

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Jolanta Nietrzeba-Marcinonis

**Wpływ rekultywacji leśnej terenów pokopalnianych
na wybrane właściwości gleb inicjalnych
na przykładzie zwałowiska nadkładu Kopalni Węgla
Brunatnego Turów S.A.**

PRACA DOKTORSKA

Promotor pracy doktorskiej:

dr hab. inż. Andrzej Greinert, prof. UZ

ZIELONA GÓRA 2007

Promotorowi Panu dr hab. inż. Andrzejowi Greinerce, prof. UZ, składam wyrazy ogromnej wdzięczności za cierpliwość, mobilizację i wszelkie uwagi przekazane w trakcie pisania pracy,

Panu prof. dr hab. inż. Wojciechowi Krzaklewskiemu za wiele cennych spostrzeżeń i uwag oraz

Panu prof. dr hab. Leszkowi Szerszeniowi za niezwykłą serdeczność, oraz pomoc w umożliwieniu osiągnięcia celu, który sobie wyznaczyłam.

*Dziękuję moim najbliższym bez wsparcia których
pracy tej by nie było...*

Spis treści

Wstęp.....	5
Cel badań.....	6
1. Przegląd literatury	7
1.1. Wpływ górnictwa odkrywkowego na środowisko przyrodnicze	7
1.1.1. Przekształcenia krajobrazu.....	7
1.1.1.1. Przekształcenia rzeźby terenu.....	7
1.1.1.2. Zmiana formy zagospodarowania.....	8
1.1.2. Przekształcenia budowy geologicznej.....	9
1.1.3. Przekształcenia hydrologiczne obszaru.....	9
1.1.4. Przekształcenia gleb	10
1.2. Powstawanie gruntów bezglebowych jako efekt dewastacji gleb.....	11
1.2.1. Dewastacja gleb w Polsce	11
1.2.2. Antropopresja urbanistyczna i industrialna.....	12
1.2.3. Kopalnie odkrywkowe w Polsce.....	14
1.3. Rekultywacja terenów pogórnich	16
1.3.1. Kierunki i cele rekultywacji.....	16
1.3.2. Technologie i techniki rekultywacyjne	21
1.3.3. Efekty działań rekultywacyjnych.....	22
1.3.3.1. Efekty plonotwórcze	22
1.3.3.2. Efekty przyrodnicze.....	22
1.4. Gleby inicjalne w gleboznawstwie polskim i światowym	23
1.5. Charakterystyka obiektu badawczego	25
1.5.1. Lokalizacja obiektu badawczego	25
1.5.2. Historia obszaru badawczego.....	26
1.5.3. Geologia i hydrogeologia obszaru	29
1.5.4. Warunki meteorologiczne regionu.....	33
1.5.5. Przebieg prac rekultywacyjnych na obiekcie badawczym.....	34
1.5.6. Opis obiektu przed rekultywacją.....	40
1.5.7. Opis obiektu zagospodarowanego.....	42
2. Metodyka badań	44
2.1. Obiekt badań.....	44
2.2. Prace kameralne	48
2.2.1. Prace kartograficzne.....	48
2.2.2. Analiza danych siedliskowych.....	49
2.2.3. Analiza danych z opracowań naukowych.....	49
2.3. Prace terenowe	50
2.4. Analizy laboratoryjne	50
2.5. Przeliczenia matematyczne	51
2.6. Analiza statystyczna	52
3. Wyniki badań	53
3.1. Morfologia profilu glebowego	53
3.1.1. Budowa profilu glebowego.....	53
3.1.2. Miąższość.....	53
3.1.3. Barwa	54
3.1.4. Struktura.....	55
3.1.5. Układ.....	56
3.1.6. „Nowotwory” glebowe.....	56

3.1.7.	Domieszki	57
3.2.	Właściwości fizyczne	57
3.2.1.	Gęstość właściwa	57
3.2.2.	Gęstość objętościowa	58
3.2.3.	Porowatość ogólna i struktura porowatości	60
3.2.4.	Wilgotność objętościowa i siła ssąca	61
3.2.5.	Polowa pojemność wodna i zawartość wody dostępnej	62
3.3.	Właściwości fizyczno-chemiczne oraz skład chemiczny gleb i utworów macierzystych.....	63
3.3.1.	Skład granulometryczny.....	63
3.3.2.	Odczyn	66
3.3.3.	Właściwości sorpcyjne.....	69
3.3.3.1.	Kwasowość hydrolityczna (H_h)	69
3.3.3.2.	Suma kationów o charakterze zasadowym (S)	70
3.3.3.3.	Pojemność sorpcyjna wobec kationów (T).....	81
3.3.3.4.	Wysycenie kompleksu sorpcyjnego jonami o charakterze zasadowym (V)	84
3.3.4.	Zawartość węgla.....	86
3.3.5.	Zawartość azotu ogólnego.....	89
3.3.6.	Stosunek C:N	92
3.3.7.	Zawartość glinu wymiennego	93
3.3.8.	Formy przyswajalne makroelementów	97
3.3.8.1.	Fosfor	97
3.3.8.2.	Potas.....	99
3.3.8.3.	Magnez.....	100
3.3.9.	Zawartość mikroelementów ogółem	102
3.3.9.1.	Cynk.....	102
3.3.9.2.	Kadm.....	102
3.3.9.3.	Mangan	103
3.3.9.4.	Ołów.....	104
3.4.	Wzrost i rozwój roślin na terenach rekultywowanych	104
3.4.1.	Wysokość drzew	104
3.4.2.	Pierśnica drzew	106
3.4.3.	Podszyt i runo leśne	107
4.	Dyskusja.....	111
4.1.	Kształtowanie się właściwości gruntów rekultywowanych	111
4.2.	Rekultywacja leśna jako technologia przyspieszająca procesy powstawania gleby	121
4.3.	Uprawa lasu metodą rekultywacji i zagospodarowania zwałowisk	123
4.4.	Problemy i trudności w rekultywacji leśnej zwałowisk	125
	Podsumowanie i wnioski	126
	Spis literatury	129
	Spis fotografii, map, rysunków i tabel	166

Wstęp

Podstawowym i jednym z najtańszych paliw, wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej w Polsce, jest węgiel brunatny. Eksploatacja odkrywkowa węgla brunatnego powoduje jednak znaczne przekształcenia środowiska naturalnego. W wyniku geomechanicznych przekształceń powierzchni Ziemi powstają wielkoobszarowe, antropogeniczne przeobrażenia – wyrobiska i zwałowiska. W odróżnieniu do pierwotnej pokrywy, są one terenami bezglebowymi – pokrytymi materiałem skalnym.

W Polsce aktualnie działalność górnicza, związana z wydobyciem węgla brunatnego, prowadzona jest na około 16.630 ha, natomiast powierzchnie gruntów zdewastowanych i zdegradowanych w wyniku tej działalności wynoszą około 67.600 ha [Pietryszczew, 2005].

Zmniejszenie uciążliwości wynikających z działalności kopalń polega na zminimalizowaniu przekształceń geomechanicznych i skutecznym ich niwelowaniu. Główną kierunkiem osiągania tego celu jest rekultywacja i późniejsze zagospodarowanie. Coraz powszechniej używa się innych określeń terminów rekultywacja i zagospodarowanie np. rewitalizacja, regeneracja, adaptacja czy rehabilitacja obszarów.

Wybór metody rekultywacji determinowany jest właściwościami gruntu rekultywowanego, warunkami glebowo-klimatycznymi oraz względami ekonomicznymi. Rekultywacja podejmuje problematykę wielobranżową, w której naukowe badania techniczne i przyrodnicze prowadzone są przez interdyscyplinarne dziedziny nauki, wymagające ścisłego skoordynowania działań.

Celem rekultywacji biologicznej prowadzonej w ramach leśnego kierunku zagospodarowania jest inicjowanie i utrzymanie zmian, które mają doprowadzić do odtworzenia komponentów ekosystemu leśnego, jak również dynamizowanie tego procesu. Podstawowym założeniem wykonywanych prac rekultywacyjnych jest odtworzenie gleby. Środowisko glebowe jest najtrwalszym i najtrudniejszym do przywrócenia komponentem środowiska naturalnego. W warunkach naturalnych taki proces może trwać nawet kilka tysięcy lat. Istotą rekultywacji jest stymulowanie przemian fizycznych, chemicznych i biologicznych, zachodzących w gruncie zwałowym, dla wydatnego skrócenia tego czasu [Dobrzański, 1981; Katur, 1997].

Umiejętne prowadzenie rekultywacji skutkuje uzyskaniem siedlisk o wyższej, w porównaniu do zajętych przez przemysł wartości użytkowej, czyli o odpowiedniej jakości i zdolności produkcyjnej ze znaczną bioróżnorodnością.

Cel badań

Celem badań, opisywanych w niniejszej pracy, była ocena zmian właściwości gleb inicjalnych w toku leśnej rekultywacji gruntów bezglebowych zwałowiska zewnętrznego BOT KWB Turów S.A. Tym samym sprawdzono słuszność tezy o skuteczności tego kierunku rekultywacji wybranych gruntów bezglebowych dla uformowania funkcjonalnej ekologicznie i uprawowo pokrywy glebowej.

1. Przegląd literatury

1.1. *Wpływ górnictwa odkrywkowego na środowisko przyrodnicze*

1.1.1. Przekształcenia krajobrazu

Z eksploatacją węgla brunatnego związane jest naruszenie krajobrazu na dużych obszarach [Bieszczad, Sobota, 1978]. Wynika to z głębokich przeobrażeń środowiska przyrodniczego, dokonywanych przez górnictwo odkrywkowe, obejmujących przede wszystkim [Skawina, 1969, 1970, 1971; Gilewska, 1999; Chodak, Szerszeń, 1998; Strzyszczyk, 1998; Tokarska, 2003]:

- zmiany budowy geologicznej i rzeźby terenu; powstawanie nowych form w krajobrazie: usypisk, zwałowisk, sztucznych odsłoneń geologicznych; osiadanie gruntów; niszczenie warstwy gleby; erozję, degradację lub dewastację gleb,
- zmiany stosunków wodnych (zaburzenia reżimu wód gruntowych; zmiany w systemie wód powierzchniowych; zanieczyszczenie wód),
- zmiany w świecie roślinnym i zwierzęcym (bezpośrednie niszczenie siedlisk; straty we florze i faunie; degradacja szaty roślinnej i gleby),
- zmiany mikroklimatu,
- zmiany charakteru użytkowania powierzchni,
- zmiany komunikacyjne i urbanistyczne.

1.1.1.1. *Przekształcenia rzeźby terenu*

Niezbędnym warunkiem prowadzenia eksploatacji węgla brunatnego jest sukcesywne zajmowanie terenów pod wyrobisko. Najczęściej tereny przejmowane pod eksploatację podlegają robotom przygotowawczym, polegającym głównie na usunięciu drzew i krzewów, rozbiórce obiektów budowlanych, zebraniu warstwy próchniczej oraz wykonaniu odwodnienia terenu [Plan ruchu. część podstawowa, 2004].

Powstałe wieloprzestrzenne, antropogeniczne formy terenowe jak: wyrobisko górnicze oraz nadpoziomowe zwałowiska zewnętrzne nadkładu są w zależności od charakteru krajobrazu otaczającego zwałowiska, widoczne lub wkomponowują się z czasem w

krajobraz regionu. Przykładem może być zwałowisko zewnętrzne w Bełchatowie o wysokości 195 m i powierzchni 1480 ha, które z uwagi na otaczający je nizinny teren znacząco wyróżnia się w krajobrazie [Limanówek, 2006]. Zwałowisko zewnętrzne w Turowie, o wysokości 245 m i powierzchni 2175 ha, traci stopniowo charakter elementu obcego w krajobrazie jako, że w otoczeniu Niecki Żytawskiej dominuje krajobraz górski.

Inaczej jest wobec wyrobisk, których rekultywacja w przewodze wodno-leśna powoduje istnienie ich w formie nowego elementu w krajobrazie długo po zakończeniu eksploatacji. Po urządzeniu w wyrobiskach zbiornika wodnego, walory krajobrazowe terenów zajętych przez kopalnię ulegają znacznemu polepszeniu, przyczyniając się do tworzenia krajobrazu wzbogaconego o kompleks terenów turystyczno-rekreacyjno-wypoczynkowych [Plan ruchu. część podstawowa, 2004.; Limanówek, 2006].

1.1.1.2. Zmiana formy zagospodarowania

Coraz większego znaczenia w zagospodarowaniu terenów i wyrobisk pogórnich nabiera ich pośrednie wykorzystanie, polegające na wykorzystaniu istniejących terenów pogórnich m.in. na składowiska odpadów, oczyszczalnie itp.

Celem takich działań jest ograniczenie dalszego zajmowania terenów pod działalność nierolniczą bądź nieleśną, minimalizacja kosztów utrzymania obiektów górniczych i energetycznych, jak i względy społeczne i krajobrazowe.

W przypadku kopalń wielo-odkrywkowych (Konin, Adamów) ograniczenie klasycznego zwałowania zewnętrznego do minimum, poprzez zasypywanie likwidowanych wyrobisk, przyczynia się do zmniejszenia powierzchni zajmowanych terenów, jak również zmniejsza ingerencję w otaczający krajobraz.

Innym przykładem zastosowania złożonych form rekultywacji i zagospodarowania jest wykorzystanie wyrobisk poeksploatacyjnych na składowanie popiołów elektrownianych, produktów oczyszczalni ścieków, oraz jako składowiska odpadów komunalnych, bądź osadniki. Tak na przykład, wyrobisko odkrywki Morzysław wykorzystane zostało częściowo na składowisko odpadów komunalnych. Dalszym przykładem takiego zagospodarowania jest wyrobisko Gosławice (na terenie należącym do Kopalni Konin), gdzie popioły elektrowniane są deponowane metodą hydrauliczną z zamkniętym obiegiem wody. Docelowo, wyrobisko sukcesywnie zagospodarowywane jest w kierunku leśnym. Podobnie wykorzystywane jest wyrobisko Pątnów. Również w obrębie

odkrywki w Turowie deponowane są popioły i produkty odsiarczania, przy założonym leśnym kierunku rekultywacji obiektu.

W BOT KWB Bełchatów wyrobisko po odkrywce Bełchatów jest w części wykorzystywane jako składowisko złoża wtórnego kredy jeziornej, która jest surowcem towarzyszącym, jak również jako miejsce składowania odpadów paleniskowych. Na zrehabilitowanym już zwałowisku zewnętrznym urządzono obiekty sportowe (tor narciarski) oraz lądowisko dla samolotów i ścieżki spacerowe [Uberman, Ostrega, 2004].

Interesujące przykłady zagospodarowania zwałowisk skał przywęglowych z przeróbki spotykane są w branży górnictwa węgla kamiennego. Między innymi zaobserwować to można w Zagłębiu Ruhry w Niemczech. Niektóre ze zwałowisk zostały tam zagospodarowane dla celów trwającej w latach 1989-1999 Międzynarodowej Wystawy Budownictwa. Tworzą one obecnie tzw. ścieżkę kultury przemysłu [Uberman, Ostrega, 2004].

1.1.2. Przekształcenia budowy geologicznej

Wraz z naruszeniem powierzchni litosfery zmienia się budowa geologiczna terenu, na którym prowadzone są prace wydobywcze kopalni. Do trwałych i nieodwracalnych zmian środowiskowych wywołanych w odkrywkowych eksploatacjach kopalni zalicza się m.in.: ubytek zasobów kopaliny ze złoża w wyniku eksploatacji, zmiany warunków krążenia wód powierzchniowych i podziemnych, zmiany geochemiczne w wodach i glebie [ZPORR, 2006].

1.1.3. Przekształcenia hydrologiczne obszaru

Przekształcenia hydrologiczne obszaru najczęściej wywołane są przekształceniami geomechanicznymi. Obejmują one zmiany stosunków wodnych, efektem czego jest przeważnie przesuszenie terenu [Greinert, 1992]. Przesuszenie gleb może być skutkiem tworzenia się leja depresji w rejonach eksploatacji górniczej oraz intensywnej eksploatacji wód w głębszych dla celów przemysłowych bądź komunalnych.

Występujące na takich powierzchniach zmiany hydrologiczne są procesem bardzo złożonym, uzależnionym również od klasy bonitacyjnej gruntów, składu granulometrycznego (poziomów wierzchnich i niżej zalegających w profilu glebowym), użytko-

wania (grunty orne, łąkowe, leśne, inne), położenia względem odkrywki [Rząsa, Mocek, Owczarzak, 2000; Szerszeń, 1995].

Roboty ziemne, prowadzone na dużych głębokościach, wymagają najczęściej odwodnienia złóż węgla, co jest warunkiem umożliwiającym jego wydobycie. Poziom zwierciadła wód gruntowych jest obniżany za pomocą studni głębinowych. Zakres i zasięg oddziaływania tychże prac zależy od wielu czynników, takich jak: budowa geologiczna, warunki klimatyczne, właściwości skał i podłoża oraz ukształtowania terenu [Włodek, Biskupski, Hryńczuk, 2000].

Eksploatacja prowadzona w kopalni wpływa na zmianę stosunków wodnych, odnoszących się zarówno do zachowań wód powierzchniowych i podziemnych. Wpływ na wody powierzchniowe przejawia się głównie w postaci zmiany sieci hydrograficznej, granic wododziałów, warunków retencji i odpływu wód oraz zanieczyszczenia cieków [Plan ruchu. część szczegółowa, 2004].

Ogólnie, wpływ odkrywki na teren przyległy jest często nieprzewidywalny i trudny do rozpoznania, czego przyczyną jest jego uzależnienie od wielu czynników, zmiennych i pozostających ze sobą w złożonych interakcjach.

1.1.4. Przekształcenia gleb

Rozwój przemysłu wydobywczego wpływa w sposób istotny na rozmiary szkód w poszczególnych elementach biosfery, wśród których gleba zajmuje miejsce szczególne [Skawina, 1958]. Oddziaływanie przemysłu odkrywkowego na środowisko glebowe ma charakter degradacyjny, a często dewastacyjny. Te negatywne skutki polegają na geomechanicznym przeobrażeniu powierzchni litosfery, w wyniku czego następuje częściowe lub całkowite zniszczenie gleby [Chodak, Szerszeń, 1998]. Zniszczenie to polega na likwidacji lub przysypaniu poziomu próchnicznego, zaburzeniu układu poziomów i warstw w glebie, silnym mechanicznym ubiciu gleby przez sprzęt ciężki.

Podjęta działalność górnicza skutkuje wyłączeniem dużych powierzchni z dotychczasowego użytkowania rolnego i leśnego. Proces ten powoduje więc zmniejszanie się areалу użytków rolnych [Greinert H., Greinert A., 1998]. Wyłączenie na cele nierolnicze i nieleśne użytków rolnych dotyczyło w 2004 roku 2 240 ha, natomiast gruntów leśnych 652 ha [GUS, 2005].

Z kolei wśród terenów przekazywanych do ponownego zagospodarowania zaznacza się przewaga powierzchni zwracanych leśnictwu – 61%. Grunty rolnicze stanowią 28% a inne 11% [Krzaklewski, 2001].

1.2. Powstawanie gruntów bezglebowych jako efekt dewastacji gleb

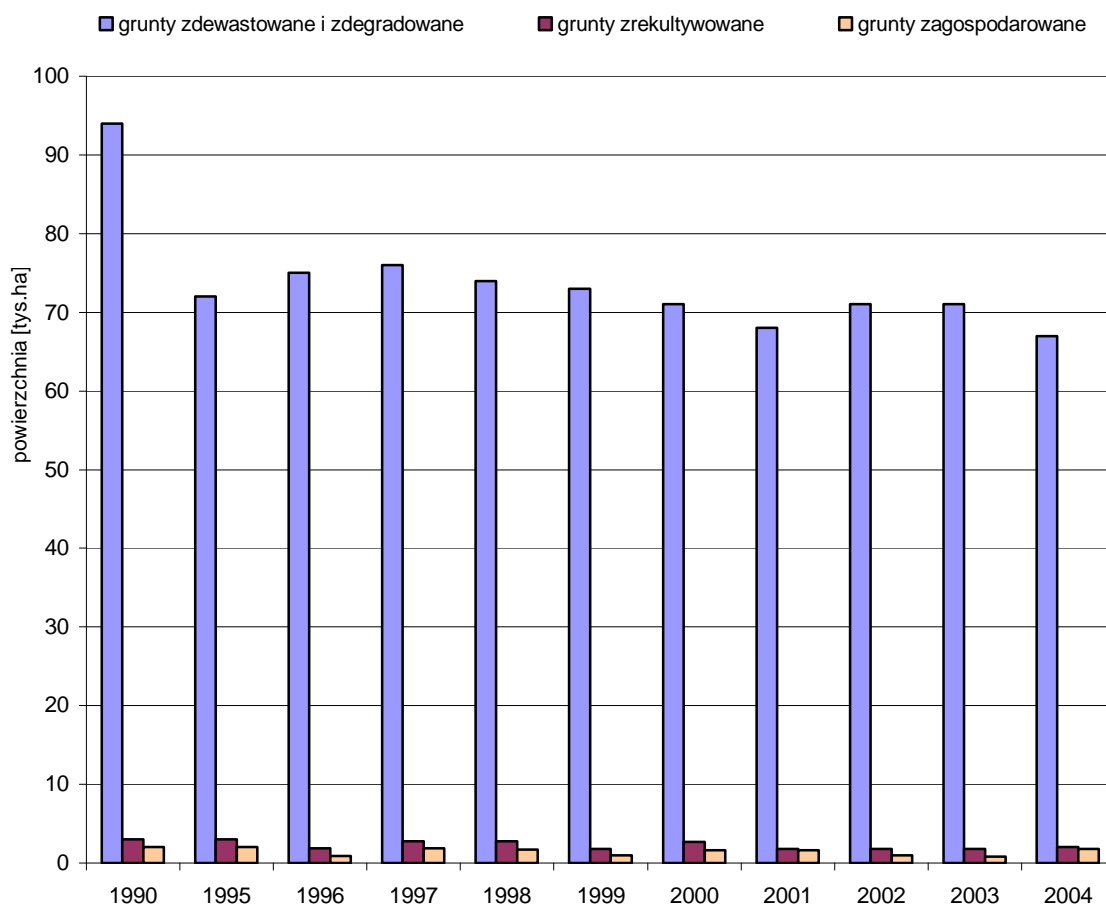
1.2.1. Dewastacja gleb w Polsce

Zgodnie z zapisem w Ustawie o ochronie gruntów rolnych i leśnych, grunty zdewastowane są to grunty, które utraciły całkowicie wartość użytkową, w szczególności w wyniku pogorszenia się warunków przyrodniczych albo wskutek zmian środowiska oraz działalności przemysłowej, a także wadliwej działalności rolniczej. Grunty zdewastowane (jak i zdegradowane) wymagają rekultywacji i zagospodarowania. Skalę problemu w Polsce przedstawia tabela 1 [GUS, 2005].

Tab. 1. Grunty zdewastowane i zdegradowane wymagające rekultywacji i zagospodarowania [GUS, 2004]

rok	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
	w hektarach						
Grunty zdewastowane i zdegradowane	93 679	72 245	71 473	68 483	70 884	70 683	67 550
Grunty w ciągu roku zrehabilitowane	2 665	2 698	2 235	2 033	1 991	1 795	2 342
Grunty w ciągu roku zagospodarowane i przekazane użytkownikowi	2 264	1 864	1 222	1 362	1 137	753	1 618

Prace rekultywacyjne w Polsce prowadzone są systematycznie jednak na niewielką skalę co sprawia, że powierzchnia gruntów zdewastowanych i zdegradowanych zmniejsza się bardzo powoli. W 2004 roku powierzchnia gruntów zdewastowanych i zdegradowanych wynosiła 67 550 ha, co stanowiło około 0,2% powierzchni kraju (rys. 1). W stosunku do 1990 roku (w ciągu 14 lat) powierzchnia tych gruntów uległa zmniejszeniu o blisko 28%.



Rys. 1. Grunty zdewastowane i zdegradowane oraz zrehabilitowane i zagospodarowane w Polsce w latach 1990-2004 [GUS, MRiRW, 2004]

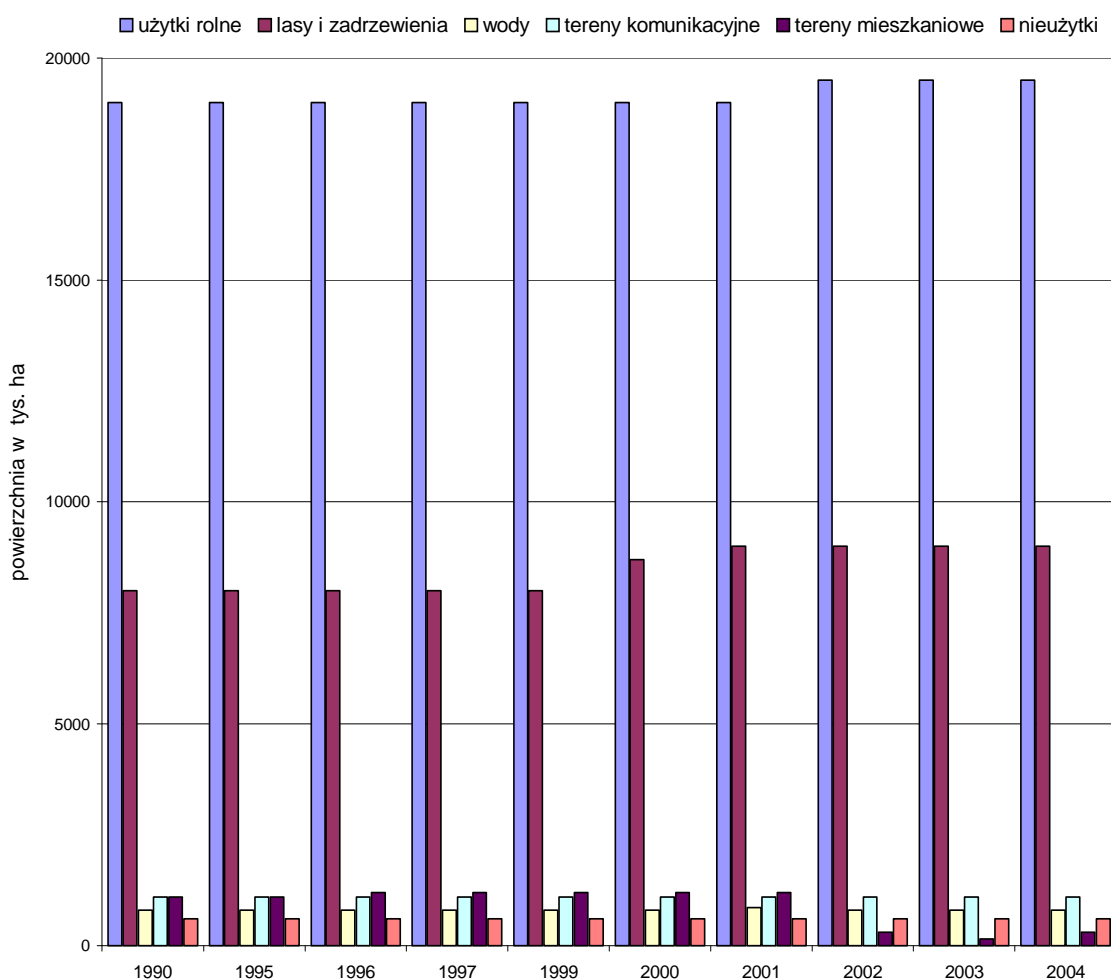
1.2.2. Antropopresja urbanistyczna i industrialna

Negatywne oddziaływanie człowieka na powierzchnię ziemi obserwowane jest przede wszystkim na obszarach miejskich, przemysłowych, komunikacyjnych oraz rolniczych. Wobec silnej ingerencji człowieka w budowę profilu glebowego następują na tych terenach daleko idące zmiany właściwości mechaniczne i chemiczne gleb.

