

Marcin PIETRZYKOWSKI, Wojciech KRZAKLEWSKI

Katedra Ekologii Lasu, Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie

Rozwój metod rekultywacji leśnej w górnictwie piasków podsadzkowych

Streszczenie

Zgodnie z aktualnymi trendami „zrównoważony system eksploatacji złóż oraz rekultywacji terenów pogórnicznych” powinien zaspokajać zarówno potrzeby przemysłu jak i potrzeby społeczno-ekologiczne. W Polsce zorganizowana działalność rekultywacyjna liczy ponad 50 lat, a jej początki związane były z rekultywacją w górnictwie piasków podsadzkowych. Ta gałąź górnictwa po 1945 roku zajęła około 11500 ha, z tego do 2004 r. około 8000 ha zrekultywowano, w tym około 4000 ha przekazano leśnictwu. Rekultywacja w tej gałęzi przemysłu wydobywczego realizowana jest głównie dla kierunku leśnego i wodnego. Aktualny wzorzec postępowania rekultywacyjnego obejmuje fazę rekultywacji przygotowawczej, technicznej i biologicznej oraz etap zagospodarowania. Podstawą projektu rekultywacji leśnej tego rodzaju obiektów jest diagnoza siedliskowa, a głównym kryterium oceny terenów do rekultywacji jest głębokość wód gruntowych. Dla wydzielonych kategorii powierzchni ustala się odpowiednie postępowanie rekultywacyjne realizowane dla zagospodarowania leśnego.

1. Wstęp

Górnictwo odkrywkowe powoduje znaczne przekształcenia i zakłócenia krajobrazu i wywiera duży wpływ na środowisko naturalne. Istniejące prawodawstwo w Polsce i w innych krajach wymusza prowadzenie działalności rekultywacyjnej w celu przywrócenia wartości użytkowych gruntów (Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych z 1995 znowelizowana w 1997 r.; United States Congress 1977; Häge i in. 1996). Nowoczesna rekultywacja stawia sobie jednak wyższe cele tzn. nie tylko przywrócenie wartości użytkowych, ale kompleksowe utworzenie na terenach przekształconych całych ekosystemów i krajobrazu (Bogdanowski 1988; Dilla, Möhlenbruch 1989; Krzaklewski 1990; Krzaklewski 2001; Bradshaw, Hüttl 2001; Bell 2001; Hüttl, Weber 2001). W tym przypadku górnictwo odkrywkowe i nowoczesna rekultywacja mogą stwarzać nowe możliwości kształtowania krajobrazu, w tym ekosystemów wodnych, leśnych i rolniczych. Często są to tereny wartościowe przyrodniczo i turystycznie, zasiedlane przez avifaunę, zarybiane kanały i zbiorniki wodne, ścieżki edukacyjne, tereny badania procesu sukcesji ekologicznej, siedliska rzadkich roślin. Jest to tak zwany zrównoważony system eksploatacji złóż oraz rekultywacji terenów pogórnicznych, który powinien zaspokajać zarówno potrzeby przemysłu jak i potrzeby społeczno-ekologiczne (Bell 1996; Bell 2001; Bradshaw, Hüttl 2001). Takie działania dają możliwości pozyskania społecznej akceptacji dla działalności górniczej (Häge i in. 1996; Krzaklewski 2001).

Aby spełnić te wymagania w pierwszej kolejności trzeba przed podjęciem działań inwestycyjnych opracować koncepcję rekultywacji. Takie sformułowania prawne i zalecenia znajdują

się również w prawodawstwie niemieckim i amerykańskim. Wymuszają one w procesie rekultywacji współdziałanie wielu dziedzin, w tym głównie inżynierii górniczej, ekologii, biologii, gleboznawstwa i geochemii. Zorganizowana działalność rekultywacyjna w Polsce liczy ponad 50 lat, a jej początki związane są w dużym stopniu z rekultywacją w górnictwie piasków podsadzkowych.

2. Gospodarka powierzchnią i wydobycie piasku

Piasek podsadzkowy zaliczany jest w ogólnym bilansie zasobów kopalin do grupy surowców skalnych. Obecnie liczba złóż piasków podsadzkowych w Polsce wynosi 32, z czego zagospodarowanych do tej pory było 10 – 8 zakładów czynnych i 2 złoża eksploatowane okresowo (Państwowy Instytut Geologiczny 2005). Udokumentowane geologicznie zasoby wynoszą około 4704 mln ton, w tym zagospodarowane stanowią 1207 mln ton (Rocznik Statystyczny RP 2002). Eksploatowane złoża piasków zlokalizowane są głównie w przedczwartorzędowych dolinach Rawy, Białej i Czarnej Przemszy, Jaworznika i Kłodnicy (Gilewska 1972). Największe złoża piasków podsadzkowych to Szczakowa, Siersza-Misiury, Bór, Kuźnica Warężyńska oraz Obora – rejon Jaworzna, Olkusza, Trzebini, Dąbrowy Górniczej, Rud Raciborskich (Państwowy Instytut Geologiczny 2005). Największe kopalnie na terenie GOP to KP „Szczakowa” (obecnie PCC Rail Szczakowa), KP „Kuźnica Warężyńska”, KP „Kotłarnia” i KP „Maczki-Bór” (Krzaklewski 1990; Krzaklewski i in. 2000).

Powstawanie piaskowni i wyrobisk popiaskowych na terenie Polski rozpoczęło się na przełomie wieku XIX i XX, a związane było z wydobyciem piasków do podsadzki płynnej dla górnictwa oraz piasków budowlanych, szklarskich i formierskich. Już w okresie międzywojennym areal użytków tego typu wynosił 1500 ha. Pierwsze udane eksperymenty zastosowania płynnej podsadzki piaskowej do wypełniania podziemnych wyrobisk po wydobyciu węgla kamiennego miały miejsce w 1894 roku. Kopalnie węgla kamiennego uruchomiły szereg niewielkich piaskowni na własny użytek. Jeszcze w latach 70. około 40% wydobycia węgla kamiennego opierało się na zastosowaniu płynnej podsadzki piaskowej (Tymiński 1965). Obecne wydobycie piasków podsadzkowych (od 2000 roku) kształtuje się na poziomie około 5,5 mln m³, a udział węgla wydobywanego z podsadzką płynną w ogólnym wydobyciu jest niewielki i wynosi tylko około 4%. Jeszcze w 1999 roku wynosił ponad 14% (Rocznik Statystyczny RP 2002).

