

AGNIESZKA MOCEK-PLÓCINIAK

Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

BIOLOGICZNA REKULTYWACJA TERENÓW ZDEGRADOWANYCH PO EKSPLOATACJI WĘGLA BRUNATNEGO I RUD MIEDZI

BIOLOGICAL RECLAMATION OF AREAS
DEGRADED AFTER THE EXCAVATION OF LIGNITE AND COPPER ORES

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawowe założenia rekultywacji biologicznej terenów zdegradowanych w wyniku eksploatacji różnych surowców przemysłowych. Odkrywkowa bądź głębinowa eksploatacja prowadzi zawsze do ingerencji w środowisko. Powstają zwałowiska wewnętrzne, zewnętrzne oraz wyrobiska i zbiorniki poflotacyjne, które stanowią użytki pokopalniane. Tereny te po zakończeniu eksploatacji wymagają wykonania szeregu zabiegów rekultywacyjnych, mających na celu przywrócenie im wartości przyrodniczych i użytkowych. Rekultywacja terenów zdegradowanych powinna obejmować przede wszystkim prace techniczno-biologiczne ukierunkowane na odpowiednie przygotowanie gruntów i poprawę ich chemizmu oraz wdrożenie zabiegów natury biologicznej, służących odnowieniu aktywności biologicznej (mikrobiologicznej i enzymatycznej). Należy kształtować właściwą architekturę zwałowisk oraz jakość gruntu pogórniczego, aby poprzemysłowe nieużytki przekształcały się w tereny spełniające funkcje gospodarcze bądź krajobrazowe, podnosząc atrakcyjność przekształconych obszarów antropogenicznych.

Słowa kluczowe: rekultywacja, grunty, tereny poeksploatacyjne, aktywność enzymatyczna, mikroorganizmy, szata roślinna

Wstęp

W wyniku działalności wydobywczej mającej na celu pozyskanie różnych kopalin, przeprowadzanej metodą odkrywkową bądź głębinową, dochodzi do licznych przeobrażeń krajobrazu. Wiązą się one niewątpliwie ze zmianą morfologii terenu, stosunków wodnych, a w konsekwencji ze zubożeniem świata roślin, zwierząt oraz mikroorganizmów zasiedlających przyszły pedon glebowy. Po zakończeniu eksploatacji rozpoczyna

się proces likwidacji odkrywki i zagospodarowania wyrobiska – terenu pogórniczego, mający na celu przywrócenie poprzedniego stanu środowiska w tym miejscu bądź też nadanie obszarowi przekształconemu geomechanicznie (np. zbiornikowi poflotacyjnemu) nowych form przyrodniczych lub użytkowych (KASZTELEWICZ i IN. 2007, KASPRZYK 2009). W Polsce najwięcej obszarów degradowanych geomechanicznie występuje w województwie wielkopolskim, szczególnie w okolicach Konina i Turku (ok. 10 tys. ha – eksploatacja węgla brunatnego), oraz w województwie dolnośląskim (ok. 7 tys. ha – eksploatacja węgla brunatnego, rudy żelaza, surowców skalnych).