Według Skawiny [1971], wskaźnikami przekształceń gleb są przede wszystkim zmiany: odczynu, właściwości biochemicznych, składu i właściwości materii organicznej, składu chemicznego roztworów glebowych i ich kompleksu sorpcyjnego oraz składu jakościowego i ilościowego pierwiastków śladowych a zwłaszcza pierwiastków lub związków potencjalnie toksycznych. Do tego dochodzi zjawisko mechanicznego niszczenia pokrywy glebowej, będące efektem urbanizacji, działalności górniczej i niewłaściwie prowadzonych prac w rolnictwie [Greinert, Juszcak, 2001].

Na terenach miast i aglomeracji miejskich, w pobliżu ciągów komunikacyjnych, na terenach składowisk odpadów przemysłowych i komunalnych, gleby narażone są szczególnie na zanieczyszczenia metalami ciężkimi oraz związkami organicznymi.

Rozwój aglomeracji miejskich i infrastruktury przemysłowej prowadzi do sukcesywnego zmniejszania się powierzchni obszarów naturalnych. Ma to ogromny wpływ na stan różnorodności biologicznej, powodując zmniejszenie się przestrzeni życiowej dla szeregu gatunków zwierząt i roślin. Dane statystyczne, wskazują że zmiany użytkowania powierzchni w Polsce mają charakter długotrwały (rys. 2). W latach 1990-2004 widoczne jest sukcesywne zwiększanie się powierzchni lasów – o około 5,1 % w odniesieniu do poziomu z 1990 roku, przy równoczesnym spadku powierzchni użytków rolnych o około 2,2%.



Rys. 2. Zmiany wykorzystania powierzchni kraju w latach 1990-2004 [GUS, MRiRW, 2004]

Zmiany w latach 1990-2000 były niewielkie, obejmowały bowiem ok. 2.500 km². Dotyczyły zwiększenia powierzchni terenów leśnych, terenów górnictwa odkrywkowego, terenów przemysłowych, handlowych i komunikacyjnych. Odbyło się to kosztem zmniejszenia powierzchni gruntów użytkowanych rolniczo.

1.2.3. Kopalnie odkrywkowe w Polsce

Polskie górnictwo węgla brunatnego obejmuje aktualnie cztery kopalnie odkrywkowe [Michalski, Koliński, 2000]:

- Kopalnia Adamów, o zdolności wydobywczej 4,5-5,0 mln Mg rocznie,
- Kopalnia Bełchatów, o zdolności wydobywczej 38,5 mln Mg rocznie,
- Kopalnia Konin, o zdolności wydobywczej 15 mln Mg rocznie,
- Kopalnia Turów o zdolności wydobywczej 15 mln Mg rocznie.

Złoże węgla brunatnego w rejonie Bełchatowa występuje w trzech obszarach:

- Pole „Kamieńsk”,
- Pole „Bełchatów”,
- Pole „Szczerców”.

Eksploatacja nowej odkrywki Szczerców rozpoczęła się w październiku 2002 roku. Do 1993 roku nadkład zwałowano na zwałowisku zewnętrznym, obecnie o wysokości bezwzględnej 196 metrów. Od 1993 roku całość nadkładu deponowana jest w wyrobisku tworząc zwałowisko wewnętrzne. Rekultywacja prowadzona jest w kierunku leśnym. Do zagospodarowania leśnego przekazano 1516,24 ha zrekultywowanych terenów na zwałowisku zewnętrznym oraz na terenach mu przyległych.

Kopalnia węgla brunatnego Adamów S.A. jest kopalnią wieloodkrywkową. Obecnie węgiel wydobywany jest z trzech odkrywek: Adamów, Koźmin i Władysławów. Rocznie zdejmuje ona około 32-34 mln m³ nadkładu i pompuje około 92 mln m³ wody [Pietryszczew, 2006].

Kopalnia „Konin” w Kleczewie S.A. jest też wieloodkrywkowa. Obecnie działalność wydobywcza prowadzona jest przez cztery odkrywki: Kazimierz Północ (do 2011 r.), Józwin (do 2021 r.), Lubstów (do 2008 r.) oraz Drzewce. Około 96% wydobytego

węgla przeznaczone jest na potrzeby elektrowni, a pozostałe na sprzedaż odbiorcom rynkowym. Rekultywacja prowadzona jest głównie w kierunku rolniczym oraz w mniejszym stopniu w kierunku leśnym i wodnym. Wyrobiska górnicze przeznacza się na zbiorniki wodne [Pietryszczew, 2006].

Tab. 2. Zasoby węgla brunatnego w Polsce w eksploatowanych złożach (w mln ton) [Pietryszczew, 2005].

Kopalnia	Złoże	Zasoby przemysłowe	Wydobycie węgla w 2005 roku
BOT KWB Bełchatów SA	Bełchatów	355,4	35,2
	Szczerców	745,1	
BOT KWB Turów SA	Turów	434,0	11,9
KWB „Konin” SA	Józwin IIB	51,5	10,0
	Drzewce	35,2	
	Kazimierz Płn.	16,4	
	Lubstów	12,4	
KWB „Adamów” SA	Adamów	49,6	4,5
	Koźmin	2,6	
	Władysławów	5,2	

W 2005 roku kopalnie węgla brunatnego w Polsce wydobyły łącznie ponad 61,5 mln ton węgla brunatnego, z czego 98,9% zużyły elektrownie [Pietryszczew, 2005]. Wydobycie węgla brunatnego w latach 2002-2005 przedstawiało się następująco:

- 58 212 tys. ton w 2002 roku,
- 60 887 tys. ton w 2003 roku,
- 61 147 tys. ton w 2004 roku,
- 61 590 tys. ton w 2005 roku.

Wydobycie jakiegokolwiek surowca metodą odkrywkową wiąże się z potrzebą usunięcia wierzchniej warstwy skał znajdującej się nad złożem, tzw. nadkładu. Najniższy stosunek nadkład-złoże, dla węgla brunatnych w Polsce wynosi 1,5:1 dla złoża w Turoszowie, następnie 3,2:1 w Bełchatowie. Pozostałe złoża charakteryzuje stosunek w przedziale 4,0:1 do 7,9:1 [Pietryszczew, 2006].

Skały nadkładu złoża w Bełchatowie obejmują: piaski, mułki zastoiskowe, gliny zwałowe, piaski drobnoziarniste, otoczaki wapieni i otoczaki krzemieni, ility, wapienie i margle występujące bezpośrednio w spągu.

W okręgu turoszowskim większość stanowią ility – około 70% całości nadkładu oraz piaski i żwiry, stanowiące do 30% całości nadkładu.

Konińskie zagłębienie charakteryzuje występowanie ilów i glin zwięzłych, na które przypada 60-80%, natomiast utwory luźne – piaski i żwiry to pozostała część złoża [Pietryszczew, 2006].

1.3. Rekultywacja terenów pogórnicznych

1.3.1. Kierunki i cele rekultywacji

Pierwsze w Polsce zorganizowane prace badawcze nad rekultywacją omawianych terenów podjął z końcem lat pięćdziesiątych prof. Skawina. Również pierwszą definicję rekultywacji w polskiej literaturze przypisuje się autorstwu Skawiny [Krzaklewski, 2003]. Według tej definicji przez rekultywację rozumiemy „działalność mającą na celu przywrócenie w zakresie technicznie możliwym i ekonomicznie uzasadnionym terenów zdewastowanych do gospodarczego użytkowania”.

Jak napisał Strzemiński, opracowania z lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych autorstwa głównie Skawiny, a także założenia pedologii opierały się na tezie, iż głównym czynnikiem kształtującym procesy glebotwórcze jest szata roślinna [Bender, 1995]. W tym okresie Skawina opracował założenia teoretyczne oraz praktyczne biologicznej rekultywacji dla warunków polskiego górnictwa [Skawina, 1958, 1967, 1969]. Za główny cel działalności rekultywacyjnej uznano wówczas „...formowanie gleby, a więc nie uzyskiwanie plonów, lecz przekształcenie właściwości fizycznych i biologicznych tworzywa glebowego” [Skawina, 1958, 1967]. Ważniejszy dorobek prof. Skawiny w dziedzinie rekultywacji obejmuje m.in. [Krzaklewski 2001]:

- opracowanie założeń metodycznych działalności rekultywacyjnej w Polsce. Głównym założeniem było przyjęcie biologicznych metod odtworzenia gleb w drodze odpowiednich agro- i fitomelioracji;
- opracowanie klasyfikacji utworów geologicznych dla potrzeb rekultywacji – opartej na liczbie bonitacyjnej i klasach przydatności do rekultywacji;
- opracowanie metod rekultywacji biologicznej zwałowisk, zwłaszcza w górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego i piasków podsadzkowych;
- opracowanie tzw. bentonitowej metody odtwarzania gleb przy użyciu sorbentonawozów;

- rozpoznanie źródeł i mechanizmów toksyczności różnych utworów występujących na terenach rekultywowanych i opracowanie metod skutecznej ich neutralizacji;
- opracowanie instrukcji sporządzania dokumentacji techniczno-kosztorysowej w zakresie rekultywacji i zagospodarowania leśnego terenów przemysłowych.

Jedną z pierwszych koncepcji biologicznej rekultywacji gruntów pogórnich oraz przemysłowych nieużytków – koncepcja rekultywacji opracowana dla obszarów polskich przez Skawinę – znana jest jako „teoria pionierskości”. W Niemczech jej twórcą był Heuson [Strzyszczyński, 1982]. Głównym jej założeniem jest inicjacja procesów glebotwórczych poprzez wprowadzanie na przemysłowy nieużytek roślinności zielnej lub drzewiastej, określanej mianem „roślinności pionierskiej”. Do grupy roślin pionierskich spośród roślinności zielnej zostały zaliczone: nostrzyk biały (*Melilotus albus* Desr.), komonica rożkowa (*Lotus corniculatus* L.), koniczyna biała (*Trifolium repens* L.), lucerna siewna (*Medicago sativa* L.), niektóre gatunki łubinu (*Lupinus polyphyllus* Lindl.). Z roślinności drzewiastej za pionierskie uważa się: robinie akacjową (*Robinia pseudoacacia* L.), olszę szarą (*Alnus incana* (L.) Moench.) i czarną (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) [Skawina, 1967]. Cechą wspólną tych gatunków jest zdolność prowadzenia symbiozy z mikroorganizmami wiążącymi azot [Gilewska, 1998, 1999]. Trzeba przy tym pamiętać, że azot jest makroelementem, którego w gruntach przemysłowych jest niewiele [Bender, 1995] lub występuje w formach trudno dostępnych [Strzyszczyński, 1998].

Próby rolniczej rekultywacji według „teorii roślinności pionierskiej” były przeprowadzone przez Skawinę na gruntach pogórnich Konińskiego Zagłębia Węgla Brunatnego. Nie przyniosły one oczekiwanych rezultatów [Gilewska, 1999]. Świętochowski [1966] i Skawina [1969] uznali, że przeznaczenie gruntów pogórnich pod rolnicze użytkowanie jest niecelowe [Gilewska, 2001]. Uznali, że podstawowym kierunkiem rekultywacji w Polsce powinno być zadrzewienie lub zalesienie [Gilewska, 1991, 2001]. Panowało wówczas przekonanie, że przede wszystkim szata roślinna może skutecznie eliminować lub ograniczać wady gruntów pogórnich. W świetle teorii i praktyki rekultywacyjnej przewodnią myślą było sformułowanie: „rekultywacja gruntów pogórnich jest zależna od zachodzących w nich procesów glebotwórczych. Innymi słowy: jakie procesy glebotwórcze taka rekultywacja i produktywność tworzącej się gleby” [Bender, 1995].

Na bazie doświadczeń „szkoły krakowskiej”, Bender zaproponował koncepcję rekultywacji określaną mianem „teorii roślinności docelowej” – znaną w literaturze jako

model PAN [Bender, 1995, Gilewska, 2001]. Zasadę tej teorii przedstawić można następująco: „Proces glebotwórczy ... jest uzależniony od stosowanych w procesie rekultywacji zabiegów rekultywacyjnych. Czyli jaka rekultywacja taki proces glebotwórczy a w konsekwencji i produktywność nowo tworzonej gleby”.

Bender i Gilewska stworzyli tym samym nową definicję rekultywacji: „rekultywacja jest zespołem czynności inżynierskich i agrotechnicznych oraz procesów biogeochemicznych, kształtujących nową i jednocześnie pożądaną strukturę biocenotyczną industriozemnej gleby. Jest to zorganizowane współdziałanie czynników abiotycznych i biotycznych, umożliwiających w możliwie krótkim czasie i przy zaangażowaniu możliwie najmniejszych środków, wytworzenie z gruntu-skały produktywnej gleby” [Bender, 1995, Gilewska, 2001]. Według tej definicji rekultywacja jest procesem zorganizowanym i kierowanym. Rolę wiodącą w procesie „przekształcania” gruntu pogórniczego w glebę wyznacza się czynnikowi antropogenicznemu. Wśród całego zespołu czynników, skutecznie oddziałujących na grunt pogórnicy, koncepcja Bendera za najbardziej istotne uznaje [Gilewska, 1991]:

- naprawę chemizmu gruntu-skały,
- naprawę fizycznych właściwości tworzywa glebowego,

przy czym zauważone zostało, że zakres i jakość prac związane są z lokalizacją i sposobem formowania zwałowisk.

Rekultywacja jest niezbędna do przyspieszenia procesów glebotwórczych na gruntach zwałowych. Wówczas przekształcenie skały-gruntu w produktywną glebę inicjalną może, według Bendera, trwać jedynie 10-20 lat. W przypadku nie ingerowania człowieka w powyższy proces, przekształcenie gruntu w glebę może trwać od 200 do 400 lat [Bender, 1995; Kowda, 1984; Gilewska, 1995; Gołębiowska, 1983].

Pionierskimi w dziedzinie rekultywacji są opracowania dotyczące wykorzystania roślinności z sukcesji ekologicznej oraz podział nieużytków przemysłowych na podstawie szybkości ich zarastania, jak również zastosowanie roślinności z sukcesji w działalności rekultywacyjnej [Krzaklewski, 2001]. Dotyczy to rekultywacji leśnej metodą sukcesji kierowanej i metody fitosocjologiczno-glebowej prognozowania na zwałowiskach potencjalnych jednostek siedliskowych.

Na powodzenie rekultywacji i zagospodarowania takich zwałowisk jak turoszowskie, czy bełchatowskie ma wpływ również wykonanie rekultywacji technicznej [Skawina, 1967; Krzaklewski, 1997]. Przemysłana architektura, odpowiednia sieć hydrologiczna oraz szata roślinna stanowią system zabezpieczający zwałowisko przed erozją.

Zakres i sposób rekultywacji pod kątem formy przyszłego zagospodarowania określa kierunek rekultywacji. Spośród wielu klasyfikacji wyróżnić można:

- klasyfikację podaną przez Majewską;
- klasyfikację przedstawioną w normie [PN-G-7800:2002];
- klasyfikację podaną przez Malewskiego i Kaźmierczak ;
- klasyfikację RAG Immobilien-MGG;
- klasyfikację English Partnership.

Majewska [2000] wyróżniła sześć głównych kierunków rekultywacji:

- rolniczy – grunty orne, pastwiska lub inne uprawy,
- leśny – uprawa drzew,
- rybaki – stawy rybne,
- infrastrukturalny – budownictwo mieszkaniowe, gospodarcze lub inne,
- rekreacyjny – zbiorniki wodne do uprawiania sportów wodnych,
- melioracyjny – w celu zapewnienia odpowiednich warunków wilgotnościowych w otaczającym gruncie, zbiorniki małej retencji.

Inny podział zaproponowany został przez Kaźmierczak i Malewskiego [2001]:

Kierunek ogólny

Kierunek szczegółowy

rolny

uprawy, hodowla

leśny

gospodarka, ochrona, rekreacja

przyrodniczy

rezerwat przyrody, park krajobrazowy, obszar chronionego krajobrazu, ochrona gatunkowa, pomnik przyrody, stanowisko dokumentacyjne przyrody nieożywionej, użytek ekologiczny, tereny zielone

wodny

budowle, rekreacja

gospodarczy

mieszkalnictwo, przemysł, usługi

Polska Norma „Górnictwo odkrywkowe. Rekultywacja. Ogólne wytyczne projektowania” wprowadza pojęcie kierunku „specjalnego”, który oznacza każdy inny sposób rekultywacji i zagospodarowania niż rolny i leśny.

Według Krzaklewskiego [2003] główne kierunki rekultywacji w Polsce są następujące:

- rekultywacja rolnicza,
- rekultywacja leśna,
- rekultywacja wodna,
- rekultywacja specjalna.

W Niemczech firma RAG Immobilien-MMG, specjalizująca się w zagospodarowywaniu terenów poprzemysłowych, rozróżnia aktualny i przyszły sposób zagospodarowania [Ostrega, 2004]:

- nieużytki poprzemysłowe (Brache),
- otwarta przestrzeń (Freifläche),
- rolniczy (Landwirtschaft),
- leśny (Forstwirtschaft),
- budownictwo mieszkaniowe (Wohnen),
- biznes (Gewerbe),
- przemysł ciężki (Industrie),
- rekreacja (Freizeit),
- specjalne użytkowanie górnicze (Sondernutzung Bergbau),
- komercyjny (Handel und Dienstleistungen),
- pozostałe – wodne, melioracyjne, przyrodnicze, komunikacyjne (Sinstige-Wasser, Deich, Biotop, Verkehr itp.).

W Anglii popularnym sposobem rekultywacji jest tzw. kierunek wielofunkcyjny (mixed use space), tj. przekształcanie terenów poprzemysłowych w kierunkach: zamieszkania, pracy i wypoczynku [Ostrega, 2004].

Na terenach polskich kopalni węgla brunatnego preferowany jest leśny kierunek rekultywacji, ale również przygotowuje się niektóre obszary do działalności rolniczej, uzupełniając te dwie podstawowe formy użytkowania dodatkowymi, np. przez budowę obiektów sportowych i specjalnych [Uberman, Ostrega, 2004].

Wyrobiska pogórnice rekultywuje się też w kierunku wodnym, np. Macków k. Tarnobrzega – około 500 ha [Krzaklewi, 1990].

Podstawowym zadaniem prowadzonej rekultywacji jest kształtowanie biotopu w zależności od obranego kierunku, dla leśnego lub rolnego zagospodarowania terenów poeksploatacyjnych, uwzględniając różnorodność tworzących się mikrosiedlisk zwiększających wartość tworzonego ekosystemu. Cel ten osiągnąć jest przez współdziałanie czynnika antropogenicznego i biologicznego w oddziaływaniu na surowe utwory, stanowiące skałę macierzystą powstających gleb [Krzaklewski, 1994].

Wykonanie prac rekultywacyjnych dynamizuje procesy biogeochemiczne i prowadzi w drodze sukcesji do stopniowego tworzenia ekosystemu [Krzaklewski, 1982]. Zwiększająca się sukcesywnie powierzchnia terenów zalesionych pełni głównie funkcje glebotwórcze i glebochronne, ale także (coraz częściej) produkcyjne.

1.3.2. Technologie i techniki rekultywacyjne

Według Skawiny [1970] i Krzaklewskiego [1986] wyróżniane są trzy grupy metod rekultywacji: techniczne, techniczno-biologiczne i biologiczne. Metody techniczne; polegają na przykryciu gruntów zwałowych żyznymi utworami glebowymi. Daje to najszybszy efekt, ale koszty oraz trudności w pozyskiwaniu żyznych utworów glebowych ograniczają możliwości ich stosowania. Również nie zawsze dochodzi do uzyskania odpowiedniej żyzności (wydajności) tworzono układu. Metody techniczno-biologiczne; łączą elementy techniczne i biologiczne. W ramach tych metod można wyróżnić dwa warianty: z selekcją pełną i częściową. Selekcja pełna polega na selektywnej gospodarce najbardziej wartościowymi utworami nadkładu. Taka metoda stosowana jest w Czechach, gdzie powierzchnie zwałowisk pokrywane są warstwą zebranego uprzednio lessu, o różnej miąższości w zależności od kierunku rekultywacji. W Niemczech, w środkowoniemieckim zagłębiu węgla brunatnego, wykorzystywana jest w tym celu warstwa próchniczna, natomiast w Zagłębiu Nadreńskim less lub tzw. żwir leśny [Dilla, 1983]. Selekcja częściowa stosowana jest w warunkach występowania w nadkładzie utworów jałowych lub toksycznych. Takie utwory, w zależności od stopnia toksyczności oraz ich przyszłego zagospodarowania, przykrywane są warstwą gruntów nietoksycznych. Innym wariantem ulepszania utworów, praktykowanym w Kopalni Turów było zmniejszenie toksyczności utworów przez dodatek do skał nadkładu popiołu z elektrowni. W Polsce selekcję częściową (zwaną również kierowaną) stosuje się w kopalni Bełchatów. W Polsce, w ramach selekcji częściowej, stosuje się tzw. kierowaną gospodarkę nadkładem [Wysocki, 1975]. Polega ona na budowie górnych warstw (pięter) zwałowisk zewnętrznych z utworów o dużej przydatności do rekultywacji, np. klasy B. W Koninie są to gliny czwartorzędowe. Metody biologiczne; polegają na odtwarzaniu gleby przez oddziaływanie na grunt odpowiednimi zabiegami i roślinnością. Według Krzaklewskiego [2001], w górnictwie węgla brunatnego na terenach pogórnich przeznaczonych dla leśnictwa dominuje metoda biologicznego odtwarzania gleby. W mniejszym stopniu stosowana jest metoda techniczno-biologiczna. Obecnie, w ramach zalesiania zboczy zwałowisk, wprowadza się wielogatunkowe składy drzew i krzewów dostosowane do siedliska, funkcji i przewidywanego kierunku przemian glebowo-roślinnych w drodze sukcesji.

Efekty działań rekultywacyjnych

1.3.2.1. Efekty plonotwórcze

Umiejętnie dobrane i zastosowane działania rekultywacyjne powodują likwidację wad charakterystycznych dla skały glebotwórczej, którą jest grunt pogórnicy, przyczyniając się do jej szybkiego uproduktywnienia oraz przekształcenia w glebę.

Czas w tym przypadku jest ważnym, lecz nie najważniejszym czynnikiem glebotwórczym. Bardzo istotnym jest czynnik antropogeniczny, który umiejętnie oddziałuje na skałę macierzystą, poprzez odpowiednio uprawianą (nawożoną) roślinność.

Nieraz, w wyniku prac rekultywacyjnych, powstają gleby o wyższej żyzności niż te, które zostały zajęte pod działalność górnictwem. W zagłębiu konińskim gleby przejmowane pod działalność przemysłową wykazują duże zróżnicowanie, od gruntów ornych klasy III aż do nieużytków klasy VI. Natomiast na obszarach pogórnicych rekultywowanych przeważnie w kierunku rolniczym (ok. 70%) w większości powstają gleby III klasy bonitacyjnej [Kasztelewicz, 2003; Andrzejewski, 1993]. Zjawisko to zależne jest od jakości materiałów gruntu-skały, które stanowią skałę macierzystą powstających gleb oraz sekwencji ich zalegania. Zastosowana w okręgu konińskim technologia rekultywacji, opartej głównie na wysokim nawożeniu i intensywnych zabiegach uprawy mechanicznej, zapewnia plony znacznie przewyższające średnią krajową [Krzaklewski, 2000]. Jednak tak prowadzona uprawa gruntów rekultywowanych wymaga dużych nakładów finansowych, niejednokrotnie przewyższających możliwości użytkujących je rolników.

Grunty pogórnicych rekultywowane w kierunku leśnym są gospodarczo wykorzystywane dopiero po kilkudziesięciu latach. Pozyskiwanie surowca z rosnących drzewostanów następuje dopiero w trakcie prowadzonej już właściwej gospodarki leśnej. W kopalni Turów, analiza średnich rocznych przyrostów na grubość drzew rosnących na zwałowisku zewnętrznym (brzoza, i modrzew) wskazuje, że drzewa te osiągają wymiary odpowiadające I klasie bonitacji w 20-letnich drzewostanach. W uprawach 5-letnich przyrosty grubości drzew odpowiadają klasie IV i III bonitacji [Mazur i inni, 2002].

1.3.2.2. Efekty przyrodnicze

W kopalniach węgla brunatnego w Polsce prowadzi się zazwyczaj rekultywację w kierunku leśnym. Prowadząc rekultywację w tym kierunku na efekt plonotwórczy po-

trzeba wielu lat, przy tym za decydujące uważa się efekty przyrodnicze. Powstające zbiorowiska leśne spełniają funkcje wodoochronne, klimatyczne oraz estetyczne [Krza-klewski, 2005].

Na terenach bezglebowych szczególnie ważna jest rola glebotwórcza i glebochron-na. Kompleks leśny korzystnie oddziałuje na kształtowanie się bilansu wodnego zwa-łowiska przez retencjonowanie znacznych ilości wód opadowych w ściółce i glebie le-śnej. Stanowi przez to barierę dla przemieszczających się zanieczyszczeń napływo-wych, będąc jednocześnie znacznym producentem tlenu. Powstające zbiorowiska leśne stanowią tym samym czynnik detoksykacji środowiska wpływając na poprawę warun-ków życia mieszkańców.

Wartość zrehabilitowanych gruntów dla środowiska przyrodniczego, w szczególno-ści na obszarach dotychczas bardzo słabo zalesionych, jest dużo wyższa od wartości wcześniej zajętych gruntów rolnych [Plan ruchu. część podstawowa, 2004].

1.4. Gleby inicjalne w gleboznawstwie polskim i światowym

W wyniku działań człowieka powstają na powierzchni litosfery znaczne obszary pokryte przekształconymi glebami, zwanymi industrioziemami. Różnią się one zasadni-czo od gleb naturalnych, zarówno właściwościami fizycznymi, chemicznymi, biolo-gicznymi, jak też cechami morfologicznymi [Szerszeń, Chodak, 1998].

Zadaniem rekultywacji i późniejszego zagospodarowania jest przede wszystkim do-bór takich czynności i zabiegów, które będą jak najszybciej inicjowały, a potem stymu-łowały procesy glebotwórcze. Procesy te przyczynią się do tego, że surowe utwory skalne upodabniają się stopniowo swoimi właściwościami do gleb. Biorąc pod uwagę długotrwały przebieg skomplikowanych procesów glebotwórczych, trudnych do stero-wania przez człowieka, zadanie to nie jest łatwe [Gołda, 1993]. Z ekologicznego punktu widzenia jest to proces przyspieszenia powstawania ekosystemu, tj. progresywnej suk-cesji, w której wprowadzane a także samorzutne biocenozy kształtują ekosystem [Krza-klewski, 2005].

Powstawanie gleby jest procesem powolnym, zachodzącym w cyklach sekularnych, a więc liczonych w setkach i tysiącach lat. Według Dębickiego [2000] w naszej strefie klimatyczno-roślinnej 2,5 cm warstwa gleby powstaje około 500 lat. W żadnym okresie rozwoju gleb [Skawina, 1958] czas działania procesów glebotwórczych nie jest tak wy-

rażnie widoczny jak w pierwszym stadium ich formowania. W miarę upływu czasu rozwój gleby staje się coraz powolniejszy i mniej widoczny.