Od 1951 r. 90% wydobycia i dostaw piasku do kopalń przejęło specjalistyczne Przedsiębiorstwo Materiałów Podsadzkowych Przemysłu Węglowego (PMP-PW). W latach 60. i 70. ponad połowę wydobycia piasków pokrywała KP „Szczakowa” (Tymiński 1965; Kaźmierczyk i in. 1997). Zwiększające się wydobycie węgla kamiennego, które pod koniec lat 70. przekraczało 200 mln ton przyspieszyło znacznie wzrost zapotrzebowania na piasek podsadzkowy (Strzyszc 1978; Furdyna 1979). Roczne zużycie piasku w latach 70. i 80. wynosiło ok. 25 mln m³ i powodowało zajmowanie pod jego eksploatację około 200 ha gruntów rocznie. Obszary eksploatacyjne lokalizowane były głównie na terenach leśnych, co w przypadku Śląska i Zagłębia było zjawiskiem szczególnie niekorzystnym (Tymiński 1965; Strzyszc 1978).

Obecnie trudno jest dokładnie określić powierzchnię zajęłą przez górnictwo piasków podsadzkowych w skali całej Polski, ponieważ dostępne dane ujmowane są zbiorczo w kategorii „górnictwo surowców skalnych” (wg danych z Głównego Urzędu Górniczego 2003 r.). Orientacyjnie szacuje się, że ta gałąź górnictwa po 1945 roku wyłączyła około 11500 ha, z tego do 2004 r. około 8000 ha zrehabilitowano, w tym około 4000 ha przekazano leśnictwu.

3. Rozwój metod rekultywacji

3.1. Pierwsze próby rekultywacji

W Polsce, w ponad 50-letnim okresie zorganizowanych badań nad rekultywacją terenów przemysłowych osiągnięto niemały dorobek poznawczy. Pierwsze zorganizowane badania naukowe w tym zakresie podjęto w połowie lat pięćdziesiątych (Skawina 1957, 1958), gdy na przykład w Niemczech, Anglii i Stanach Zjednoczonych już w początkach ubiegłego stulecia (Krzaklewski 2001). Prawdopodobnie najstarszym w Europie stowarzyszeniem naukowym zajmującym się zazielenieniem hałd i innych nieużytków przemysłowych było utworzone w 1903 r. Stowarzyszenie zazielenienia Anglii Środkowej (Skawina 1957). Najwcześniejsze próby rekultywacji odkrywkowych wyrobisk górniczych po eksploatacji piasku podsadzkowego w Polsce datują się od 1929 r., kiedy to po raz pierwszy dokonano rekultywacji przez zalesienie wyrobisk w Strzemieszycach, Pawłowie oraz Makoszowach. Wówczas jeszcze nie obowiązywały przepisy prawne i nie prowadzono zorganizowanej działalności rekultywacyjnej. Nie kształtowano terenów wyrobisk popiaskowych po eksploatacji, ani też nie wykonywano sieci odwadniającej przed rekultywacją biologiczną. To w konsekwencji wpływało na różną udatność zalesień, która zależała od lokalnej zmienności stosunków wodnych (dane z Archiwum Katedry Ekologii Lasu AR i Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH 1975).

3.2. Początki zorganizowanej działalności rekultywacyjnej i uwarunkowania przyrodnicze

Pierwsze zorganizowane badania naukowe nad rekultywacją wyrobisk po eksploatacji piasków podsadzkowych rozpoczęto w latach sześćdziesiątych w największej w Polsce Kopalni Piasku „Szczakowa”. Prowadzone one były przez Akademię Górniczo Hutniczą w Krakowie oraz Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze (m.in. Skawina i zespół 1963; Greszta, Skawina 1965; Strzyszc 1969; Skawina, Wąchalewski 1972; Krzaklewski 2001). W oparciu o ich wyniki opracowano metodę biologicznej rekultywacji spągu wyrobisk i w 1961 PMPW rozpoczęło rekultywację i ich zalesianie. W latach 1961–62 stosowano tzw. bruzdową metodę rekultywacji, polegającą na wykorzystaniu gleby próchnicznej (leśnej) w ilości 400–750 t/ha. Glebę tę wsypywano w rowki na około 40 cm głębokie i 50–60 cm szerokie, w odstępach 140 cm. Tak przygotowany teren wyrównywano broną talerzową i zalesiano. W niektórych partiach wyrobisk stosowano też torfowanie oraz wysiew nasion łubinu jednorocznego z dodatkiem traw. Głębokość występowania wód gruntowych uwzględniono od 1963–64 roku i w związku z tym tak kształtowano dno wyrobiska, aby wody gruntowe utrzymywały się na głębokości 40–100 cm, w zależności od uziarnienia gruntów. Dowożono też glebę próchniczną w ilości od 50–300 t/ha i wysiewano nasiona roślin motylkowatych (Krzaklewski 1990). W ten sposób w latach 1961–1970 w rejonie śląsko-krakowskim zrekultywowano ok. 2 tys. ha dla leśnictwa (Wiejacha 1976).

Na podstawie badań gleboznawczych i hydrologicznych już na początku lat 60. ustalono, że kluczową rolę w kształtowaniu warunków siedliskowych i powodzeniu rekultywacji na wyrobiskach popiaskowych odgrywa uregulowanie stosunków wodnych, w tym właściwej głębokości występowania wód gruntowych oraz pozostawianie w warstwach przypowierzchniowych utworów o cięższym składzie granulometrycznym, budujących spąg wyrobiska (Skawina i zespół 1963; Czuber 1985; Krzaklewski 1988a; Czuber 1988; Krzaklewski i in.

