



Kierunki rekultywacji obszarów zdegradowanych działalnością Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay”

*Maciej Gliniak, Wiktoria Sobczyk
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza*

1. Wprowadzenie

Krakowskie Zakłady Sodowe „SOLVAY” powstały w 1901 roku na terenie obecnej dzielnicy Borek Fałęcki w Krakowie. Od początku istnienia do likwidacji w roku 1991 roku fabryka produkowała różne pochodne węgla sodu oraz wapna nawozowe. W wyniku procesu produkcyjnego powstawały odpady płynne, które metodą hydrotransportu były przenoszone i deponowane na lagunach (osadnikach).

Obszar badań jest unikatowy w warunkach Polski i Unii Europejskiej. Zdeponowane osady zawierają bardzo dużą koncentrację kationów zasadowych. Wiąże się to ze specyfiką produkcyjną Zakładów oraz używanymi surowcami do produkcji. Składowiska odpadów poprodukcyjnych stanowią trudny obiekt do prowadzenia prac rekultywacyjnych. Podłoże, jakie stanowią osady sodowe, jest uciążliwe przy rekultywacji ze względu na wywoływanie stresu u roślin i ich zamieranie.

Międzynarodowa systematyka gleb podaje dwa typy gleb słonych, których klasyfikacja opiera się na obecności w profilu glebowym poziomu o miąższości minimum 15 cm i zawartości minimum 2% soli rozpuszczalnych w wodzie. Są to Solonetz i Solonchaks – w swoim profilu zawierają charakterystyczny profil Salic [4]. Systematyka Gleb Polski [12] podaje naturalne występowanie gleb słonych w terenach nadmorskich oraz w rejonach oddziaływania złóż solankowych. Obejmuje trzy typy gleb: solonczaki, gleby solonczakowate oraz sołonce (dział VI systematyki). Gleby słone o charakterze antropogenicznym znajdują się

w dziale VII – gleby antropogeniczne – jako rząd gleb industrio- i urbanoziemnych.

Zasolenie wpływa na fotosyntezę, oddychanie, dystrybucję asymilatów i wzrost roślin. Obniżenie i zahamowanie asymilacji dwutlenku węgla powoduje obniżenie zawartości chlorofilu w liściach. Wzrost lub obniżenie oddychania zmienia uwodnienie komórek, co może pośrednio hamować wzrost. Mechanizmy przystosowawcze roślin do zasolenia to m.in.:

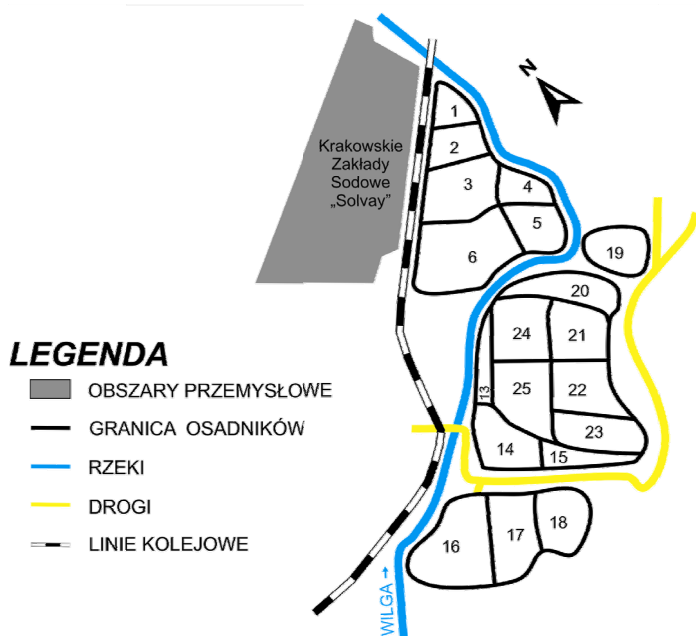
- unikanie pobierania toksycznych jonów przez korzenie roślin (wykluczanie),
- selektywne wydzielanie nadmiaru jonów przez korzenie (wydzielanie),
- pobieranie jonów i magazynowanie w korzeniu, co zapobiega uszkodzeniu części nadziemnej (dystrybucja w obrębie rośliny),
- usuwanie toksycznych jonów poprzez wydzielanie jonów, akumulację we włoskach i ich zrzucanie, zrzucanie starszych liści, pędów [1].