Według Skawiny, rekultywowane „gleby początkowego stadium rozwojowego o niewykształconym profilu” są to gleby, których skała macierzysta uformowana została wprawdzie w sposób sztuczny, lecz sam proces glebotwórczy ma już od początku swego istnienia bieg dostosowany do wytworzonych i lokalnych warunków klimatycznych. W następstwie procesów wietrzenia powierzchniowa warstwa gruntu na zwałowiskach ulega szybkim przemianom fizycznym (zmiana granulacji), chemicznym (m.in. zmiana odczynu i zasolenia) i biologicznym (zwiększona aktywność mikrobiologiczna) [Patrzałek, 1982, 1984, 1994; Znamiorska-Karaś, 2000].

Wskaźnikiem przemian chemicznych jest odczyn rekultywowanego gruntu. Procesy glebotwórcze [Skawina, 1967] są hamowane przy tym nie przez stałość właściwości, lecz przez skokowe jej zmiany. Doprowadzenie warstw wierzchnich do stanu równowagi chemicznej jest sprawą najbardziej istotną w odniesieniu do biologicznego zagospodarowania zwałów. Pozwala to na przeskoczenie, trwających nieraz kilkadziesiąt lat, następnych stadiów naturalnego rozwoju gleb pod wpływem ekologicznej sukcesji i na natychmiastowe ich zagospodarowanie.

Według Gilewskiej [1991] i Skawiny [1958], źródłem zakwaszenia są nie tylko, jak w glebach naturalnych jony wodorowe w roztworze glebowym i kompleksie sorpcyjnym, lecz wietrzejące siarczki. Utwory rekultywowane z dużą zawartością siarczków, często zawęglone, występują w większych ilościach na zwałowiskach kopalń węgla brunatnego „Bełchatów” i „Turów” [Gilewska, 1991; Skawina, 1958, 1968; Krzaklewski, 1995, 1997, 1999].

Istotna rola czynnika antropogenicznego w rozwoju procesu glebotwórczego i kształtowaniu produktywności rekultywowanych gruntów uwidacznia się w tempie przemian biochemicznych zachodzących w tworzywie glebowym [Gilewska, 1999]. Z prowadzonych w Polsce badań wynika, że neutralizacja gruntu stymuluje wzrost liczebności mikroorganizmów [Gilewska, 1984, 1991; Bender, 1995; Krzaklewski, Żuławski, 1987; Krzaklewski, Wójcik, 1997].

Obecność *Azotobacter* w inicjalnych glebach wskazuje, że grunt pogórnicy jest substratem glebowym, w którym poprzez umiejętne oddziaływanie człowieka wzrasta tempo procesów biologicznych [Gilewska, 1991]. Z przeprowadzonych badań Gołębiowskiej i Bendera wynika m.in., że „mikroorganizmy wykonują w procesie glebotwórczym najbardziej precyzyjną pracę – przetwarzają komponenty na nowe związki

organiczne i organiczno-mineralne i współtworzą warstwę próchniczną” [Gołębiowska, 1983].

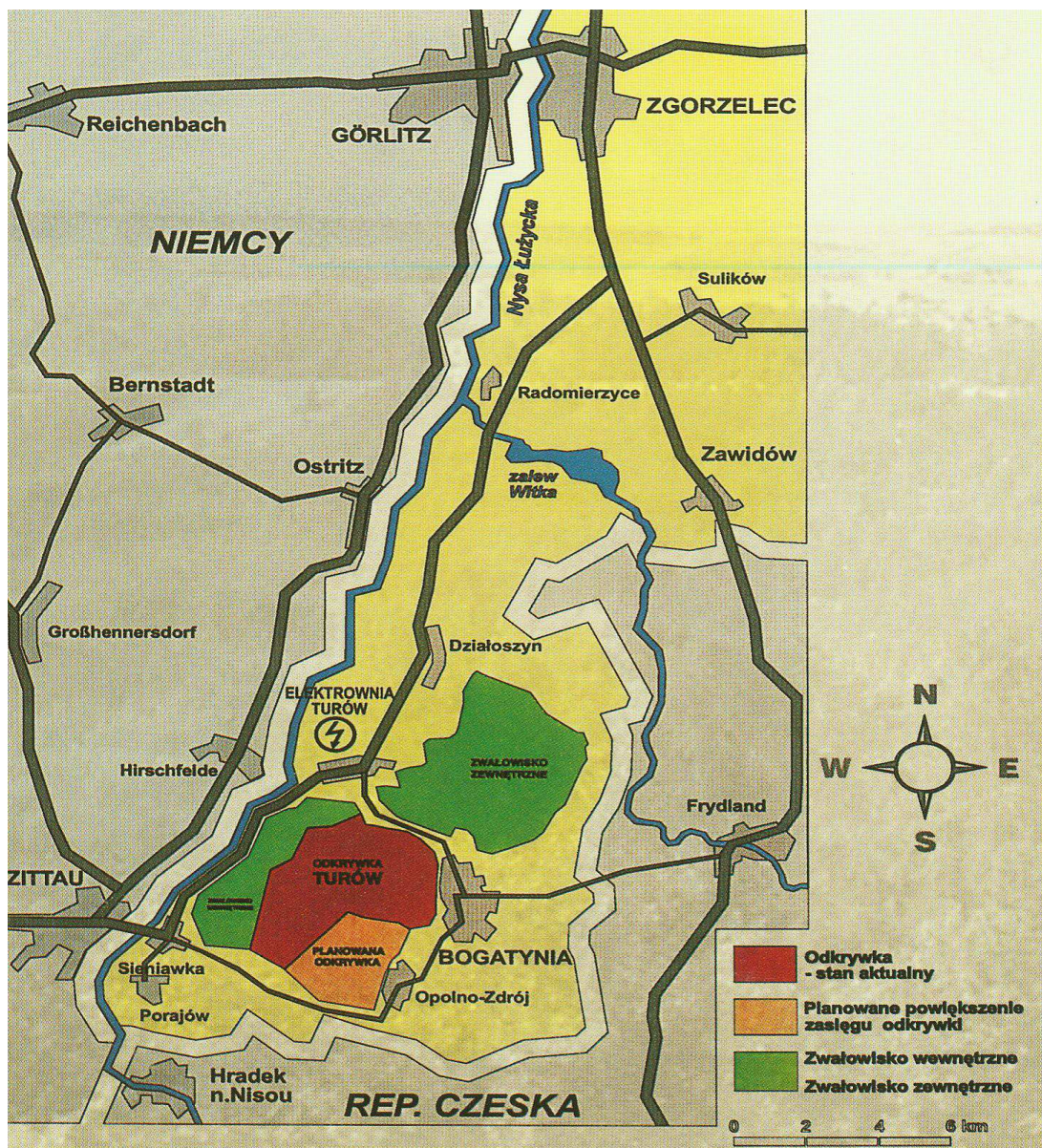
1.5. Charakterystyka obiektu badawczego

1.5.1. Lokalizacja obiektu badawczego

Zagłębie turoszowskie zlokalizowane jest w południowo-zachodniej części województwa dolnośląskiego, w obrębie miasta i gminy Bogatynia. Położone jest w Niece Żytawskiej o powierzchni ok. 150 km², między granicami Niemiec i Czech, z czego 48 km² należy do Polski.

Worek Żytawski obejmuje swym zasięgiem następujące jednostki fizjograficzne: Pogórze Izerskie, Kotlinę Turossowską i Dolinę Nysy Łużyckiej [Rzeźnicki, 2000; Zwoździak, 1984]. W polskiej części Niecki Turossowskiej wyróżnia się mniejsze jednostki fizjograficzne: Dolina Nysy Łużyckiej, Dolina Miedzianki, Wododziałowy Grzbiet Rybarzowicki, Plateau Kopaczowa, wyrobisko kopalniane Turów I, II i III oraz zwałowisko wewnętrzne i zewnętrzne [Zwoździak, 1995]. Wyrobisko kopalniane o ogólnym przebiegu NW-SW, sięga do głębokości ponad 210 m, a jego powierzchnia jest ciągle powiększana. W północnej części wyrobiska znajduje się „stare” zwałowisko. Na wschód od wyrobiska zlokalizowane jest olbrzymie zwałowisko zewnętrzne, które osiągnęło swoją docelową powierzchnię ok. 2175 ha i wysokość bezwzględną ok. 475 m n.p.m.

W północno-zachodniej i południowo-zachodniej części wyrobiska górniczego znajdują się zwałowiska wewnętrzne.



Mapa 1. Lokalizacja Worka Turowszowskiego

1.5.2. Historia obszaru badawczego

Zorganizowana górnicza eksploatacja złoża węgla brunatnego na terenie Worka Żytawskiego prowadzona jest od 1904 roku metodą odkrywkową, przez utworzone wówczas Towarzystwo Akcyjne „Herkules”. W latach 1945-1947 całość pod nazwą „Graniczna” znajdowała się pod zarządem Armii Czerwonej. W 1947 roku, po przejęciu terenu przez skarbu Państwa Polskiego, powstała Kopalnia Węgla Brunatnego „Turów” [Dobrzyński, Bukowski, 2002].

W wyniku powstania w 1958 roku kombinatu górniczo-energetycznego nastąpiła intensywna jego rozbudowa. Zaczęto budowę Elektrowni „Turów” i odkrywki „Turów II” obok istniejącej już odkrywki „Turów I”. Dla tego zadania utworzono odpowiednią infrastrukturę techniczną, komunikacyjną i socjalną. W 1965 roku oddano do eksploatacji Elektrownię „Turów”. W tym czasie kopalnia „Turów” osiągnęła zdolność produkcyjną rzędu 17 mln Mg węgla brunatnego rocznie.

Od 1991 roku podjęto prace modernizujące Elektrownię „Turów”. Główne założenia tych prac dotyczyły dostosowania bloków energetycznych do wymogów Unii Europejskiej.

Jednocześnie Kopalnia „Turów” realizowała szereg inwestycji proekologicznych, związanych z:

- ograniczaniem emisji niezorganizowanej ze zwałowiska zewnętrznego,
- osiągnięciem dopuszczalnego poziomu hałasu emitowanego do środowiska,
- zmniejszeniem zanieczyszczenia przez zrzuty wód kopalnianych wód rzeki Nysy Łużyckiej.

Skutkiem przedsięwziętych przez oba przedsiębiorstwa działań było skreślenie ich w latach 2000-2001 z listy osiemdziesięciu najbardziej uciążliwych zakładów w Polsce.

W 2000 roku Kopalnia „Turów” straciła status przedsiębiorstwa państwowego – została skomercjalizowana – przekształcając się w spółkę akcyjną z jednoosobowym udziałem Skarbu Państwa.

W ramach odkrywkowej eksploatacji złóż węgla brunatnego w kopalni „Turów” usuwa się skały płonne, stanowiące nadkład oraz warstwy zalegające między pokładami węgla brunatnego (fot. 1).



Fot. 1. Urabianie nadkładu koparką [fot. Zajęc, 2004]

Nadkład i węgiel urabiane są wielkogabarytowymi koparkami i usypywane zwałowarkami na zwałowiska wewnętrzne.

W opisywanym przypadku, zwałowisko zewnętrzne funkcjonowało do 2005 roku. Obecnie prowadzone są na nim prace demontażowe oraz rekultywacyjne.

Do maja 2005 roku w Kopalni „Turów” wydobyto 809 mln Mg węgla brunatnego. Zakończenie wydobywania przewiduje się na rok 2035. Wyrobisko górnicze zajmuje obecnie powierzchnię 24,09 km², tworzoną przez zagłębienie o głębokości do 210 m (docelowo osiągnie 300 m) [źródła własne BOT KWB Turów].



Fot. 2. Widok na fragment odkrywki [fot. Marcinonis, 2004]

1.5.3. Geologia i hydrogeologia obszaru

Niecka Żytawska, w której zlokalizowana jest Kopalnia „Turów”, stanowi strukturę zapadliskową pochodzenia tektonicznego. Jej powstanie przypada na górną oligocen i miocen [Sawicki, 2000]. W okresie miocenu w kotlinie tej występowały bardzo korzystne warunki do tworzenia się pokładów węgla brunatnego za sprawą ciepłego środowiska bagiennego [Sawicki, 2000].

Dno niecki i jej brzegi zbudowane są głównie z granitów rumburskich, gnejsów (granitoidy) oraz skał bazaltowych (bazaltoidy) [Fiszer, 1997,2000; Znamiorska-Karaś, 2000]. Zapadlisko wypełniają utwory trzeciorzędowej serii brunatno-węglowej wieku mioceńskiego, wykształcone w postaci ilów, piasków i żwirów z przewarstwieniami i pokładami węgla brunatnego, tworzących kilka cykli sedymentacyjnych o łącznej miąższości 350 m. Utwory trzeciorzędowe pokryte są warstwą osadów czwartorzęd-

dowych reprezentowanych przez fluwioglacjalne piaski, żwiry i gliny oraz holocenijskie piaski i żwiry tarasów rzecznych [Fiszer, 2000].

W okresie mioceńskim miały miejsce ruchy górotwórcze, a ich nasilenie nastąpiło pomiędzy sedymentacją pierwszego i drugiego pokładu węgla. Spowodowały one powstanie wielu uskoków i wypiętrzeń starszego podłoża i dolnego pokładu węgla. Do najważniejszych uskoków należy zaliczyć uskok Bogatyni, uskok główny oraz uskok południowy [Sawicki, 2000].

Kompleksy litostratygraficzne na omawianym terenie przedstawiają się następująco:

Podłoże krystaliczne stanowią skały magmowe i metamorficzne głównie granity, granitognejsy, łupki łuszczkowe i bazalty.

Kompleks zwietrzelin skał podłoża stanowią silnie skaolinizowane zwietrzeliny granitowe. W mniejszym stopniu są to ilaste zwietrzeliny bazaltoidów i towarzyszące im brekcje i tufy. Kompleks zwietrzelin tworzy rozległe i grube pokrywy [Fiszer, 2000; Sawicki, 2000].

Kompleks podwęglowy jest to zespół litologicznie zróżnicowanych osadów ilasto-piaszczystych. Dominujące w składzie kompleksu ility kaolinowe cechuje zmienna domieszka materiału piaszczystego.

Pokład I węgla (dolny) stanowi jednolitą, z nielicznymi i drobnymi przerostami w partii przyspągowej, ławę węgla ziemisto-ksylitowego, charakteryzującego się wysokim uwęglaniem. Występuje głównie w częściach centralnych złoża osiągając miąższość do 35 m.

Kompleks międzywęglowy to zespół warstw ilastych w różnym stopniu zapiaszczonych oraz wkładek i soczew węgla brunatnego przeważnie zailonego o miąższości do kilkudziesięciu metrów.

Pokład II węgla; najbardziej rozprzestrzeniony i najgrubszy pokład węgla o średniej miąższości ok. 15 m i maksymalnej 65 m. Stanowi jednolitą z licznymi przerostami ility w partii przyspągowej ławę węgla ziemisto-ksylitowego z cienkimi wkładkami węgla bitumicznego (piropisytu).

Pokład III węgla zalegający w zboczach północnym, zachodnim i wschodnim odkrywki, wykształconych w przewodzie w postaci węgli ksylitowych.

Kompleks nadwęglowy jest to najgrubszy (do 200 m) i najbardziej zróżnicowany litologicznie zespół osadów [źródła własne BOT KWB Turów]. Stanowią go warstwy iłków i iłków piaszczystych, piasków i żwirów o różnym stopniu zailenia i zawierających nieregularne warstwy węglowe.

Kompleks czwartorzędowy to głównie gliny piaszczyste i pylaste oraz piaski i żwiry. Tworzą one łącznie kilkunastometrową pokrywę osadów [Krzaklewski, 1989; Fiszler, 2000].

Uśredniona wartość miąższości złoża węgla wynosi ok. 34 m, z największymi zasobami w zachodniej części złoża (w rejonie filara Nysy Łużyckiej) – ok. 62 m. Miąższość nadkładu to średnio około 160 m, z pogłębieniem w południowo-zachodniej części wyrobiska – do około 242 m. Największe wartości dla współczynnika geologicznego nadkładu odnotowywane są w południowo-wschodniej części, gdzie wynoszą 13,1:1.

Wśród osadów trzeciorzędowych wydzielone są trzy kompleksy ilaste: A, B i C, rozdzielone pokładami węgla. Pod spągiem I pokładu występuje kompleks A – o średniej miąższości ok. 30 m, ility zalegające pomiędzy I a II pokładem tworzą kompleks B – o średniej miąższości ok. 40 m, ility zalegające nad górnym pokładem węgla tworzą natomiast kompleks C [Miklaszewski, 1990; Wąchalewski, Krzaklewski, 1995].

Wydobywany węgiel brunatny zalega między Nysą Łużycką a jej prawobrzeżnym dopływem Miedzianką. Nysa Łużycka w rejon złoża spływa z republiki Czeskiej, gdzie ma swoje obszary źródłiskowe w zachodniej części Gór Izerskich. Ma to wpływ na wielkość jej przepływów i stany wód, ponieważ w tej części Gór Izerskich opady dochodzą do około 1500 mm rocznie [Sawicki, 2000].

Południową część złoża odwadniają cieki: Biedrzychówka, będąca dopływem Nysy oraz Ślad – dopływem Miedzianki, zaś południowo-wschodnią: potok Czerwienica, wpadający do Miedzianki [Gołowin, 1991; Janeczko-Mazur, 1998, 2000]. Oprócz rzek i potoków na omawianym obszarze znajdują się zbiorniki wód stojących: zbiornik Zatonie (zaopatruje kopalnię i elektrownię w wodę pitną), zbiornik A (służy do ochrony odkrywki przed wodami ze zlewni naturalnej) oraz stawy rybne.

Warunki hydrogeologiczne złoża węgla brunatnego kształtowane są przez trzy piętra wodonośne: czwartorzędowe, trzeciorzędowe i trzeciorzędowo-paleozoiczne, na które w sposób istotny oddziałuje tektonika złoża.

Czwartorzędowe piętro wodonośne reprezentowane jest przez poziomy wodonośny występujący w osadach dolin rzecznych, osadach piaszczysto-żwirowych poza dolinami rzek i w gruntach nasypowych zwałowisk. Osady rzeczne związane są głównie z dolinami rzek Nysa Łużycka i Miedzianka. Poziom ten charakteryzuje się zwierciadłem swobodnym, którego wysokość zalegania zależna jest od opadów atmosferycznych.

Trzeciorzędowe piętro wodonośne dzieli się na trzy poziomy: nadkładowy, międzywęglowy i podwęglowy. Zbiornikami tych pięter są przewarstwienia oraz soczewy piasków i żwirów wśród ilów i węgla.

Poziom nadkładowy cechuje się największą zasobnością w wodę. Poziom międzywęglowy związany jest z piaskami i żwirami. Poziom podwęglowy wykształcony jest w postaci warstw i soczew wśród ilów [Fischer, 2000; Sawicki, 2000].

Trzeciorzędowo-paleozoiczne piętro wodonośne występuje w spękaniach skał krystalicznych podłoża oraz jego zwietrzelinach i charakteryzuje się występowaniem wód naporowych.

W związku z eksploatacyjną działalnością kopalni, w rejonie oddziaływania zakładu ulegają zmianie stosunki wodne. W miarę zwiększania się głębokości odkrywek zwiększa się powierzchnia odwadniania i lej depresji terenu [Sawicki, 2000]. Zlewnia powierzchniowa i podziemna odkrywki wyraźnie różnią się zasięgiem i wielkością. Zlewnia powierzchniowa jest zmienna i zajmuje obszar niewiele większy od odkrywki, natomiast zlewnia wód podziemnych obejmuje całą strukturę warstw wodonośnych. Zasięg zlewni podziemnej jest tym samym znacznie większy niż powierzchniowej.

Znaczne przyrosty leja depresji terenu obserwowano na przestrzeni lat 1984-1990, zarówno po stronie niemieckiej i czeskiej. Po tym okresie zaznaczył się wyraźny spadek jego przyrostu, co związane było z rozpoczęciem zwałowania wewnętrznego oraz rekultywacją odkrywki Olbersdorf po stronie niemieckiej [Fischer, 2000].

Budowa zwałowiska zewnętrznego również wpłynęła na zmianę wielkości i charakteru zlewni istniejących przed rozpoczęciem zwałowania, w stosunku do warunków naturalnych. W związku z zajmowaniem wielu terenów źródłiskowych, z których odpływ jest ograniczony, zwałowanie zewnętrzne oddziałuje ujemnie na ogólny bilans przepływów w naturalnych ciekach.

Obecnie obszar zwałowiska można podzielić na sześć zlewni cząstkowych: zlewnia potoku Bezimiennego, Krzywej Strugi, potoku Czerwienica, Rybiego Potoku, potoku Okleśna, rzeki Miedzianki.

Wody opadowe, spływające ze zwałowiska zewnętrznego, odprowadzane są do Nysy Łużyckiej [Sawicki, 2000].

1.5.4. Warunki meteorologiczne regionu

Nad obszar Worka Żytawskiego napływają masy atmosferyczne pochodzenia zarówno oceanicznego jak i kontynentalnego, z przewagą cyrkulacji zachodniej. Północna część obszaru należy do grupy klimatów podgórskich nizin i kotlin, natomiast południowa do grupy klimatu górskiego.

Temperatura roczna powietrza z wielolecia wynosi $7,9^{\circ}\text{C}$ dla stacji meteorologicznej Zittau-Hirschwelde i $8,3^{\circ}\text{C}$ dla stacji meteorologicznej w Zgorzelcu [Rzeźnicki, Zwoździak, 1998, 2000]. Najchłodniejszym miesiącem według danych Zittau-Hirschwelde jest styczeń ($-1,4^{\circ}\text{C}$), a najcieplejszym lipiec ($17,3^{\circ}\text{C}$). Okres wegetacyjny w tym rejonie trwa ponad 220 dni [Rzeźnicki, Zwoździak, 1998].

Wilgotność powietrza na opisywanym terenie wynosi średnio w ciągu roku 79%. Najwyższą wilgotność powietrza (82-86%) obserwuje się od października do lutego. Opady na obszarze Worka Żytawskiego wykazują wyraźną zależność od hipsometrii i ekspozycji stoków. Wysokość rocznych opadów przekracza 706 mm, a w wyżej położonych terenach 716 mm (Stacja Zittau-Hirschwelde – 258 m npm) [Rzeźnicki, Zwoździak, 1998].

Na obszarze Kotliny Turowskiej 61,3% sumy rocznej opadu przypada na okres wegetacyjny (kwiecień-wrzesień). Najwyższe sumy opadu (80-90 mm) przypadają na lipiec, sierpień i czerwiec, najmniejsze (30-40 mm) na luty, marzec i listopad. Średnia wieloletnia liczba dni z opadem powyżej 10 mm wynosi dla obu stacji odpowiednio 17 i 18 dni. Średnia wieloletnia liczba dni z opadem śniegu na omawianym obszarze wynosi od 38 w Zittau do 45 dni w Zgorzelcu.

Trwałość pokrywy śnieżnej wynosi około 50 dni, a udział śniegu w rocznej sumie opadów to około 13 % [Rzeźnicki, Zwoździak, 1998]. Średnia roczna prędkość wiatru na obszarze Worka Żytawskiego wynosi 2,4 m/s [Rzeźnicki, Zwoździak, 2000]. Tylko w grudniu i styczniu odnotowuje się średnie prędkości wiatru powyżej 3,0 m/s.

Z analizy procentowego rozkładu prędkości wiatru i kierunków ich występowania w rejonie Worka Żytawskiego, wynika że przeważają wiatry S-W (15%), S (20%) i W (12%), które łącznie stanowią około 50% wszystkich przypadków. Częstotliwość występowania cisz wynosi 22% (tab. 3.) [Rzeźnicki, Zwoździak 1998; Twarowski, Rendolla, 1996].

Tabela 3. Procentowy rozkład kierunków wiatru dla obszaru Worka Żytawskiego w latach 1981-1990 [Rzeźnicki, Gwoździak, 1998]

V (m·s ⁻¹)	Kierunek wiatru								Cisza	Suma
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW		
0:1	-	-	-	-	-	-	-	-	22,0	22,0
1:2	3,4	2,9	3,3	3,2	9,2	8,7	6,8	3,9	-	41,4
2:5	2,3	1,7	1,9	2,6	7,7	5,5	4,4	2,7	-	28,8
5:7	0,2	0,2	0,4	0,5	1,3	0,6	0,6	0,3	-	4,1
7:10	0,1	0,1	0,3	0,4	1,1	0,2	0,2	0,1	-	2,5
10:16	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	-	0,8
≥ 16	-	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	-	0,0	-	0,4
Suma	6,0	5,0	6,0	7,0	20,0	15,0	12,0	7,0	22,0	100,0

Forma kotlinowa obszaru sprzyja efektom zastoiskowym, które polegają na adwekcji chłodnej masy powietrza z sektorów W-NE, spiętrzeniu na grzbiecie Sudetów i zatrzymaniu jej. Efekt ten powoduje przede wszystkim zjawisko inwersji termicznej i zahamowanie pionowej wymiany powietrza [Zwoździak, 1998].

1.5.5. Przebieg prac rekultywacyjnych na obiekcie badawczym

Kopalnia Węgla Brunatnego „Turów” rozpoczęła działalność rekultywacyjną zwałowiska zewnętrznego w roku 1960, przyjmując leśny kierunek rekultywacji jako główny [Krzaklewski, Żuławski, 1987].

Lata 1960-68 obejmowały działania o charakterze pionierskim i eksperymentalnym. Prace rekultywacyjne prowadzone były wówczas nieplanowo, bez wstępnego wykonania rekultywacji technicznej. Wynikało to z braku doświadczeń i opracowań naukowych dotyczących rekultywacji, a także braku koncepcji zagospodarowania terenów zrekultywowanych. Decyzja o leśnym kierunku zagospodarowania została wydana w 1968 roku. Przeprowadzone doświadczenia polowe posłużyły do opracowania koncepcji rekultywacji oraz wytycznych dla dalszego jej prowadzenia.

Do 1968 roku kopalnia „Turów” zrekultywowała 91 ha zwałowiska, nie przekazując ani jednego hektara do zagospodarowania przyszłemu użytkownikowi [Krzaklewski, Żuławski, 1989]. Wnioski z doświadczeń i analizy laboratoryjne gruntów zrekultywowanych doprowadziły do sformułowania oceny skuteczności przeprowadzonych zabiegów rekultywacyjnych. Na tej podstawie, w oparciu o Uchwałę Rady Ministrów nr 301 z

dnia 06.09.1966 roku, zostały sformułowane przez Skawinę: „Wytyczne ogólne dla przeciwozyjnej obudowy skarp i wierzchowin zwałowiska zewnętrznego KWB Turów” [Skawina, 1958]. Wytyczne określały m.in. konieczność odpowiedniego ukształtowania powierzchni oraz budowania tarasów zmniejszających spadek skarp, a także konieczność neutralizacji gruntów zwałowiskowych wodą amoniakalną w stopniu wystarczającym do ich potencjalnego uproduktywnienia. W fazie rekultywacji szczegółowej zalecano wprowadzić nawożenie azotowe w formie saletrzaku, przedsięwzięcie nawożenie potasowe, a także wykonać wysiew mieszanki wieloletniej roślinności motylkowej i traw.

Do zadrzewiania zalecano stosować gatunki pionierskie takie jak: olsza czarna i szara, grochodrzew, czeremcha amerykańska, topole – niekłańska i hybryda 275a, a po ich wykarczowaniu nasadzić docelowo: modrzew pospolity, jesion, lipę, grab, klony, dąb szypułkowy i bezszypułkowy, sosnę czarną oraz krzewy: rokitnik, sumak octowiec, kalinę koralową i róże [Skawina, 1958].