2000). Zwracano również uwagę na znaczenie zasobności wód gruntowych dla gospodarki pokarmowej roślinności leśnej wprowadzonej na te wyrobiska (Strzyszc 1969). Takie uwarunkowania determinujące powodzenie rekultywacji występują również w przypadku innych wyrobisk zbudowanych z jałowych utworów, np. po odkrywkowej eksploatacji torfowisk wysokich (Lavoie i in. 2003).

Głębokość zalegania wód gruntowych na wyrobiskach po eksploatacji piasków podszkawkowych zależała w głównej mierze od przyjętych rozwiązań na etapie technicznym rekultywacji. Ocena uwarunkowań siedliskowych rekultywacji leśnej tego rodzaju wyrobisk prowadzono na podstawie stosunków wodnych wydzielać 3 kategorie terenów: z wodą występującą na głębokości poniżej 1 metra, od 1 do 0,4 m i powyżej 0,4 m, a na podstawie zasobności gruntów wyodrębniono kategorie siedlisk: oligotroficznych (zbudowanych wyłącznie z piasków luźnych), mezotroficznych (zbudowanych z utworów piaszczysto-gliniastych) i eutroficznych (z utworów gliniastych) (Greszta, Skawina 1965). Jak wykazały dalsze doświadczenia w przypadku roślin motylkowatych oraz traw najkorzystniejszy poziom wód gruntowych w pierwszym etapie rekultywacji biologicznej wynosił od 40 do 60 cm (Furdyna 1979). Z kolei najbardziej dynamiczny rozwój procesów próchnicznych zachodził na powierzchniach z poziomem wód gruntowych na głębokości od 40 do 100 cm (Skawina, Wąchalewski 1972; Czuber 1985).

Już w latach 60. zwrócono również uwagę na znaczącą rolę właściwego gospodarowania wodami opadowymi na rekultywowanych piaskowniach. Miało to szczególne znaczenie na fragmentach piaskowni z bardzo głębokim lustrem wód gruntowych. Na terenach takich roślinność korzystała wyłącznie z wody opadowej, co z uwagi na bardzo słabe zdolności retencyjne i niewielki podsiąk kapilarny piasków luźnych (wynoszący najwyżej 25 cm), powodować mogło okresowe lub długotrwałe niedobory wilgoci (Furdyna 1974, 1979). Największe niebezpieczeństwo konkurencji roślinności zielnej dla upraw leśnych istniało szczególnie w pierwszych 2 latach. Stąd też wytyczne rekultywacji uwzględniały wykonanie w tym okresie zabiegu przyorania wieloletniej roślinności motylkowatej w momencie jej najbujniejszego wzrostu i dopiero po przyoraniu wykonanie prac zalesieniowych (Wiejacha 1976; Krzaklewski 1990).

Na wyrobiskach popiaskowych stosowano różne sposoby poprawy właściwości retencyjnych i sorpcyjnych jałowych piasków oraz wzbogacania ich w materię organiczną. Między innymi w tym celu stosowano: miał torfowy, osady z dna stawów, skałę płoną z kopalni węgla kamiennego, humus leśny. W pierwszych latach doświadczeń, pomimo stosowania bardzo kosztownych zabiegów rekultywacyjnych, obejmujących dowożenie próchnicy leśnej w ilości nawet do 1000 t/ha, zdarzało się, że wypadki sadzonek dochodziły do 95%. Między innymi z tych względów od 1962 roku trwały intensywne badania nad opracowaniem takich metod rekultywacji biologicznej, które zamiast dowożenia wielkich mas próchnicy leśnej uwzględniałyby odpowiedni dobór roślinności motylkowatej oraz nawożenie NPK i zabiegi agrotechniczne (Wiejacha 1976; Czuber 1988; Krzaklewski 1990). Na podstawie wyników wieloletnich doświadczeń, które podsumowano w latach 70. (Skawina i zespół 1975), stwierdzono, że nawożenie organiczne jałowych piasków można zastąpić nawożeniem mineralnym NPK. W latach 70. i 80. dawki nawozów mineralnych wynosiły przykładowo: mocznik (46% N) – 162 kg/ha; sól potasowa (40% K) – 235 kg/ha; superfosfat potrójnie granulowany (46% P) – 325 kg/ha („Projekt Techniczny...” 1988). Nawożenie wykonywano w tych dawkach przez dwa lata. W miarę doświadczeń dawki składników pokarmowych ustalono na poziomie: N – 80 kg/ha, P₂O₅ – 60 kg/ha, K₂O – 60 kg/ha. Jednak problem racjonalnego nawożenia mineralnego utworów bardzo lekkich, a zwłaszcza piasków luźnych, był skomplikowany. Z jednej

strony piaski wykazywały duże niedobory wszystkich składników pokarmowych, z drugiej w przypadku uzupełnienia w drodze nawożenia mineralnego nie było możliwości ich „zatrzymania” i udostępnienia roślinom w odpowiednim przedziale czasowym. Każda nadwyżka składników pokarmowych bardzo łatwo była wymywana. Z kolei wprowadzana do piasków substancja organiczna była bardzo szybko mineralizowana, stąd znaczące efekty zastosowania takiego zabiegu trwały najczęściej tylko kilka lat. Dobrym rozwiązaniem wydawało się w tej sytuacji wprowadzenie do piasków utworów zwięzłych, co mogło w sposób trwały wpływać na właściwości sorpcyjne i retencyjne gruntów. Przy uwzględnieniu powyższych założeń w latach 60. i 70. przeprowadzono badania nad wykorzystaniem bentonitów (iłów złożonych głównie z montmorylonitu), jako sorbentu dla poprawy właściwości wodnych, efektywności nawożenia mineralnego i aktywizacji biologicznej gruntów na spągu piaskowni (Skawina 1965; Bolewski i in. 1968; Skawina, Wąchalewski 1972). Stosowano doświadczalnie nawożenie bentonitem surowym albo sorbento-nawozem bentonitowym. Szczególnie dobre efekty osiągnięto stosując bentonity w połączeniu z wodą amoniakalną (Skawina 1965). Obecnie zaleca się nawożenie mniejszymi dawkami w kilku terminach lub nawozy wolnodziałające.

