

Wojciech Adamski

Nowoczesne technologie rekultywacji skażonych gleb

Na początku lat siedemdziesiątych problem zanieczyszczenia gleb stał się na tyle oczywisty w analizie skażenia całego ekosystemu, że zainicjowane zostały liczne programy badawcze mające na celu nie tylko ochronę, ale również rekultywację zanieczyszczonych terenów. Obecnie niektóre metody są intensywnie wdrażane, a inne są w fazie badań dających zachęcające rezultaty.

W Polsce problem zanieczyszczenia gruntów jest postrzegany jako jeden z bardziej pilnych i wymagających natychmiastowych rozwiązań, na równi z ochroną wód i powietrza. Rekultywacja skażonych gruntów jest nierozdzielnie związana z zabezpieczeniem dyspozycyjnych zasobów wód gruntowych. Dlatego też celowa wydaje się prezentacja osiągnięć dokonanych w tej dziedzinie przez zachodnie ośrodki naukowo-badawcze oraz firmy realizujące technologie oczyszczania gleby. Wśród metod rekultywacji gleb można wyróżnić metody fizyczno-chemiczne, biologiczne i termiczne oraz metody zestalania i stabilizacji.

W niniejszym opracowaniu, na podstawie materiałów Agencji Ochrony Środowiska rządu USA (US EPA), omówiono zasady oraz czynniki ograniczające stosowanie rekultywacji gleby metodą jej przemylwania oraz metodami ekstrakcyjnymi, termicznymi, chemicznego utleniania, a także metodami biologicznymi.

Oczyszczanie gleb w procesie przemylwania

Oczyszczanie gleby w procesie jej przemylwania bazuje na jednym z dwu możliwych w danym układzie mechanizmów. Pierwszy polega na rozpuszczeniu zanieczyszczeń bądź też na wprowadzeniu ich w stan zawieszenia w roztworze przemylwającym. Roztwór ten jest następnie oczyszczany konwencjonalnymi metodami stosowanymi w

technologii ścieków. Drugi mechanizm polega na zmniejszeniu objętości zanieczyszczonej gleby w wyniku rozdziału cząstek gleby o różnych wymiarach. Koncepcja obniżenia stopnia zanieczyszczenia gleby zgodnie z drugim mechanizmem opiera się na łączeniu się większości organicznych i nieorganicznych zanieczyszczeń, na drodze chemicznej lub fizycznej, z cząstkami gliny i frakcji pylistych. Oddzielone zanieczyszczone frakcje gleby mogą być dodatkowo oczyszczane, bądź też składowane na wysypiskach, natomiast oczyszczone większe frakcje zawraca się do ekosystemu.

Proces przemylwania jest efektywny w stosunku do szerokiego spektrum organicznych i nieorganicznych zanieczyszczeń gruboziarnistego piasku i żwiru, natomiast w przypadku dużego udziału cząstek ilastych i gliny stosowanie przemylwania gleby, jako jedyne go procesu technologicznego nie jest uzasadnione. Dokładne opracowanie technologii oraz dobór medium przemylwającego wymaga informacji o fizycznej i chemicznej charakterystyce zarówno oczyszczanej gleby jak i jej zanieczyszczeń. Każdorazowo wymagane są badania w skali laboratoryjnej, które pozwalają, oprócz ustalenia technologii oczyszczania gleby, także na wybór sposobu utylizacji odcieków oraz silnie zanieczyszczonych zagęszczonych frakcji gleby. Przed przystąpieniem do wykonania testów oczyszczania gleby na drodze przemylwania niezbędne jest określenie szeregu parametrów fizyczno-chemicznych skażonej gleby, z których bezpośredni wpływ na proces mają:

- rozkład wymiarów cząstek gleby,
- stężenie i lotność związków organicznych (współczynniki rozdziału),
- stężenie metali ciężkich i kwasów humusowych.

Cząstki o średnicy zastępczej powyżej 2 mm wymagają wstępnego oczyszczania. Średnice w zakresie 0,25+2,00 mm są bardzo efektywnie oczyszczane na drodze przemyl-

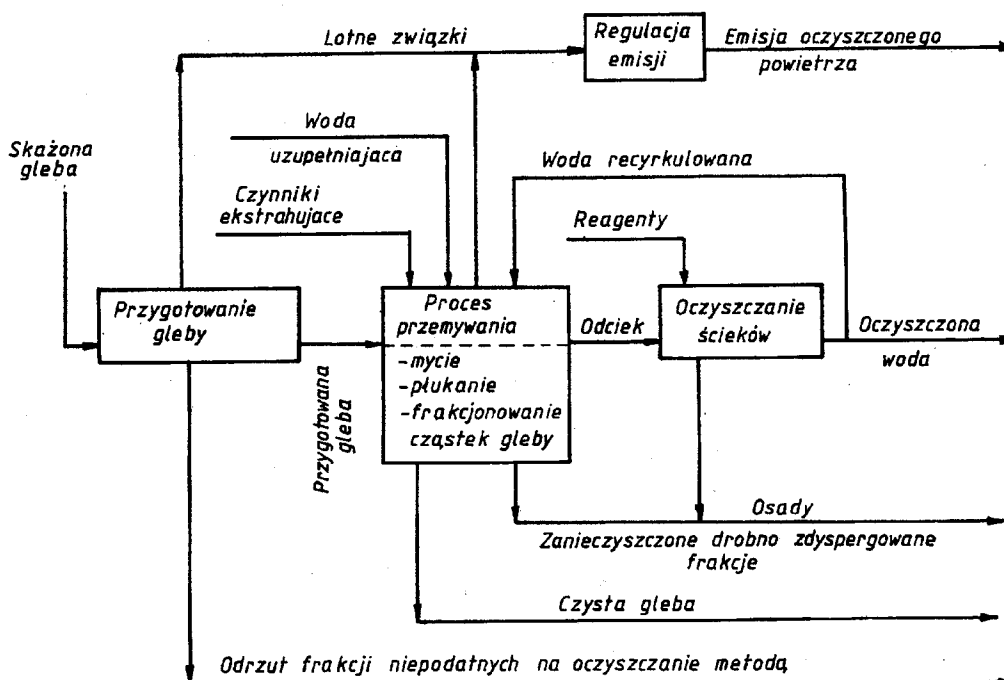
wania. Dla średnic cząstek $0,063+0,250$ mm stosowanie przemywania jest ograniczone, a dla cząstek poniżej $0,063$ mm, które w swojej strukturze są frakcjami gliniastymi i ilastymi, trudno spodziewać się dobrych efektów procesu. Znajomość stężenia związków organicznych, ich lotności oraz współczynników rozdziłu pozwala na oszacowanie ich liofobowości, a przez to dobranie składu roztworu przemywającego, określenie zdolności do jednorodnego mieszania się składników roztworu i zanieczyszczeń, a także zmian stężenia faz w trakcie realizacji procesu.

Do parametrów fizycznych, które mają drugorzędne znaczenie i mogą być w zasadzie dopasowane do warunków wymaganych przy oczyszczaniu gleby metodą przemywania, należą: wilgotność gleby oraz jej struktura określająca warunki transportu. Drugorzędnymi parametrami chemicznymi gleby są odczyn i właściwości buforowe. Parametry te mogą wpływać na dobór sposobu wstępnego oczyszczania gleby, jak również na skład roztworu przemywającego. Czynnikiem ograniczającym stosowanie metody przemywania jest udział w glebie cząstek ilastych i gliny, które stanowią dobry adsorbent w stosunku do typowych zanieczyszczeń.