Rys historii zabiegów rekultywacyjnych

Początki rekultywacji jako dziedziny nauki przypadają na drugą połowę XX wieku i są związane z prężnym rozwojem przemysłu wydobywczego i przetwórstwa surowców naturalnych (np. surowców energetycznych, skalnych czy rud metali). Działalność rekultywacyjną w Polsce zainicjował profesor Leszczycki (KASZTELEWICZ 2010), który rozpoczął badania i wprowadził swoją koncepcję zazielenienia hałd w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym. Ponadto do rozwoju tej dyscypliny nauki przyczynili się profesorowie krakowskiego ośrodka naukowego – botanik Władysław Szafer (Uniwersytet Jagielloński), geolog Walery Goetel (Akademia Górniczo-Hutnicza) oraz gruntoznawca Tadeusz Skawina (Akademia Górniczo-Hutnicza). Uważali oni, iż przez pojęcie rekultywacji należy rozumieć „nadanie lub przywrócenie gruntom zdegradowanym lub zdestawianym wartości użytkowych lub przyrodniczych poprzez właściwe ukształtowanie rzeźby, poprawienie właściwości fizycznych i chemicznych, uregulowanie stosunków wodnych, odtworzenie gleb, umocnienie skarp oraz zbudowanie, czy też odbudowanie, niezbędnych dróg” (KARCZEWSKA 2012). Definicja ta pomija jednak aspekt odtworzenia biologicznej aktywności rekultywowanych gruntów. Pełniejszą definicję rekultywacji zaprezentowała GILEWSKA (1991), która traktuje ją jako „zespół czynności inżynierskich i agrotechnicznych oraz procesów biogeochemicznych, kształtujących nową i pożądaną strukturę biocenotyczną zdegradowanej gleby”. Proces rekultywacji terenów zdegradowanych według GILEWSKIEJ (1991) musi obejmować zarówno prace o charakterze technicznym, mające na celu odpowiednie przygotowanie gruntu, jak i zabiegi natury biologicznej, służące odtworzeniu aktywności biologicznej. Rekultywacja terenów zdegradowanych według klasycznego modelu obejmuje trzy fazy (KARCZEWSKA 2012):

- przygotowawczą (dokumentacyjną),
- podstawową (rekultywację techniczną),
- szczegółową (rekultywację biologiczną).

W klasycznej koncepcji zabiegów rekultywacyjnych według SKAWINY (1963) i jego następców zwraca się uwagę na dwa czynniki decydujące o skuteczności przebiegu ich części biologicznej:

- dobór roślin pełniących rolę glebotwórczą, w pierwszej kolejności tzw. rośliny pionierskie, później dopiero rośliny docelowe,
- obecność próchnicy w powierzchniowej warstwie gleby, zdjętej z innego terenu, na którym są przeprowadzane prace ziemne.

Późniejsza koncepcja (model PAN) powstała dzięki pracy BENDERA i GILEWSKIEJ (2004). Zakładała ona jako priorytety:

- naprawę chemizmu gruntu – skały (stosowanie nawozów mineralnych),
- poprawę właściwości fizycznych tworzywa glebowego (stosowanie odpowiednich zabiegów uprawy mechanicznej).

Rekultywacja biologiczna

Celem biologicznej rekultywacji jest „ożywienie” gleby poprzez odtworzenie jej aktywności biologicznej (KARCZEWSKA 2012). Rekultywacja biologiczna opiera się na współdziałaniu czynników abiotycznych i biotycznych, które pozwolą w możliwie najkrótszym czasie i z użyciem jak najmniejszych środków na odtworzenie z bezglebowego gruntu produktywnej i żyznej gleby (GILEWSKA 1991). Skuteczność rekultywacji biologicznej zależy w znacznym stopniu od korzystnych warunków fizycznych, chemicznych i fizyczno-chemicznych rekultywowanego materiału. Celem naprawy chemizmu jest zarówno dostarczenie roślinom składników pokarmowych, jak i ingerencja w układ kationów i anionów, z uwzględnieniem właściwości skały oraz wprowadzonej pokrywy roślinnej (GILEWSKA i PŁÓCINICZAK 1997). Pozytywne znaczenie mają niewątpliwie także zabiegi spulchniające i napowietrzające warstwę powierzchniową. Ponadto należy stworzyć jak najlepsze warunki dla funkcjonowania organizmów żywych – flory i fauny glebowej – w postaci optymalnego odczynu gleby, obecności składników pokarmowych w formach przyswajalnych oraz wzbogacić glebę w materię organiczną. Ona właśnie głównie decyduje o zdolnościach sorpcyjnych gleby oraz stanowi podstawowy magazyn pokarmu dla roślin i mikroorganizmów glebowych, wytwarzających różne enzymy. Materia organiczna jest najważniejszym stymulatorem aktywności biologicznej gleby (HILLEL 2012). W warunkach naprawionego chemizmu mogą się bezpośrednio rozwijać różne gatunki roślin uprawnych, np. zboża, rzepak, lucerna czy gatunki lasotwórcze (KASZTELEWICZ 2010). Naprawa właściwości fizyczno-chemicznych umożliwia włączenie szaty roślinnej do kształtowania procesu glebotwórczego i zwiększenia produktywności gruntu.