3.3. Dobór roślinności do rekultywacji biologicznej

Jeśli chodzi o dobór gatunków do zalesień to na podstawie prowadzonych badań zalecano przede wszystkim jako przedplony: olsza szara *Alnus incana*, olsza czarna *Alnus glutinosa*, grochodrzew *Robinia pseudoaccacia*, oliwnik *Eleagnus angustifolia*, rokitnik *Hippophaë rhamnoides* (trzy ostatnie szczególnie zalecane do umacniania skarp), wierzba iwa *Salix caprea*, czeremcha późna *Prunus serotina*. Do zalesień jako gatunki docelowe: brzoza brodawkowata *Betula pendula*, brzoza omszona *Betula pubescens*, topola osika *Populus tremula*, wiąz limak *Ulmus laevis*, modrzew europejski *Larix decidua*, sosna czarna *Pinus nigra*, klon polny *Acer campestre*, klon zwyczajny *Acer platanoides*, jawor *Acer pseudo-platanus*, dąb czerwony *Quercus rubra*, lipa drobnolistna *Tilia cordata* a wśród gatunków krzewiastych: kruszyna *Rhamnus frangula*, jarząb pospolity *Sorbus aucuparia*, czeremcha zwyczajna *Prunus padus*, dereń świdwa *Cornus sanguinea*, bez czarny *Sambucus nigra*, bez koralowy *Sambucus racemosa* (Furdyna, Mac 1966; Bugała, Kluczyński 1975). W latach 70. zalecano również kultywary topól *Populus* ‘Regenerata’, *Populus* Hybrida ‘277’ i *Populus* Hybrida ‘275’ (Szczołka 1977; Bugała, Kluczyński 1975). Wszystkie wymienione rośliny dobierano do warunków siedliskowych i funkcji.

Z roślinności zielonej w fazie rekultywacji biologicznej polecano szczególnie łubin wąskolistny *Lupinus angustifolius*, który preferowano na gleby o odczynie obojętnym i zasadowym. W warunkach wyrobiska KP „Szczałkowa” miało to duże znaczenie szczególnie w latach 70., ponieważ imisje pyłu z pobliskiej cementowni wywoływały alkalizację górnych warstw substratu glebowego (Furdyna 1979). Oprócz tego stosowano również mieszanki łubinu żółtego *Lupinus luteus*, peluski *Pisum arvense*, bobiku *Vicia faba* i wyki jarej *Vicia sativa*. W międzyrzędach zakładanych upraw leśnych dosiewano pod motykę łubin trwały *Lupinus polyphyllus* (Projekt Techniczny 1988: „Rekultywacja wyrobiska...” POLTEGOR; H. Wyparło, KP „Szczałkowa”, informacja ustna).

3.4. Aktualne postępowanie rekultywacyjne na wyrobiskach po eksploatacji piasków podsadzkowych

3.4.1. Ogólny przykład postępowania rekultywacyjnego

Jak wspomniano, podstawę dla leśnego zagospodarowania stanowi prognoza siedliskowa. Na niej oparte jest planowanie składu gatunkowego i formy zmieszania upraw leśnych (Krzaklewski i in. 2000). Prognozowanie na przedmiotowych terenach kierunku rozwoju siedlisk leśnych odbywa się na podstawie wyników badań fitosocjologicznych, glebowych i hydrologicznych. Przykładem opracowania w tym zakresie mogą być wytyczne dla wyrobiska Pole II KP „Szczakowa” i wyrobiska KP „Kuźnica Warężyńska” (Krzaklewski i zespół 1999). Na podstawie gatunku gleby i głębokości lustra wód gruntowych ustalono, że na terenach z wodą zalegającą na głębokości poniżej 3 m potencjalnie mogą powstać siedliska upodabniające się do Bs, przy głębokości od 2 do 3 m siedliska Bśw, od 1 do 2 m Bw, BMw od 0,5 do 1 m, a siedliska Bb z wodą gruntową powyżej 0,5 m. Uwzględniane są przy tym również możliwości podniesienia grupy żyznościowej i wilgotnościowej siedliska przy wystąpieniu zasobniejszych wód gruntowych i co jest oczywiste, lepszych utworów pod względem uziarnienia (Krzaklewski i zespół 1999; Krzaklewski i in. 2000).

Głębokość występowania wód gruntowych jest w dalszym ciągu podstawą do wydzielenia kategorii terenów przeznaczonych do rekultywacji na wyrobiskach popiaskowych (Krzaklewski i in. 2000). Warunki optymalne dla rekultywacji leśnej występują w kategorii z wodą gruntową na głębokości od 0,5 do 1 m. Dla wydzielonych kategorii powierzchni ustala się odpowiednie postępowanie rekultywacyjne realizowane dla zagospodarowania leśnego. Nawożenie mineralne zalesień obejmować powinno nawożenie podstawowe i uzupełniające (wiosną w drugim i trzecim roku wegetacji sadzonek) w dawkach: 150 kg/ha superfosfatu potrójnie granulowanego (46% P₂O₅), 100 kg/ha salmagu lub saletrzaku (27% lub 25% N) i 100 kg/ha soli potasowej (60% K) w dwóch terminach, albo najkorzystniej stosowanie jednokrotne nawożenia nawozem wolnodziałającym wprowadzanym w postaci pastylek w sąsiedztwie systemów korzeniowych drzewek. Taki sposób nawożenia nie stymuluje nadmiernie rozwoju konkurencyjnej dla upraw roślinności zielnej.

Skład gatunkowy upraw w ramach zalesień powinien być, jak wspomniano, dostosowany do warunków siedliskowych. Głównymi gatunkami do zalesień na siedliska uboższe są: sosna zwyczajna *Pinus sylvestris*, brzoza brodawkowata *Betula pendula* i brzoza omszona *Betula pubescens*, a domieszkowo olsza szara *Alnus incana*, dąb bezszypułkowy *Quercus petraea*, dąb szypułkowy *Quercus robur*, czeremcha zwyczajna *Padus avium*, jarząg pospolity *Sorbus aucuparia*. Na siedliska lepsze wprowadza się grupowo lub kępowo modrzew europejski *Larix decidua*, dąb szypułkowy i klon jawor *Acer pseudoplatanus* (Krzaklewski i in. 2000).