Na ogół większość zanieczyszczeń o charakterze hydrofobowym wymaga dla ich usunięcia stosowania związków powierzchniowo czynnych lub rozpuszczalników organicznych. Złożoność mieszaniny zanieczyszczeń gleby, jak

również duża częstotliwość zmian kompozycji mieszaniny i stężenia jej składników, stwarzają poważne trudności w jednoznacznym opracowaniu składu roztworu przemywającego, który gwarantowałby ciągłe i efektywne usuwanie wszystkich zanieczyszczeń. Dlatego też dobrze zaprojektowany układ rekultywacji gleby metodą przemywania musi szybko reagować na zmianę składu i stężenia zanieczyszczeń. W tym celu stosuje się układy wielostopniowego przemywania o zróżnicowanym składzie roztworu i różnej szybkości przepływu.

Rysunek 1 przedstawia ogólny schemat procesu. Na przygotowanie gleby składa się jej wydobywanie, transport oraz przesiewanie w celu usunięcia gruzu skalnego i większych elementów. W zależności od tego, czy proces prowadzony jest w sposób ciągły czy też porcjowy, gleba może być wymieszana z wodą w celu umożliwienia jej pompowania do układu oczyszczania. W procesie przemywania następuje ekstrakcja zanieczyszczeń do roztworu. Kolejny etap to płukanie gleby czystą wodą. Wreszcie następuje oddzielanie frakcji ilastych i cząstek gliny o silnym stopniu zanieczyszczenia. Frakcje te, łącznie z osadami po procesach chemicznego oczyszczania odcieków, unieszkodliwiane są w procesach grawitacyjnego zagęszczania z zastosowaniem środków kondycjonujących. W przypadku silnego zanieczyszczenia, odwodnione osady powinny być składowane na wysypiskach odpadów niebezpiecznych.



Rys. 1. Schemat rekultywacji gleby metodą przemywania

Typowy system odkazania gleby metodą przemylwania o średniej wydajności 20 t/h może zajmować obszar do 1,5 ha. Średnie zużycie wody w takim systemie wynosi od 30 do 200 m³ na 1.000 m³ gleby (ok. 0,05+0,20 dm³/kg).

Termiczna desorpcja zanieczyszczeń gleb

Termiczna desorpcja, podobnie jak przemylwanie, zalicza się do metod rekultywacji gleby po jej uprzednim wydobyciu. Metoda ta jest efektywna w stosunku do gleb zanieczyszczonych takimi związkami jak: lotne, półlotne chlorowane i niechlorowane związki organiczne, PCB, pestycydy, dioksyny, furany oraz organiczne cyjanki.

Termiczna desorpcja jest jednym z wielu procesów wykorzystujących zarówno bezpośrednio jak i pośrednio wymianę ciepła do usuwania zanieczyszczeń organicznych. Jest to proces fizycznej separacji i jego celem nie jest uzyskanie wysokiego stopnia rozkładu termicznego, jakkolwiek wyższa temperatura w układzie może powodować utlenianie i pirolizę zanieczyszczeń. Termiczna desorpcja nie jest więc procesem spalania, a jedynie procesem przeprowadzania zanieczyszczeń w formę lotną. Jako medium transportujące lotną formę zanieczyszczeń stosuje się powietrze, gazy spalalinowe lub też obojętny gaz z zewnątrz układu. Podstawowe parametry procesu to temperatura gleby i czas eksploatacji. Typowy zakres temperatur układu waha się od 50 do 600 °C.

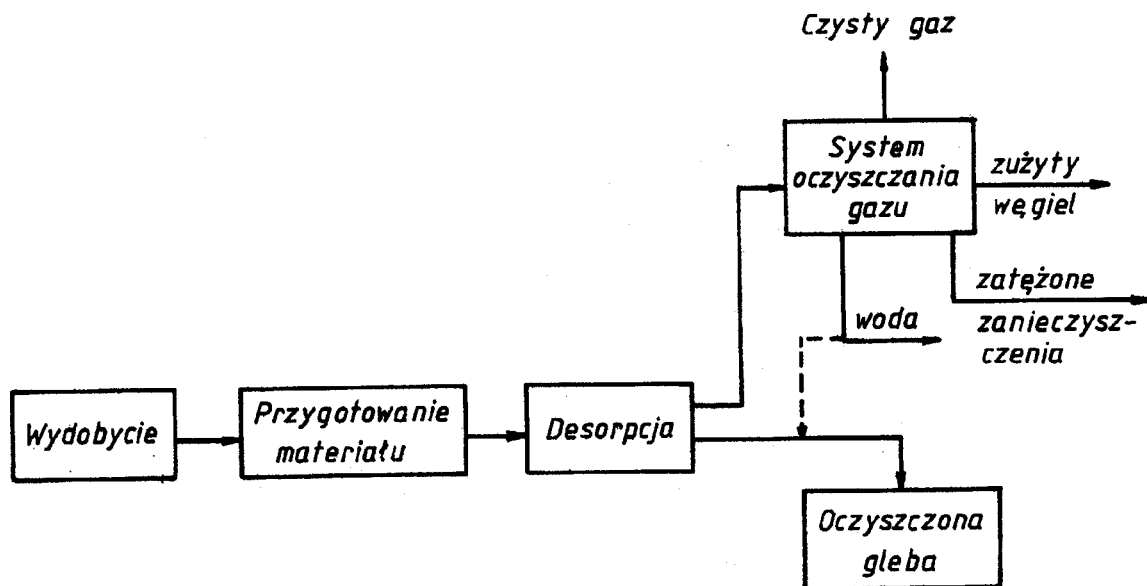
Rysunek 2 przedstawia ogólny schemat procesu. Wydobyta gleba poddawana jest frakcjonowaniu, przy czym elementy większe od 5 cm są usuwane z układu, a gleba grawitacyjnie dostarczana jest do desorbera, w którym odbywa się suszenie oraz proces wielostopniowej desorpcji.

Suszenie może być realizowane w pośrednio ogrzewanej suszarce rotacyjnej lub też w układzie zewnętrznie ogrzewanych zbiorników destylacyjnych. Następnie gleba transportowana jest przenośnikiem ślimakowym przez kolejne strefy desorpcji zanieczyszczeń. Do układu może być doprowadzony obojętny gaz (np. azot) w przeciwnym kierunku do strumienia przesuwającej się gleby, w celu zabezpieczenia przed spalaniem się zanieczyszczeń oraz w celu usunięcia zanieczyszczeń z desorbera do układu oczyszczania gazu. Gaz z desorbera może być oczyszczany na drodze spalania zanieczyszczeń, w procesie ich adsorpcji na węglu aktywnym bądź też zanieczyszczenia mogą być odzyskiwane w instalacji do ich kondensacji.