Współczesna rekultywacja ma na celu wkomponowanie nieciekawej formy przemysłowej w krajobraz, wyeksponowanie ciekawych form i odtworzenie przerwanych ciągów ekologicznych i związków architektoniczno-przestrzennych [10].

2. Teren badań

Osadniki byłych Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay” zlokalizowane są w południowej części miasta Krakowa, na pograniczu dzielnic Borek Fałęcki oraz Kurdwanów. Od północy graniczą z terenem należącym do Sanktuarium Miłosierdzia Bożego w Łagiewnikach. Od strony południowej i wschodniej osadniki sąsiadują z nieużytkami należącymi do gminy Kraków. Teren na zachód od osadników zajmowała fabryka „Solvay”. Obecnie mieści się tam Centrum Handlowe Zakopianka (rys. 1).

Podłoże osadników stanowią czwartorzędowe utwory aluwialne (piaski i żwiry przewarstwione glinami) o miąższości do kilkunastu metrów, które zalegają na łałach mioceńskich z wkładkami gipsów. Dno osadników nie posiada warstwy izolującej od podłoża, co powoduje, że są one źródłem zanieczyszczeń wód powierzchniowych i podziemnych [6].



Rys. 1. Szkic rozmieszczenia poszczególnych osadników Krakowskich Zakładów Sodowych „SOLVAY” [2]

Fig. 1. Arrangement of the lagoons Krakow Soda Works "Solvay" [2]

2.1. Przeprowadzone prace rekultywacyjne

Dotychczasowa rekultywacja stawów osadowych polegała na wykonaniu drenażu odwadniającego w celu osuszenia nasypów, wyrównaniu korony stawów, ukształtowaniu i zabezpieczeniu skarp, nawiezieniu ziemi i obsianiu jej trawą i krzewami. Początkowo powierzchnie osadników wykazywały odczyn pH 10,0–10,6. Pojedynczo pojawiała się roślinność halofilna (komosa sina, mannica odstająca i mchy). Z czasem warstwy przypowierzchniowe były przepłukiwane przez wody opadowe i zawartość chlorków oraz wartość pH zmalała (po trzech latach pH obniżyło się do wartości 7,0–7,5 w warstwach przypowierzchniowych). Stopniowo pojawiały się rośliny zielone i młode drzewka, przede wszystkim osika, brzoza, wierzba i topola [9, 13]. Na osadnikach oznaczono kilka gatunków grzybów (workowców) i 13 taksonów mięczaków. Nie oznaczano mikroorganizmów. Przeprowadzone badania biometryczne na siedmiu gatunkach ślimaków wykazały, że nie różnią się one znacząco od populacji występujących w środowiskach naturalnych. Rela-

tywnie bogata fauna w sztucznych siedliskach wskazuje na tendencję do samoczynnej rekultywacji osadników, której przebieg może być kontrolowany przez analizę malakologiczną (rozpoznawanie cech i charakteru środowiska geograficznego na podstawie przewodnich gatunków mięczaków) [13].

W 1994 roku opublikowano miejscowy szczegółowy plan zagospodarowania przestrzennego terenów [2], przeznaczając stawy osadowe na tereny leśno-parkowe. Plan ten stracił ważność w 2003 r. po wejściu w życie Ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [14]. W związku z powyższym obszar obecnie nie posiada żadnego przeznaczenia użytkowego i koncepcji zagospodarowania.

3. Metodyka i przebieg badań terenowych i laboratoryjnych

Badania zostały podzielone na trzy etapy. Pierwszy etap obejmował badania terenowe, polegające na wyznaczeniu reprezentatywnych miejsc na podstawie wizji lokalnej oraz dostępnych opracowań kartograficznych (w skali 1:2000). Mapy z zaznaczonymi wydzieleniami skanowano, a następnie poddawano obróbce w programie Surfer 9.0, celem ustalenia powierzchni poszczególnych stref. Następnie wykonano cztery odkrywki glebowe (fot. 1 i 2) – reprezentatywne odsłonięcia osadów poliflotacyjnych o miąższości około 200 cm. Poboru próbek (24) do badań laboratoryjnych z odkrywek (fot. 3) dokonano zgodnie z instrukcją zawartą w Polskiej Normie PN-R-04031 [11]. Określono stopień twardości według skali Mohsa, opisano teksturę, zmierzono wilgotność i przewodność warstw badanych profili aparatem TDR oraz wykonano dokumentację fotograficzną i kartograficzną.

