozwala na gromadzenie się gazu w wąskich miejscach lub w budynkach. Ewentualna akumulacja gazu jest szczególnie istotna w przypadku konstrukcji umieszczonych na szczycie rekultywowanego terenu.

Systemy gromadzenia, przetwarzania (w razie potrzeby, np. w celu uzyskania energii) i wykorzystania gazu muszą działać do momentu, gdy jego ilość osiągnie bardzo niski poziom. Dotyczy to wszystkich przypadków, niezależnie od ostatecznego wykorzystania gazu.

Zarządzanie odciekami

Odciek powstaje, gdy woda i odpady wchodzi w bliski kontakt. Ciecz ta stanowi potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego i problem środowiskowy, dlatego musi być zbierana i usuwana z terenu zakładu w trakcie jego

Monitorowanie i ochrona wód gruntowych/powierzchniowych	<p>eksploatacji i po zamknięciu. Działania związane z gromadzeniem, usuwaniem, a następnie przetwarzaniem podlegają komponentom operacyjnym zarządzania odciekami. System odcieków musi być monitorowany i utrzymywany, aby zapobiec uwolnieniu do środowiska.</p>
Gospodarka wodami opadowymi / kontrola erozji	<p>Wody gruntowe muszą być regularnie monitorowane, ponieważ przypadkowe uwolnienie substancji chemicznych w wyniku różnych działań na terenie zakładu może prowadzić do niekorzystnych warunków i dlatego należy im zapobiegać. W tym celu zasoby wód gruntowych na terenie zakładu muszą być dostępne poprzez studnie monitorujące, z których można pobierać próbki do analizy chemicznej.</p> <p>Należy również monitorować i kontrolować jakość wód powierzchniowych, ponieważ może dojść do skażenia w wyniku wycieku odcieków. Ponadto do negatywnego oddziaływania przyczynia się również niewłaściwa kontrola wód burzowych i erozji oraz uszkodzenia systemu osłonowego.</p> <p>Wody opadowe muszą być przekierowane do urządzeń do zarządzania wodami powierzchniowymi, aby zapobiec uszkodzeniu systemu pokrycia. Z tego względu należy przygotować i przestrzegać planów kontroli wód burzowych i erozji. Działania kontrolne należy uwzględnić we wszystkich planowanych zastosowaniach i rekonfiguracjach terenu po zamknięciu.</p>
Osiadanie i stabilność budynków	<p>W wyniku zagęszczania i rozkładu odpadów w bryle terenu może dojść do osiadania odpadów i warstw przykrywających teren. Osiadanie może negatywnie wpływać na fundamenty budynków lub innych konstrukcji, może zagrażać przyłączom mediów i uszkadzać warstwy wierzchnie.</p>

Infrastruktura terenu	<p>Krótko mówiąc, może to stworzyć niebezpieczne warunki na powierzchni terenu. Aby temu zapobiec, należy zastosować metody projektowania uwzględniające potencjalnie szkodliwy wpływ osiadania na wykorzystanie terenu i życie ludzi.</p> <p>Wykorzystanie terenu do celów budowlanych stanowi wyzwanie, ponieważ budynki znajdujące się na górze zamkniętego terenu muszą być zaprojektowane w taki sposób, aby były odporne na osiadanie (i wyciek gazu) oraz aby uniknąć zakłóceń w systemie pokrycia.</p> <p>Rekultywowane obiekty posiadają złożoną infrastrukturę zorganizowaną przed, w trakcie i po umieszczeniu odpadów. Elementy te są ważne dla funkcjonowania obiektu i jakiegokolwiek zakłócenia w ich funkcjonowaniu mogą zagrozić zdolności operacyjnej obiektu. Skuteczna kontrola infrastruktury gwarantuje właściwe zarządzanie wyżej wymienionymi wyzwaniami i pomyślne funkcjonowanie obiektu.</p>
Zapewnienie zdrowia publicznego	<p>Bezpośredni (minimalizacja skażonej gleby i zasobów wodnych) oraz pośredni (minimalizacja rozprzestrzeniania się chorób i kontrola szkodników) wpływ zrekultywowanych składowisk odpadów na sytuację społeczno-ekonomiczną stanowi integralną część polityki odzyskiwania COVID-19 na poziomie europejskim. Obecnie, globalna pandemia COVID-19 wymusiła ponowne rozważenie praktyk i podejść do zarządzania rekultywacją odpadów stałych i nieuporządkowanych wysypisk (Das et al., 2021).</p>

References

Artuso, A., Cossu, E., He, L., She, Q., 2020. Rehabilitation of landfills. new functions and new

shapes for the landfill of Guiyang, China. *Detritus* 11, 57-67 <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2020.13971>.

Artuso, A., Cossu, E., 2018. Afteruse of Landfills. Methodological approach, project requisites and relationship with the surrounding area. *Ri-Vista*, 16(1), 102-117. <https://doi.org/10.13128/RV-22973>.

Artuso, A., Cossu, E., 2018. Reclamation and architectural requalification of an old landfill using in situ aeration, phytotreatment of leachate and energy crops. *Ri-Vista*, 16(1), 134-145. <https://doi.org/10.13128/RV-22992>.

Das, E.K., Islam, M.D., Billah, M.M., Sarker, A. 2021. COVID-19 and municipal solid waste (MSW) management: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 28993–29008.

EPA/600/R-14/349. Closed Waste Sites as Community Assets: A Guide for Municipalities, Landfill Owners, and Regulators.

Golf, H., 2013. Developing Golf Courses on Sanitary Landfills. <http://hurdzangolf.com/>.

Grazing former landfills. Legacy Grazing case studies <https://www.legacygrazing.org.uk/case-studies/landfills> Accessed 24 January, 2022

Grudziecki, J., Buachoom, P., 2016. The landscape architect's guide to the world of solid waste. PhD. Thesis. https://stud.epsilon.slu.se/9728/1/grudziecki_j_buachoom_p_161006.pdf Accessed 29 January, 2022.

Jenkins, K., 2016. Installation provides new vision for landfill architecture, by Matt Hayes in Cornell Chronicle. <https://news.cornell.edu/stories/2016/02/installation-provides-new-vision-landfill-architecture> Accessed 29 January, 2022.

Kovac, M., Goodburn, W., 2010. Agricultural issues for landfill developments. Rural development guidelines. Primefact 1065

Maiti, S. K., Maity, D., 2015. Ecological restoration of waste dumps by topsoil blanketing, coir-matting and seeding with grass-legume mixture. *Ecological Engineering*, 77, 74-84.

Millbrandt, A.R., Heimiller, D.M., Perry, A.D., Field, C.B. 2013. Renewable energy potential on marginal lands in the United States. *Renew Sustain Energ Review* 29, 473-481.

Moffat, Andy J; McNeill, John D. 1994. Reclaiming disturbed land for forestry. Bulletin 110. HMSO, London.

Sharma, H. D., and Anirban, D. 2007. Municipal Solid Waste Landfill Settlement: Postclosure Perspectives. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133, 619-629.

Simmons, E., 1999. Restoration of Landfill Sites for Ecological Diversity. *Waste Management*

and Research. 17, 511-519.

U.S. Environmental Protection Agency 2012. International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_ibpgcomplete.pdf
Accessed 29 January, 2022.

Wallace, R. B., 2000. Landfill redevelopment: Beneficial use and aftercare. URS Corporation, Seattle, Washington.

Yun, T.S., Lee, J.S., Lee, S.C., Kim, Y.J., Yoon, H.K. 2011. Geotechnical issues related to renewable energy. KSCE Journal of Civil Engineering 15, 4, 635-642.