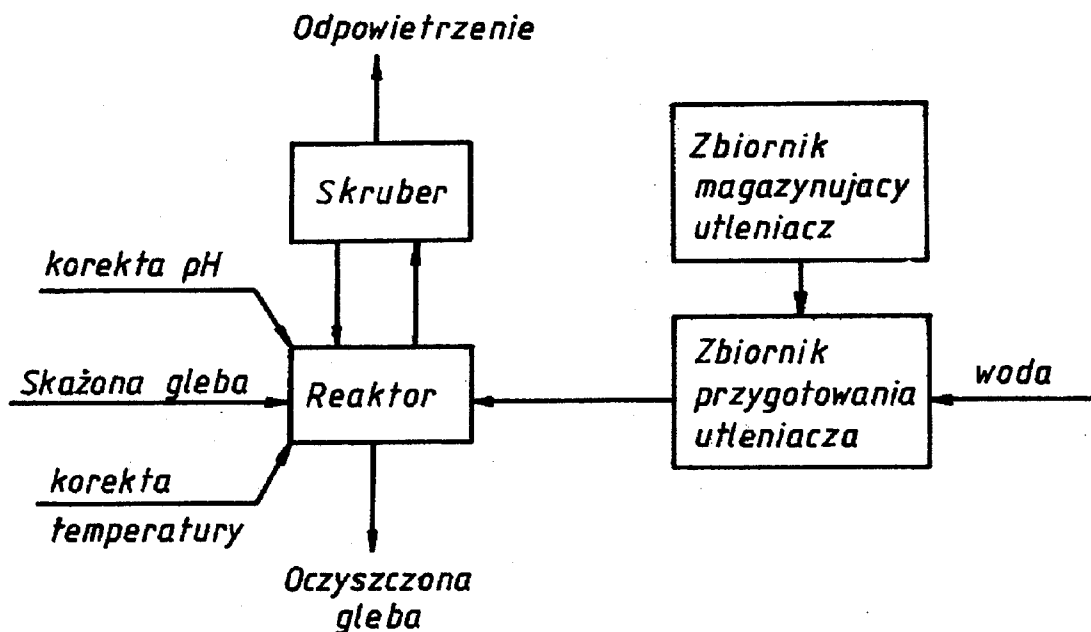
Czynnikiem ograniczającym stosowanie metody termicznej desorpcji jest możliwość do osiągnięcia temperatury oczyszczanej gleby, gdyż decyduje ona bezpośrednio o tym, które związki z mieszaniny zanieczyszczeń będą usunięte. W przypadku znacznego skażenia gleby osiągnięcie wysokiego stopnia oczyszczenia wymaga stosowania recyrkulacji gleby do desorbera, co wpływa istotnie na ekonomikę procesu. O efektywności termicznej desorpcji decyduje ponadto procentowy udział poszczególnych frakcji gleby. Zastosowanie tej metody dla gleby, której cząstki są mocno zbite lub która zawiera dużo gliny, fragmenty skał i inne cząstki o rozmiarach zastępczych 3+5 cm, nie gwarantuje osiągnięcia wysokich efektów. Ogólna ilość zanieczyszczeń gleby oczyszczanej metodą termicznej desorpcji nie może przekraczać 10 % masy gleby.

Chemiczne utlenianie zanieczyszczeń gleb

Metoda ta jest stosowana w stosunku do gleb skażonych związkami, które w formie utlenionej nie są toksyczne. Jej



Rys. 2. Schemat rekultywacji gleby metodą termicznej desorpcji



Rys. 3. Schemat instalacji do rekultywacji gleby metodą chemicznego utleniania

efektywność zależy od chemizmu zanieczyszczeń oraz zastosowanego utleniacza. Często chemiczne utlenianie jest częścią procesu rekultywacji gleby. Utlenienie niektórych związków wymaga kombinacji czynników utleniających albo użycia promieniowania ultrafioletowego wraz z utleniaczem. Przykładem takiej sytuacji jest utlenianie polichlorowanych bifenyli (PCBs), które nie reagują z ozonem, a są rozkładane przez łączne stosowanie promieniowania UV i ozonu. Wysoką podatność na oczyszczanie tą metodą mają gleby skażone fenolami, aldehydami, aminami i niektórymi związkami siarki. Nieco niższą efektywność metody obserwuje się w stosunku do gleb skażonych alkoholami, ketonami, kwasami organicznymi, estrami i węglowodorami. Metoda jest nieefektywna w stosunku do chlorowanych węglowodorów.

Rysunek 3 przedstawia schemat blokowy instalacji do rekultywacji gleby metodą chemicznego utleniania. Sterowanie procesem polega na doborze odpowiedniego utleniacza oraz pH i temperatury reakcji. W procesie mogą być stosowane następujące utleniacze: ozon, nadtlenek wodoru, podchloryny, chlor i dwutlenek chloru. Oczyszczanie gleby ze związków niebezpiecznych wymaga stosowania silnego utleniacza lub też mieszaniny utleniaczy, takich jak ozon lub nadtlenek wodoru. W systemach stosujących ozon łącznie z nadtlenkiem wodoru albo promieniowaniem UV przebiegają procesy katalitycznego ozonowania, które przyspieszają rozkład ozonu, zwiększając tym samym stężenie grup wodorotlenowych i prędkość utleniania związków. W tym przypadku reakcja może zachodzić od 100 do 1.000 razy szybciej. Zaletą stosowania ozonu i nadtlenku wodoru jest pewność, że nie będą formować się potencjalnie szkodliwe chlorowcopochodne organiczne, co może mieć miejsce przy stosowaniu utleniaczy zawierających chlor. Pozostałe, szcążkowe związki, które są produktami

niekompletnego utleniania powinny być utlenione w drugim stopniu lub też mogą być usunięte innymi metodami.

Obecność olejów i smarów w rekultywowanej glebie wpływa na efektywność utleniania innych zanieczyszczeń. Warunkiem właściwego przebiegu procesu jest dobre mieszanie układu, a więc gleba o dużej zawartości trudnych do rozfrakcjonowania składników nie powinna być rekultywowana tą metodą. Utlenianie nie jest ekonomicznie uzasadnione w przypadku silnego zanieczyszczenia. O ekonomice procesu decyduje również rodzaj utleniacza. Stosowanie ozonu, który musi być wytwarzany na miejscu, jest sposobem najbardziej kosztownym.

Oczyszczanie gleb metodą ekstrakcji

Ekstrakcja rozpuszczalnikami jest efektywną metodą rekultywacji gleby zanieczyszczonej półlotnymi chlorowanymi i niechlorowanymi związkami organicznymi, PCBs oraz pestycydami. Nieco mniejszą efektywność tej metody obserwuje się w stosunku do dioksyn, furanów oraz cyjanów organicznych.

Blokowy schemat instalacji do rekultywacji gleby metodą ekstrakcji rozpuszczalnikami przedstawiono na rysunku 4.