W ramach rekultywacji technicznej zaleca się również możliwość pozostawiania niewielkich deniwelacji terenu i małych oczek wodnych jako elementów różnicujących i wzbogacających ekosystem.

3.4.2. Metoda rekultywacji leśnej starych wyrobisk popiaskowych z wykorzystaniem zbiorowisk z sukcesji

Inaczej wygląda postępowanie rekultywacyjne na terenach starych wyrobisk popiaskowych nie objętych ponownie eksploatacją a porośniętych roślinnością z sukcesji. W latach

90. wdrożono tam nowatorską metodę rekultywacji (Krzaklewski 1988b; Krzaklewski 1995; Krzaklewski, Frączek 1999), polegającą, na opracowaniu map roślinności z sukcesji, gatunków gleb, głębokości wód gruntowych i potencjalnych siedlisk leśnych. Na podstawie takiego materiału opracowana zostaje mapa kategorii terenów wydzielonych ze względu na zakres niezbędnych zabiegów rekultywacyjnych. Dla przykładu: Kategoria I – tereny bez roślinności lub z pokryciem przez roślinność zielną < 50% (zbiorowiska zielne ze szczotlichą siwą *Corynephorus canescens*), wykonywany jest tu tzw. pełny cykl obejmujący zabiegi: próchnicowania, wprowadzenia roślin motylkowatych (łubinowanie) i nawożenie mineralne; Kategoria II – wykonywany jest tu częściowy cykl prac podobny do Kategorii I z wyłączeniem próchnicowania dla terenów pokrytych roślinnością zielną w 50–75% oraz z wyłączeniem próchnicowania i łubinowania dla terenów pokrytych roślinnością > 75% (na tych terenach przeważają zbiorowiska z przewagą *Calamagrostis epigejos* i *Poa compressa* z pokryciem powierzchni w warstwie roślinności zielnej od 75% do 100%, a w warstwie krzewów i młodych drzew > 50% (gatunki: sosna zwyczajna *Pinus sylvestris*, brzoza brodawkowata *Betula pendula*, topola osika *Populus tremula*, wierzba iwa *Salix caprea*) w warstwie drzew pojedynczo występują *Pinus sylvestris* i *Betula pendula*; Kategoria III – tereny porośnięte głównie roślinnością charakterystyczną dla siedlisk borowych (Bs, Bśw, BMśw) z pokryciem w warstwie drzew > 50%, w warstwie niższej (krzewów) > 25% i w warstwie roślinności zielnej > 75%. W tej kategorii zalecano wykonywanie wyłącznie zabiegów pielęgnacyjnych, obejmujących przebudowę składu i formy zmieszania zbiorowisk drzewiastych. Kategoria IV obejmowała zbiorowiska wodne i bagienne przeznaczone do pozostawienia w celu i włączenia ich do przyszłych ekosystemów leśnych z gatunkami zbiorowisk wodnych i bagiennych takich jak: przetacznik bobownik *Veronica anagallis*, wierzbownica kosmata *Epilobium hirsutum*, mozga trzciniowa *Phalaris arundinacea*, trzcina pospolita *Phragmites australis* w warstwie krzewów z dominującym gatunkiem wierzba purpurowa – wiklina *Salix purpurea*. Przedstawiona metoda została z powodzeniem wdrożona na powierzchni 257 ha na terenie wyrobiska KP „Szczakowa”.

4. Rekultywacja terenów po eksploatacji piasków w innych krajach – przykłady

W celu uproduktywnienia jałowych utworów piaszczystych stosowano od dawna nawadnianie i wzbogacanie w materię organiczną (Taha i in. 1970). Dotyczyło to również wyrobisk po eksploatacji piasków. Aluwialne piaski zawierające minerały „ciężkie” takie jak cyrkon, rutyl, ilmenit i monacyt wydobywane są od ponad 50 lat. Ich eksploatację i pozyskanie prowadzi się metodą odkrywkową z procesem mokrej segregacji i płukania. Ponad połowa światowego wydobycia tych minerałów ma miejsce w Australii (Brooks 1989, za Daniels i in. 1992). Produktem technologicznego procesu płukania są odpady wydzielane jako frakcje o zróżnicowanym składzie mechanicznym. Przed ponownym wtłoczeniem za pomocą hydrotransportu są one mieszane i powstaje utwór piaszczysto-gliniasto-ilasty, często z domieszką materii organicznej. Pionierskie prace dotyczące rekultywacji tego rodzaju wyrobisk prowadzone były w Australii od lat 40. XX wieku, a później w USA. Ogólnie przyjęty w USA wzór postępowania rekultywacyjnego wyrobisk po eksploatacji piasków wykorzystywanych w budownictwie i piasków zawierających minerały ciężkie polega na stosowaniu do ich pokrycia odpowiednio przemieszanych utworów mineralnych (muły zastoiskowe, gliny) występujące w postaci przerostów w złożu oraz gleby uprzednio zdjętej znad złoża o miąższości do 1 m. Często dla poprawy właściwości fizycznych i chemicznych gruntów stosowane są