Kolejnym etapem były badania laboratoryjne, w których pobrane uprzednio próbki poddano następującym oznaczeniom: pomiar pH metodą potencjometryczną w wodzie destylowanej i roztworze 1 m KCl, pomiar przewodności metodą konduktometryczną w wodzie destylowanej i roztworze 1 m KCl, pomiar wilgotności aktualnej metodą grawimetryczną, pomiar gęstości gleby metodą cylinderkową Kopeckiego.



Fot. 1. Wykop przy osadniku nr 3 – Centrum Jana Pawła II, odkrywka nr 2
[fot. M. Gliniak]

Photo 1. Excavation in the lagoon no. 3 – John Paul II Center, outcrop no. 2



Fot. 2. Wykop przy osadniku nr 17,
odkrywka nr 4 [fot. M. Gliniak]

Photo 2. Excavation in the lagoon no.17,
outcrop no. 4



Fot. 3. Próbką warstwy zbitej z odkrywki nr 4, głębokość 36–39 cm ppt [fot. M. Gliniak]

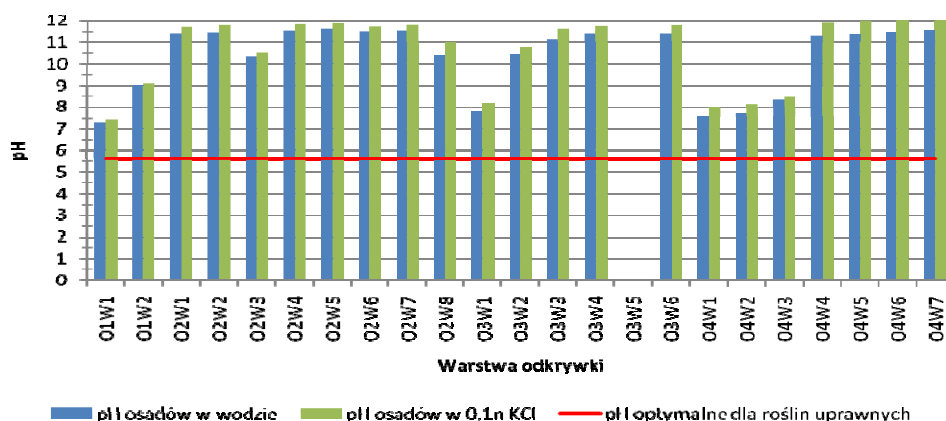
Photo 3. Sample of compact layer, outcrop no. 4, depth 36–39 cm below ground level

Ostatnim etapem prac było opracowanie otrzymanych wyników w programach MS Excel, SURFER 9.0, MapInfo 9.0 oraz porównanie ich z wynikami wcześniej przeprowadzonych badań oraz wynikami badań prowadzonych na podobnych obszarach w krajach Unii Europejskiej.