Procesy przygotowawcze składają się z wydobycia, rozdrobnienia, separacji i odrzucenia rumowiska oraz większych elementów gleby. W zależności od tego, czy instalacja pracuje w układzie porcjowym czy przepływowym, do zanieczyszczonej gleby dodaje się następnie wodę lub rozpuszczalnik, aby mieszaninę można było hydraulicznie transportować do ekstraktora. W ekstraktorze zapewnia się odpowiednią intensywność mieszania i czas kontaktu. Rezultatem procesu jest rozpuszczenie zanieczy-

szczeń gleby w rozpuszczalniku. W ekstraktorze następuje również rozdzielenie gleby, wody i rozpuszczalnika z zanieczyszczeniami organicznymi. Kolejnym etapem instalacji jest separator, w którym następuje rozdział stężonych zanieczyszczeń od rozpuszczalnika w wyniku zmiany ciśnienia lub temperatury. Oczyszczony rozpuszczalnik po uzupełnieniu zawracany jest do ekstraktora. Opary z elementów instalacji przygotowujących glebę do procesu oraz z ekstraktora są ujmowane i oczyszczane przed odprowadzeniem do atmosfery.

Instalacje działające w skali technicznej transportowane są w całości na przyczepach. Powierzchnia zajmowana przez instalację wynosi średnio 350 m², a wydajność typowych instalacji waha się od 50 do 70 t/d.

Ekstrakcja zanieczyszczeń gleb rozpuszczalnikami

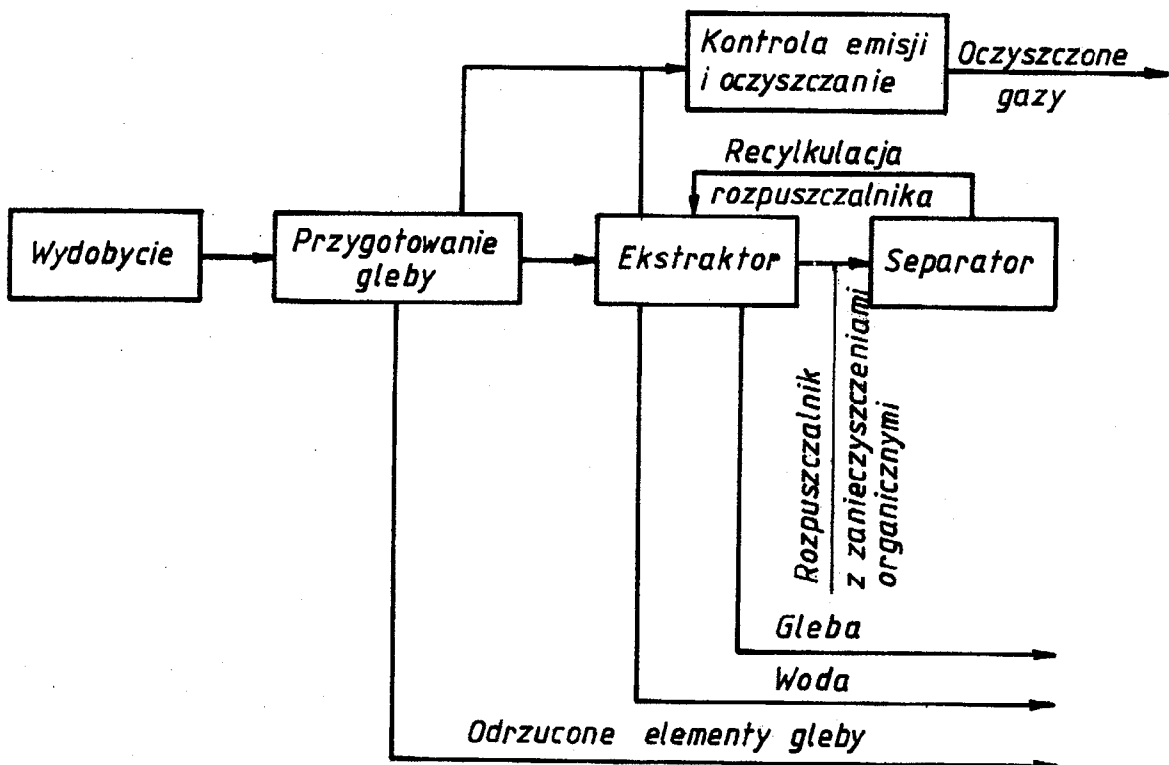
Czynnikiem niekorzystnym dla tego procesu jest obecność kompleksów metaloorganicznych, które ograniczają zarówno możliwość usuwania metali, jak i ich odzysku. Również obecność detergentów i środków emulgujących ogranicza możliwość stosowania oczyszczania gleby metodą ekstrakcji rozpuszczalnikami. Rozpuszczalne w wodzie detergenty mogą rozpuszczać zanieczyszczenia organiczne i stanowić wówczas konkurencję w stosunku do dodawanego do układu rozpuszczalnika. Detergenty i emulgatory mogą powodować powstawanie piany, która przeszkadza

w oddzielaniu zanieczyszczeń i zmniejsza efektywność procesu. Dobór odpowiedniego rozpuszczalnika, lub też mieszaniny rozpuszczalników, powinien być dokonany na drodze testów laboratoryjnych.

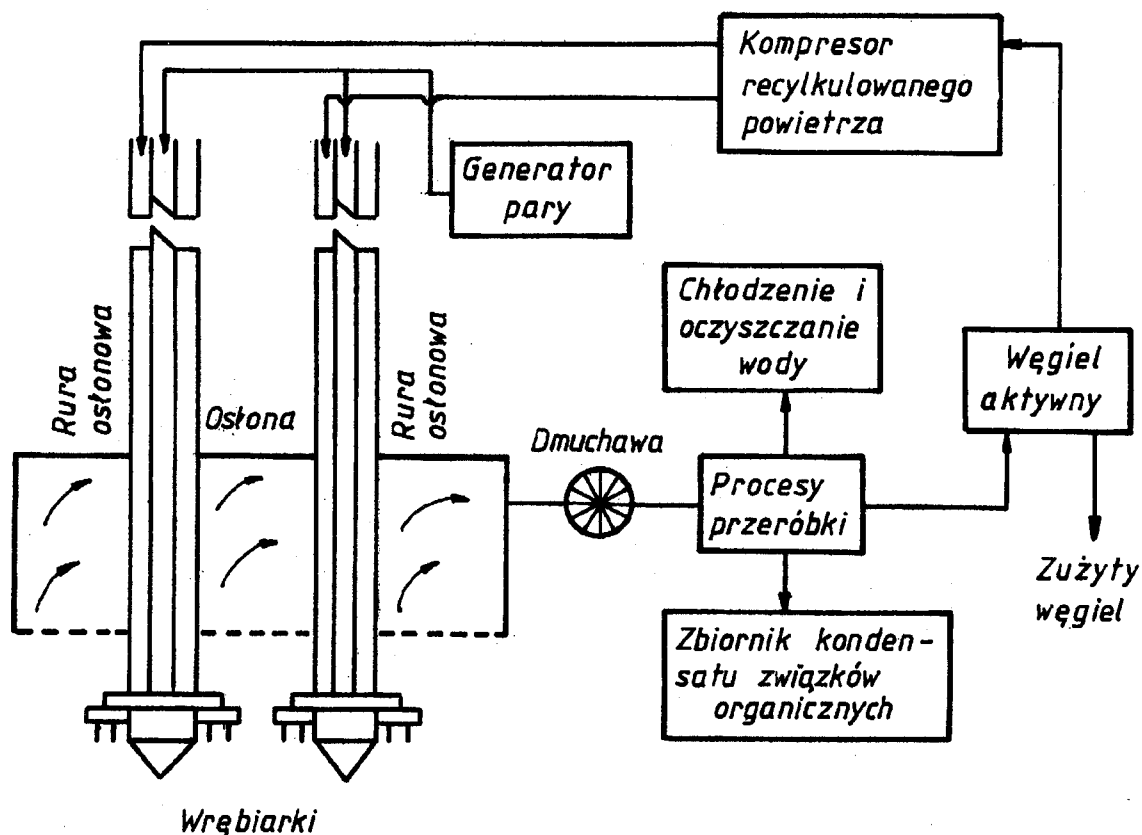
Ekstrakcja zanieczyszczeń gleb parą wodną