Na grunty pogórnice, pozbawione aktywności biologicznej, według Skawiny i kontynuatorów jego szkoły należy wprowadzić w pierwszym etapie takie gatunki roślin, które łatwo się rozwijają w niekorzystnych warunkach. Są to tzw. rośliny pionierskie. Spośród gatunków roślin zielnych rolę roślin pionierskich najlepiej spełniają rośliny motylkowate (bobowate), jak np. nostrzyk biały. Znaczenie roślin motylkowatych, niektórych drzew i krzewów w rekultywacji biologicznej wynika z faktu, iż wpływają one niezwykle korzystnie na odtworzenie warstwy próchnicznej i przywrócenie glebie aktywności biologicznej (KARCZEWSKA 2012). Rośliny motylkowate, wchodząc bowiem w układ symbiotyczny z bakteriami brodawkowymi rodzajów *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*, wiążącymi azot atmosferyczny z powietrza, nie wymagają dodatkowego nawożenia azotowego i wzbogacają glebę w ten składnik. Ponadto produkują dużą masę nadziemną, która stanowi dla odtwarzającej się warstwy próchnicznej niezbędne źródło resztek organicznych. Rośliny motylkowate cechuje także duża masa korzeni oraz drenujący system korzeniowy, sięgający często bardzo głęboko, co umożliwia pobieranie

zarówno wody, jak i składników pokarmowych w utrudnionych warunkach. W rekultywacji biologicznej stosuje się także rośliny motylkowate w mieszankach z trawami. Trawy pełnią wówczas głównie rolę przeciwozyjną, gdyż tworzą zwartą darni. Gatunkami pionierskimi spośród drzew i krzewów są m.in. robinia akacja, brzoza brodawkowata, olsza szara i czarna, karagana syberyjska (KARCZEWSKA 2012). Wspomniane gatunki drzew, dzięki małym wymaganiom pokarmowym i układom symbiotycznym z bakteriami brodawkowymi (rośliny motylkowate) lub promieniowcami (olsze z gatunkami *Streptomyces alni* i *Frankia alni*), nie wymagają dodatkowego nawożenia azotowego, ponieważ korzystają z azotu atmosferycznego pozyskanego od organizmów symbiotycznych (KARCZEWSKA 2012). Szata roślinna stanowi wszechstronny i miarodajny wskaźnik właściwości siedliska. Innym czułym wskaźnikiem stanu biologicznego gruntów rekultywowanych jest aktywność enzymatyczna. Enzymy glebowe aktywnie uczestniczą w metabolizmie oraz katalizują istotne procesy glebotwórcze, związane głównie z przetwarzaniem materii i energii (BARAN 2000). Ponadto biorą one udział w humifikacji materii organicznej, uwalnianiu i udostępnianiu roślinom substancji mineralnych, wiązaniu azotu cząsteczkowego, nityfikacji i denityfikacji czy detoksykacji różnych ksenobiotyków (RUSSEL 2005).