Po roku 1968 zaczęto już planowo przeprowadzać prace z zakresu rekultywacji technicznej, kształtując powierzchnię zwałowiska w sposób zapewniający stateczność skarp oraz spełnienie wymogów, stawianych przez przyszłych użytkowników terenów rekultywowanych.

W latach 1973-76, we współpracy z Instytutem AGH Kraków, kierowanym przez prof. Tadeusza Skawinę, US EPA oraz COBPGO „Poltegor”, przeprowadzone zostały pierwsze badania nad uprawą szeregu gatunków rolniczych na zwałowisku zewnętrznym KWB „Turów” [Bauman, Gołda, 1993]. Przeprowadzone badania wskazywały na niskie plonowanie i zawodność upraw, nawet przy sprzyjających warunkach pogodowych [Bauman, Gołda, 1993].

W latach 1982-88, wspólnie z Akademią Rolniczą we Wrocławiu, US EPA i Poltegorem, zostały przeprowadzone doświadczenia polowe nad tworzeniem się gleb poprzez izolację powierzchni warstwą gruntów pochodzących z poziomów próchnicznych gleb użytków rolnych znajdujących się na przedpolu odkrywki [Krzaklewski, Żuławski, 1987; Wysocki, Stawiarski 1988]. Humusowanie gruntów zwałowiskowych utworami próchnicznymi, naniesionymi jako warstwa o miąższości od 20 do 80 cm stwarza warunki dla dobrego plonowania, co potwierdziło wykonane przez Poltegor doświadczenie polowe [Bauman, Gołda, 1993]. Pomimo pozytywnych wyników doświadczeń, zaniechano uprawiania roślin uprawnych na zwałowisku. Głównym powodem był zbyt duży koszt związany z zebraniem, transportem i rozplantowaniem poziomów próchnicznych.

Poza tym wysokie koszty produkcji rolniczej i jednoczesny spadek jej opłacalności definitywnie przekreśliły możliwość rekultywacji rolniczej zwałowisk.

Biorąc powyższe wyniki pod uwagę, uznano wówczas za bardziej perspektywiczny drugi kierunek rekultywacji – leśny. Wynikało to przede wszystkim z właściwości gruntów zwałowiskowych i z położenia obiektu w strefie silnego (wówczas) zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Nie bez znaczenia był też 70% udział skarp w powierzchni zwałowiska zewnętrznego [Bauman, Gołda, 1993].

Zagospodarowanie leśne, po zrealizowaniu niezbędnych zabiegów poprawiających właściwości gruntów zwałowiskowych oraz wprowadzeniu dostosowanej roślinności, zapewnia ciągłość procesów glebotwórczych, przy minimalizacji kosztów i ograniczonej ingerencji człowieka. Odpowiednio dobrane zbiorowiska roślinności drzewiastej pełnią rolę głównego czynnika glebotwórczego w procesie rekultywacji i późniejszego zagospodarowania zwałowisk. Zauważyć należy, że w tym okresie, w składzie zalesień, zdecydowanie dominowały gatunki pionierskie i przeciwerozyjne.

W latach 90-tych prace podporządkowane były poszukiwaniom nowych rozwiązań, mających za zadanie przyspieszenie wzrostu roślinności w początkowym okresie rekultywacji, w celu zahamowania procesów erozyjnych oraz wzmożenia aktywności biologicznej utworów zwałowiskowych. Zadanie to realizowała kopalnia Turów we współpracy z instytucjami i przedsiębiorstwami (m.in. Akademią Rolniczą we Wrocławiu i Poltegorem – Wrocław), poprzez wprowadzanie substancji biologicznie czynnych lub związków czy preparatów poprawiających niektóre właściwości gruntów lub substancji ograniczających splukiwanie nasion [Bauman, Gołda, 1993; Niemyska-Łukaszuk 1995].

Przeprowadzane działania obejmowały m.in. następujące prace:

- humusowanie gruntów zwałowiskowych utworami próchnicznymi warstwą o grubości 3-20 cm, z całkowitym lub częściowym przemieszaniem humusu z utworami zwałowiskowymi,
- stosowanie awiohydroobsiewu z zastosowaniem osadów ściekowych,
- stosowanie biohumusu w różnych dawkach,
- stosowanie mieszanek o różnej kombinacji preparatów, typu Terravest, Torfidol, Ekogel,
- zastosowanie nawozów huminowych opartych na węglu brunatnym [Bauman, Gołda, 1993; Niemyska-Łukaszuk, 1995; Wysocki, 1998].

Obecnie teren jest kształtowany w formie skarp i półek, przy nachyleniu nie większym niż 1:3,3 [Krzaklewski, Wójcik, 1990, 1991]. Przeprowadzane roboty ziemne umożliwiają wykonanie odwodnienia powierzchniowego, celem kontrolowanego odprowadzania wód opadowych. Na każdym poziomie zwałowiska budowane są rowy odwadniające ziemne, lub siatkowo-kamienne.



Fot. 3. Rów odwadniający siatkowo-kamienny [fot. Marcinonis, 2005]



Fot. 4. Rów odwadniający umocniony elementami betonowymi [fot. Marcinonis, 2005]

Budowane są również rowy umocnione elementami betonowymi, z których wody odprowadzane są do ziemnych zbiorników, pełniących rolę osadników. Następnie trafiają do zbiorników osadowo-retencyjnych znajdujących się na przedpolu zwałowiska, pełniących zarówno rolę osadnika jak i zabezpieczającą teren przyległy przed zatopieniem. W ramach rekultywacji technicznej budowane są również drogi dojazdowe, a niektóre powierzchnie na zwałowisku są humusowane.

Od chwili rozpoczęcia rekultywacji zmieniały się kilkakrotnie zasady doboru składu gatunkowego i sposobu wprowadzania zalesień. Stanowiły one wypadkową pomiędzy wymogami rekultywacyjnymi (proces odtwarzania gleby i zabezpieczenie przeciwerozyjne) a wymaganiami przyszłych użytkowników tych terenów. Były również dostosowywane do parametrów obiektu (kształt, wysokość) oraz aktualnej wiedzy z zakresu rekultywacji [źródła własne BOT KWB Turów].



*Fot. 5. Widok na odkrywkę ze zwałowiska zewnętrznego BOT KWB Turów
[fot. Marcinonis, 2005]*

W miarę poprawy parametrów obiektu, związanych głównie ze zmniejszaniem się powierzchni i wykonaniem prac hydrotechnicznych, zmieniał się udział gatunków wprowadzanych w ramach zalesień należących do produkcyjnych, fitomelioracyjnych, przeciwerozyjnych i biocenotycznych. W składzie zalesień gatunki produkcyjne stanowiły około 65% [Krzaklewski, Wójcik, 1993]. Wraz ze zmianą składu zalesień zmianie

uległy zalecenia dotyczące stosowanych nawozów mineralnych i ich ilości, wykonywanych zabiegów agrotechnicznych oraz ilości wysiewanych nasion roślin motylkowych i traw.

Aktualnie, zgodnie z przyjętą i realizowaną technologią, prace rekultywacyjne obejmują:

- prace studialno-projektowe,
- fazę techniczną; ukształtowanie rzeźby terenu, regulacja stosunków wodnych, budowa dróg,
- fazę biologiczną; prace agrotechniczne (neutralizacja, hydroobsiew, nawożenie mineralne),
- prace zalesieniowe,
- pielęgnację upraw.

W ramach rekultywacji biologicznej wykonuje się: neutralizację z dwukrotnym kultywatorowaniem (przed i po wysiewie neutralizatora); następnie hydroobsiew z wykorzystaniem nawozu mineralno-organicznego MONT. Kolejne zadanie to ręczny siew łubinu trwałego, zalesianie i nawożenie mineralne główne w II roku wegetacji drzewek oraz nawożenie uzupełniające w III i IV roku wegetacji roślin.

Do neutralizacji gruntu stosuje się mieszankę wapna tlenkowego (10 t/ha), dolomitu (5 t/ha) i mączki fosforytowej (1,5 t/ha), w ilości łącznej 16,5 t/ha. Po wykonaniu neutralizacji, przed hydroobsiewem wykonuje się bruzdowanie na głębokość ok. 20 cm.

Za pomocą hydroobsiewu wysiewana jest mieszanka nasion traw i roślin motylkowych wraz z uwodnionym nawozem mineralno-organicznym produkowanym na bazie węgla brunatnego ziemistego (MONT) wzbogaconym nawozami mineralnymi. W składzie mieszanki wysiewanych roślin są takie gatunki jak: mietlica rozłogowa, rajgras angielski, kostrzewa czerwona, koniczyna biała, komonica rożkowa. Nasiona łubinu trwałego są zaprawione. Podczas prac zalesieniowych wprowadza się w odpowiednim udziale 2- lub 3-letnie sadzonki: brzozy brodawkowatej, dębu czerwonego, modrzewia europejskiego, sosny czarnej, lipy drobnolistnej, klonu zwyczajnego, jesionu wyniosłego, buka zwyczajnego oraz fitomelioracyjnych: olszy szarej i czarnej, czeremchy amerykańskiej.

Materiał nasadzeniowy pochodzi ze szkółek założonych na gruntach leśnych. W drugim roku wzrostu drzewek stosuje się nawożenie mineralne podstawowe przy zastosowaniu mocznika i soli potasowej, a w 3- i 4-tym roku wegetacji wykonywane jest nawożenie uzupełniające przy użyciu mocznika.

Ostatnim etapem prac rekultywacyjnych są zabiegi pielęgnacyjne. Obejmują one poprawę warunków glebowych poprzez dodatkową neutralizację, uzupełnienie nadmiernych wypadów roślinności zielnej i drzewiastej. Gatunki główne: dęby, klon jawor, które są szczególnie narażone na zgryzanie przez zwierzyńnię leśną zabezpiecza się używając osłon plastikowych lub środki chemiczne [źródła własne BOT KWB Turów].

1.5.6. Opis obiektu przed rekultywacją

Utwory składowane na zwałowisku zewnętrznym i wewnętrznym to materiał skalny, bezglebowy, usypywany nieselektywnie. Masowe zdejmowanie nadkładu powoduje powstawanie na zwałowisku utworów o przypadkowym składzie. O tym, jakie skały nadkładowe i w jakim stopniu ilościowym będą zmieszane, decyduje położenie poszczególnych poziomów wydobywczych oraz aktualna sytuacja w obrębie frontu eksploatacyjnego i transportowego [Krzaklewski, 1989].

W gruncie zwałowym dominują utwory kompleksu nadwęglonego, stanowiące około 90%, z przewagą utworów zwięzłych – ilów trzeciorzędowych. Utwory z kompleksu międzywęglowego tworzą około 9% zwałowiska, natomiast resztę stanowią utwory kompleksu zwietrzelin skał i podłoża [Bauman, 1993; Miklaszewski, 1990].

Skały ilaste wykazują skład mineralogiczny ilów kaolinitowych w różnym stopniu zapiaszczonych, ze zmienną domieszką minerałów ilastych grupy mik i illitów. W mniejszych ilościach występują również zwietrzałe skalenie. Stosunek ilościowy kaolinitu do illitu jest wyższy w najdrobniejszych frakcjach [Bolewski, 1971]. W przeważającej części utwory te mają odczyn silnie kwaśny (nawet fitotoksyczny), związany głównie z obecnością siarczków żelaza.

Nadkład charakteryzują wadliwe właściwości powietrzno-wodne, wynikające z dużego udziału frakcji spławialnych oraz niska zasobność w azot, fosfor i wapń [Wąchalewski, Krzaklewski, 1995].

Według uproszczonej klasyfikacji Skawiny [Skawina, Trefas, 1971] grunty te można zaliczyć do następujących klas przydatności rekultywacyjnej:

- klasa B; grunty przydatne do rekultywacji leśnej i mniej przydatne do rolnej,
- klasa C; grunty przydatne do rekultywacji leśnej, po ulepszeniu,
- podklasa EC; grunty toksyczne – utwory zawęglone i zasiarczone [Wąchalewski, Krzaklewski, 1995; Skawina, 1969].

Nadmierne zagęszczenie omawianych utworów oraz ich bezstrukturalność powoduje skokową zmienność ich konsystencji. W przypadku braku wilgoci stają się one nadmiernie zagęszczone, a w przypadku nadmiernego zawilgocenia są zlewne i pozbawione odpowiedniej ilości powietrza glebowego [Wąchalewski, Krzaklewski, 1995].

Kopalnia „Turów”, oprócz skał nadkładu, na zwałowisko zewnętrzne składowała w latach 1972-1999 popiół z Elektrowni „Turów”, który stanowił objętościowo 6-7% skał nadkładu. Oprócz popiołów od 1994 do 1999 roku deponowano także produkty suchego odsiarczania spalin [Bukowski, Holinka, 2002].

Zwałowany popiół, należący do grupy popiołów krzemianowo-glinowych (ok. 52% SiO_2 i 25% Al_2O_3), odznaczał się odczynem lekko kwaśnym (około 6,5 pH) i niską zawartością wapnia (około 4-7%) [Krzaklewski, 1997; Rzeźnicki, 1998]. Produkty suchego odsiarczania spalin zawierały zwiększoną zawartość siarki oraz nieznacznie wzbogacały nadkład w potas i fosfor [Rzeźnicki, 1998]. Przeprowadzone badania wykazały, że deponowanie wraz z nadkładem popiołu i produktów suchego odsiarczania spalin z Elektrowni „Turów” przyczyniło się do znacznego wzrostu mineralizacji spływających ze zwałowiska wód powierzchniowych [Rzepa, 2000]. Odnotowano wzrost stężenia siarczanów, sodu oraz w mniejszym stopniu potasu [Janeczko-Mazur, 1998; Rzepa, Owczarek, 1999]. W analizowanych wodach powierzchniowych, spływających ze zwałowiska, stwierdzono także wpływ popiołu na zawartość w nich żelaza ogólnego i glinu [Janeczko-Mazur, 1998].

Obecnie popiół z produktami odsiarczania spalin z Elektrowni „Turów” jest składowany w północnej części wyeksploatowanej odkrywki. Zabezpieczany jest przed pyleniem i erozją wodną poprzez zabudowę biologiczną, przez tzw. darniowanie. Powierzchnia zadarniona w miesiącach letnich jest zraszana.



Fot. 6. Zabudowa biologiczna popiołów i produktów odsiarczania spalin z Elektrowni Turów [fot. Marcinonis, 2006]

1.5.7. Opis obiektu zagospodarowanego

Zwałowisko zewnętrzne w KWB „Turów” osiągnęło już swoją docelową powierzchnię około 2175 ha. Stanowi ono współcześnie wzniesienie skarpowo-półkowe o wysokości ok. 470 m n.p.m.

Prowadzona na zwałowisku rekultywacja leśna pozwoliła dotychczas uzyskać 1979 ha zalesionej powierzchni, z czego 1708 ha przekazane zostało do zagospodarowania Lasom Państwowym [źródła własne BOT KWB Turów].

Powstające zbiorowiska leśne tworzą wielogatunkowe drzewostany, porastające inicjalną glebę oraz zasilające ją specyficzną mikroflorą. Ekosystem leśny rozwija się w kierunku jednostek upodabniających się do siedlisk lasu świeżego wyżynnego lub lasu mieszanego wyżynnego [Krzaklewski, 2001]. Pomimo, że struktura zalesień jest charakterystyczna dla lasów młodych, stanowią one istotny czynnik krajobrazowy i klimatyczny, komponujący się dobrze z górzystym otoczeniem. Szczególnie ważna jest ich rola glebotwórcza i ochronna, przy tym estetyczna.

W miarę postępu prac rekultywacyjnych poprawia się stan aerozolu powietrza w zasięgu oddziaływania zwałowiska. Istotnie zmniejszyły się stężenia pyłu zawieszonego oraz spadła częstość przekroczeń stężeń dopuszczalnych i maksymalnych pyłu [Rzeźnicki, Zwoździak, 2000].

Kompleks leśny korzystnie oddziałuje również na kształtowanie bilansu wodnego zwałowiska przez retencjonowanie znacznych ilości wód opadowych w powstającej ściółce i glebie. Stanowi to barierę dla przemieszczających się zanieczyszczeń transgranicznych.

2. Metodyka badań

2.1. *Obiekt badań*

Wieloetapowe badania obejmowały prace kameralne, terenowe i laboratoryjne. Badaniami objęto zwałowisko zewnętrzne w BOT KWB Turów S.A.

Dla scharakteryzowania zmian w materiale gruntowym i ukształtowanym krajobrazie rekultywowanych zwałowisk na przestrzeni lat, wybrano reprezentatywne powierzchnie badawcze.

Zestawienie stanowisk badawczych:

- grunt zwałowy (po wykonaniu prac makroniwelacyjnych, przed rekultywacją biologiczną),
- w pierwszym roku rekultywacji, po wykonaniu neutralizacji gruntu,
- dwie w pierwszym roku, po wykonaniu neutralizacji i hydroobsiewu,
- w drugim roku, po wykonaniu nawożenia mineralnego,
- w czwartym roku, po wykonaniu nawożenia mineralnego,
- dwie z 10-letnim zalesieniem,
- z 12-letnim zalesieniem,
- z 14-letnim zalesieniem,
- cztery z 16-letnim zalesieniem,
- z 25-letnim zalesieniem,
- z 30-letnim zalesieniem,
- z 40-letnim zalesieniem.

Na powierzchniach: w pierwszym roku wegetacji, w drugim roku i w czwartym roku, w ramach prac rekultywacyjnych zastosowano:

- neutralizację i podwójne kultywatorowanie przed i po wysiewie neutralizatora, przy zastosowaniu wapna tlenkowego, maczki fosforytowej i dolomitu,
- bruzdowanie; wyorywanie bruzd na głębokość ok. 30 cm,
- hydroobsiew; wysiew traw roślinności zielnej i motylkowej w mieszance z mineralno-organicznym nawozem turoszowskim. W skład mieszanki weszły takie gatunki jak: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), mietlica rozłogowa (*Agrostis stolonife-*

- ra L.), rajgras angielski (*Lolium perenne* L.), koniczyna biała (*Trifolium repens* L.), komonica różkowa (*Lotus corniculatus* L.), w ilości 65 kg·ha⁻¹,
- wysiew ręczny łubinu trwałego (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) 10 kg·ha⁻¹,
 - sadzenie drzewek w ilości 10 000 szt·ha⁻¹,
 - w drugim roku wegetacji nawożenie mineralne mocznikiem i solą potasową,
 - w czwartym roku wegetacji nawożenie mocznikiem.

Na powierzchniach z 10-, 12-letnimi zalesieniami wykonano:

- neutralizację przy zastosowaniu:
 - wapna tlenkowego 10 Mg·ha⁻¹,
 - dolomitu 5 Mg·ha⁻¹,
 - mączki fosforytowej 1,5 Mg·ha⁻¹,
- wysiew mieszanki nasion traw i roślin motylkowych metodą hydroobsiewu w dawkach:
 - koniczyna biała (*Trifolium repens* L.) 15 kg·ha⁻¹,
 - komonica różkowa (*Lotus corniculatus* L.) 15 kg·ha⁻¹,
 - łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) 25 kg·ha⁻¹,
 - rajgras angielski (*Lolium perenne* L.) 10 kg·ha⁻¹,
 - mietlica rozłogowa (*Agrostis stolonifera* L.) 10 kg·ha⁻¹,
 - kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) 15 kg·ha⁻¹.

Skład gatunkowy i ilościowy zalesień:

- gatunki główne:

dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.) i czerwony (*Quercus rubra* L.) (1 500 szt/ha), brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.) (1 600 szt·ha⁻¹), sosna czarna (*Pinus nigra* Arn.) (500 szt·ha⁻¹), modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.) (1 500 szt·ha⁻¹), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), klon pospolity (*Acer platanoides* L.) (500 szt/ha), lipa drobnolistna (*Tilia cordata* Mill.), grab pospolity (*Carpinus betulus* L.), jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.), buk zwyczajny (*Fagus silvatica* L.) (1 000 szt·ha⁻¹).
- gatunki pomocnicze i fitomelioracyjne:

olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) i szara (*Alnus incana* (L.) Moench.) (3 000 szt·ha⁻¹), czeremcha amerykańska (*Prunus serotina* Ehrh.) (400 szt·ha⁻¹).

Więźba sadzenia 1x1m.

Formy mieszania gatunków:

- dęby, klon jawor, grab i lipa w formie kępowej na kwaterach o powierzchni 5-10 arów,
- sosna czarna w zmieszaniu drobnokępowym, na powierzchni do 5 arów,
- olsza wśród zalesień w zmieszaniu rzędownym, na kwaterach do 5 arów,
- czeremcha amerykańska równomiernie na całej powierzchni.

Nawożenie podstawowe (w drugim roku wzrostu drzewek):

- N-69 kg N/ha w postaci mocznika 46%- 150 kg·ha⁻¹,
- K₂O- 60 kg K₂O/ha w postaci soli potasowej 60%- 100 kg·ha⁻¹.

Nawożenie pogłównne (w 3,4-tym roku):

- 150 kg·ha⁻¹ mocznika.

Na powierzchniach z 14- i 16-letnim zalesieniem zastosowano:

- neutralizację jak na w/w powierzchniach 10 i 12 letnich,
- w hydroobsiewie: łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) 45 kg·ha⁻¹, koniczyna biała (*Trifolium repens* L.) i czerwona (*Trifolium pratense* L.) 25 kg·ha⁻¹, rajgras angielski (*Lolium perenne* L.) 10 kg·ha⁻¹, mietlica biaława (*Agrostis gigantea* Roth.) 10 kg·ha⁻¹,
- w pracach zalesieniowych zmniejszono ilość zalecanej olszy czarnej i szarej z 50% na 30% udziału, powiększa się natomiast udział dębu czerwonego i dębów rodzimych do 30% oraz modrzewia europejskiego do 20%,
- nawożenie mineralne: w drugim roku wegetacji mocznikiem i solą potasową, w czwartym roku wegetacji mocznikiem.

Na powierzchni z 25-letnim zalesieniem wykonywano:

- wapnowanie wapnem tlenkowo-magnezowym (20t·ha⁻¹),
- nawożenie mineralne fosforanem amonu (18% N, 46% P₂O₅ – 250 kg/ha), solą potasową (60%- 100 kg·ha⁻¹),
- siew nasion roślinności zielnej o składzie: łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) (20 kg/ha), komonica różkowa (*Lotus corniculatus* L.) (10 kg·ha⁻¹), koniczyna biała (*Trifolium repens* L.) i czerwona (*Trifolium pratense* L.) (5 kg·ha⁻¹), kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), mietlica biaława (*Agrostis gigantea* Roth.) (5 kg·ha⁻¹),
- zabiegi agrotechniczne:
 - spulchnianie gruntu – dwukrotnie kultywatorem,
 - rozsiew wapna,

- przemieszanie wapna z gruntem – dwukrotnie broną talerzową,
- siew nasion,
- przemieszanie nawozów z gruntem – brona ciężka,
- siew nasion,
- bronowanie posiewne,
- zalesianie; olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) – 4000 szt·ha⁻¹, olsza szara (*Alnus incana* (L.) Moench.) – 1000 szt·ha⁻¹, dąb czerwony (*Quercus rubra* L.) i szypułkowy (*Quercus robur* L.) – 15 szt·ha⁻¹, modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.) – 1500 szt·ha⁻¹, klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), klon pospolity (*Acer platanoides* L.), topola osika (*Populus tremula* L.), jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.), lipa drobnolistna (*Tilia cordata* Mill.) – po 500 szt·ha⁻¹, topola niekłańska (*Populus robusta* Schn.) oraz topola ‘H-275’ (*Populus hybrida* 275), jarząb pospolity (*Sorbus aucuparia* L.), czeremcha amerykańska (*Prunus serotina* Ehrh.) – po 500 szt·ha⁻¹,
- w formie zrzesów – topola niekłańska (*Populus robusta* Schn.) oraz topola ‘H-275’ (*Populus hybrida* 275),
- więźba sadzenia sadzonek topoli 9x9 m, więźba sadzenia zrzesów 1x0,5 m,
- nawożenie mineralne; podstawowe – mocznik 100 kg·ha⁻¹, fosforan amonu 250 szt·ha⁻¹, sól potasowa 100 szt·ha⁻¹ oraz uzupełniające; mocznik 200 szt·ha⁻¹, saletry amonowej 200 szt·ha⁻¹.

Na powierzchni 30-letniej zostały wykonane prace rekultywacyjne:

- wapnowanie wapnem nawozowym 4-5 Mg·ha⁻¹,
- nawozy azotowe 50 kg N w czystym składniku tj. 200 kg·ha⁻¹ saletrzaku,
- nawozy fosforowe 65-75 kg P₂O₅ czystego składnika tj. supertomasyny,
- nawozy potasowe 20 kg K₂O czystego składnika tj. 50 kg·ha⁻¹ 40% soli potasowej,
- na wierzchowiny i szerokie półki międzyskarpowe zalecano mieszankę w ilości 35 kg·ha⁻¹ o składzie: łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.), komonica rożkowa (*Lotus corniculatus* L.), nostrzyk biały (*Melilotus albus* Desr), kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), tymotka łąkowa (*Phleum pratense* L.),
- na skarpy mieszanka jak wyżej lecz w innych proporcjach ilościowych, w ilościach 50 kg·ha⁻¹,
- nawożenie mineralne: w drugim roku wegetacji mocznikiem i solą potasową, w czwartym roku wegetacji mocznikiem.

Na powierzchni 40-letniej nie były prowadzone prace makroniwelacyjne. Prace rekultywacyjne prowadzone były bez kształtowania rzeźby zwałowisk, nie planowo.

Niniejsza powierzchnia objęta była:

- neutralizacją wapnem nawozowym,
- wysiewem mieszanki nasion roślin wieloletnich motylkowych z trawami w ilości 35 kg·ha⁻¹ na wierzchowinach i 50 kg·ha⁻¹ na skarpach,
- nawożeniem azotowym, gdy grunt neutralizowano wapnem nawozowym- całkowita dawka w formie saletrzaku 30-60 kg N·ha⁻¹ podzielone na 2-3 części,
- zalesianiem:
 - gatunki pionierskie:
olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) i szara (*Alnus incana* (L.) Moench.) (w stosunku ilościowym 2:1), grochodrzew (*Robinia pseudoacacia* L.) z czeremchą amerykańską (*Prunus serotina* Ehrh.) (5:1), topola niekłańska (*Populus robusta* Schn.) oraz topola 'H-275' (*Populus hybrida* 275);
 - gatunki docelowe:
modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.), jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.), lipa drobnolistna (*Tilia cordata* Mill.), grab pospolity (*Carpinus betulus* L.), klony (*Acer* sp.), dęby (szypułkowy i bezszypułkowy) (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.), sosna czarna (*Pinus nigra* L.); krzewy: rokitnik pospolity (*Hippophaë rhamnoides* L.), sumak octowiec (*Rhus typhina* L.), kalina koralowa (*Viburnum opulus* L.), róże (*Rosa* sp.) i inne.

2.2. Prace kameralne

2.2.1. Prace kartograficzne

Prace kartograficzne oparto o materiały, będące w gestii BOT KWB Turów S.A., wykonane przez Dział Mierniczy i Dział Ochrony Środowiska i Gospodarki Gruntami.

Objęły one analizę:

- map sytuacyjno-wysokościowych zwałowiska zewnętrznego BOT KWB Turów,
- map rekultywacyjnych BOT KWB Turów.