Ekstrakcja parą wodną należy do grupy metod rekultywujących glebę na miejscu. Jest ona efektywna w stosunku do lotnych związków organicznych łącznie z chlorowanymi rozpuszczalnikami i związkami ropopochodnymi, benzyną i ropą. Ponadto można tę metodę stosować do usuwania rozpuszczonych związków nieorganicznych, takich jak kwasy, zasady, sole, metale ciężkie oraz alkohole, jak octanol i butanol.

Stosuje się dwa systemy ekstrakcji parą zanieczyszczeń gleby: przewoźny i stacjonarny. Rysunek 5 prezentuje schemat instalacji w systemie przewoźnym. Dwie wrębiarki zaopatrzone w ostrza tnące i mieszające kręcą się w przeciwnych kierunkach powodując rozdrabnianie gleby, co umożliwia penetrację pary w warstwie gleby. Para i sprężone powietrze o temperaturach odpowiednio 250 °C i 170 °C doprowadzane są do gleby rurami osłonowymi, w których pracują wrębiarki. Ciepło z wstrzykiwanej pary i powietrza powoduje, że związki stają się lotne. Sprężarka wytwarza podciśnienie w stalowej osłonie pokrywającej powierzchnię rekultywowanej gleby i usuwa gazy z lotny-



Rys. 4. Schemat instalacji do rekultywacji gleby metodą ekstrakcji rozpuszczalnikami

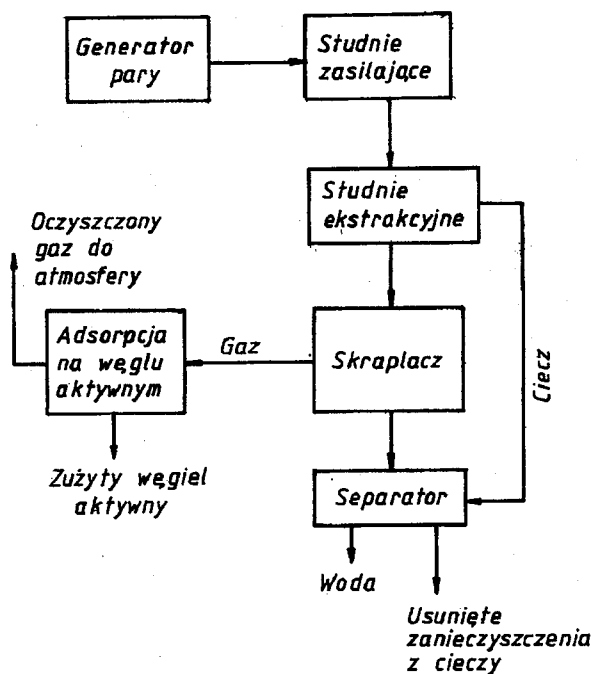


Rys. 5. Schemat przewoźnej instalacji do rekultywacji gleby metodą ekstrakcji parą wodną

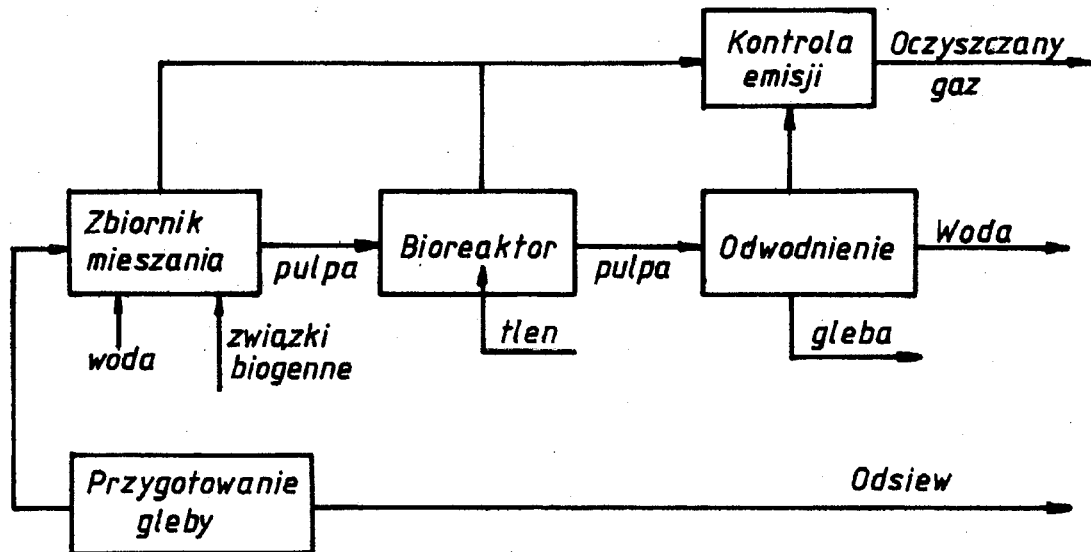
mi związkami do układu oczyszczania, gdzie woda i zanieczyszczenia usuwane są w procesie kondensacji. Strumień powietrza jest oczyszczany na węglu aktywnym, a następnie sprężany i zawracany do układu oczyszczania gleby. Woda jest schładzana i oczyszczana. Skondensowane zanieczyszczenia organiczne są poddawane dalszej obróbce. System ten oczyszcza małe powierzchnie gleby (ok. 5 x 10 m). Dzięki wrębiarkom jest efektywny w stosunku do gleb o małej przepuszczalności, zawierających duży procent gliny.

Schemat układu stacjonarnego przedstawiono na rysunku 6. Wytworzona para dostarczana jest do baterii studni zasilających warstwę gruntu. Roztwór z wyekstrahowanymi zanieczyszczeniami odpompowywany jest studniami ekstrakcyjnymi i poddawany oczyszczaniu na ogół w procesie adsorpcji na węglu aktywnym. Nieskroplone gazy przed odprowadzeniem do atmosfery przepuszczają się przez złożo węgla aktywnego.