Aktywność biologiczna gleby zależy od szeregu czynników, np. typu kształtującej się gleby, głębokości profilu glebowego, szaty roślinnej, odczynu gleby czy zawartości materii organicznej (BIELIŃSKA i MOCEK-PŁÓCINIĄK 2009). Szeroko pojęta enzymatyka odzwierciedla produktywność gleby oraz jest uznawana za czuły wskaźnik jej żyzności i rekultywowanych gruntów (BIELIŃSKA i IN. 2000, 2004, GILEWSKA i PŁÓCINIĄK 2004, RUSSEL 2005). Głównymi producentami enzymów glebowych są mikro- i mezo-fauna glebowa oraz korzenie roślin. Aktywność enzymatyczna 1 g gleby odpowiada liczebności 1010 komórek bakteryjnych lub 1 g świeżej masy grzybni (KOBUS 1995). Aktywność biologiczna gleby zależy także od gatunku roślinności wprowadzonej na dany teren. Wielu autorów wyjaśnia tę zależność nagromadzeniem się w glebie specyficznych dla gatunku roślin związków (substratów) niezbędnych dla przeprowadzenia reakcji enzymatycznych (BIELIŃSKA i IN. 2000, BIELIŃSKA i MOCEK-PŁÓCINIĄK 2009). Świeże grunty pogórnice oraz zdewastowane grunty przemysłowe odznaczają się na ogół bardzo małą aktywnością biologiczną lub jej brakiem. Wraz z postępem zabiegów rekultywacyjnych zwiększa się różnorodność organizmów zasiedlających tworzącą się już glebę inicjalną. Przejawia się to również wzrastającą sukcesywnie zawartością materii organicznej w postaci związków węgla, azotu oraz fosforu – pierwiastków szczególnie niezbędnych dla funkcjonowania organizmów żywych (KARCZEWSKA 2012). Efektem zabiegów rekultywacyjnych jest zatem odnowienie na przestrzeni kilkunastu lat życia biologicznego, czyli rozwoju mikroorganizmów i fauny glebowej. Działalność proekologiczna związana z rekultywacją terenów poeksploatacyjnych węgla brunatnego prowadzi także do zwiększenia zaufania społecznego względem państwa.

Znacznie trudniejszym zadaniem jest przeprowadzenie rekultywacji biologicznej na terenach sąsiadujących z pozyskiwaniem i przerobem metali kolorowych, w tym rud miedzi. Wiąże się to przede wszystkim z dwoma zagadnieniami. Pierwsze dotyczy rekultywacji terenów, na których składowane są tzw. osady poflotacyjne. Powstają one jako odpad skały płonnej, stanowiącej około 98% pozyskiwanych rud miedzi (rudę są mało zasobne w miedź – zawierają jej 1-2%). Na Dolnym Śląsku znajduje się kilka nieczynnych osadników, np. „Lena I i II” oraz „Iwiny I, II i III” czy „Gilów”, które od

wielu lat są poddawane rekultywacji biologicznej, oraz czynne jeszcze składowisko odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most” o bardzo dużej powierzchni (ok. 1800 ha), gdzie rekultywacją biologiczną objęte są jedynie skarpy, podwyższane metodą namywania od wewnątrz (KARCZEWSKA 2012). Biologiczna rekultywacja nieczynnych składowisk poflotacyjnych jest bardzo trudna z kilku powodów. Pierwszą trudność stanowi ich niekorzystne uziarnienie oraz szereg właściwości fizyczno-chemicznych. Wartość odczynu tych osadów jest wybitnie zasadowa (pH często powyżej 10), co utrudnia bądź uniemożliwia wzrost większości roślin, także na skutek ich bardzo dużego zasolenia. Ponadto w takich warunkach występujące w niewielkich ilościach bądź wprowadzane antropogenicznie makro- i mikroskładniki szybko „przechodzą” w formy prawie nierozpuszczalne, a zatem niedostępne dla roślin. Większość wcześniej deponowanych osadów wykazuje zwięzły skład granulometryczny, wywołany obecnością pęczniących minerałów ilastych, które pogarszają stosunki powietrzno-wodne tych utworów. W okresach wilgotnych na wspomnianych osadach stagnuje woda, natomiast w przypadku długotrwałych susz na powierzchni osadów pojawiają się liczne spękania. Przewodzone od wielu lat próby wprowadzania na te tereny leśnego kierunku rekultywacji biologicznej nie dały oczekiwanych rezultatów. Nasadzone drzewostany, najczęściej brzożowo-olszowe, cechują się bardzo słabymi przyrostami i ubogim runem leśnym. Lepsze rezultaty rekultywacyjne uzyskano na osadniku „Gilów”, o powierzchni około 40 ha, jednak tutaj przed rekultywacją biologiczną nawieziono na powierzchnię osadów kilkunastocentymetrową warstwę gliny i naprawiono chemizm poprzez odpowiednie nawożenie mineralne. Na tak przygotowany teren wysiano najpierw mieszanki roślin motylkowych z dużym udziałem nostryka białego. Nieco później wprowadzono na zazieleniony obszar powszechnie wykorzystywane w rekultywacji biologicznej drzewa: robinie akacjową, różne odmiany topoli, brzożę brodawkową itp. (KARCZEWSKA 2012).