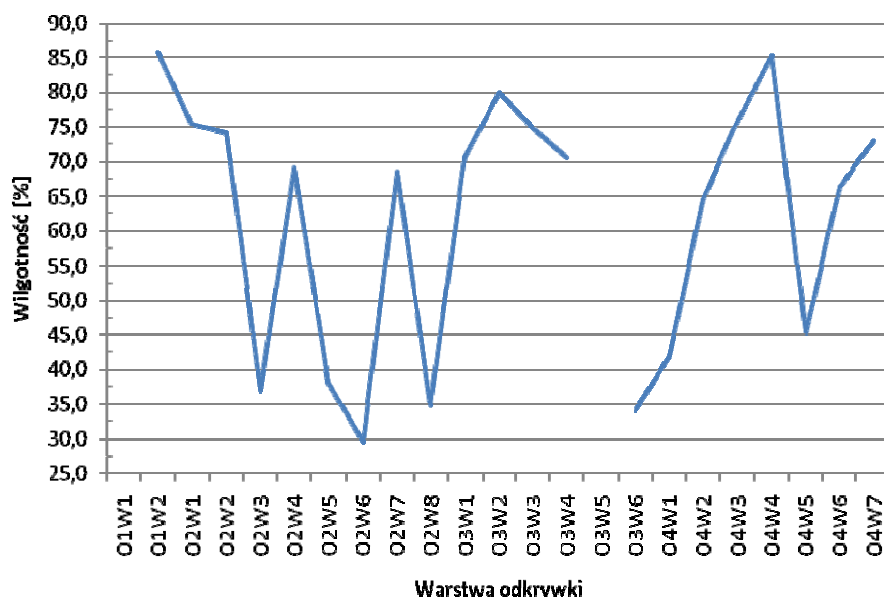
4. Analiza wyników prac laboratoryjnych

Przeprowadzone prace laboratoryjne wykazały bardzo duże zróżnicowanie warunków w obrębie osadników. Dane zaprezentowane na rys. 2, 3 i 4 pokazują bardzo duże wahania wielu parametrów, których wartości będą musiały zostać skorygowane podczas prac rekultywacyjnych.

Zarówno wartości pH badanych próbek osadów, jak i wilgotność wierzchnich warstw badanych profili są zbliżone do wartości podawanych przez Boronia, Szatko, 1998 [3].

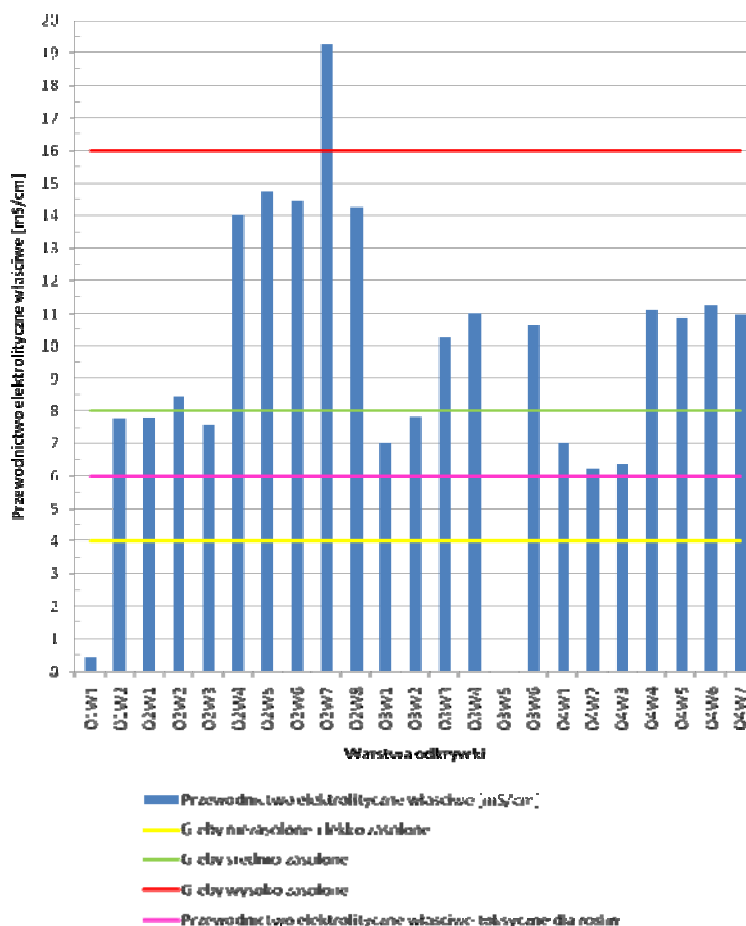


Rys. 2. Rozkład pH w poziomych badanych odkrywce [opr. M. Gliniak] Ox – numer kolejnej odkrywki, Wy – numer kolejnej warstwy w odkrywce Ox
Fig. 2. Distribution of the pH levels analysed outcrops [ed. M. Gliniak] Ox – number of the outcrop, Wy – number of the next layer in outcrop Ox



Rys. 3. Rozkład wilgotności w poziomych badanych odkrywce [opr. M. Gliniak]

Fig. 3. Distribution of humidity in the levels of the analysed outcrops [ed. M. Gliniak]



Rys. 4. Przewodnictwo elektrolityczne właściwe w poziomach badanych odkrywek (przedziały wg Jackson, 1958) [opr. M. Gliniak]

Fig. 4. Electrolytic conductivity test in the outcrops levels (ranges according to Jackson, 1958) [ed. M. Gliniak]