odpowiednio modyfikowane osady ściekowe wzbogacone dodatkowo odpadami organicznymi (np. z przemysłu drzewnego, słomy, odpady z hodowli zwierząt). Niektórzy autorzy amerykańscy promują nawet pogląd, zgodny z poglądami niektórych polskich uczonych (Siuta 1978), że stosowanie tego typu rozwiązań jest jednym z najlepszych i najbardziej ekonomicznych rozwiązań w rekultywacji nieużytków pogórnich (Hearing i in. 2000). Osady ściekowe w rekultywacji terenów pogórnich w USA stosowane są w ilościach od 50 do 200 ton/ha suchej masy (Hearing i in. 2000), a w przypadku wyrobisk popiaskowych przekraczają nawet 120 ton/ha suchej masy. Przy takich dawkach zachodzi jednak niebezpieczeństwo infiltracji w głąb profilu glebowego nadmiernych ilości azotanów, a w konsekwencji możliwość wzrostu ich zawartości w wodach gruntowych. Dane amerykańskie opracowane na podstawie stałego monitoringu na terenie wyrobiska po eksploatacji pospółki wykazały, że znaczny wzrost zawartości azotanów w wodach gruntowych występował głównie w pierwszym sezonie wegetacyjnym (Daniels i in. 2002). W fazie rekultywacji biologicznej w Australii i USA przestrzegana jest zasada wprowadzania roślinności rodzimej i gatunków wchodzących w skład zbiorowisk roślinnych porastających tereny przed eksploatacją. Przykłada się dużą wagę do odtworzenia całości krajobrazu właściwego dla terenów otaczających wyrobiska, nawet z podobnym mikroreliefem i topografią ze szczególnym zwróceniem uwagi na system wodnomelioracyjny (Daniels i in. 1992). Niektóre wyrobiska (np. wyrobisko „The Old Hicory” w Dwinwiddie County w Virginii USA o pow. ponad 2000 ha) były rekultywowane w kierunku rolnym. Obecnie prowadzona jest na nich hodowla bawełny, soi i kukurydzy. Przykładowy wzór postępowania rekultywacyjnego dla wyrobisk popiaskowych przekazywanych rolnictwu polega na pokrywaniu utworów jałowych warstwą o miąższości 1 m zbudowaną z mułów i szlamów zastoiskowych z przerostów towarzyszących złożu. Utwory mineralne używane do pokrycia spągu wyrobiska poddawane są uprzednio odpowiedniemu ulepszeniu przez dodatek substancji polimerowych dla poprawy właściwości powietrzno-wodnych. Następnie wykonywane jest nawożenie mineralne w ilości ok. 560 kg/ha P_2O_5 i 170 kg/ha K_2O , oraz wapnowanie w ilości około 2 ton CaO (wapna tlenkowego) na ha. Całość jest przemieszana wstępnie na głębokość 25 cm. Niekiedy na tak przygotowanej powierzchni stosowana jest dodatkowo warstwa materii organicznej w postaci np. kompostowanej słomy w ilości ponad 100 ton/ha i całość jest przemieszana. W następnym roku stosowane jest uzupełniające nawożenie NPK i w miarę potrzeb wapnowanie.

Doświadczenia niemieckie z Dolnołużyckiego Zagłębia Węglowego, choć związane głównie z trzeciorzędowymi kwaśnymi utworami towarzyszącymi eksploatacji węgla brunatnego, dotyczą również rekultywacji gleb piaszczystych. W rekultywacji leśnej tego rodzaju utworów stosuje się zwykle meliorację przez dodanie popiołów lub wapna oraz nawozów mineralnych NPK i przemieszanie na głębokość średnio 40 cm (a niekiedy podawano nawet 100 cm) dla rekultywacji leśnej. Następnie wykonuje się wysiew nasion gatunków próchnicotwórczych i przyoranie na zielony nawóz. Dawniej zalecano na takich gruntach wprowadzanie azotu w pierwszych trzech latach w ilościach nawet od 240 do 360 kg/ha (Heinsdorf 1996). Od 1990 roku wprowadzono nową strategię nawożenia mineralnego w rekultywacji leśnej jałowych gruntów pogórnich. Wynikało to z faktu, że nawozy azotowe stosowane do tej pory (np. $CaNH_4(NO_3)_2$ – azotan wapniowo amonowy) z racji swojej rozpuszczalności i dużej przepuszczalności gleb piaszczystych były łatwo wypłukiwane ze strefy korzeniowej. Zaczęto w związku z tym wprowadzać mineralne preparaty proszkowe zawierające wolno wietrzejące krzemiany jako długotrwałe źródło składników pokarmowych. Stosowano między innymi mielone bazalty jako naturalne źródło minerałów wzbogacane mocznikiem a niekiedy dodatkowo

nawozami fosforowymi. Stosowanie preparatów tego typu miało znaczenie w długoterminowej strategii odżywiania wprowadzanych upraw gatunków drzewiastych. Miało to również znaczenie w aspekcie ochrony przed nadmiernym wypłukiwaniem i mineralizacją wód gruntowych (Hartman i in. 1999).

5. Podsumowanie

- W rozwoju metod leśnej rekultywacji terenów po eksploatacji piasków podsadzkowych główny nacisk położono na współdziałanie z przyrodą, trafną diagnozę warunków siedliskowych, a także racjonalną fitomeliorację. Jest to postępowanie wyróżniające rekultywację w górnictwie piasków podsadzkowych.
- Z zajętych przez górnictwo piasków podsadzkowych 11 500 ha powierzchni rekultywowano ponad 8000 ha z tego ponad 4000 przekazano dla leśnictwa a ponad 3000 ha zrekultywowano w kierunku wodnym.
- Celem rekultywacji terenów po eksploatacji piasków podsadzkowych jest utworzenie krajobrazu, zwłaszcza wodno-leśnego o funkcjach ochronnych, wypoczynkowych i rezerwarowych.