Drugim trudnym zagadnieniem jest rekultywacja biologiczna terenów nieprzekształconych geochemicznie, ale usytuowanych w bezpośrednim sąsiedztwie hut miedzi „Legnica” i „Głogów I i II”. Ogromne ilości emitowanych w przeszłości (głównie w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego wieku) pyłów metalonośnych spowodowały silne zanieczyszczenie gleb otaczających huty. Do roku 2006 stanowiły one tzw. strefy ochrony sanitarnej i nie można było na nich uprawiać żadnych roślin konsumpcyjnych. Duże zanieczyszczenie tych gleb, szczególnie poziomów przypowierzchniowych, było i do dzisiejszego dnia jest sporym wyzwaniem proekologicznym. Obok toksycznych pierwiastków, głównie miedzi i ołowiu, do atmosfery były także emitowane duże ilości siarki, która w wielu miejscach wspomnianej strefy powodowała silne zakwaszenie gleb (BYRDZIAK i IN. 2005). Pomimo wyraźnego spadku wielkości emisji różnych zanieczyszczeń, które obserwuje się od lat 1990-1995, zakumulowane wcześniej pierwiastki toksyczne utrzymują się w glebie, stanowiąc duże zagrożenie i trudność w adaptacji dla większości roślin. Potwierdziły to liczne badania gleboznawcze prowadzone przez specjalistów z ośrodka wrocławskiego (KOWALIŃSKI i IN. 1974, DROZD i IN. 1984, SZERSZEŃ i IN. 1995, 1999) oraz poznańskiego (MOCEK 1989, MOCEK-PŁÓĆINIAK 2006, ROSADA 2007). Silne zakwaszenie oraz duże koncentracje miedzi i ołowiu doprowadziły do ograniczenia aktywności biologicznej znacznych powierzchni gleb wokół hut i utraty pokrywy roślinnej. Reperkusją tych zmian było wzmoczenie –

szczególnie w okolicach huty „Legnica” – silnych procesów erozyjnych, w których wyniku żłobiny osiągały miejscami głębokość 1-1,5 m.

Tereny najsilniej zanieczyszczone i zakwaszone wokół huty miedzi „Legnica” poddano procesom wapnowania, a następnie biologicznej rekultywacji, preferując kierunek leśny. Wyboru najwłaściwszych do nasadzeń gatunków drzew dokonali pracownicy naukowcy Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku. Dominowały odmiany hybrydowych topoli oraz jesion wyniosły, klon jawor, olsza czarna i brzoza brodawkowata (ANDRUSZCZAK i IN. 1997). Wybrany kierunek okazał się właściwy. Obecnie różne drzewostany pokrywają około 40% powierzchni dawniejszej strefy ochrony sanitarnej wokół huty „Legnica”. Na pozostałym terenie uprawiana jest wierzba energetyczna, część została zadarniona bądź przeznaczona pod specjalne uprawy rolnicze.