Efektywność procesu ekstrakcji zanieczyszczeń zależy od przepuszczalności gleby. Przeszkodą jest duży udział frakcji o zastępczej średnicy powyżej 5 cm (skały, beton, drewno). Warunkiem ograniczającym stosowanie tej metody jest temperatura powietrza, która powinna być wyższa od 15 °C. Dla systemu przewoźnego granicą stosowalności



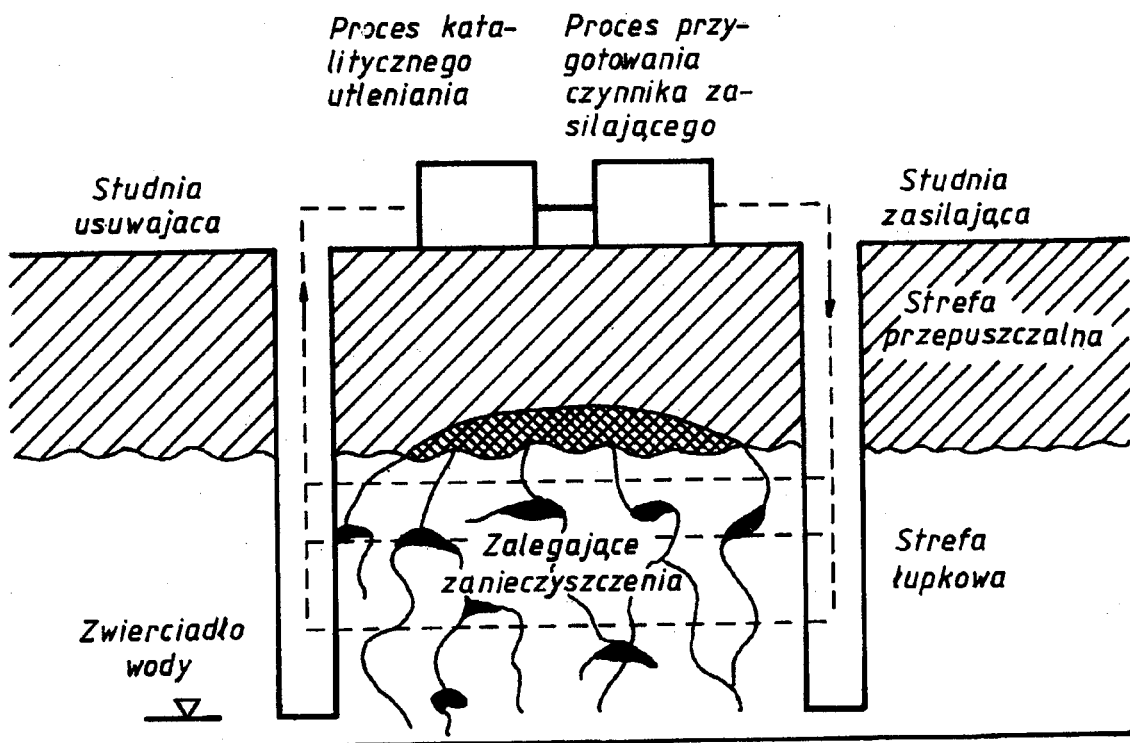
Rys. 6. Schemat instalacji stacjonarnej do rekultywacji gleby metodą ekstrakcji parą wodną



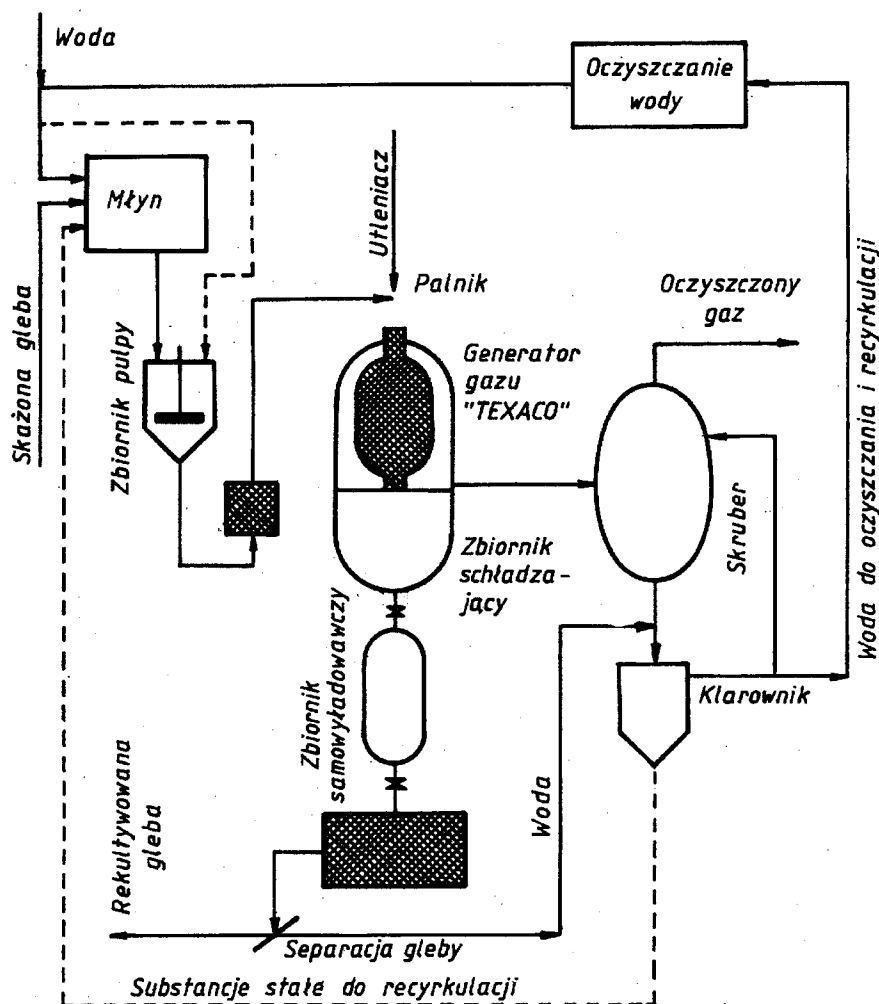
Rys. 7. Schemat instalacji do rekultywacji gleby metodą biologiczną

jest głębokość penetracji zanieczyszczeń, która nie może przekroczyć 10 m. Dla układu stacjonarnego czynnikiem istotnym jest przepuszczalność gleby. Duży udział przewarstwień gliniastych eliminuje metodę stacjonarną do oczyszczania gleby. Stwierdzona efektywność metody

ekstrakcji parą wynosi 85 %. Zatem tam, gdzie wymagana jest duża czystość gleby jest to czynnik ograniczający. Czynnikiem niekorzystnym może być również, przy podniesieniu temperatury gruntu, możliwość rozwoju mikroorganizmów, w tym patogennych.



Rys. 8. Schemat metody pneumatycznego wydobywania i katalitycznego utleniania zanieczyszczeń



Rys. 9. Schemat instalacji do oczyszczania gleby z zanieczyszczeń ropopochodnych metodą gazyfikacji

Biologiczna metoda rekultywacji gleb

Metoda biologiczna jest efektywna w stosunku do szerokiego spektrum zanieczyszczeń organicznych o stężeniu od 25 do 250 g/kg gleby. Można przy jej pomocy rekultywować gleby zanieczyszczone pestycydami, ropą i innymi paliwami, pentachlorofenolem, polichlorowanymi bifenylami, niektórymi chlorowanymi lotnymi związkami organicznymi i węglowodorami.