2.2.2. Analiza danych siedliskowych

Analizę siedliskową terenów objętych opracowaniem wykonano posługując się danymi z Uproszczonego Planu Urządzania Lasu KWB Turów w Bogatyni na okres 1.01.2003-31.12.2012, wykonanego przez Ligę Ochrony Przyrody we Wrocławiu w 2002 roku.

2.2.3. Analiza danych z opracowań naukowych.

Jako archiwalny materiał wyjściowy wykorzystano analizy i opracowania dotyczące doskonalenia technologii rekultywacji terenów pogórnich wykonane przez Zakład Kształtowania i Ochrony Środowiska w Krakowie, przeprowadzone w latach 1987-2003:

- „Bieżące prace badawcze na terenach przeznaczonych do rekultywacji biologicznej i badania nad wybranymi elementami działalności rekultywacji dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”, IKiOŚ AGH Kraków 1987 (maszynopis).
- „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”, IKiOŚ AGH w Krakowie 1993 (maszynopis).
- „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”, IKiOŚ AGH w Krakowie 1997.
- „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”, IKiOŚ AGH w Krakowie 1998.
- „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”, IKiOŚ AGH w Krakowie 1999.
- „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”, IKiOŚ AGH w Krakowie 2000.

- „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”, IKiOŚ AGH w Krakowie 2001.

2.3. Prace terenowe

Do badań wybrano siedemnaście punktów, w których wykonano glebowe odkrywki podstawowe, celem odsłonięcia profili glebowych. Następnie z określonych miąższości pobrano próbki glebowe do analiz.

Profile oznaczone w pracy numerami od 1 do 15 zlokalizowane zostały na skarpach. Pozostałe dwa profile (numery 16 i 17) na wierzcholinie (mapa nr 2 ,w zał.).

W pierwszych sześciu profilach (1-6), z uwagi na brak możliwości makroskopowego odróżnienia poziomów genetycznych, zastosowano sztywne stopniowanie analizowanych poziomów: 0-20 cm i 30-40 cm. W pozostałych profilach wyznaczono poziomy genetyczne i opisano je zgodnie z nomenklaturą Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego (Klasyfikacja Gleb Polski, wyd. IV [1989]). Oznaczono barwę materiału glebowego zalegającego w poszczególnych poziomach, wykorzystując tablice Munsella. Z charakterystycznych poziomów, możliwych do odróżnienia makroskopowo, pobrano próbki glebowe.

Na wybranych powierzchniach wykonano inwentaryzację roślin, w której ustalono procentowy udział roślin naczyniowych i mchów. W oznaczaniu roślin posłużono się kluczem Szafera do oznaczania roślin [Szafer, Zarzycki, 1972]. Zmierzone wysokość drzew, posługując się wysokościomierzem Blume-Leissa oraz pierśnicę drzew, to jest ich średnicę na wysokości 130 cm, licząc od powierzchni terenu.

2.4. Analizy laboratoryjne

Analizom laboratoryjnym poddano próbki glebowe pobrane z poziomów genetycznych i warstw profili glebowych. Wykonano je zgodnie z opisem Normy Polskiej PN-R 04032. W próbkach wykonano oznaczenia, używając metod przyjętych w gleboznawstwie.

Badania laboratoryjne objęły oznaczenie niżej podanych właściwości chemicznych i fizyczno-chemicznych gruntów:

- zawartość szkieletu glebowego- metodą sitową,
- skład granulometryczny – metodą areometryczną Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande`a i Prószyńskiego,
- gęstość właściwą – metodą wagową,
- gęstość objętościową – metodą wagową,
- zawartość węgla – metodą Tiurina,
- zawartość azotu ogólnego – metodą Kjeldahla,
- zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu – metodą Egnera-Riehma,
- zawartość przyswajalnej formy magnezu – metodą Schachtschabela,
- pH w H₂O i 1m KCl – metodą potencjometryczną,
- kwasowość hydrolityczną – metodą Kappena,
- zawartość zasadowych kationów wymiennych – metodą Pallmanna,
- zawartość wymiennego glinu – metodą Sokołowa w 1m KCl,
- całkowitą zawartość metali ciężkich – metodą spektometrii atomowej AAS po uprzedniej mineralizacji kwasem nadchlorowym,

Analizy wykonywane były w laboratorium Zakładu Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie.

2.5. Przeliczenia matematyczne

Na podstawie otrzymanych wyników analiz laboratoryjnych: kwasowości hydrolytycznej (Hh) i sumy kationów o charakterze zasadowym (S), zostały wyznaczone parametry charakteryzujące właściwości sorpcyjne gleb:

- pojemność kompleksu sorpcyjnego (T) – ze wzoru $T = Hh + S$;
- stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym (V) – ze wzoru $V = (S \cdot T^{-1}) \cdot 100$ [%].

Wyznaczono także porowatość ogólną (Po) ze wzoru:

$$Po = \frac{\gamma - \gamma_0}{\gamma} \cdot 100\%$$

2.6. Analiza statystyczna

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie. Zastosowano w tym celu procedury programu statystycznego Statistica 6.0PL for Windows firmy Statsoft, dotyczące analizy: rozkładu prób, podstawowych parametrów statystycznych oraz korelacji.

3. Wyniki badań

3.1. Morfologia profilu glebowego

3.1.1. Budowa profilu glebowego

Pierwsze cztery profile reprezentują powierzchnie zbudowane z utworów, w którym brak jest wykształconych poziomów genetycznych (tab. 4, w zał.). Powierzchnie te były analizowane przed wejściem z większością zabiegów rekultywacyjnych, po wykonaniu neutralizacji i hydroobsiewu. W tych profilach skała macierzysta stanowi substrat powstających na zwałowisku gleb antropogenicznych.

Podobnie profil piąty i szósty, w których również odnotowano brak wykształconych poziomów genetycznych, charakteryzował się obecnością zmieszanej skały macierzystej.

Dopiero w profilach siódmym, ósmym, dziewiątym i dziesiątym wykształcony jest poziom ściółki leśnej, poziom próchniczny oraz skała macierzysta.

Na powierzchniach pod szesnastoletnim zalesieniem zaobserwowano w budowie profili glebowych obecność poziomów: w profilach jedenastym i czternastym: poziom ściółki, poziom próchnicy nadkładowej, poziom próchniczny i poziom skały macierzystej; w profilach dwunastym i trzynastym: poziom próchnicy nadkładowej, poziom próchniczny i skały macierzystej.

Powierzchnia z dwudziestopięcioletnim zalesieniem (profil 15) charakteryzuje się obecnością gleb o zróżnicowanych poziomach: ściółki, próchnicy nadkładowej, poziomu próchnicznego i poziomu skały macierzystej.

Na powierzchniach najstarszych 30 i 40 letnich (profile 16, 17) wyróżniono w profilach glebowych poziomy: ściółki, próchnicy nadkładowej oraz wyraźny poziom próchniczny i poziom skały macierzystej.

3.1.2. Miąższość

W sześciu pierwszych profilach, reprezentujących powierzchnie „młodsze”, badaniami objęto skałę macierzystą C1 z głębokości 0-20cm i C2 z głębokości 30-40 cm.

W profilach 7 i 8 miąższość poziomu ściółki i poziomu próchnicznego wynosiła 5 cm; badaniami objęto skałę macierzystą C do głębokości 30 cm.

Profile 9 i 10 charakteryzuje miąższość poziomu ściółki ok. 3cm, poziomu próchnicznego – 7 cm; badaniami objęto skałę macierzystą C1 i C2 ok. 30 cm.

W profilu jedenastym miąższość poziomu ściółki wynosił 2 cm, poziomu próchnicy nadkładowej 3 cm, poziomu próchnicznego 10 cm oraz badaniami objęto skałę macierzystą do ok. 45 cm.

W profilu dwunastym poziom próchnicy nadkładowej miał miąższość ok. 7 cm, miąższość poziomu próchnicznego 13 cm; badaniami objęto skałę macierzystą do głębokości 30 cm.

W profilu 13 miąższość poziomu próchnicy nadkładowej wynosił ok. 7 cm, poziomu próchnicznego ok. 13 cm; badaniami objęto skałę macierzystą C1 i C2 – 30 cm.

Profil czternasty charakteryzuje miąższość poziomu ściółki i poziomu próchnicy nadkładowej ok. 6 cm, poziomu próchnicznego ok. 14 cm; badaniami objęto skałę macierzystą do głębokości 20 cm.

W profilu 15 miąższość poziomu ściółki wynosi 3 cm, poziomu próchnicy nadkładowej ok. 4 cm, poziomu próchnicznego 13 cm; badaniami objęto skałę macierzystą ok. 30 cm.

W profilu 16, z trzydziestoletnim zalesieniem, miąższość poziomu ściółki i próchnicy nadkładowej ok. 8 cm, poziomu próchnicznego ok. 12 cm; badaniami objęto skałę macierzystą do głębokości 30 cm.

W profilu siedemnastym poziom ściółki charakteryzował się miąższością 3 cm, poziom próchnicy nadkładowej 7 cm i wyraźny poziom próchniczny ok. 10 cm.

3.1.3. Barwa

Profil pierwszy i trzeci charakteryzował się na całej badanej głębokości barwą 10YR /1.

W profilu drugim i czwartym barwa na głębokości 0-20 cm to 10YR 7/2, a na głębokości 30-40 cm 7,5YR /0.

Profil 5 na głębokości 0-20 cm charakteryzowała barwa 10YR 6/1, a na głębokości 30-40 cm 10YR 7/2 (tab.4 ,w zał.).

Profil 6 na głębokości 0-20 cm posiadał barwę 10YR 6/2, a na głębokości 30-40 cm 10YR 7/2.

W profilach 7 i 8 poziom ściółki odznaczał się barwą odpowiednio: 10YR 6/2 i 10YR 6/1, poziom próchniczny barwą 7,5YR 6/0, poziom skały macierzystej: 10YR 7/2 i 7,5YR 6/0.

W profilach 9 i 10 w poziomie ściółki barwa to 10YR 6/2, w poziomie próchnicznym 10YR 7/2 i w poziomie skały macierzystej 10YR 6/1.

Profil 11 w poziomie ściółki charakteryzował się barwą 10YR 7/4, w poziomie próchnicy nadkładowej barwą 10YR 6/2, w poziomie próchnicznym 10YR 7/4 oraz w poziomie skały macierzystej 10YR 7/2.

W profilach 12 i 13 poziomu próchnicy nadkładowej barwa była jednakowa dla tych profili i wyniosła 10YR 6/2, w poziomie próchnicznym 10YR 7/4, w poziomie skały macierzystej C1 profilu 12 i C2 profilu 12 i 13 to 10YR 6/1, natomiast w poziomie C1 profilu 13 – 10YR 7/2.

Profil 14, w poziomach ściółki i poziomie próchnicy nadkładowej, miał barwę 10YR 6/2, natomiast w poziomie próchnicznym i skały macierzystej - 10YR /1.

W profilach 15, 16 i 17, w poziomie ściółki, barwa to odpowiednio: 10YR 5/2, 10YR 6/2 i 10YR 6/1, w poziomie próchnicy nadkładowej: 10YR 6/2, 10YR 7/3 i 10YR 6/1, w poziomie próchnicznym: 10YR 7/3, 10YR 6/1 i 7,5YR 6/0, w poziomie skały macierzystej profili 15 i 16 gleba wykazywała barwę: 10YR 7/2 oraz 10YR 6/1 (tab.4, w zał.).

3.1.4. Struktura

Profile od 1 do 6 charakteryzuje bezstrukturalność na całej badanej głębokości.

Na powierzchniach dziesięcioletnich – profile 7 i 8 poziom ściółki wykazał strukturę bezpostaciową, poziom próchniczny spójną a poziom skały macierzystej – bezstrukturalną.

W profilach 9 i 10, poziom ściółki odznaczał się bezpostaciowością, poziom próchniczny wykazał strukturę bryłkową; poziom skały macierzystej – bezstrukturalny.

Powierzchnie 16 letnie, reprezentowane przez profile 11 i 14, w poziomie ściółki odznaczały się bezpostaciowością, w poziomie próchnicy nadkładowej strukturą bryłkową oraz w poziomie skały macierzystej bezstrukturalnością. W pozostałych profilach reprezentujących szesnastoletnie powierzchnie, tj. w profilach 12 i 13, poziomie próchnicy

nadkładowej odnotowano strukturę bryłkową, w poziomie próchnicznym spójną a w skale macierzystej bezstrukturalną (tab.4, w zał.).

W „starszych” profilach charakteryzujących powierzchnie dwudziestopięcioletnią, trzydziesto i czterdziestoletnią, poziom ściółki wykazuje również charakter bezpostaciowy, poziom próchnicy nadkładowej -orzechowaty, poziom próchniczny –bryłkowaty a poziom skały macierzystej był bezstrukturalny (tab. 4, w zał.).

3.1.5. Układ

Grunt przed rekultywacją, reprezentowany przez profil 1, charakteryzuje układ zbity na całej badanej głębokości.

W profilu drugim na głębokości 0-20 cm odnotowano układ zwięzły, a na głębokości 30-40 cm układ zbity.

Profile trzeci i czwarty na całej badanej głębokości miały układ zwięzły.

W 5 i 6 profilu, na głębokości 0-20 cm, układ był zwięzły, natomiast na głębokości 30-40 cm zbity.

Na powierzchniach dziesięcioletnich (profile 7 i 8), w poziomach organicznych kształtujących się gleb wykazano układ zwięzły, natomiast w poziomie skały macierzystej zbity.

W profilach 9, 10, 11, 12, 13 i 14 poziomy organiczne charakteryzował zwięzły układ, natomiast poziom skały macierzystej profili: 9, 10 i 12 układ zbity, a profili: 11, 13 i 14 zwięzły (tab.4, w zał.).

Profil 14, w poziomach ściółki i próchnicy nadkładowej, charakteryzował się układem pulchnym, w poziomie próchnicznym i skały macierzystej zwięzłym.

Na powierzchni 25 letniej, w poziomach organicznych oraz w poziomie próchnicznym wykazano układ zwięzły, natomiast w skale macierzystej – zbity.

Na powierzchniach 30 i 40 letnich, poziom ściółki charakteryzował się układem pulchnym, poziom próchnicy nadkładowej i poziom próchniczny zwięzłym, a poziom skały macierzystej profilu 16 (30 letnia powierzchnia) zbitym (tab.4, w zał.).

3.1.6. „Nowotwory” glebowe

W profilach 1 i 5 na głębokości 0-20 cm znajdowały się wytrącenia żelaziste.

W profilu 10, w poziomie próchnicznym, również były widoczne wytrącenia żelaziste.

3.1.7. Domieszki

Cztery pierwsze profile wykazują domieszki węgla brunatnego w całej badanej miąższości. W profilu pierwszym, na głębokości 0-20 cm znajdowały się także domieszki kamieni, a na głębokości 30-40 cm sferosyderytów. W profilu trzecim, na głębokości 30-40 cm, wraz z domieszką węgla obecne były sferosyderyty (tab.4, w zał.).

Profile 5 i 6 charakteryzowały się również domieszką substancji lignitowej, a na głębokości 0-20 cm profilu piątego znajdowała się też domieszka kamieni.

W profilu siódmym, w poziomie ściółki, znajdowała się domieszka kamieni i w poziomie skały macierzystej substancji lignitowej.

W profilu dziewiątym, w poziomie próchnicznym i w poziomie skały macierzystej, była domieszka węgla brunatnego.

W profilu 15, w poziomie próchnicy nadkładowej i poziomie skały macierzystej znajdowała się domieszka substancji lignitowej.

W poziomie próchnicy nadkładowej profilu 17 obecna była domieszka ksylitu, w poziomie próchnicznym znajdowały się sferosyderyty i substancja ksylitowa (tab.4, w zał.).

3.2. Właściwości fizyczne

Dla odzwierciedlenia efektu długotrwałego oddziaływania prac rekultywacyjnych oraz związanych z zagospodarowaniem terenu na właściwości fizyczne kształtujących się gleb, przeanalizowano gęstość właściwą, objętościową i porowatość materiału gruntowego. Wyniki zestawiono w tabeli nr 6, w zał.

3.2.1. Gęstość właściwa

W pierwszym profilu, zlokalizowanym na kontrolnej powierzchni zwałowiska, na głębokości 0-20 cm i 30-40 cm, gęstość właściwa wynosiła $2,51 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

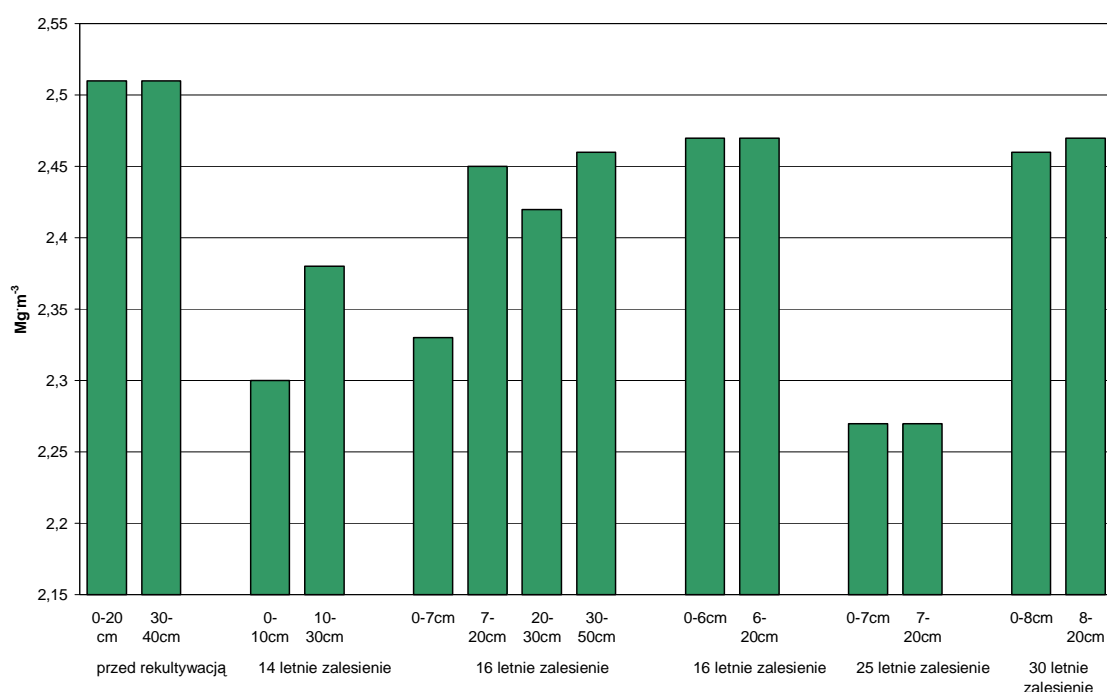
W profilu dziesiątym, zlokalizowanym na powierzchni rekultywowanej z 14-letnim nasadzeniem, w poziomie organicznym, gęstość właściwa wynosiła $2,30 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, a w poziomie skały macierzystej $2,38 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

W profilu dwunastym, zlokalizowanym na powierzchni rekultywowanej z 16-letnim nasadzeniem, w poziomie próchnicy nadkładowej, gęstość właściwa była na poziomie $2,33 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, w poziomie próchnicznym $2,45 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, w poziomie skały macierzystej od $2,42 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (na 20-30 cm) do $2,46 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (na 30-50 cm).

W profilu 14, zlokalizowanym na powierzchni rekultywowanej z 16-letnim nasadzeniem, na głębokości 0-6 cm i 6-20 cm gęstość właściwa wynosiła $2,47 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Na powierzchni z dwudziestopięcioletnim zalesieniem (profil 15) gęstość właściwa w poziomie organicznym i poziomie próchnicznym wynosiła $2,27 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

W profilu zlokalizowanym na powierzchni z trzydziestoletnim zalesieniem (profil 16) gęstość właściwa w poziomie organicznym wynosiła $2,46 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, a w poziomie próchnicznym $2,47 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.



Rys. 3. Gęstość właściwa wybranych gleb i utworów macierzystych

3.2.2. Gęstość objętościowa

W pierwszym profilu, zlokalizowanym na kontrolnej powierzchni zwałowiska, na głębokości 0-20 cm gęstość objętościowa wynosiła $1,67 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, natomiast na głębokości 30-40 cm – $1,82 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

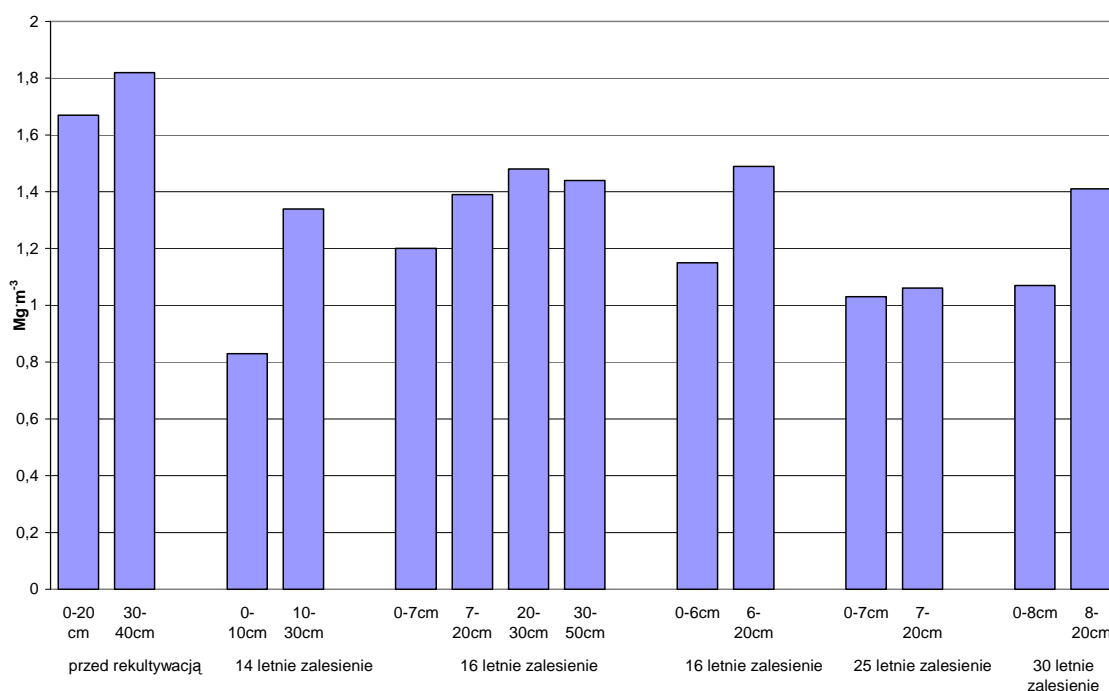
W profilu jedenastym, zlokalizowanym na powierzchni rekultywowanej z 16-letnim nasadzeniem, w poziomie ściółki gęstość objętościowa wynosiła $0,83 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, a w poziomie próchnicznym $1,34 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Na powierzchni z szesnastoletnim zalesieniem, w profilu trzynastym, w poziomie ściółki, gęstość objętościowa kształtowała się na poziomie $1,2 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, w poziomie próchnicy nadkładowej $1,39 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, w poziomie próchnicznym $1,48 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, w poziomie skały macierzystej $1,44 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

W profilu czternastym zlokalizowanym także na powierzchni rekultywowanej z 16-letnim nasadzeniem, w poziomie organicznym gęstość objętościowa wynosiła $1,15 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, a w poziomie próchnicznym $1,49 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

W profilu piętnastym, zlokalizowanym na powierzchni rekultywowanej z 25-letnim nasadzeniem, gęstość objętościowa w poziomie organicznym wynosiła $1,03 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, a w próchnicznym osiągnęła wartość $1,06 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

W profilu z trzydziestoletnim zalesieniem (profil 16) gęstość objętościowa wynosiła w poziomie organicznym $1,07 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, a w poziomie próchnicznym $1,41 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$.



Rys. 4. Gęstość objętościowa wybranych gleb i utworów macierzystych

3.2.3. Porowatość ogólna i struktura porowatości

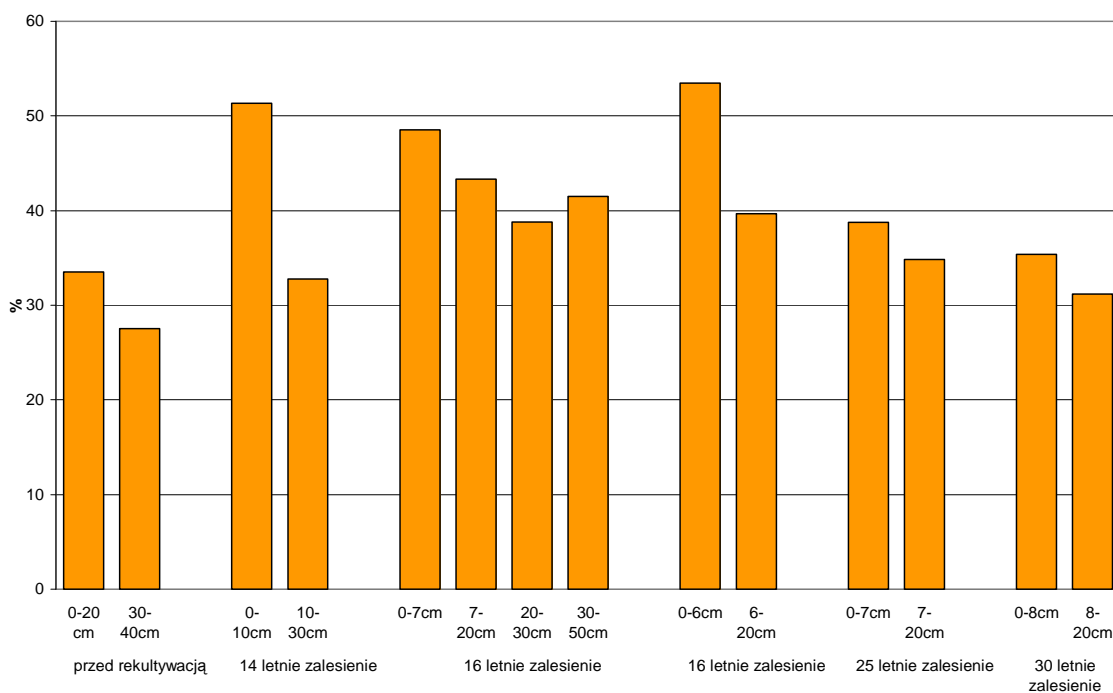
Na powierzchni przed rekultywacją porowatość ogólna na głębokości 0-20 cm kształtowała się na poziomie 33,5% przy zawartości mikropor na poziomie 65,3%, mezopor 10,12% i makropor 24,58%. Na głębokości 30-40 cm osiągnęła wartość wyraźnie niższą 27,5%, przy udziale 66,4% mikropor, 9,6% mezopor i 24% makropor.

W profilu z powierzchni z zadrzewieniem czternastoletnim (profil 10), w poziomie ściółki i próchnicznym, wartość porowatości ogólnej kształtowała się na poziomie 51,3% przy 53,94% zawartości mikropor, 9,1% mezopor i 36,96% udziale makropor, natomiast w poziomie skały macierzystej wynosiła 32,77% przy 69,54% zawartości mikropor, 8,31% mezopor i 22,15% makropor.