Wokół huty „Głogów” dominującym kierunkiem rekultywacji biologicznej był i jest także kierunek leśny. Przeważającymi drzewami są topole, robinia akacja, dąb czerwony, jesion wyniosły itp. (KARCZEWSKA 2012). Na glebach bardziej oddalonych od źródła emisji, a tym samym mniej zanieczyszczonych, prowadzona jest uprawa roślin przemysłowych, zbożowych i traw na cele nasienne, a także roślin włóknistych (len i konopie) oraz pewnych roślin energetycznych (ślazowiec pensylwański, topinambur, miskantus itp.). Na terenach otaczających huty nadal nie powinno się uprawiać roślin konsumpcyjnych. Gleby najsilniej zanieczyszczone wymagają monitorowania dotyczącego zawartości miedzi i ołowiu oraz wskazane jest ich wapnowanie w celu ograniczenia mobilności, czyli detoksykacji metali ciężkich. Proces samooczyszczania się tych gleb może trwać od 1000 do kilku tysięcy lat (ALLOWAY 1995). Ich oczyszczanie metodą fitoekstrakcji trwałoby kilka tysięcy lat, co wynika z małej skuteczności tej metody, a zatem nie jest ona obecnie zalecana.

Osiągnięcia polskiej szkoły rekultywacyjnej

Dotychczas wykonane na terenach działalności polskich kopalń odkrywkowych zabiegi rekultywacyjne są oceniane bardzo wysoko zarówno przez specjalistów krajowych, jak i zagranicznych. Polska szkoła rekultywacji funkcjonuje na poziomie europejskim i może być przykładem dla innych narodowości. Należy zwrócić uwagę na korzyści, jakie niosą ze sobą procesy rekultywacji, w postaci zagospodarowania terenów poeksploatacyjnych. Po zakończeniu wydobywania surowców na takich gruntach w procesie naprawy zdegradowanego krajobrazu powstają najczęściej w wyrobiskach końcowych atrakcyjne zbiorniki i tereny rekreacyjne, do których mają dostęp mieszkańcy czy lokalne samorządy (KASZTELEWICZ i IN. 2010). Rekultywacja rekreacyjno-sportowa polega na budowie nowoczesnych obiektów użyteczności publicznej (stoków narciarskich, torów saneczkowych, tras turystycznych, parków, ścieżek pieszo-rowerowych, placów zabaw, kortów tenisowych, boisk trawiastych, skwerów wypoczynkowych czy zbiorników wodnych służących rekreacji i uprawianiu sportów). Odpowiednio zaplanowane oraz świadomie i dobrze zrealizowane zabiegi rekultywacyjne mogą zwiększyć atrakcyjność nowo powstałego otoczenia. Tworzą się określone ekosystemy, w których pojawiają się płazy, gady oraz ptaki i ssaki (KASZTELEWICZ 2010). W zrekultywowanym gruncie kształtuje się ponownie bogate życie biologiczne. Z upływem czasu zwiększa się liczebność mikroorganizmów – bakterii, grzybów i pro-

mieniowców, które wpływają korzystnie na kształtowanie się właściwych warunków edaficznych, decydujących o parametrach fizyczno-chemicznych pokrywy glebowej. Obserwowana sukcesja naturalna roślin oraz wzrost bioróżnorodności zwierząt świadczą o postępującym i stabilizującym się ekosystemie. Z literatury przedmiotu wynika, iż poprawnie przeprowadzona rekultywacja techniczna i biologiczna terenów poeksploatacyjnych oraz ich przemyślane zagospodarowanie pozwalają nadać tym terenom nowe funkcje bądź przywrócić dawne wartości użytkowe w dość szybkim tempie. Powstałe kompleksy rolne, leśne, wodne czy rekreacyjno-sportowe stają się miejscem produkcji biomasy roślinnej bądź terenami stwarzającymi dogodne warunki wypoczynkowe dla okolicznej ludności (KASZTELEWICZ 2010, KASZTELEWICZ i IN. 2010, KARCZEWSKA 2012).