Wydobyta gleba jest rozdrabniana i odrzucane są z niej duże elementy, gruz i rumowisko. Drugim elementem przygotowania gleby jest dodawanie wody i wytwarzanie pulpy o uwodnieniu 60+90 %. Po wymieszaniu pulpy ze związkami pożywkowymi dla mikroorganizmów jest ona transportowana do bioreaktora. W większości przypadków stosuje się tlenowe układy porcjowe. Bioreaktory zaszcenia się mikroorganizmami, które zostały wygenerowane w laboratoryjnych układach biodegradacji związków stanowiących zanieczyszczenie rekultywowanej gleby. Czas

przetrzymania w bioreaktorze zmienia się w zależności od stopnia zanieczyszczenia i podatności zanieczyszczeń na biodegradację. Ponadto parametrami sterującymi procesem są temperatura i pH układu. Kolejnym elementem instalacji jest zbiornik separacji wody, biomasy i rekultywowanej gleby. Zbiorniki mieszania, bioreaktory i separatory są odpowietrzane. Skład usuwanego powietrza jest monitorowany; powietrze jest oczyszczane przed odprowadzeniem do atmosfery. Schemat blokowy instalacji przedstawiono na rysunku 7.

Metoda biologiczna jest mało skuteczna dla gleb o dużej niejednorodności struktury z powodu zminimalizowania dostępu organizmów do źródła węgla. Wymagany zakres temperatur procesu wynosi od 15 do 35 °C. Czynnikiem eliminującym możliwość stosowania tej metody jest obecność zwiększonego poziomu związków mogących wpływać hamująco na aktywność mikroorganizmów, a więc: obecność metali ciężkich, wysoko chlorowanych związków organicznych, pestycydów, herbicydów, soli nieorganicznych itp.

Przykłady układów rekultywacji skażonych gleb

W krajach Europy Zachodniej, a także w USA i Kanadzie, istnieje wiele firm zajmujących się oczyszczaniem gruntów. Są to zarówno firmy zajmujące się wyłącznie tym problemem, jak i firmy, których zasadniczą działalność może powodować i na ogół powoduje skażenie gleby (Exxon Chemical Company, Texaco Syngas Inc.).

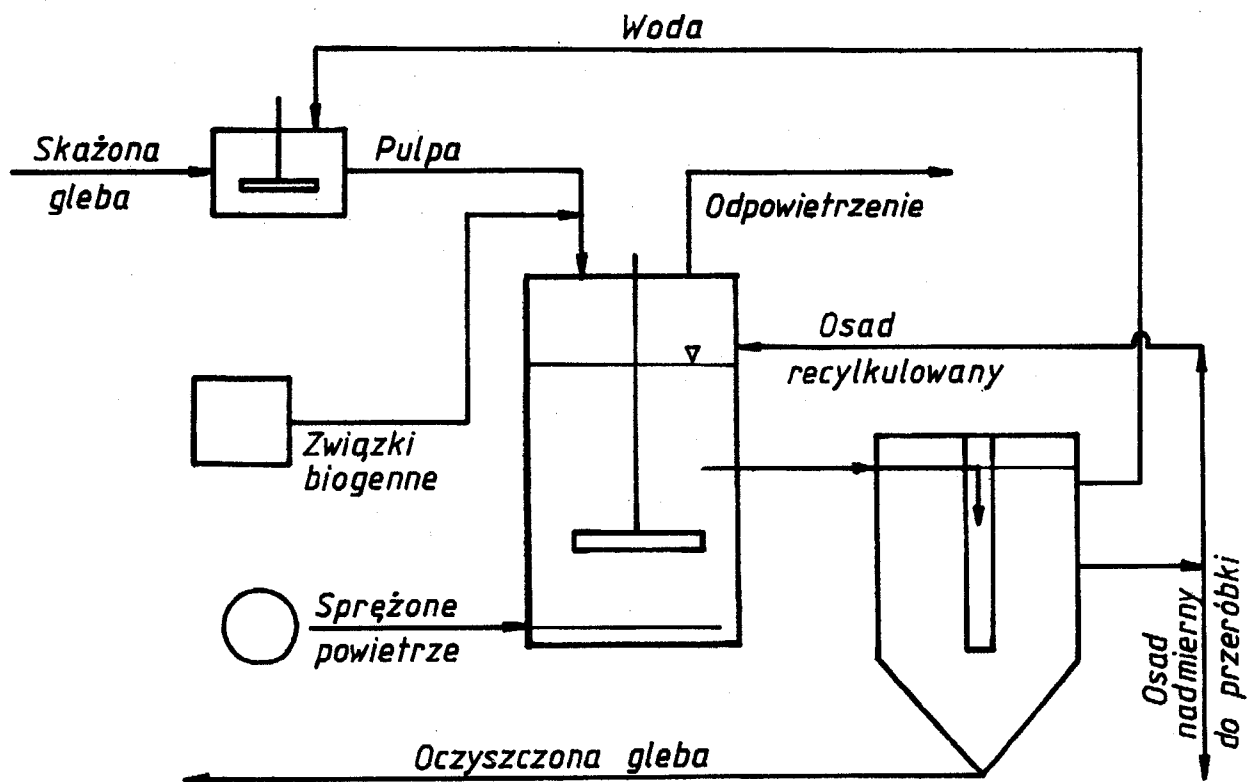
W niniejszym artykule zaprezentowano jedynie kilka z siedemdziesięciu technologicznych układów rekultywacji, z których większość jest stosowana w pełnej skali technicznej [3]. Wytypowano te układy, które są charakterystyczne dla danej metody rekultywacji. Przykładem fizyczno-chemicznej metody rekultywacji gleby na miejscu, bez jej wydobywania, jest metoda tzw. pneumatycznego wydobywania i katalitycznego utleniania. Metoda rozwijana i wdrażana przez Accutec Remedial System Inc. oraz Hazardous Substance Management Research Center, New Jersey Institute of Technology, USA, jest efektywna w stosunku do zanieczyszczonych gleb składających się z formacji geologicznych o niskiej przepuszczalności, takich jak glina i spękane skały.

Metoda, której schemat przedstawia rysunek 8, łączy w sobie proces termicznego zasilania strefy zanieczyszczonej oraz pneumatycznego wydobywania zanieczyszczeń i ich