W profilu dwunastym, zlokalizowanym na powierzchni z szesnastoletnim zalesieniem, w poziomie próchnicy nadkładowej porowatość ogólna kształtowała się na poziomie 48,5%, przy 66,4% udziale mikropor, 12,4% mezopor i 21,2% makropor, w poziomie próchnicznym 43,3% przy 65,8% udziale mikropor, 11,6% mezopor i 22,6% makropor. Porowatość ogólna w poziomie skały macierzystej (na głębokości 20-30cm) tego profilu glebowego przyjęła wartość 38,8%, osiągając zawartość 66,3% mikropor, 11,2% mezopor i 22,5% makropor, natomiast w skale macierzystej (na głębokości 30-50cm) kształtowała się na poziomie 41,5%, przy 67,5% udziale mikropor, 9,2% mezopor i 23,3% makropor.

W profilu czternastym, zlokalizowanym na powierzchni z szesnastoletnim zalesieniem, w poziomie ściółki i próchnicy nadkładowej porowatość ogólna kształtowała się na poziomie 53,44% przy udziale 60,28% mikropor, 7,47% mezopor i 32,25% makropor, natomiast w poziomie próchnicznym wynosiła 39,68% przy 51,46% zawartości mikropor, 21,11% mezopor i 27,43% makropor.

W profilach reprezentujących starsze powierzchnie rekultywowane: 25-letnie i 30-letnie (profile: 15 i 16), w poziomach organicznych wartości porowatości ogólnej kształtowały się na poziomie: 38,77% przy udziale 67,47% mikropor, 12,91% mezopor i 19,62% makropor oraz 35,37% przy 64,09% zawartości mikropor, 12,23% mezopor i 23,67% makropor. W poziomie próchnicznym analizowanych profili glebowych porowatość ogólna wynosiła 34,8% przy 65,56% udziale mikropor, 11,2% mezopor i 23,24% makropor oraz 31,17% przy 67,56% zawartości mikropor, 9,1% mezopor i 23,34% makropor.



Rys. 5. Porowatość ogólna wybranych gleb i utworów macierzystych

3.2.4. Wilgotność objętościowa i siła ssąca

W gruncie zwałowym (profil 1) na głębokości 0-20 cm wilgotność objętościowa osiągnęła wartości odpowiednie: dla $pF=0$ – 45,02%, przy $pF=2,2$ – 35,6%, przy $pF=2,5$ – 36,2%, przy $pF=3,2$ – 32,02%, przy $pF=3,7$ – 32,1, przy $pF=4,2$ – 31,7%, przy $pF=4,7$ – 7,2%; natomiast na głębokości 30-40 cm: przy $pF=0$ – 44,1%, przy $pF=2,2$ – 35,2%, przy $pF=2,5$ – 35,9%, przy $pF=3,2$ – 30,1%, przy $pF=3,7$ – 30,2%, przy $pF=4,2$ – 31,2% a przy $pF=4,7$ – 6,8%.

Na powierzchni z czternastoletnim zalesieniem (10 profil) wilgotność objętościowa na głębokości 0-10 cm kształtowała się odpowiednio, przy $pF=0$ osiągając wartość 65,65%, przy $pF=2,2$ - 43,12%, przy $pF=2,5$ – 41,39%, przy $pF=3,2$ – 36,17%, przy $pF=3,7$ – 35,71%, przy $pF=4,2$ – 35,41% i przy $pF=4,7$ – 7,62%; na głębokości 10-30 cm: przy $pF=0$ wynosiła 49,55%, przy $pF=2,2$ – 39,19%, przy $pF=2,5$ – 39,57%, przy $pF=3,2$ – 35,55%, przy $pF=3,7$ – 35,36%, przy $pF=4,2$ – 34,45% i przy $pF=4,7$ – 6,94%.

Wilgotność objętościowa w profilu dwunastym, wykonanym na powierzchni szesnastoletniej, wykazała w poziomie próchnicy nadkładowej wartości: przy $pF=0$ – 49,77%, przy $pF=2,2$ – 39,5%, przy $pF=2,5$ – 37,01%, przy $pF=3,2$ – 33,4%, przy $pF=3,7$ – 32,81%, przy $pF=4,2$ – 31,75%, przy $pF=4,7$ – 7,84%; w poziomie próchnicz-

nym: przy $pF=0$ – 48,95%, przy $pF=2,2$ – 39,25%, przy $pF=2,5$ – 36,85%, przy $pF=3,2$ – 33,14%, przy $pF=3,7$ – 32,6%, przy $pF=4,2$ – 30,89% oraz przy $pF=4,7$ – 6,79%; w poziomie skały macierzystej (na 20-30cm): przy $pF=0$ – 47,50%, przy $pF=2,2$ – 38,5% oraz przy $pF=2,5$ – 34,2%, przy $pF=3,2$ – 29,6%, przy $pF=3,7$ – 30,25%, przy $pF=4,2$ – 27,7% oraz przy $pF=4,7$ – 5,56%, natomiast w poziomie skały macierzystej (na 30-50cm); przy $pF=0$ – 39,4%, przy $pF=2,2$ – 32,6%, przy $pF=2,5$ – 30,1%, przy $pF=3,2$ – 25,9%, przy $pF=3,7$ – 24,9%, przy $pF=4,2$ – 23,6% a przy $pF=4,7$ osiągnęła wartość 5,12%.

W czternastym profilu, wykonanym na powierzchni z szesnastoletnimi zalesieniami, w poziomie ściółki i próchnicy nadkładowej wilgotność objętościowa kształtowała się odpowiednio: przy $pF=0$ – 48,5%, przy $pF=2,2$ – 34,24%, przy $pF=2,5$ – 32,86%, przy $pF=3,2$ – 29,41%, przy $pF=3,7$ – 29,28%, przy $pF=4,2$ – 29,24% oraz przy $pF=4,7$ – 4,59%; w poziomie próchnicznym wartości te osiągają przy $pF=0$ – 39,3%, przy $pF=2,2$ – 31,14, przy $pF=2,5$ – 28,52%, przy $pF=3,2$ – 23,52%, przy $pF=3,7$ – 22,64%, przy $pF=4,2$ – 20,22% i przy $pF=4,7$ – 4,4%.

Wilgotność objętościowa w profilu piętnastym, na powierzchni dwudziestopięcioletniej, wykazała w poziomie organicznym wartości: przy $pF=0$ – 52,62%, przy $pF=2,2$ – 43,62%, przy $pF=2,5$ – 42,3%, przy $pF=3,2$ – 37,81%, przy $pF=3,7$ – 36,95%, przy $pF=4,2$ – 35,5%, przy $pF=4,7$ – 9,69%, w poziomie próchnicznym: przy $pF=0$ – 52,53%, przy $pF=2,2$ – 41,19%, przy $pF=2,5$ – 40,33%, przy $pF=3,2$ – 36,39%, przy $pF=3,7$ – 36,08%, przy $pF=4,2$ – 34,44% oraz przy $pF=4,7$ – 8,44%.

Na powierzchni z trzydziestoletnim zalesieniem (profil 16), wilgotność objętościowa w poziomie ściółki i próchnicy nadkładowej wynosiła: przy $pF=0$ – 49,82%, przy $pF=2,2$ – 39,62%, przy $pF=2,5$ – 38,02%, przy $pF=3,2$ – 33,57%, przy $pF=3,7$ – 32,96%, przy $pF=4,2$ – 31,93% oraz przy $pF=4,7$ – 7,97%; w poziomie próchnicznym osiągnęła wartości: przy $pF=0$ – 47,05%, przy $pF=2,2$ – 36,8%, przy $pF=2,5$ – 36,07%, przy $pF=3,2$ – 32,76%, przy $pF=3,7$ – 32,26%, przy $pF=4,2$ – 31,79% i przy $pF=4,7$ – 7,2%.

3.2.5. Polowa pojemność wodna i zawartość wody dostępnej

W pierwszym profilu, zlokalizowanym na kontrolnej powierzchni zwałowiska, na głębokości 0-20 cm polowa pojemność wodna (PPW) wynosiła 14,2%, a zawartość wody

dostępnej osiągnęła 7,8%, natomiast na głębokości 30-40 cm PPW wynosiła 15,6% a zawartość wody dostępnej osiągnęła 5,2%.

W profilu dziesiątym, zlokalizowanym na powierzchni rekultywowanej z 14-letnim nasadzeniem, w poziomie ściółki i próchnicznym połowa pojemność wodna i zawartość wody dostępnej osiągnęły odpowiednio wartości: 20,26% i 7,71%, a w poziomie skały macierzystej 18,38% oraz 4,73%.

Na powierzchni z szesnastoletnim zalesieniem, w profilu dwunastym, w poziomie próchnicy nadkładowej połowa pojemność wodna i zawartość wody dostępnej kształtowały się na poziomie: 15,3% i 7,9%, w poziomie próchnicznym: 14,9% i 7,5%, w poziomie skały macierzystej (na głębokości 20-30 cm) : 16,9% i 8,2%, a na głębokości 30-50 cm, w poziomie skały macierzystej: 15,6% i 5,02%.

W profilu czternastym, zlokalizowanym także na powierzchni rekultywowanej z 16-letnim nasadzeniem, w poziomie organicznym połowa pojemność wodna i zawartość wody dostępnej wynosiły: 20,47% i 5,01%, a w poziomie próchnicznym 17,95% i 10,92%.

W profilu piętnastym, zlokalizowanym na powierzchni rekultywowanej z 25-letnim nasadzeniem, połowa pojemność wodna i zawartość wody dostępnej dla roślin w poziomie ściółki i próchnicy nadkładowej kształtowały się odpowiednio na poziomie: 14,55% i 8,12%, a w poziomie próchnicznym: 15,86% i 6,75%.

W profilu z trzydziestoletnim zalesieniem (profil 16) połowa pojemność wodna i zawartość wody dostępnej osiągnęły w poziomie ściółki i próchnicy nadkładowej: 15,72% i 7,7%, a w poziomie próchnicznym 15,2% i 5,01%.

3.3. Właściwości fizyczno-chemiczne oraz skład chemiczny gleb i utworów macierzystych

3.3.1. Skład granulometryczny

W pierwszym i drugim profilu glebowym, na głębokości 0-20 cm zawartość części mineralnych różnego uziarnienia wynosiły odpowiednio: frakcji >1mm: 2,0% i 3,5%, frakcji piaszczystych: 34% i 39% z przewagą frakcji od 2,0mm do 0,1mm, frakcji pyłowych 37% i 35%, frakcji iłu 29% i 26%. Na głębokości 30-40 cm zawartość frakcji: >1mm wynosi 20,8% i 6,8%, piaszczystych: 41% i 42%, pyłowych: 30% i 29% z przewagą frakcji od 0,05 mm do 0,006 mm oraz frakcji iłu 29%. Dla materiałów glebowych

obecnych w opisywanych profilach podgrupę granulometryczną ustalono jako glinę ciężką (tab.5, w zał.).

W profilach trzecim i czwartym, na głębokości 30-40 cm zawartość frakcji: >1mm wynosiła: 33,6% i 5,3%, piaszczystych dla obu profili 44%, pyłowych: 26% i 33% oraz frakcji iłu wynosząc: 30% i 23%. W profilu trzecim materiał sklasyfikowano w podgrupie granulometrycznej gliny ciężkiej, a w profilu czwartym gliny.

Na powierzchniach po wykonanej neutralizacji i hydroobsiewie (profil 5 i 6), na głębokości 0-20 cm zawartość frakcji: >1mm kształtowała się na poziomie: 28,2% i 28%, frakcji piaszczystych: 33% i 35% z przewagą frakcji 2,0-0,1mm, pyłowych: 37% i 40% z przewagą frakcji od 0,02mm do 0,002mm oraz iłu wynosząc 30% i 25. Na głębokości 30-40cm wartości te przedstawiały się następująco: dla frakcji >1mm wyniosły odpowiednio: 22,9% i 0%, dla frakcji piaszczystych: 29% i 37%, dla pyłowych: 35% i 40% oraz dla iłu 36% i 23%. Podgrupa granulometryczna materiału profilu piątego to na głębokości 0-20 cm glina ciężka, a na głębokości 30-40 cm ił. W profilu szóstym, na głębokości 0-20cm zalega glina, a na głębokości 30-40cm glina.

W profilach: 7 i 8, w poziomie ściółki kształtowała się materia organiczna. W poziomie akumulacyjnym tych profili zawartość frakcji >1mm wynosiła 0% i 5,1%, frakcji piaszczystych 33% i 37%, frakcji pyłowych 42% i 32%, a frakcji iłu 35% i 31%. Podgrupa granulometryczna materiału mineralnego zalegającego w tym poziomie to glina ciężka. W poziomie skały macierzystej obu profili nie stwierdzono obecności frakcji >1mm, natomiast zawartość frakcji piaszczystych wynosiła 36% i 41%, frakcji pyłowych: 42% i 33%, a iłu 22% i 26%. Podgrupa granulometryczna materiału zalegającego w tym poziomie dla profilu ósmego to glina, a dla profilu dziewiątego – glina ciężka (tab.5, w zał.).

W profilach 9 i 10, w poziomie ściółki zalegała materia organiczna, w poziomie próchnicznym natomiast zawartość części mineralnych frakcji >1mm było na poziomie 9,5%, 7,6%, frakcji piaszczystych 30%,40% z dominacją frakcji 2,0-0,1 mm, frakcji pyłowych 37%,40%, frakcji iłu 33%,20%. W poziomie skały macierzystej od 0% do 9,7% frakcji >1mm, frakcji piaszczystych od 30% do 47%, frakcji pyłowych od 32% do 40%, frakcji iłu od 19% do 37%. Podgrupa granulometryczna materiału tworzącego profil 9 w poziomie próchnicznym i skały macierzystej C1 to glina ciężka, natomiast w głębszym poziomie skały macierzystej C2 – ił. W poziomach: próchnicznym i skały macierzystej profilu 10 zalegała glina.

W profilu jedenastym, w poziomie ściółki zalegała materia organiczna, w poziomie próchnicy nadkładowej zawartość części mineralnych frakcji >1 mm było na poziomie zerowym, frakcji piaszczystych 35%, frakcji pyłowych 38%, frakcji łu 27%. W poziomie próchnicznym zawartość części mineralnych frakcji >1mm była na poziomie 9,5, frakcji piaszczystych 32% z dominacją frakcji od 2,0mm do 0,1mm, frakcji pyłowych 36%, frakcji łu 32%. Podgrupa granulometryczna materiału tworzącego profil 11 to glina ciężka (tab.5, w zał.).

W profilach: 12 i 13, w poziomie próchnicy nadkładowej stwierdzono obecność materii organicznej; w poziomie próchnicznym nie stwierdzono zawartość frakcji >1mm, zawartość frakcji piaszczystych wynosi 26% i 36%, frakcji pyłowych 40% i 34%, frakcji łu 34% i 30%; w poziomie skały macierzystej (na głębokości 20-30 cm) nie stwierdzono obecności frakcji >1mm, zawartość frakcji piaszczystych to: 30% i 37%, frakcji pyłowych: 40% i 34%, frakcji łu: 30% i 29%. W poziomie skały macierzystej (na głębokości 40-50 cm) obecności frakcji >1mm również nie stwierdzono, zawartość frakcji piaszczystych to: 29% i 16%, frakcji pyłowych: 37% i 47%, frakcji łu: 34% i 37%. W profilu 12 podgrupa granulometryczna materiału zalegającego w poziomach to glina ciężka. W poziomie 13, w poziomie próchnicznym i skały macierzystej C1– glina ciężka, natomiast w poziomie skały macierzystej C2 – łu pylasty.

W profilach 14, 15, 16 i 17, w poziomie ściółki i próchnicy nadkładowej zalegała substancja organiczna; w poziomie próchnicznym zawartość frakcji >1mm wynosiła: 24,4%, 0%, 10,1% i 11,4%, frakcji piaszczystych: 55%, 31%, 36% i 62%, frakcji pyłowych: 28%, 41%, 38% i 17%, frakcji łu: 17%, 26%, 26% i 21%. W poziomie skały macierzystej profilu 14, 15 i 16 zawartość frakcji >1mm wynosiła: 29,1%, 6,3% i 11,3%, frakcji piaszczystych: 61%, 47% i 40%, frakcji pyłowych: 24%, 34% i 35%, frakcji łu: 15%, 19% i 21%.

W profilu 14, we wszystkich poziomach, podgrupa granulometryczna zalegającego tam materiału to glina lekka. W profilu 15, w poziomie próchnicznym, zalegała glina ciężka, natomiast w poziomie skały macierzystej – glina. W profilu 16, w poziomach próchnicznym i skały macierzystej zalegała – glina ciężka. W profilu 17, w poziomie próchnicznym zalegał materiał sklasyfikowany jako – glina średnia (tab. 5, w zał.).

3.3.2. Odczyn

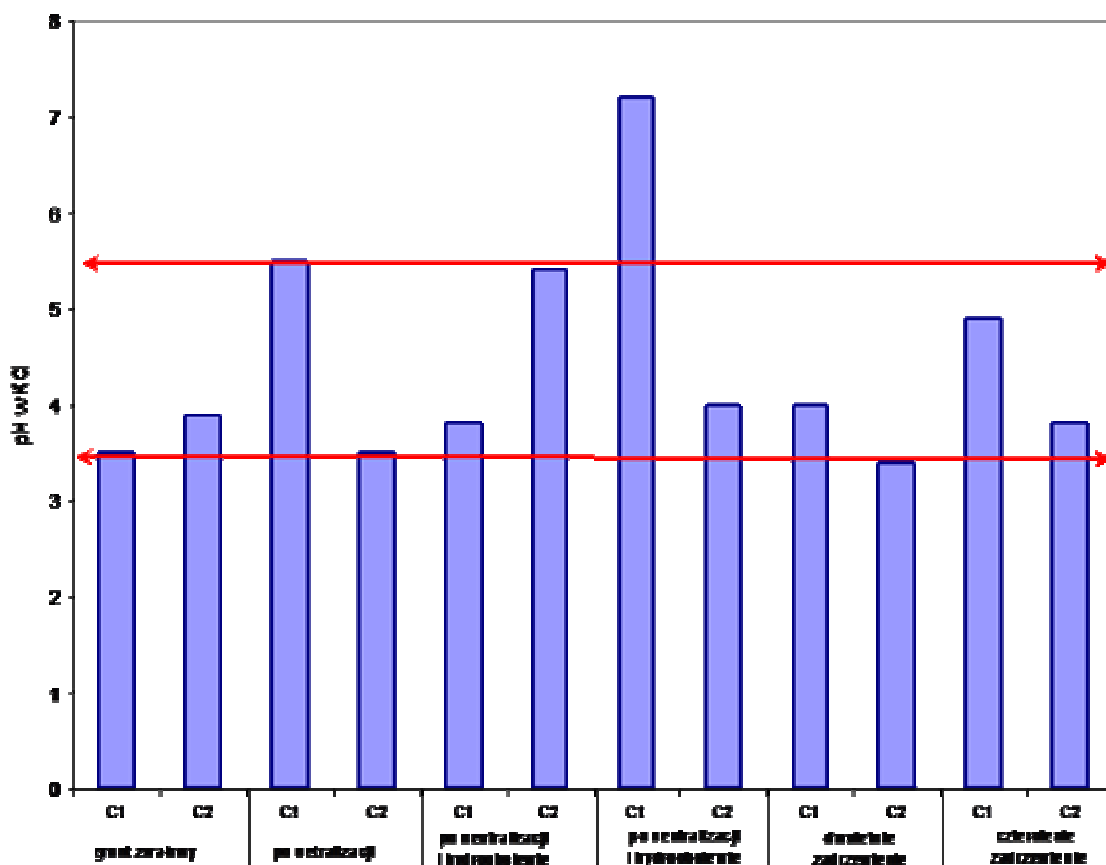
W profilu pierwszym (grunt niezrekultywowany) pH gruntu mierzone w KCl i H₂O na głębokości 0-20 cm wynosiło odpowiednio: 3,5 i 3,7. Rosło ono nieznacznie w głąb profilu, gdzie na głębokości 30-40 cm osiągnęło wartości: 3,9 i 4,0.

W profilu drugim i trzecim, po wykonanej neutralizacji, pH na głębokości 0-20 cm kształtował się na poziomie odpowiednio: 5,5 (pH w KCl) i 5,7 (pH w H₂O) oraz 3,8 (pH w KCl) i 3,7 (pH w H₂O). Na głębokości 30-40 cm wynosiło odpowiednio 3,5 (pH w KCl) i 3,7 (pH w H₂O) oraz 5,4 (pH w KCl) i 5,8 (pH w H₂O) – tab. 8, w zał.

W profilu czwartym, usytuowanym na powierzchni po wykonanym zabiegu neutralizacji i hydroobsiewu, pH gruntu w wierzchnich poziomach wynosiło 7,2 (pH w KCl) i 7,3 (pH w H₂O). Na głębokości 30-40 cm pH było niższe, wynosząc 4,0 (pH w KCl) i 4,2 (pH w H₂O).

Profile piąty i szósty, ulokowane na powierzchniach zreultywowanych, gdzie od momentu zalesienia upłynęło odpowiednio dwa i cztery lata, stwierdzono pH w wierzchnich poziomach: 4,0 i 4,9 (pH w KCl) oraz 4,6 i 5,0 (pH w H₂O), natomiast na głębokości 30-40 cm: 3,4 i 3,8 (pH w KCl) oraz 3,9 i 3,9 (pH w H₂O).

W większości ww. profili glebowych odczyn badanych gleb spada wraz z głębokością (tab. 6, w zał.). Odczyn gleb (analizowany w wodzie) zawierał się w przedziale od 3,7 do 7,3 pH, przy czym większość wartości dla badanych próbek mieścił się w przedziale od 3,9 do 4,8 (tab. 8, w zał., rys. 6). Odpowiednio wartości pH w 1m KCl wahały się w granicach od 3,4 do 5,5, z większością w przedziale od 3,6 do 4,6 (tab. 8, w zał.).



← linie określające granicę większości wyznaczonych wartości odczynu

Rys. 6. Odczyn badanych gleb i utworów macierzystych. Profile od 1 do 6.

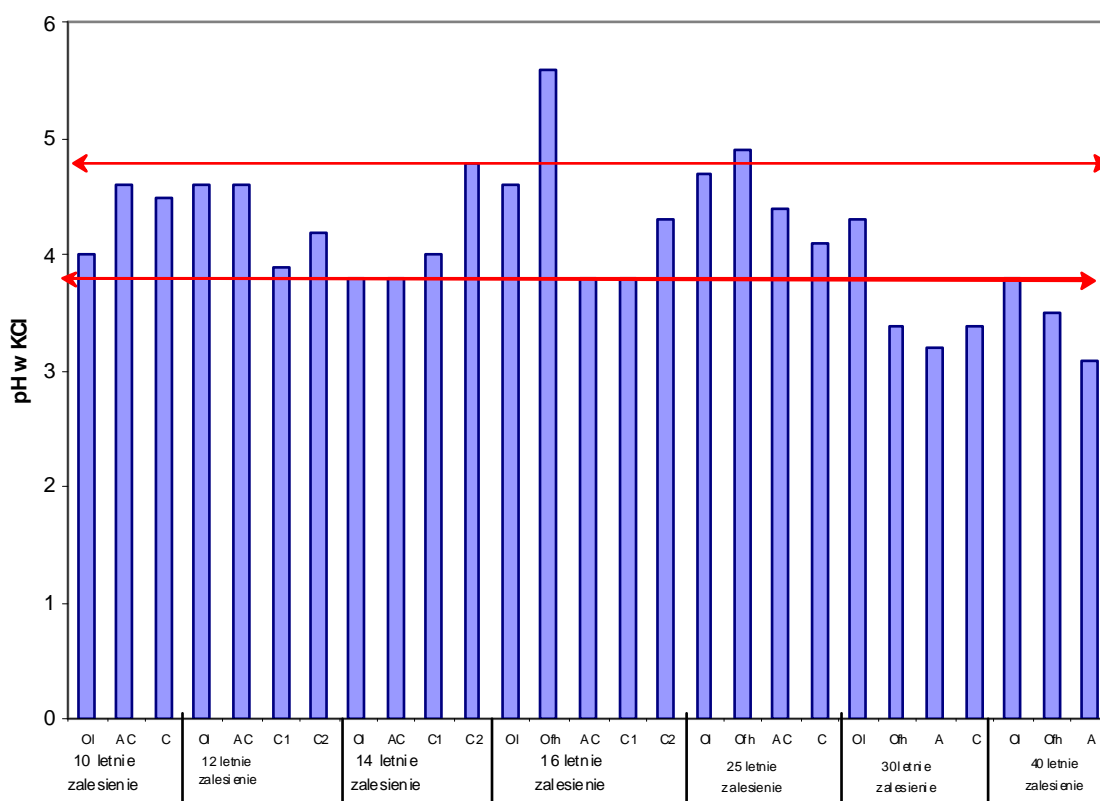
W profilach 7, 8, 9 i 10 pH gruntu w poziomie ściółki kształtował się odpowiednio na poziomie: 4,0, 4,1, 4,6 i 3,8 (pH w KCl) oraz 4,6, 4,8, 5,1 i 4,3 (pH w H₂O). W poziomie próchnicznym odczyn wynosił: 4,6, 3,6, 4,6 i 3,8 (pH w KCl) oraz 5,3, 3,8, 5,2 i 4,2 (pH w H₂O), natomiast w poziomie skały macierzystej przyjmowało wartości od 3,6 do 4,8 (pH w KCl) i od 3,9 do 5,2 (pH w H₂O).

Na powierzchniach z szesnastoletnim zalesieniem (profile: 11 i 14), w poziomie ściółki pH osiągnął wartości odpowiednio: 4,6 i 4,7 (pH w KCl) oraz 5,3 i 5,2 (pH w H₂O). W poziomie próchnicy nadkładowej kształtowało się on na poziomie: 5,6 i 4,1 (pH w KCl) oraz 6,2 i 4,9 (pH w H₂O), w poziomie próchnicznym: 3,8 i 3,9 (pH w KCl) oraz 4,3 i 4,4 (pH w H₂O), natomiast w poziomie skały macierzystej odpowiednio 3,8 i 3,9 (pH w KCl) oraz 4,4 (pH w H₂O).

W profilach 12 i 13 również z szesnastoletnim zalesieniem, w poziomie próchnicy nadkładowej pH wynosiło odpowiednio: 4,6 i 5,4 (pH w KCl) oraz 5,3 i 6,0 (pH w H₂O). W poziomie próchnicznym kształtowało się na poziomie: 3,8 i 3,3 (pH w KCl) oraz 4,5 i 3,7 (pH w H₂O), w poziomie skały macierzystej pH kształtowało się od 3,3 do 3,8 (pH w KCl) i od 3,8 do 4,3 (pH w H₂O).

W profilach z najstarszymi zalesieniami (15, 16 i 17), pH w poziomie ściółki kształtował się odpowiednio na poziomie: 4,7, 4,3 i 3,8 (pH w KCl) oraz 5,1, 4,8 i 4,3 (pH w H₂O); w poziomie próchnicy nadkładowej: 4,9, 3,4 i 3,5 (pH w KCl) oraz 5,3, 3,9 i 3,9 (pH w H₂O); w poziomie próchnicznym: 4,4, 3,2 i 3,1 (pH w KCl) oraz 4,8, 3,7 i 3,5 (pH w H₂O). W poziomie skały macierzystej stwierdzono wartości od 3,4 do 4,1 (pH w KCl) oraz od 3,7 do 4,6 (pH w H₂O).

Na starszych powierzchniach, z kształtującym się profilem glebowym (profile od 7 do 17) pH było bardziej ustabilizowane i wynosiło od 3,8 do 5,7 (pH w KCl) (rys. 7) i od 3,7 do 6,2 (pH w H₂O). Ponadto różnica w odczynie w układzie pionowym, jak i przestrzennym, była znacząco mniejsza, aczkolwiek nadal odczyn stopniowo malał wraz z głębokością.