Wierzchnie warstwy odkrywek mają zbliżone przewodnictwo do podawanego przez Boronia i Szatko z 1998 roku, natomiast warstwy głębsze mają blisko dwukrotnie wyższe zasolenie niż podawane w dotychczasowych badaniach [3]. Wszystkie badane próbki odznaczają się przewodnictwem charakterystycznym dla gleb średnio zasolonych, a w pięciu przypadkach mają wartości zbliżone dla gleb wysoko zasolonych. Wszystkie próbki przekraczają wartość toksycznego zasolenia dla

roślin, wynoszącą 6 mS/cm [7]. Stwarza to bardzo trudne warunki dla prowadzenia prac rekultywacyjnych. Granica toksycznego zasolenia dla roślin kształtuje się na głębokości od 35 cm do 60 cm. Do tej głębokości będą się korzenie rośliny.

Największe wahania obserwuje się w pomiarze zasolenia i pH próbek. Wynika to z bardzo dużej różnorodności deponowanego materiału flotacyjnego oraz głębokości, na jakiej zalega. Przeprowadzone analizy wskazują także na wzrost zasolenia i pH z głębokością, a także utrudnienia w infiltracji wody pomiędzy warstwami. Porównanie wyników laboratoryjnych uzyskanych dla próbek z odkrywki 4 z pomiarami wykonanymi urządzeniem TDR dają podstawy, by przypuszczać, że warunki panujące w poszczególnych warstwach praktycznie uniemożliwiają rozwój strefy korzeniowej oraz życie fauny glebowej.

W trakcie prac terenowych stwierdzono, iż materiał gromadzony na osadnikach jest bardzo zróżnicowany i posiada układ warstwowy. Naprzemianległe warstwowanie wykazuje różny stopień twardości (1 – bardzo miękkie, 5 – bardzo zbite). Warstwy o twardości 3–5 wykazują wyższe pH i przewodnictwo niż warstwy o niższym stopniu twardości. Problem zróżnicowanej klastyczności podłoża wskazuje na bardzo słabą migrację wody w profilu i jej okresową akumulację w warstwach bardziej miękkich. Powoduje to słabe przemieszczanie kationów zasadowych w głąb profilu i bardzo powolne dealkalizowanie.

Materiał pobrany do badań wilgotnościowych, po pełnym wysyceniu wodą, wykazuje właściwości zbliżone do ilu. Prace terenowe potwierdzają tę właściwość, gdyż w badanych profilach często pojawiały się podłużne szczeliny i spękania (charakterystyczne m.in. dla lessów). Świadczy to o dużej kurczliwości materiału, co może prowadzić do rozrywania warstwy korzeniowej roślin w przypadku gwałtownego spadku uwilgotnienia.

5. Wnioski i rekomendacje

Na podstawie wyników badań terenowych i laboratoryjnych stwierdzono występowanie naprzemianległe warstw wilgotnych i miękkich z warstwami zbitymi i suchymi. Dodatkowo wraz ze wzrostem głębokości zauważono wzrost przewodności elektrolitycznej materiału, a tym samym zasolenia materiału. Czynniki te powodują konieczność wykonania zabiegu rekultywacji technicznej, a następnie biologicznej [5].

Rekultywacja techniczna w przypadku badanego obiektu będzie się wiązała z przeformowaniem skarp oraz nawiezieniem materiału glebowego o różnej miąższości [3]. Ze względu na pylasty charakter składowanych osadów nachylenie skarp osadników powinno wynosić 1:5 (około 20 stopni). Taki spadek zminimalizuje możliwość rozmywania i spełzywania podłoża rekultywowanego podczas obfitych opadów deszczu. Dodatkowo w celu ograniczenia tego procesu w początkowej fazie rekultywacji można stosować na przykład płotki wiklinowe. Skarpy po odpowiednim uformowaniu zaleca się przykryć 25-centymetrową warstwą materiału glebowego o średnim uziarnieniu, natomiast korony osadników warstwą 120-centymetrową. Tak przygotowany obiekt można poddać procesowi rekultywacji biologicznej i rozpocząć docelowe zagospodarowanie.