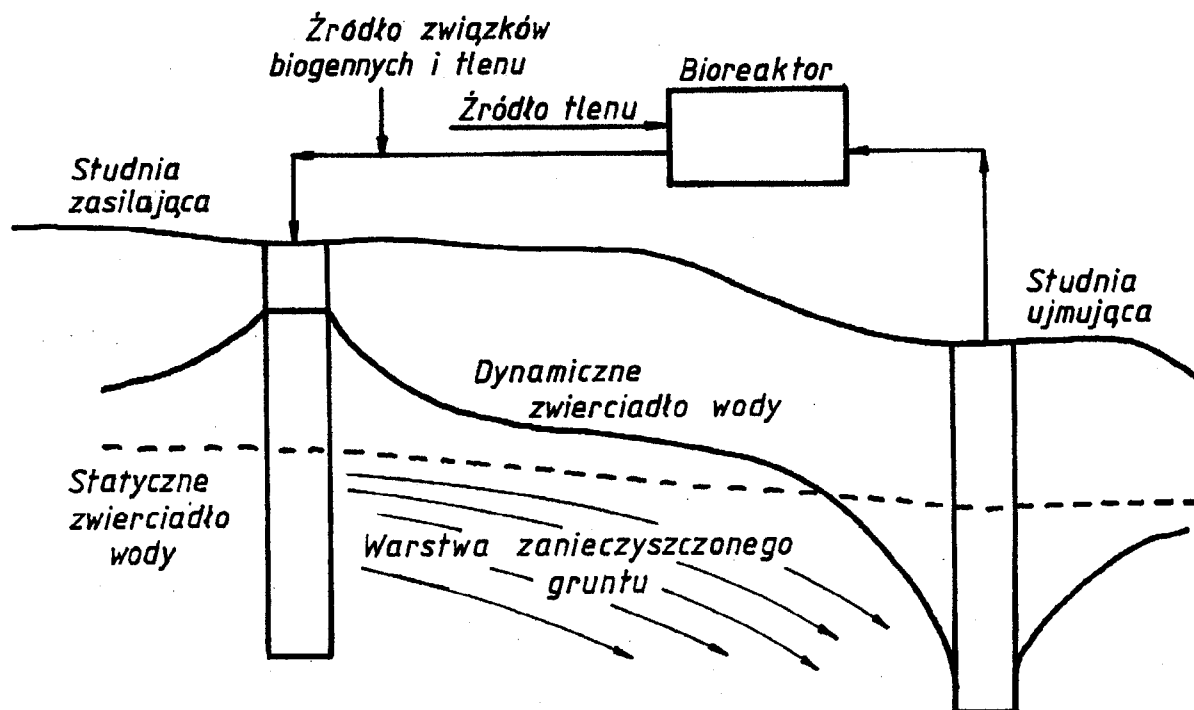
unieszkodliwiania na powierzchni. Procesem przygotowującym zanieczyszczoną warstwę do rekultywacji jest jej odwodnienie. Odpompowana woda gruntowa jest na ogół oczyszczana w procesie napowietrzania. Strumień pary wprowadzany jest do warstwy studniami zasilającymi. Z drugiej strony warstwy znajdują się studnie ujmujące parę z wyekstrahowanymi zanieczyszczeniami. Zanieczyszczenia w ujętym strumieniu pary, często razem z zanieczyszczeniami usuniętymi z wody gruntowej, poddawane są procesowi katalitycznego utlenienia. Ciepło z reaktora, w którym zachodzi proces, jest odzyskiwane i po uzupełnieniu wykorzystywane do termicznego zasilania złoża. Metoda ta jest najbardziej efektywna w stosunku do gleby zanieczyszczonej chlorowanymi i niechlorowanymi lotnymi i półlotnymi związkami organicznymi.

Do grupy metod termicznych zaliczyć można proces gazyfikacji ropopochodnych zanieczyszczeń gleby, opracowany i lansowany przez Texaco Syngas Inc. Metoda ta jest rozwinięciem stosowanej od blisko trzydziestu lat konwencjonalnej metody gazyfikacji ciężkich olejów i węgla. Schemat instalacji do oczyszczania gleby metodą gazyfikacji zanieczyszczeń ropopochodnych przedstawia rysunek 9.

Metoda ta polega na niekatalitycznym częściowym utlenieniu węglowodorów w podwyższonej temperaturze (1.500+1.750 °C) i pod ciśnieniem około 20 atm. Produktem tej re-



Rys. 10. Schemat instalacji do biologicznego oczyszczania gleby na zewnątrz układu



Rys. 11. Schemat biologicznej rekultywacji warstwy gruntu

akcji jest gaz składający się w większości z tlenu, węgla i wodoru. Gaz ten może być stosowany jako półprodukt do syntezy innych związków chemicznych lub też używany jako paliwo. Zanieczyszczona gleba w postaci pulpy pompowana jest do palnika umieszczonego w ognioodpornym zbiorniku ciśnieniowym stanowiącym element generatora gazu. Integralnym elementem generatora jest zbiornik schładzający gaz. Uzyskany gaz transportowany jest do skrubera, w którym następuje jego oczyszczenie z cząstek stałych.

Przykładem biologicznej rekultywacji gleby są technologie lansowane przez Ecova Corporation. Jedną z nich, której schemat przedstawiono na rysunku 10, polega na wydobyciu skażonej gleby, wymieszaniu z wodą do postaci pulpy i podanie jej do bioreaktora. Zainicjowanie procesów biochemicznych przyspieszane jest poprzez zaszczepienie pulpy wyselekcjonowanymi grupami mikroorganizmów. Do bioreaktora podawane są związki biogenne w ilościach ustalonych w badaniach laboratoryjnych.

Układ biologicznej rekultywacji w warstwie gruntu przedstawia rysunek 11. Metoda ta ma dwie konfiguracje: biochemiczne oczyszczanie wody gruntowej i gruntu bezpośrednio w warstwie oraz biochemiczne oczyszczanie ujmowanej wody gruntowej na powierzchni. Podobnie jak w metodzie omówionej wcześniej, do recyrkulowanej w warstwie wody, po jej oczyszczeniu w bioreaktorze a przed wtłoczeniem do oczyszczanej warstwy, dodawane są związki biogenne, a całość strumienia jest natleniana.

Podsumowanie

Problem oczyszczania gleb w Polsce, szczególnie związkami ropopochodnymi, wymusza podjęcie wielopłaszczyznowych badań mających na celu ustalenie technologii rekultywacji oraz warunków technicznych prowadzenia procesu. Prezentacja niektórych rezultatów obszernych programów badawczych, koordynowanych przez Agencję Ochrony Środowiska USA, może mieć charakter użyteczny, lecz powinna być także przyczynkiem do ukierunkowania badań realizowanych w warunkach krajowych.

LITERATURA

1. Soil Washing Technologies, Overview. US EPA 1991.
2. Technology Screening Guide for Treatment of CERCLA Soils and Sludges. EPA 540/2-88/004, 1988,
3. Innovative Technology: Soil Washing. OSWER Directive 9200.5-250FS, US EPA 1989.
4. Soil Washing Treatment. EPA Eng. Bull., VIII 1990.
5. The Superfund Innovative Technology Evaluation Program - Technology Profiles. US EPA IV edition, XI 1991.

6. In Situ Vapor Extraction Treatment. EPA Eng. Bull., V 1991.
 7. In Situ Steam Extraction Treatment. EPA Eng. Bull., V 1991.
 8. Chemical Oxidation Treatment. EPA Eng. Bull., X 1991.
 9. Handbook Remedial Action at Waste Disposal Sites. EPA 825/6-85/006, 1985.
 10. Solvent Extraction Treatment. EPA Eng. Bull., VIII 1990.
 11. Thermal Desorption Treatment. EPA Eng. Bull., V 1991.
 12. Slurry Biodegradation. EPA Eng. Bull., VIII 1990.
 13. ECOVA Company Project Description.
 14. H. F. STROO: Biological treatment of petroleum sludges in liquid/solid contact reactors. Environmental and Waste Management World, No. 3(9), 1989, pp. 9–12.
-

CONTAMINATED SOIL RECLAMATION TECHNOLOGIES

On the basis of US EPA reports and bulletins the principles of, and the limitations to soil reclamation by washing, thermal de-

sorption, chemical oxidation, solvent extraction, steam extraction and biological methods are presented. Of the nearly 70 methods reviewed (which are either in use now, or still under test), four have been selected, namely those involving physicochemical, thermal and biological processes.