← linie określające granicę większości wyznaczonych wartości odczynu

Rys. 7. Odczyn wybranych gleb i utworów macierzystych. Profile od 7 do 17.

3.3.3. Właściwości sorpcyjne

3.3.3.1. Kwasowość hydrolityczna (H_h)

Kwasowość hydrolityczna związana jest z obecnością jonów wodorowych i glinowych w kompleksie sorpcyjnym. Pozostaje w ścisłym związku z odczynem gleby i zawartością siarki ogólnej, przyjmując wartości odwrotnie proporcjonalne w stosunku do wartości pH.

Kwasowość hydrolityczna gruntów przed rekultywacją mierzona na głębokości 0-20 cm kształtowała się na poziomie $8,25 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm – $4,2 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Widoczny jest więc obraz wyżej zakwaszonej warstwy powierzchniowej materiału składowanego.

W drugim, trzecim i czwartym profilu wartości te kształtowały się różnorodnie, osiągając odpowiednio na głębokości 0-20 cm: $6,0 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $7,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, i $0,9 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W piątym i szóstym profilu, w poziomie skały macierzystej C1 odnotowano kwasowość hydrolityczną na poziomie: $11,8 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $7,5 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast w poziomie skały macierzystej C2, odpowiednio: $18,5 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $10,3 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 8, w zał.).

Kwasowość hydrolityczna w profilach: 7, 8, 9 i 10 wykazała w poziomie ściółki wartość: $7,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $7,1 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $21,6 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $21 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicznym: $5,4 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $9,4 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $7,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $13,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w skale macierzystej natomiast od $4,5 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (profil jedenasty) do $12,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (profil dziewiąty).

W profilach 11 i 14, kwasowość hydrolityczna w poziomie ściółki wynosiła: $4,9 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $17,4 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicy nadkładowej: $4,8 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $6,9 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicznym: $12,8 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $5,4 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast w poziomie skały macierzystej kształtuje się w przedziale od $5,0 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $11,6 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Kwasowość hydrolityczna w profilach 12 i 13, w poziomie próchnicy nadkładowej wynosiła odpowiednio: $10,1 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $6 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie próchnicznym: $12,9 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $15,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast w poziomie skały macierzystej od $9,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $14,2 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Na powierzchniach z 25-, 30- i 40-letnim zalesieniem (profil 15, 16 i 17) kwasowość hydrolityczna kształtowała się na poziomie odpowiednio, w poziomie ściółki: $29,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $18,0 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $28,8 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicy nadkładowej na poziomie: $6,9 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $11,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $18,3 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a w poziomie próchnicznym: $8,1 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, $12,2 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $20,1 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. W skale macierzystej profilu szesnastego odnotowano wartość $9,8 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i profilu siedemnastego – $12,2 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Kwasowość hydrolityczna badanych gleb była bardzo zróżnicowana i kształtowała się w granicach od 0,9 do 29,7 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby. Rosła wraz z obniżeniem pH i wzrostem zawartości siarki ogólnej (tab. 6, w zał.). Największa ilość analizowanych próbek znajduje się w przedziale od 6,3 do 12,3 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 8, w zał.).

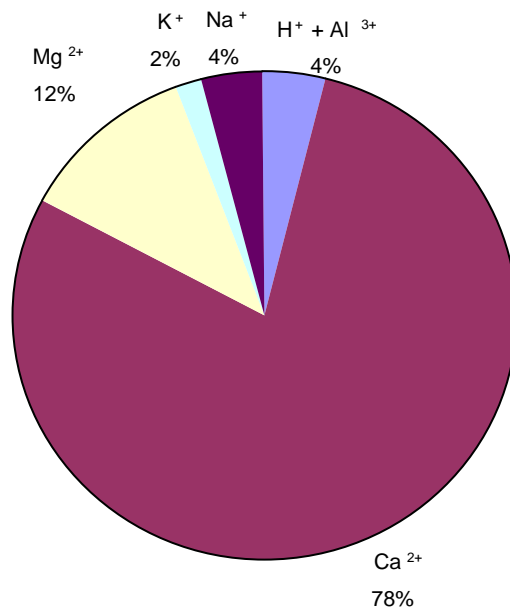
Szczególnie wyraźne obniżenie wartości Hh zaobserwowano po zastosowaniu neutralizatora (profile 2 i 4), gdzie kwasowość hydrolityczna w poziomach objętych neutralizacją (do 20 cm) kształtowała się w granicach od 0,9 do 6,0 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. W profilu trzecim, gdzie też zastosowano neutralizację, obniżone pH i wyższa kwasowość hydrolityczna w wierzchnich poziomach związana jest z dużą domieszką zasiarczonego węgla (tab. 6, w zał.). Wysoką kwasowość hydrolityczną zaobserwowano w poziomach organicznych od 6,0 do 28,8 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (głównie w poziomie ściółki) na starszych powierzchniach (tab.8, w zał.).

3.3.3.2. Suma kationów o charakterze zasadowym (S)

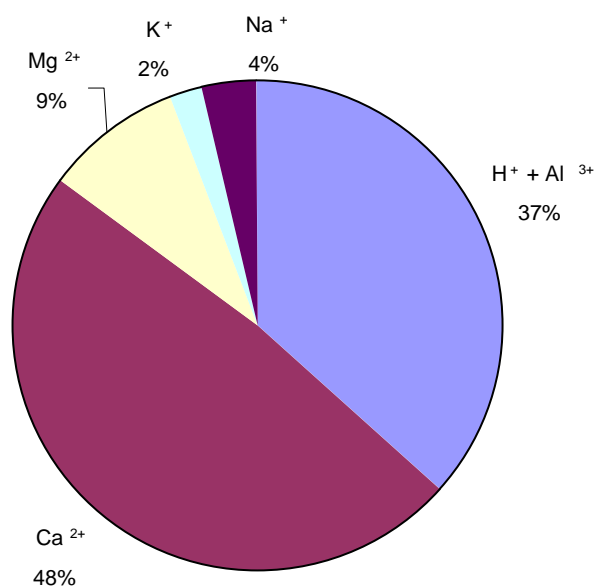
Suma kationów o charakterze zasadowym w gruntach przed rekultywacją mierzona na głębokości 0-20 cm kształtowała się na poziomie 7,9 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm – 8,6 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W drugim profilu, reprezentującym powierzchnie po neutralizacji, na głębokości 0-20 cm suma kationów o charakterze zasadowym wynosiła 7,8 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm – 4,0 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Trzeci i czwarty profil (po wykonanej neutralizacji i hydroobsiewie) charakteryzował się na głębokości 0-20 cm wartością S na poziomie odpowiednio: 9,9 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 21,3 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm: 12,5 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 7,8 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.



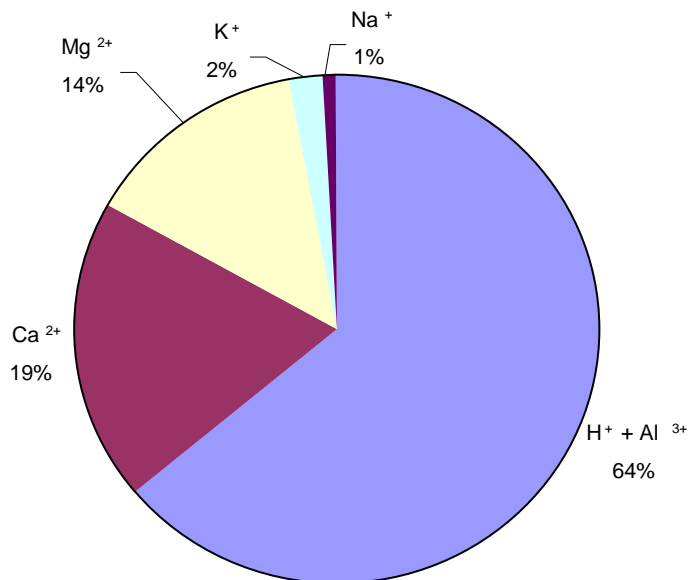
Rys. 8a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb i utworów macierzystych profilu 4 (warstwa neutralizowana; 0-20 cm).



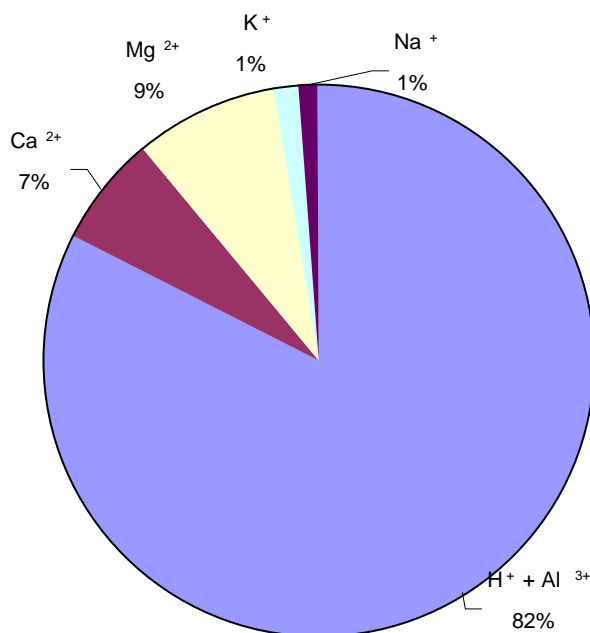
Rys. 8b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb i utworów macierzystych profilu 4 (warstwa nie neutralizowana; 30-40 cm).

Po dwóch latach rekultywacji (profil 5) udział kationów o charakterze zasadowym na głębokości 0-20 cm wynosił $6,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm – $4,0 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Profil szósty w poziomie skały macierzystej C1 charakteryzował się wielkością S na poziomie $13,9 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a w poziomie skały macierzystej C2 wynosił $9,7 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.



Rys. 9a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb i utworów macierzystych profilu 5 (warstwa nie neutralizowana; 0-20 cm).



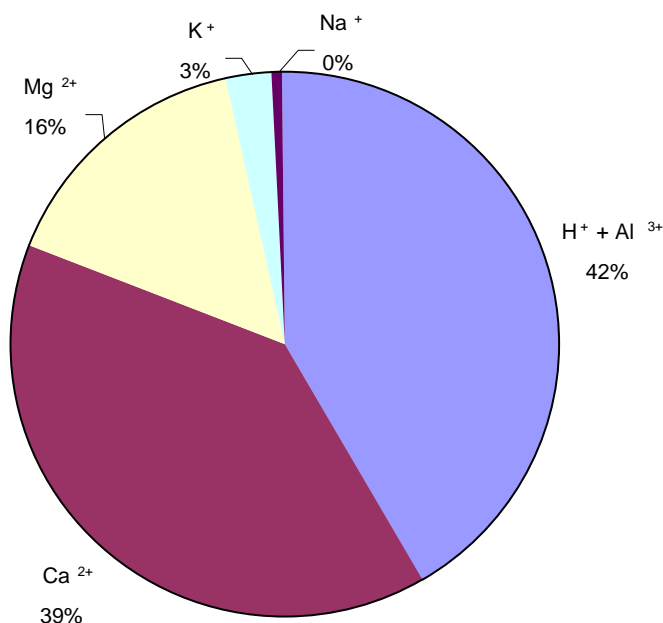
Rys. 9b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb i utworów macierzystych profilu 5 (warstwa nie neutralizowana; 30-40 cm).

W profilach 7 i 8, w poziomie ściółki suma kationów o charakterze zasadowym kształtowała się na poziomie: 13,5 cmol·kg⁻¹ i 18,2 cmol·kg⁻¹, w poziomie próchnicznym: 10,4 cmol·kg⁻¹ i 15,0 cmol·kg⁻¹, w poziomie skały macierzystej 11,0 cmol·kg⁻¹ oraz 11,4 cmol·kg⁻¹ (tab. 8, w zał.).

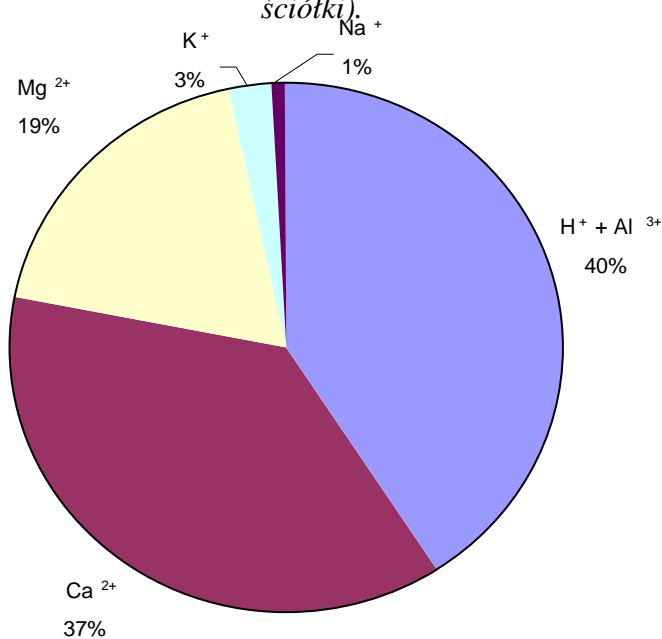
Na powierzchniach z dwunastoletnim i czternastoletnim zalesieniem (profile: 9 i 10), w poziomie ściółki suma kationów zasadowych wynosiła odpowiednio: 30,3 cmol·kg⁻¹ i 8,4 cmol·kg⁻¹; w poziomie próchnicznym: 11,2 cmol·kg⁻¹ i 4,6 cmol·kg⁻¹; w poziomie skały macierzystej w przedziale od 5,4 cmol·kg⁻¹ do 8,5 cmol·kg⁻¹.

W profilach 11 i 14, w poziomie ściółki suma kationów zasadowych wynosiła odpowiednio: 31 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 37,7 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicy nadkładowej: 17,8 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ oraz 4,6 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicznym: 5,9 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 2,8 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ a w poziomie skały macierzystej od 4,1 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 10,1 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W profilach 12 i 13, w poziomie próchnicy nadkładowej suma kationów zasadowych wynosiła 13,6 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 16,1 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie próchnicznym: 7,3 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 3,6 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie skały macierzystej kształtowała się w przedziale od 3,5 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 6,1 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

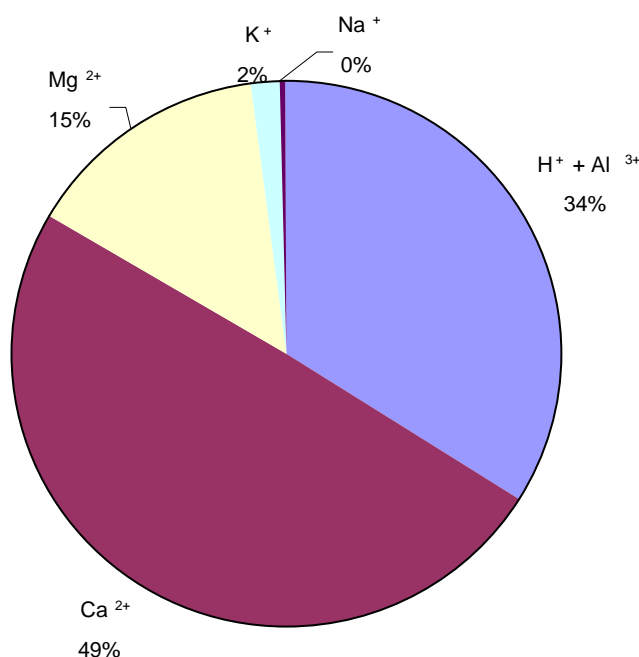


Rys. 10a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 9 (poziom ściółki).

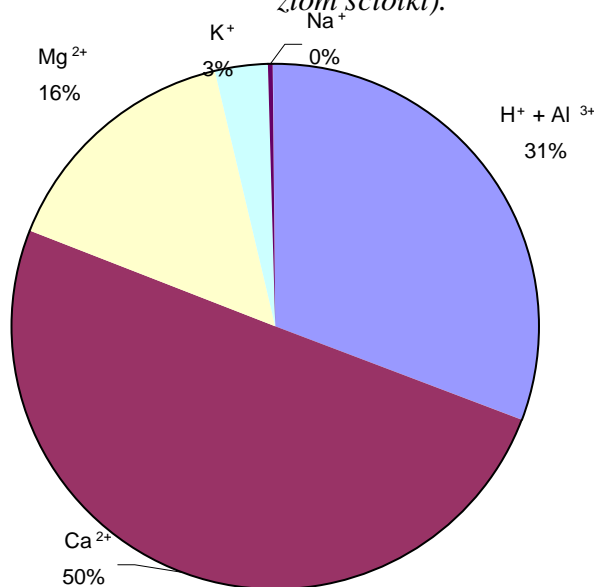


Rys. 10b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym profilu 9 (poziom próchniczny)

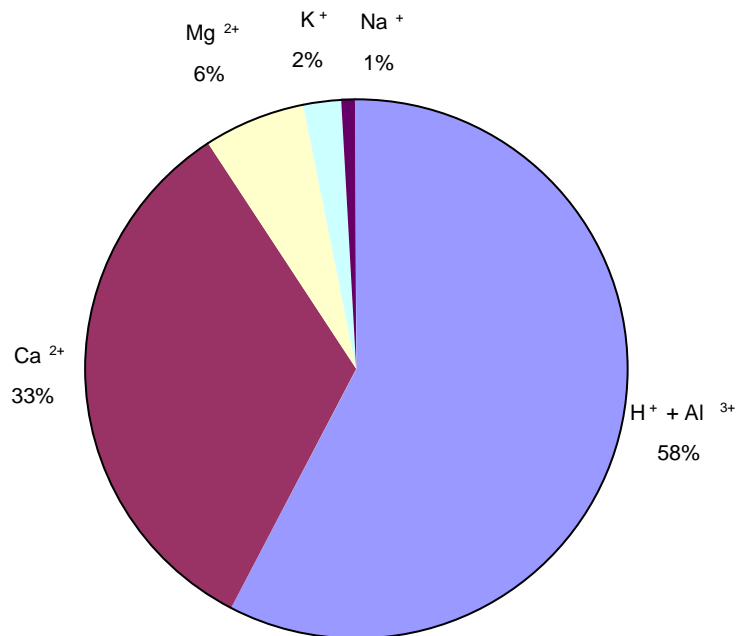
Profile 15, 16 i 17 w poziomie ściółki zbudowane były z materiału o S odpowiednio: 57,6 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 13,3 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 6,2 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicy nadkładowej: 15,4 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 3,4 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ oraz 6,1 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicznym: 11,4 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 3,7 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 4,1 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w skale macierzystej suma kationów zasadowych wynosiła 10,7 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (w profilu 16) i 3,4 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (w profilu 17) – tab. 8, w zał.



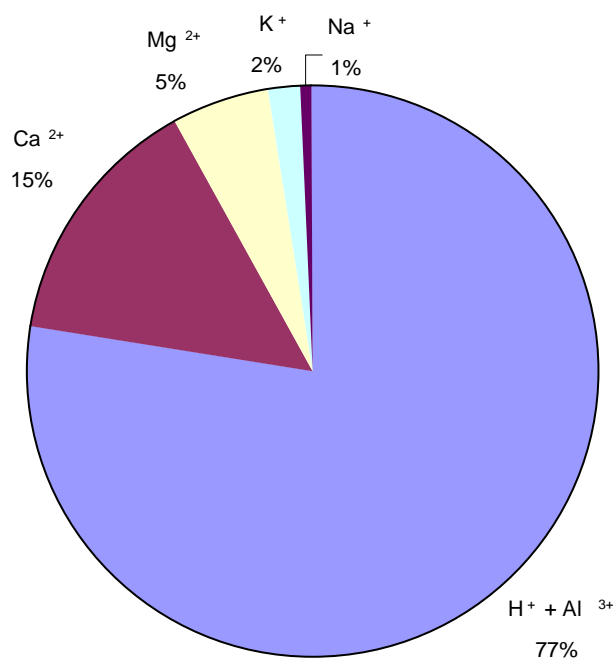
Rys. 11a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 15 (poziom ściółki).



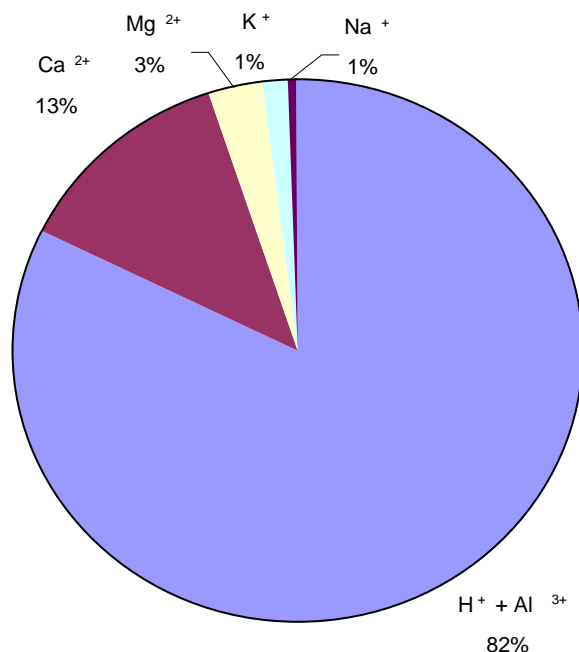
Rys. 11b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 15 (poziom próchnicy nadkładowej).



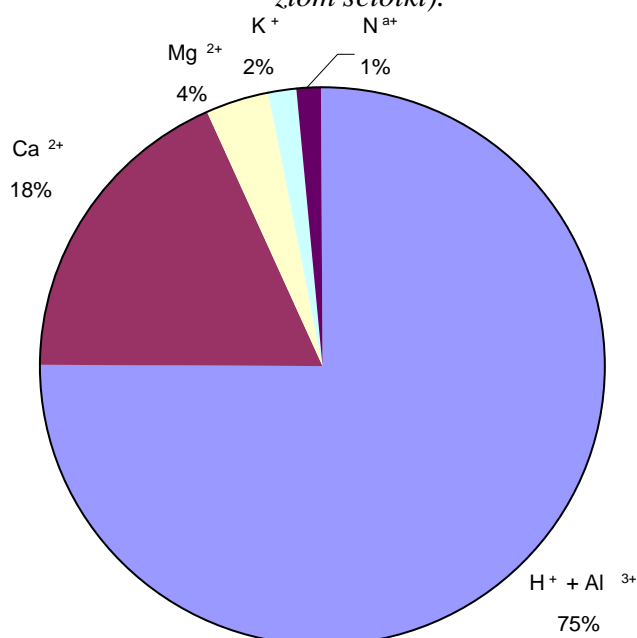
Rys. 12a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 16 (poziom ściółki).



Rys. 12b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 16 (poziom próchnicy nadkładowej).



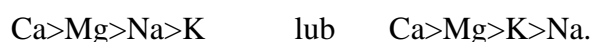
Rys. 13a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 17 (poziom ściółki).



Rys. 13b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 17 (poziom próchnicy nadkładowej).

Suma kationów o charakterze zasadowym w badanych glebach kształtowała się na poziomie od 2,8 cmol·kg⁻¹ (w profilu 14, w poziomie AC) do 57,6 cmol·kg⁻¹ (w profilu 15, w poziomie Ol). Wysokie wartości S występowały głównie w poziomach powierzchniowych starszych profili, szczególnie w poziomach ściółki, malejąc wraz z głębokością profilu. Wartości te kształtowały się odpowiednio dla kationów dwuwartościowych wapnia i magnezu od 55,85 do 3,03 cmol·kg⁻¹ gleby, natomiast dla kationów jednowartościowych potasu i sodu od 2,65 do 0,13 cmol·kg⁻¹ gleby. Świadczy to o większym nagroma-

dzeniu w analizowanych glebach dwuwartościowych kationów wymiennych. Zaobserwować można, że w drugim roku rekultywacji zawartość kationów wapnia i magnezu maleje w głąb profilu. W powierzchniowych poziomach tychże gleb układ równoważnikowy kationów o charakterze zasadowym kształtował się następująco (tab. 8, w zał., rys. 12a, 13a):

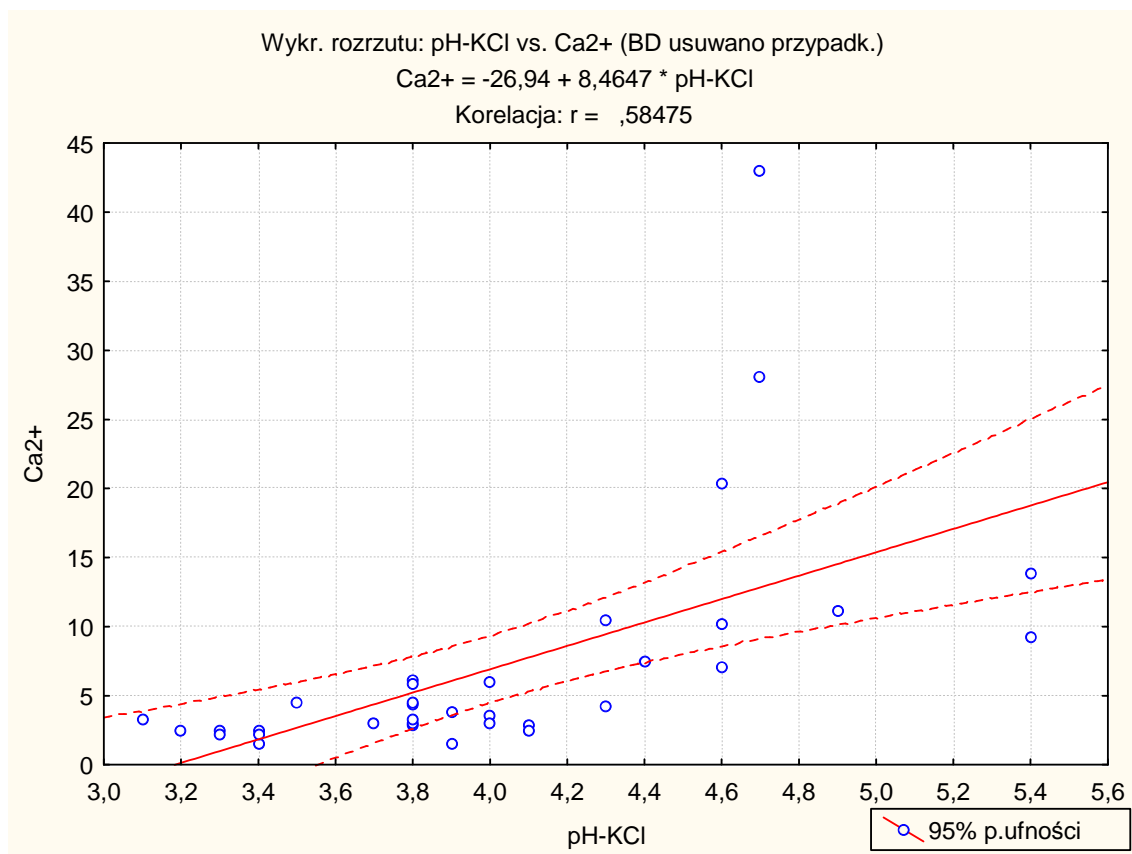


Na dłużej rekultywowanych powierzchniach proporcje pomiędzy poszczególnymi kationami można uznać za prawidłowe, zbliżone do notowanych w glebach naturalnych.

W badanych glebach zwraca uwagę duży udział w kompleksie sorpcyjnym kationów zasadowych, a wśród nich szczególnie kationów wapnia (wpływ wapnowania).