Rekultywacja biologiczna powinna być prowadzona dwutorowo. Osobne rozważania dotyczyć będą skarp i koron osadników. Skarpy należy obsiać metodą hydroobsiewu mieszanką traw celem jak najszybszego zadarnienia i uniknięcia procesów erozji stokowej. W kolejnym roku po zadarnieniu wprowadza się poprzecznostokowy, pasowy układ roślinności krzewiastej, w celu umocnienia skarp przez korzenie roślin. Korony osadników należy obsadzić sadzonkami drzew i krzewów oraz obsiać teren mieszanką traw z roślinami motylkowymi. Po wykonaniu obsiewów oraz nasadzeń na terenie przez pięć lat stosuje się nawozy z dodatkami mikro- i makroelementów. W pierwszym i drugim roku należy zastosować dawki nawozów odpowiadające wymaganiom pokarmowym roślin, podwyższone o 25% normy. Jest to związane z dużą zasadowością podłoża (unieruchamianie niektórych składników pokarmowych i konieczność obniżenia odczynu) oraz jałowością w składniki pokarmowe.

Do procesu rekultywacji biologicznej zaleca się następujące gatunki roślin:

- trawy i rośliny motylkowe: zycica wielokwiatowa, kupkówka pospolita, kostrzewa czerwona, koniczyna czerwona i biała;
- krzewy: suchodrzew zwyczajny, rokitnik zwyczajny, śnieguliczka biała, trzmielina pospolita, kruszyna pospolita, róża pomarszczona, kalina koralowa;
- drzewa: czeremcha zwyczajna, klon polny, czereśnia ptasia, olsza szara, robinia akacjowa, topola osika, klon zwyczajny [8].

W założeniach parkowych i alejowych w Polsce wymienione gatunki roślin są najczęściej stosowane i najbardziej tolerancyjne. Posiadają estetyczny wygląd i są powszechnie znane wśród ogrodników i architektów krajobrazu. Dodatkową cechą takiego doboru roślin jest ich kwitnienie rozłożone w czasie, co jest dodatkowym atutem takiej kompozycji gatunkowej. Dodatkowym kryterium wyboru gatunków drzew i krzewów są ich walory estetyczne.

Ze względu na specyfikę klimatu siedliska oraz podłoża trudno jednoznacznie wskazać rośliny odporne. Przy częściowym ulepszeniu podłoża rośliny te powinny rozwijać się poprawnie, zwłaszcza, że rekultywacja prowadzona jest z warstwą izolacyjną. Zależy to jednak od kierunku rekultywacji i późniejszego zagospodarowania.

13. Podsumowanie

Panujące od lat stereotypy, upowszechniające wiedzę o terenach poprzemysłowych jako krajobrazach zdewastowanych i stanowiących zagrożenie dla środowiska przyrodniczego, należy w sposób ciągły zmieniać. Rekultywacja to kierunek, wykorzystujący najnowocześniejsze pomysły, techniki i strategie. Jej zadaniem jest przywracanie miastom i ich mieszkańcom „przestrzeni straconych”, terenów zdegradowanych, zniszczonych. Transformacja następuje przez ich adaptację na różne formy celu publicznego, m.in. edukacyjne (centra dydaktyczno-edukacyjne), tereny piknikowe, muzea i skanseny na wolnym powietrzu, ścieżki rowerowe, tereny sportowe, opery, amfiteatry, parki, ogrody botaniczne, ogrody skalne [15].

Obecnie obszar „białych mórz” nie jest tak uciążliwy, jak po likwidacji zakładów. Obsadzenie nasypów zielenią utworzy filtr biologiczny i mechaniczny oczyszczający powietrze. Składowane odpady pod względem właściwości fizycznych i fizykochemicznych zapewniają roślinom odpowiednie warunki wodne i powietrzne, zbliżone do warunków gleb naturalnych. Skarpy osadników należy zabezpieczyć przed erozją, zbudować schodki i bezpieczne wejścia.

Na 70-hektarowym terenie, znajdującym się w centrum osiedli mieszkaniowych, można zaprojektować place zabaw, boiska sportowe, korty tenisowe, sztuczne ściany wspinaczkowe i inne obiekty sportowe oraz zlokalizować punkty widokowe w miejscach, z których można oglądać ciekawą panoramę Krakowa i Pogórza Wielickiego.