Literatura

- ALLOWAY B.J., 1995. Soil processes and the behaviour of metals. W: Heavy metals in soils. Red. B.J. Alloway. Blackie, Glasgow: 7-28.
- ANDRUSZCZAK E., BABIK W., CZUBA R., HRYNCEWICZ Z., HUCZYŃSKI B., KOŚCIELNIAK Z., ZDYCH S., 1997. Ograniczenie szkodliwego wpływu emisji Huty Miedzi „Legnica” w otaczającym środowisku. KGHM Polska Miedź S.A., Legnica.
- BARAN S., 2000. Ocena stanu degradacji i rekultywacji gleb. Przewodnik do ćwiczeń. Wyd. AR, Lublin.
- BENDER J., GILEWSKA M., 2004. Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń. *Rocz. Glebozn.* 55, 2: 29-46.
- BIELIŃSKA E.J., MOCEK-PLÓCINIAK A., 2009. Fosfaty w środowisku glebowym. Wyd. UP, Poznań.
- BIELIŃSKA E.J., WĘGOREK T., GŁOWACKA A., 2000. Zmiany aktywności enzymatycznej utworów ilastych na zalesionym zwałowisku kopalni siarki. *Rocz. AR Pozn.* 317, *Roln.* 56: 401-410.
- BIELIŃSKA E.J., WĘGOREK T., LIGĘZA S., FUTA B., 2004. Aktywność enzymatyczna piaskowych industrioziemów zalesionych robinią akacją zależnie od wystawy stoku zwałowiska. *Rocz. Glebozn.* 55, 2: 69-75.
- BYRDZIAK H., JĘDRZEJEWSKI J., KIEDEL Z., MIZERA A., NIERZEWSKA M., 2005. Ochrona środowiska – biuletyn 2002-2004. KGHM Polska Miedź S.A., Lubin.
- DROZD J., KOWALIŃSKI S., LICZNAK M., 1984. Strefowe zanieczyszczenie gleb Cu, Zn i S oraz zmiany erozyjne pokrywy glebowej w rejonie oddziaływania huty miedzi. *Rocz. Glebozn.* 35, 1: 33-47.
- GILEWSKA M., 1991. Rekultywacja biologiczna gruntów pogórnich na przykładzie KWB „Konin”. *Rocz. AR Pozn. Rozpr. Nauk.* 211.
- GILEWSKA M., PLÓCINICZAK A., 1997. Aktywność enzymatyczna gruntu składowiska popiołowego. W: III Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt. Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska, Koszalin – Ustronie Morskie. Sekcja Wykorzystania Surowców Mineralnych Komitetu Górnictwa PAN: 299-306.
- GILEWSKA M., PLÓCINICZAK A., 2004. Aktywność enzymatyczna gruntu składowiska popiołowego. W: XI Międzynarodowa Konferencja „Popioły z energetyki”, 13-16 X Zakopane. 299-305.
- HILLEL D., 2012. Gleba w środowisku. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- KARCZEWSKA A., 2012. Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Wyd. UP, Wrocław.