Literatura

- [1] Bell L. C. 1996: The Australian Centre for Minesite Rehabilitation Research – an initiative to meet the strategic research needs for sustainable mining rehabilitation. *Water, Air and Soil Pollution* 91, 125–133.
- [2] Bell L. C. 2001: Establishment of native ecosystems after mining – Australian experiences across diverse biogeographic zones. *Ecological Engineering*, vol. 17, 2–3, 179–189.
- [3] Bogdanowski J. 1988: Rola planowania przestrzennego i krajobrazowego w ochronie środowiska obszarów górniczych. *Zeszyty Naukowe AGH Nr 1222. Sozologia i Sozotechnika*, z. 26, 285–308.
- [4] Bolewski A., Michałek Z., Skawina T. 1968: Zastosowanie ilów montmorylonitowych jako sorbentu dla poprawy efektywności nawożenia mineralnego. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, z. 84, 209–216.
- [5] Bradshaw A. D., Hüttl R. F. 2001: Future minesite restoration involves a broader approach. *Ecological Engineering*, vol. 17 (2–3), 87–90.
- [6] Bugała W., Kluczyński B. 1975: badanie przydatności wybranych gatunków drzew i krzewów do rekultywacji skarp piaskowni w Szczakowej. *Arboretum Kórnickie Rocznik XX*, 345–370.
- [7] Czuber W. 1985: Rekultywacja i zagospodarowanie terenów przekształconych eksploatacją piasków podsadzkowych. [W:] II Krajowe sympozjum Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi. SITG, Komisja ds. Ochr. Pow. przed Szkodami Górniczymi przy GUG, Katowice, 294–300.
- [8] Czuber W. 1988: Stan i zadania rekultywacji Gwarectwa Kopalń Piasku i Kolejowego Transportu Górniczego w Katowicach. *Zeszyty Naukowe AGH nr 1222, Sozologia i Sozotechnika* z. 26, 253–261.
- [9] Daniels W. L., Genthner M. H., Hodges R. L. 1992: Soil development in sandy tailings derived from mineral sands mining in Florida. *Proceedings ‘National Meeting of the American Society for Surface Mining and Reclamation’*, Duluth, MN, June 14–18, 1992. ASSMR, Lexington, 37–47.
- [10] Daniels W.L., Schroeder P., Nagle S., Zelazny L., Alley M. 2002: Reclamation of prime farmland following mineral sands mining in Virginia. *SME Annual Meeting* Feb. 25–27, Phoenix, Arizona, preprint 02-132, 1–6.
- [11] Dilla L., Möhlenbruch N. 1989: Entwicklung und Stand der Rekultivierung, *Natur und Landschaft* 64 (10), 436–439.
- [12] Furdyna L. 1974: Roślinność pionierska na obszarach objętych eksploatacją piasku podsadzkowego. *Sylwan CXVIII*, 2, 58–63.
- [13] Furdyna L. 1979: Rola roślinności zielnej na wyrobiskach popiaskowych, *Las Polski* 9, 11–12.

- [14] Furdyna L., Mac J. 1966: Przydatność grochodrzewu (*Robinia pseudoacacia* L.) do utrwalania skarp. *Sylvan* nr 9, 85–91
- [15] Gilewska S. 1972: Wyżyny Śląsko-Małopolskie. [W:] Geomorfologia Polski, Polska Południowa Góry i Wyżyny cz. I, pod red. M. Klimaszewskiego, PWN, Warszawa.
- [16] Greszta J., Skawina T. 1965: Zasady klasyfikacji wyrobisk górnictwa piasku podsadzkowego dla celów rekultywacyjnych. *Biuletyn* nr 5 Zakład Badań Naukowych GOP PAN w Zabrze, Materiały Międzynarodowego Sympozjum Rekultywacji Terenów Poprzemysłowych, Katowice 1965.
- [17] Häge K., Drebenstedt C., Angelov E. 1996: Landscaping and ecology in the lignite mining area of Maritza-East, Bulgaria. *Water, Air and Soil Pollution* 91, 135–144.
- [18] Hartman. B., Schneider U., Gast C., Keplin B., Hüttl R. F. 1999: Effects of N-enriched rock powder on soil chemistry, organic matter formation and plant nutrition in lignite-poor sandy mine spoil in the forest reclamation practice. *Plant and Soil* 213, 99–115.
- [19] Hearing K. C., Daniels W. L., Feagley S. E. 2000: Reclaiming mined land with biosolids, manures and papermill sludge. [W:] Reclamation of drastically distributed lands, Barnhisel R. I., et al. (ed.). American Soc. Of Agron. Monograph 41, Madison WI, 615–644.
- [20] Heinsdorf D. 1996: Development of forest stands in the Lusatian Lignite Mining District after mineral fertilization adapted to site and tree species. *Water, Air and Soil Pollution* 91, 33–42.
- [21] Hüttl R. F., Weber E. 2001: Forest ecosystem development in post-mining landscapes, a case study of the Lusatian lignite district. *Naturwissenschaften* 88, 322–329.
- [22] Krzaklewski W. 1988a: Leśna rekultywacja i biologiczne zagospodarowanie nieużytków przemysłowych. Wydawnictwo AR w Krakowie.
- [23] Krzaklewski W., 1988b: Wybrane metodyczne aspekty planowania i realizacji leśnej rekultywacji na przykładzie górnictwa odkrywkowego. *Zeszyty Naukowe AGH* nr 1222. *Sozologia i Sozotechnika* z. 26, 331–338.
- [24] Krzaklewski W. 1990: Analiza działalności rekultywacyjnej na terenach pogórnich w głównych gałęziach przemysłu wydobywczego w Polsce. *Centralny Program Badań Podstawowych* 04.10. *Ochrona i kształtowanie Środowiska Przyrodniczego*, nr 44, 1–80.
- [25] Krzaklewski W., 1995: Metoda sukcesji kierowanej w działalności rekultywacyjnej. *Postępy Techniki w Leśnictwie, SliTLiD*, nr 56, 1–9.
- [26] Krzaklewski W., 2001: Rekultywacja obszarów pogórnich i poprzemysłowych. [W:] *Przemiany środowiska naturalnego a ekorozwój*, red. Maciej J. Kotarba, Wydawnictwo TBPS Geosfera, Kraków, 85–104.
- [27] Krzaklewski W. i zespół 1999: Wykonanie badań siedliskowych na obszarze wyrobiska KP „Kuźnica Warężyńska” S.A. w Dąbrowie Górniczej, ms., Archiwum Katedry Ekologii Lasu AR w Krakowie.
- [28] Krzaklewski W., Frączek M. 1999: Metoda rekultywacji leśnej starych wyrobisk popiaskowych z wykorzystaniem roślinności z sukcesji samorzutnej, materiały konferencyjne: *Górnictwo Odkrywkowe – Środowisko – Rekultywacja*, ze szczególnym uwzględnieniem KWB Belchatów, vol. 1., S.C. Drukrol, Kraków, 111–127.
- [29] Krzaklewski W., Greszta J., Barszcz J., Wójcik J., Pająk M., Pietrzykowski M. 2000: Opracowanie zaleceń dla rekultywacji leśnej terenów zdewastowanych w głównych gałęziach przemysłu wydobywczego, ms., *Sprawozdanie z realizacji tematu badawczego 24/99 z dn. 26.10.1999 r. na zlecenie Generalnej Dyrekcji LP*. Archiwum Katedry Ekologii Lasu AR w Krakowie.
- [30] Lavoie C., Grosvernier P., Girard M., Marcoux K., 2003: Spontaneous revegetation of mined peatlands: An useful restoration tool? *Wetlands Ecology and Management* 11, (1–2), 97–107.
- [31] Państwowy Instytut Geologiczny 2005: http://www.pgi.gov.pl/surowce_mineralne.
- [32] Projekt Techniczny 1988: Rekultywacja wyrobiska poeksploatacyjnego KP „Szczakowa” – pole II Skarpa 13/II., część opisowa. Studium, Projekt Techniczny nr TGG/1/5681/88 nr arch. 48/A/PT/88/. POLTEGOR oddział Projektów Ochrony Środowiska Naturalnego w Czeladzi na zamówienie Gwarectwa Kopalni Piasków i Kolejowego Transportu Górniczego w Katowicach, Czeladź listopad 1988. Archiwum KP „Szczakowa” S.A.
- [33] *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2002*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- [34] Rode M. W. 1995: Aboveground nutrient cycling and forest development on poor sandy soil. *Plant and Soil* 168–169, 337–343.
- [35] Siuta J. 1978: *Ochrona i rekultywacja gleb*, PWRiL, Warszawa.