*Zrealizowano w ramach pracy statutowej
w KISPS AGH (umowa nr No 11.11.100.482)*

Literatura

1. **Bilski J.:** *Zakwaszenie i zasolenie podłoża jako czynniki stresowe dla roślin.* Roczniki Nauk Rolniczych PAN, Tom 222, PWN. 1990.
2. Biuro Rozwoju Krakowa: *Miejscowy plan szczegółowy zagospodarowania przestrzennego terenów Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay” w likwidacji, w rejonie ulic: Zakopiańskiej, Myślenickiej i Podmokłej.* Skala 1:2000. Kraków 1994.
3. **Boroń K. J., Szatko E.:** *Biological aspect of soda wastes decanters reclamation in the former Kraków Soda Plant “Solvay”.* w: Fox H. R., Moore H. M., McIntosh A. D., 1998 – Land Reclamation, achieving sustainable benefits. Balkema, Rotterdam 1998.
4. FAO: *World reference base for soil resources* 2006.
5. **Golda T.:** *Rekultywacja.* Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2005.
6. **Gradziński R.:** *Przewodnik geologiczny po okolicach Krakowa.* PWN, Warszawa 1972.
7. **Jackson M.:** *Soil chemical analysis.* Constable Ltd., London 1958.
8. **Karczewska A.:** *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych.* Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Wrocław 2008.
9. **Małecki Z. (red.):** *Problemy sozologiczne aglomeracji miejsko-przemysłowych. Restrukturyzacja – likwidacja – zagospodarowanie KZS „Solvay”.* Kom. Inż. Środ. PAN, biuletyn nr 1, Kraków 1997.
10. **Myga-Piątek U.:** *Spór o pojęcie krajobrazu w geografii i dziedzinach pokrewnych.* Prz. Geograf. 73: 163–176 (2001).
11. Polska Norma PN-R-04031
12. *Systematyka Gleb Polski.* Roczniki Gleboznawcze, 1989, nr 40.
13. **Trzcińska-Tacik H.:** *Szata roślinna na zwałach Krakowskich Zakładów Sodowych w kontekście ich rekultywacji.* w: Przewodnik III Konferencji Sozologicznej PTG. Sozologia na obszarze antropopresji – przykład Krakowa. AGH, Kraków 1993.
14. Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 2003 nr 80 poz. 717).
15. **Zachariasz A.:** *Park w kamieniołomie.* w: Kształtowanie krajobrazu terenów poeksploatacyjnych w górnictwie. Mat. Konf. AGH, Politechnika Krakowska, 102–111. Kraków 2003.

Ways of Reclamation of Degraded Areas by Kraków Soda Plant "Solvay"

Abstract

Recultivation process is a work proceeding to restoration the natural values and utilities of degraded areas by human activity. This article attempts to develop the concept of biological remediation and revitalization lagoons after Kraków Soda Works "Solvay". Base for the concept development of this area are the salinity and pH of the material taken from the outcrops.

The article describes the effects of soil salinity and plants stress is putting by the results of field studies and laboratory tests and their interpretation. Indicated model rehabilitation work resulting from soil conditions.

Research methodology is a three steps. The first one consisted of field tests: determination of representative seats on the basis of the site and available mapping. Then made four pit soil, sediments representing the unveiling of the tailings. Sampling was made in accordance with the instructions contained in the Polish Norm PN-R-04031. The degree of hardness on the Mohs scale and texture, measured moisture and conductivity profiles of the layers by TDR apparatus, made photographic documentation and mapping. The next step was to study the laboratory, where samples were assayed: pH, conductivity, humidity and density of the soil. The final stage of the work was to develop the results obtained in the MS Excel, SURFER 9.0, MapInfo 9.0 and compare them with previously conducted studies and research carried out in similar areas in the European Union.

Based on the results of field studies and laboratory tests were found that all test samples are characterized to medium saline soils, and in five cases have values similar to the highly saline soils. Also, all the samples exceed the toxic effects of salinity on plants up to a 6 mS/cm. These factors make it necessary to perform the technical and biological recultivation.

Technical land reclamation in the case of the test object will be associated with the remodelling slopes by soil material of varying thickness in order to improve habitat conditions for plants. Rising out of the trees must be cut. Slopes formed after appropriate it is recommended that cover 25-centimeter layer of soil material with an average grain size, while the lagoons of the crown 50-centimeter layer. Thus prepared, the object can be subjected to bio-remediation process.

Biological reclamation should be conducted in two ways. Slopes should sow a hydroseeding method as soon as possible to avoid the creation of sodding and erosion processes conical. The following year, after grass raising, shrubby vegetation belt system to reinforce slopes by plant roots.