- KASPRZYK P., 2009. Kierunki rekultywacji w górnictwie odkrywkowym. *Probl. Ekol. Krajobr.* 24: 7-15.
- KASZTELEWICZ Z., 2010. Rekultywacja terenów pogórnicznych w polskich kopalniach odkrywkowych. Monografia. Fundacja Nauka i Tradycje Górnicze z siedzibą Wydział Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków.
- KASZTELEWICZ Z., KLICH J., SYPNIEWSKI SZ., 2010. Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych w polskim górnictwie węgla brunatnego. *Zesz. Nauk. Uniw. Zielonogórs.* 137, Inż. Środ. 17: 16-26.
- KASZTELEWICZ Z., KOZIOL K., KLICH J., 2007. Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych w kopalniach węgla brunatnego w Polsce. *Gór. Geoinż.* 31, 2: 295-307.
- KOBUS J., 1995. Biologiczne procesy a kształtowanie żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 421a: 209-219.
- KOWALIŃSKI S., LASKOWSKI S., ROSZYK E., SZERSZEŃ L., 1974. Wstępne wyniki badań nad wpływem zadymienia i zapylenia na gleby i rośliny w rejonie huty miedzi Głogów. W: *Materiały Sesji Naukowej pt. „Wykorzystanie i ochrona środowiska ziem południowo-zachodnich Polski”*, PAN Wrocław. Wrocław: 305-311.
- MOCEK A., 1989. Możliwości racjonalnego zagospodarowania gleb chemicznie skażonych w przemysłowych strefach ochrony sanitarnej. *Rocz. AR Pozn. Rozpr. Nauk.* 185.
- MOCEK-PLÓCINIĄK A., 2006. Zależności pomiędzy biologicznymi a chemicznymi wskaźnikami zanieczyszczenia gleb. Maszynopis. Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej UP, Poznań.
- ROSADA J., 2007. Ekologiczne aspekty wykorzystania obszarów objętych oddziaływaniem emisji hut miedzi do upraw rolniczych. *Prog. Plant Prot. / Post. Ochr. Rośl.* 47, 1: 119-127.
- RUSSEL S., 2005. Znaczenie badań enzymów w środowisku glebowym. *Acta Agrophys. Rozpr. Monogr.* 3: 5-9.
- SKAWINA T., 1963. Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych górnictwa odkrywkowego węgla brunatnego. *Węgiel Brun.* 3: 151-242.
- SZERSZEŃ L., CHODAK T., BORKOWSKI J., BOGDA A., KARCZEWSKA A., 1995. Stan środowiska glebowego Dolnego Śląska. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 418, 1: 61-74.
- SZERSZEŃ L., CHODAK T., KABALA C., 1999. Monitoring zawartości pierwiastków śladowych w glebach przylegających do Huty Miedzi w Głogowie i Legnicy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 467, 2: 405-412.

BIOLOGICAL RECLAMATION OF AREAS DEGRADED AFTER THE EXCAVATION OF LIGNITE AND COPPER ORES

Summary. The article contains basic assumptions of biological reclamation of the areas degraded in excavation of various industrial resources. Opencast or depth excavation always leads to intrusion in the natural environment. As a result, inner and outer spoil tips and post-flotation pits and containers – which are post-mining lands – are developed. After the excavation, such areas need a series of reclamation operations which incorporate technical and biological actions whose aim is to restore their environmental and utilitarian values. Reclamation of degraded areas should incorporate mainly actions which lead to preparation of grounds and enhancing their chemism, as well as biological operations targeted at the renovation of their biological activity (microbiological and enzymatic). A proper architecture of the spoil tip and the quality of post-mining ground ought to be developed in order to make post-industrial barrens change into farming or landscape areas and therefore, enhance the attractiveness of these transformed anthropogenic areas.

Mocek-Plóćiniak A., 2014. Biologiczna rekultywacja terenów zdegradowanych po eksploatacji węgla brunatnego i rud miedzi. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 3, #42.

Key words: reclamation, grounds, post-excavation areas, enzymatic activity, microorganisms, flora

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Agnieszka Mocek-Plóćiniak, Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Szydlowska 50, 60-656 Poznań, Poland, e-mail: agam-p@up.poznan.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

11.06.2014

Do cytowania – For citation:

*Mocek-Plóćiniak A., 2014. Biologiczna rekultywacja terenów zdegradowanych po eksploatacji węgla brunatnego i rud miedzi. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 3, #42.*