- [36] Skawina T. 1957: Gleby zwałów kopalnictwa węglowego. Biuletyn nr 12. Badania nad zagospodarowaniem nieużytków przemysłowych, Komitet dla Spraw GOP przy Prezydium PAN. Komisja Gleboznawczo-Górnicza, na prawach rękopisu, 7–134.
- [37] Skawina T. 1958: Przebieg rozwoju procesów glebotwórczych na zwałowiskach kopalnictwa węgla. Roczniki Gleboznawcze, dodatek do tomu VII, 149–162.
- [38] Skawina T. 1965: Zastosowanie bentonitów w rekultywacji wyrobisk górnictwa piasku podsadzkiego, Zakład Badań Naukowych GOP–PAN, Biuletyn 5, 157–165.
- [39] Skawina T. i zespół 1963: Wytoczne szczegółowe dla wstępnego zagospodarowania biologicznego spągu wyrobisk po eksploatacji piasku podsadzkiego, ms., Kraków – Zabrze.
- [40] Skawina T. i zespół 1975: Sprawozdanie z badań przeprowadzonych przez Instytut Kształtowania Środowiska AGH w Krakowie w latach 1971–1975 nad tematem „Opracowanie sposobów zagospodarowania wyrobisk popiaskowych” na zlecenie IBL w Warszawie (temat węzłowy nr 09, 01, 04, 02, 01), ms., Archiwum Instytutu Kształtowania Środowiska AGH w Krakowie.
- [41] Skawina T., Wąchalewski T. 1972: Powstawanie próchnicy w wyniku biologicznej rekultywacji gleb na terenach pogórnicych. Komunikaty, XIX Ogólnopolski Zjazd Naukowy PTG, Ochrona Środowiska Glebowego, PTG Katowice – Kraków – Puławy, 424–433.
- [42] Strzyszczyński Z. 1968: Rola badań hydrochemicznych w gleboznawczej ocenie terenów po eksploatacji piasków, maszynopis, Zakład Badań Naukowych GOP PAN w Zabrzu.
- [43] Strzyszczyński Z. 1969: Ocena przydatności do rekultywacji terenów po eksploatacji piasku podsadzkiego w oparciu o studia gleboznawcze i hydrochemiczne. Biuletyn Zakładu Badań Naukowych GOP PAN 12, s. 51–78.
- [44] Szczotka K. 1977: Ocena przydatności topoli ‘275’ (*Populus* Hybrida ‘275’) do leśnej rekultywacji wyrobisk popiaskowych na przykładzie zalesienia przedplonowego w Szczakowej. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, Leśnictwo 10, 149–166.
- [45] Taha S. M., Mahmud S. A. Z., Moubarek M. S. M. 1970: Effect of reclamation of sandy soil on some chemical and microbiological properties. *Plant and Soil* 32, 282–292.
- [46] Tymiński S. 1965: Działalność rekultywacyjna w górnictwie piasku podsadzkiego w Polsce. Zakład Badań Naukowych GOP PAN, Biuletyn 5, 65–73.
- [47] Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych z dnia 3 lutego 1995 r. (Dz. U. z dnia 22 lutego 1995 r.), zmieniona 22 maja 1997 r. (Dz. U. z dnia 14 czerwca 1997 r.).
- [48] United States Congress, Surface Mining Control and Reclamation Act of 1977, An unofficial OSM compilation of P.L. 95-87 and all revisions through December 31, 1993, <http://www.osmre.gov/smcra.htm>
- [49] Wiejacha B. 1976: Znaczenie wody opadowej dla wzrostu i rozwoju zalesień na terenach rekultywowanych. *Las Polski* nr 9, s. 6–8.

The development of forest reclamation methods in sand-filing mining

According to current tendency “the sustainable system of mineral deposit’s exploitation and post-mining areas reclamation” has to be satisfying due to industry and socio-ecological needs. The organized reclamation activity in Poland is over fifty years old, and the beginning was connected with reclamation in the sand-filing mining. From 1945 year total 11500 ha has occupied by this branch of mining. Up to the 2004 year approximately 8000 ha have been reclaimed and for forestry were made over 4000 ha. In this branch of mining the reclamation is carried out especially for forestry and aquatic direction. Currently, reclamation pattern includes: preparatory, technical and biological phases and management stage. On this kind of object the site diagnosis is a base for forest reclamation project, and the ground water level is a main factor for sites assessment. Suitable forest reclamation procedures are established for the site categories.

Przekazano: 17 marca 2006 r.