Zawartość kationów Ca^{2+} w badanych glebach wynosił od 1,46 do 43,01 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a kationów Mg^{2+} od 0,63 do 12,84 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zawartość kationów K^+ jest stosunkowo niska i wahała się od 0,26 do 2,21, podobnie kationów Na^+ od 0,06 do 1,31 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 8, w zał.). Istotny wpływ na wzrost zawartości kationów zasadowych w wierzchnich poziomach ma zabieg neutralizacji (profil 4).

Wprowadzane jony wapnia wywierają duży wpływ na tworzenie się próchnicy glebowej, przyczyniając się do szybszego rozkładu materii organicznej w glebie. Zwiększają pH gruntów do wartości typowych dla gleb kwaśnych. Potwierdzono to statystycznie, otrzymując na poziomie istotności $\alpha=0,05$, korelację dodatnią pomiędzy wartością pH (w 1m KCl) a zawartością kationów wapnia ($r = 0,58475$), co ukazano na rys. 14.



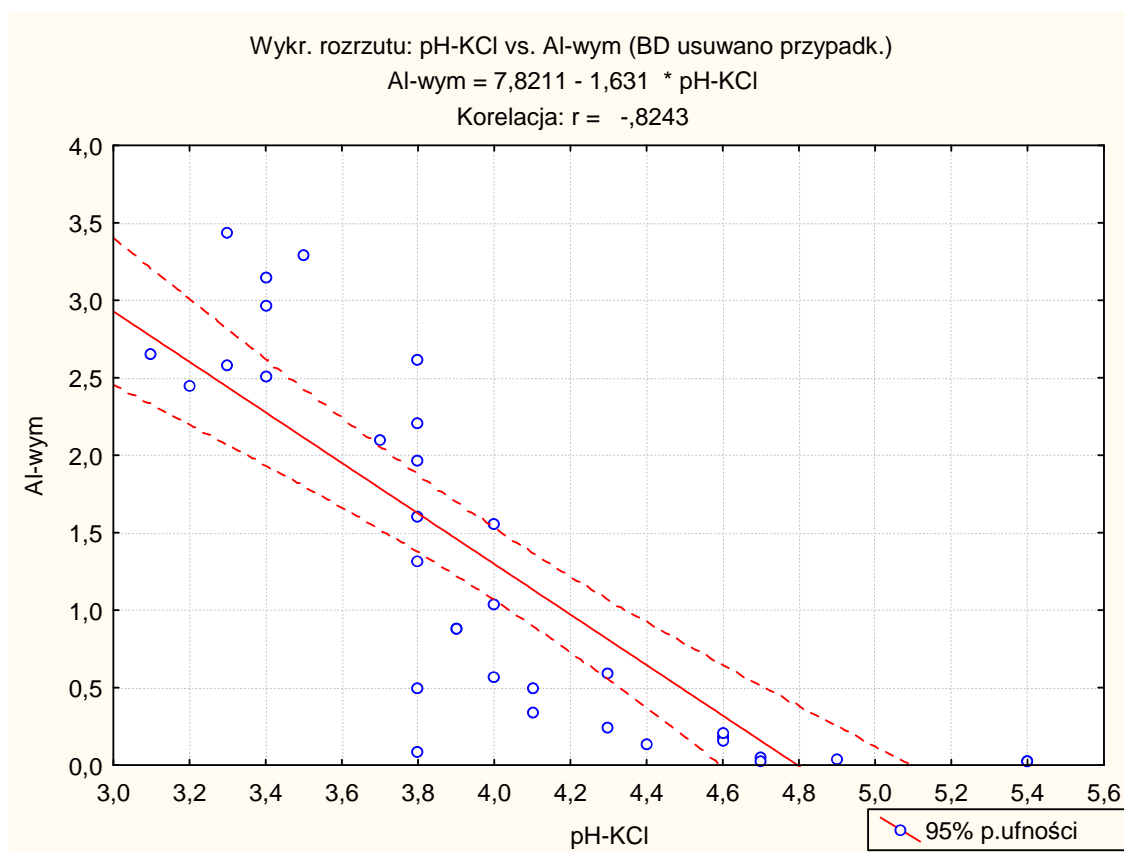
Rys. 14. Korelacja między zawartością w glebach jonów Ca^{2+} a wartością pH odnotowaną w badanych próbkach

Jony wapnia sprzyjają również powstawaniu i utrwalaniu struktury gruzełkowej oraz chronią glebę przed toksycznym oddziaływaniem jonów glinu ruchomego. Tą zależność udowodniono statystycznie, otrzymując na poziomie istotności $\alpha=0,05$, korelację ujemną pomiędzy wartością pH (mierzoną w 1m KCl) a zawartością jonów glinu wymiennego ($r = -0,8243$), co ukazano na rys. 14.

Na powierzchniach z 12 i 25 letnim zadrzewieniem (profil 11 i 15) udział kationów o charakterze zasadowym wzrastał stopniowo w poziomach organicznych (ściółki i próchnicy nadkładowej).

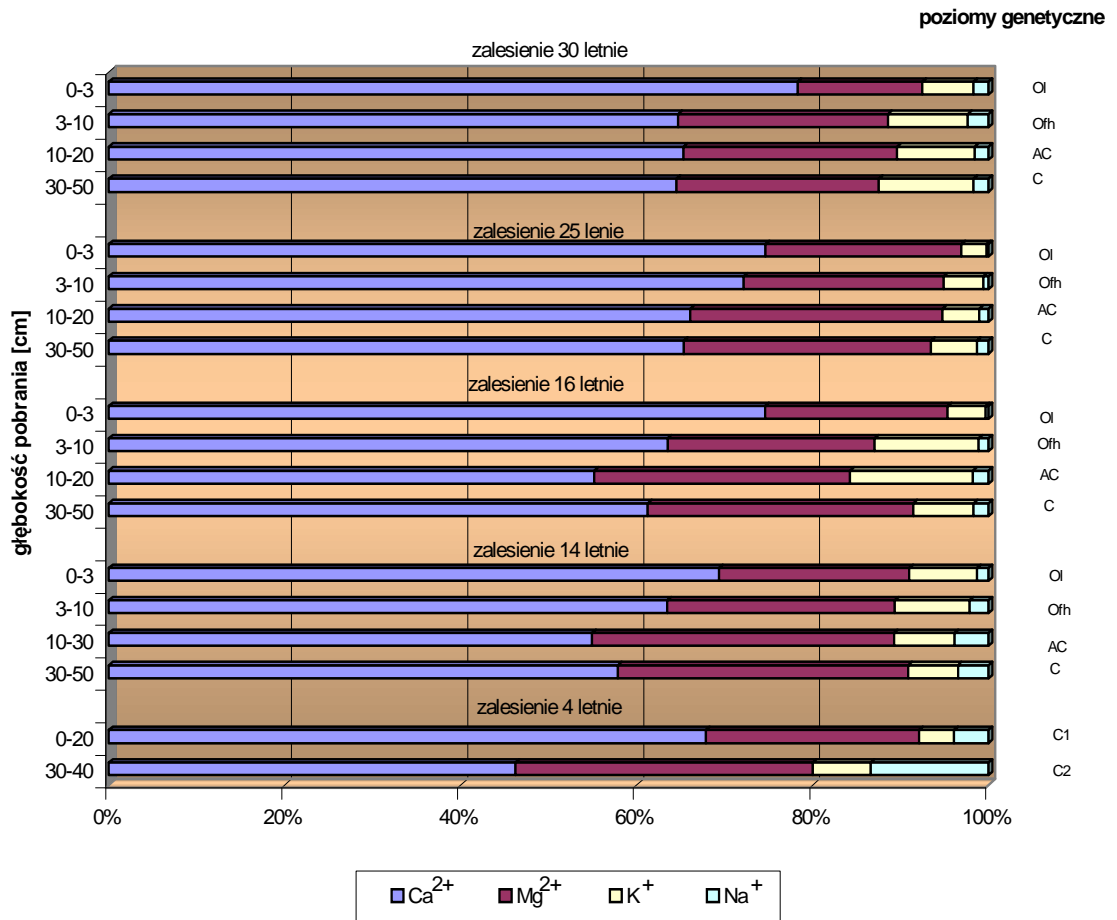
Największą zawartość Ca^{2+} stwierdzono w wierzchnich poziomach profilu 15, gdzie wynosił 43,01 ,a Mg^{2+} 12,84 $cmol \cdot kg^{-1}$ gleby i maleje w głąb profilu, osiągając wartość 6,97 $cmol \cdot kg^{-1}$ gleby (tab. 8, w zał.).

Zawartość kationów o charakterze zasadowym na powierzchniach pod 30- i 40-letnim zalesieniem, w poziomach organicznych uległa pewnej stabilizacji (rys. 12a, 12b i 13a, 13b). Zaznacza się przewaga jonów zakwaszających.

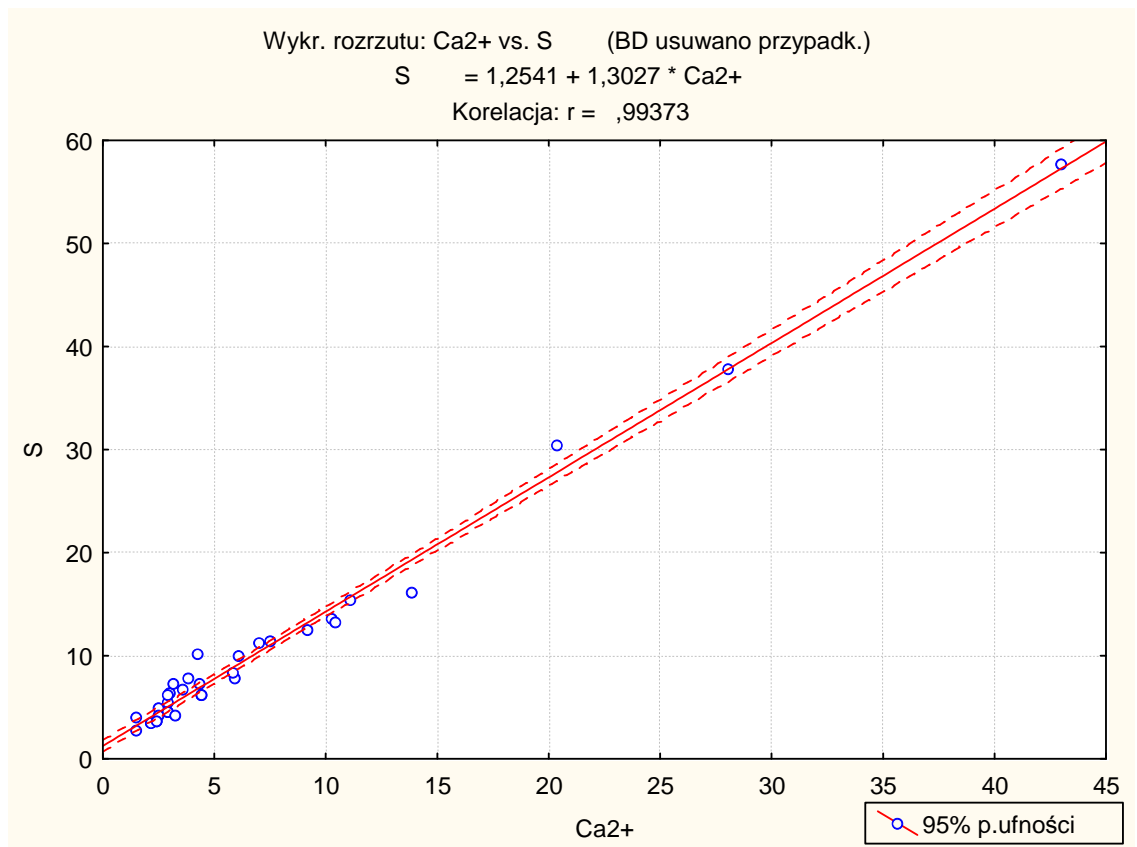


Rys. 15. Korelacja między zawartością glinu wymiennego a wartością pH odnotowaną w 1m KCl w analizowanych próbkach

W udziale procentowym kationów wymiennych przeważają dwuwartościowe kationy wapnia i magnezu. Z biegiem lat zwiększa się ich udział, głównie kationów wapnia w poziomach organicznych (rys. 16). Zależność tą potwierdzono statystycznie, otrzymując na poziomie istotności $\alpha=0,05$, korelację dodatnią pomiędzy sumą kationów wymiennych o charakterze zasadowym a zawartością w glebie kationów wapnia ($r = 0,99$), co ukazuje rys. 17.



Rys. 16. Procentowy udział zasadowych kationów wymiennych w kompleksie sorpcyjnym gleb inicjalnych w opisywanych profilach



Rys. 17. Korelacja między sumą kationów o charakterze zasadowym a zawartością jonów Ca²⁺

3.3.3.3. Pojemność sorpcyjna wobec kationów (T)

W pierwszym i drugim profilu, na głębokości 0-20 cm, pojemność sorpcyjna wynosiła odpowiednio: 18,2 cmol·kg⁻¹ i 13,9 cmol·kg⁻¹, a na głębokości 30-40 cm: 12,8 cmol·kg⁻¹ oraz 23,3 cmol·kg⁻¹ (tab.8, w zał.).

W profilach trzecim i czwartym pojemność sorpcyjna na głębokości 0-20 cm wynosiła: 17,6 cmol·kg⁻¹ i 22, cmol·kg⁻¹, a na głębokości 30-40 cm: 16,98 cmol·kg⁻¹ i 12,29 cmol·kg⁻¹.

Na powierzchniach po wykonanej neutralizacji i hydroobsiewie (profile 5 i 6), na głębokości 0-20 cm wartości te były na poziomie: 18,47 cmol·kg⁻¹ i 21,43 cmol·kg⁻¹, natomiast na głębokości 30-40cm: 22,75 cmol·kg⁻¹ i 20,02 cmol·kg⁻¹.

Na powierzchni z dziesięcioletnim zalesieniem (profil 7 i 8) pojemność sorpcyjna, w poziomie ściółki wynosiła odpowiednio: 20,5 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 21,6 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie próchnicznym: 17,8 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 20,4 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ oraz w poziomie skały macierzystej: 15,6 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 19,8 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W profilach 9 i 10, w poziomie ściółki, pojemność sorpcyjna była na poziomie, odpowiednio: 51,9 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 29,39 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicznym: 18,9 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 18,3 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie skały macierzystej od 13,4 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 18,25 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

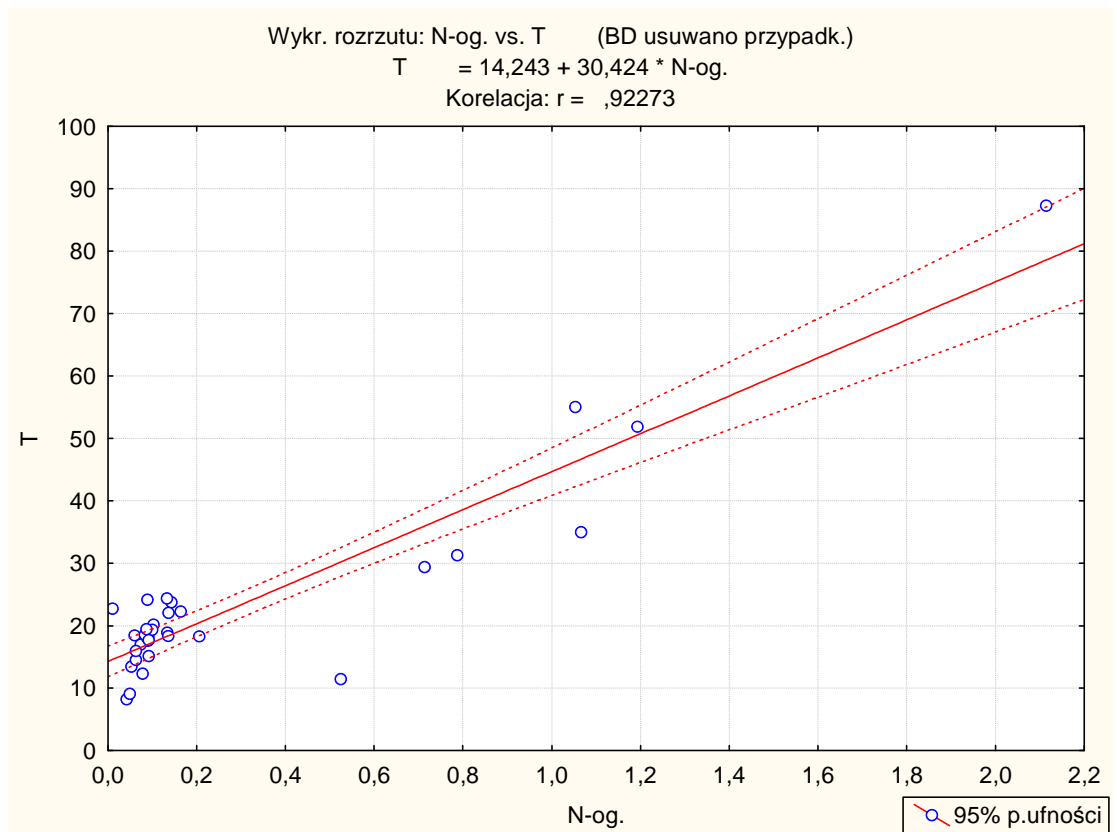
W profilach: 11 i 14 (z szesnastoletnim zalesieniem) pojemność sorpcyjna w poziomie ściółki wynosiła: 31,02 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 55,06 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicy nadkładowej: 22,53 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 11,45 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicznym: 18,75 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 8,19 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie skały macierzystej w przedziale od 9,08 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 10,09 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 8, w zał.).

Profile 12 i 13 również z szesnastoletnim zalesieniem wykazywały w poziomie próchnicy nadkładowej wartości: 23,75 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 22,08 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie próchnicznym: 20,21 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 19,34 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie skały macierzystej od 14,49 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 18,54 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

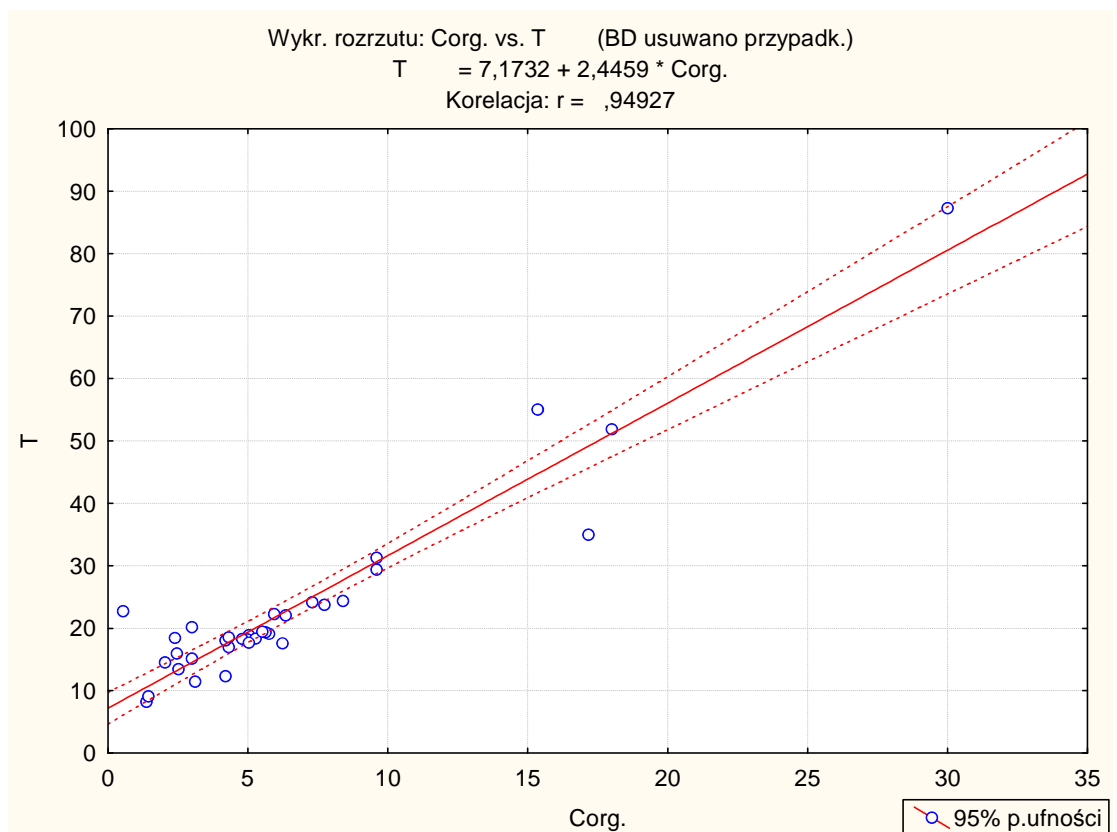
W profilach z dwudziestopięcio-, trzydziesto-, i czterdziestoletnim zalesieniem (profile 15, 16 i 17) pojemność sorpcyjna wynosiła odpowiednio, w poziomie ściółki: 87,31 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 31,32 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 34,97 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicy nadkładowej: 22,29 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 15,1 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 24,38 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicznym: 19,48 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 15,94 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 24,19 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. W profilach 16 i 17, w poziomie skały macierzystej wartości te osiągnęły: 20,46 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i 15,64 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Analizowane gleby charakteryzują się zróżnicowaną pojemnością sorpcyjną oraz udziałem w kompleksie sorpcyjnym kationów o charakterze zasadowym. W większości analizowanych gleb ich skład granulometryczny był zbliżony, co przyniosło efekt w braku wpływu zawartości frakcji koloidalnej w kolejnych próbkach glebowych na pojemność sorpcyjną gleb.

Wzrost pojemności sorpcyjnej jest najbardziej widoczny na starszych powierzchniach rekultywowanych, zwłaszcza w ich poziomach powierzchniowych, gdzie akumuluje się materia organiczna. Wartości T kształtowały się tam w przedziale od 15,1 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (poziom Ofh w profilu 16) do 87,31 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (poziom Ol w profilu 15) – tab. 8, w zał. Zależność tą udowodniono statystycznie, otrzymując na poziomie istotności $\alpha=0,05$, korelację dodatnią pomiędzy pojemnością sorpcyjną a zawartością azotu ogólnego ($r = 0,92273$) – rys. 18 oraz zawartością węgla ($r = 0,94927$) – rys. 19.



Rys. 18. Korelacja między pojemnością sorpcyjną a zawartością N ogólnego



Rys. 19. Korelacja między pojemnością sorpcyjną a zawartością węgla

Największą pojemność sorpcyjną stwierdzono w gruncie pod 25-letnim zalesieniem, w poziomie ściółki (0-3 cm), gdzie wynosiła ona $87,31 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (profil 15). Poziom ten charakteryzuje się dużym udziałem substancji organicznej. W pozostałych poziomach genetycznych badanych profili opisywane wartości kształtowały się od 8,19 (poziom AC w profilu 14) do $24,38 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (poziom A w profilu 17)- tab. 8, w zał.

3.3.3.4. Wysycenie kompleksu sorpcyjnego jonami o charakterze zasadowym (V)

Wysycenie kompleksu sorpcyjnego jonami o charakterze zasadowym w gruntach przed rekultywacją mierzona na głębokości 0-20 cm kształtowała się na poziomie 43,4%, a na głębokości 30-40 cm – 67,2%.

W drugim profilu, reprezentującym powierzchnie po neutralizacji, na głębokości 0-20 cm V wynosiła 39,2%, a na głębokości 30-40 cm – 17,2%.

Próbki glebowe, pobrane w profilu trzecim wykazały wartość V na poziomie odpowiednio: na głębokości 0-20 cm – 56,3% i 30-40 cm – 73,5%.

W profilu czwartym wartości te kształtowały się: na głębokości 0-20 cm – 95,9%, a na 30-40 cm – 63,4%.

W profilach piątym i szóstym, w wierzchnim poziomie skały macierzystej, stopień wysycenia wynosi odpowiednio: 36,1% i 65%, natomiast głębiej położonym poziomem skały macierzystej osiągnął 17,4% i 48,5%.

Na powierzchniach z dziesięcioletnim zalesieniem wysycenie kompleksu sorpcyjnego jonami o charakterze zasadowym kształtowało się na poziomie odpowiednio: 66% i 54,3%, w poziomie próchnicznym: 59,2% i 73,5%, natomiast w poziomie skały macierzystej: 47% oraz 48,2% (tab. 8, w zał.).

W profilach z zadrzewieniem dwunasto- i czternastoletnim (profile: 9 i 10), w poziomie ściółki, wartości V kształtowały się odpowiednio na poziomie: 58,4% i 28,5%. W poziomie próchnicznym wynosiły: 59,3% i 25,1%, natomiast w poziomie skały macierzystej od 40,3% do 63,9%.

W profilach 11 i 14, zlokalizowanych na powierzchniach z szesnastoletnim zalesieniem, w poziomie ściółki wysycenie kompleksu sorpcyjnego jonami o charakterze zasadowym było na poziomie odpowiednio: 54,2% i 68,4%; w poziomie próchnicy nad-

kładowej: 59,1% i 39,8%; w poziomie próchnicznym przyjęły wartości: 44% i 34,1%, natomiast w skale macierzystej od 34,1% do 52,9%.

W profilach 12 i 13 w poziomie próchnicy nadkładowej stopień wysycenia KS jonami o charakterze zasadowym wynosił 57,5% i 72,8%, w poziomie próchnicznym odpowiednio 36,2% i 18,8%, a w poziomie skały macierzystej od 33,1% do 39,6%.

W profilach reprezentujących starsze powierzchnie rekultywowane: 25-, 30- i 40-letnie (profile: 15,16 i 17), w poziomie ściółki wartości V kształtowały się na poziomie: 66%, 42,5% i 17,7%, w poziomie próchnicy nadkładowej: 69%, 22,5%, 24,9%, a w poziomie próchnicznym: 58,4%, 23,5% i 16,9%. W profilach 15 i 16, w poziomie skały macierzystej, V było na poziomie odpowiednio: 52,1% i 22%.

Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym, wykazał zróżnicowanie, podobnie jak w przypadku pojemności sorpcyjnej wobec kationów. Wysokie wartości stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi obserwowane są w poziomach i warstwach glebowych, objętych zabiegiem neutralizacji i hydroobsiewu (0-20cm), osiągając średnio 70% (profil 3). Zwiększone wartości V w profilu 4, nawet do 96% korelują z odczynem wynoszącym powyżej 7,0 pH (tab. 6, w zał.). W głębszych poziomach (30-40 cm) stopień wysycenia zasadami oraz zawartość kationów wapnia jest znacznie niższy i wynosił ok. 64%. Zaznacza się istotny wpływ zabiegu neutralizacji na wzrost stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami, zwiększenie głównie udziału kationów wapnia i magnezu w kompleksie sorpcyjnym. Na powierzchni z dwuletnim zadrzewieniem (profil 5) stopień wysycenia KS zasadami maleje w głąb profilu, wynosząc w poziomie skały macierzystej C1 ok. 36%.

Na powierzchniach z 12- i 25-letnim zadrzewieniem (profil 9, 15), w poziomie akumulacji materii organicznej, stopień wysycenia KS zasadami wynosił odpowiednio ok. 60% i 66%. Na powierzchniach z 30 i 40 letnim zalesieniem stopień wysycenia kompleksu jonami o charakterze zasadowym ulega pewnej stabilizacji (profil 16, 17), osiągając średnio wartość ok. 50%. Wysycenie kompleksu sorpcyjnego jonami o charakterze zasadowym w poziomach organicznych maleje, wraz ze stopniowym obniżeniem się odczynu gleby (tab. 8, w zał.). W kompleksie sorpcyjnym przeważają kationy o charakterze zakwaszającym.

3.3.4. Zawartość węgla

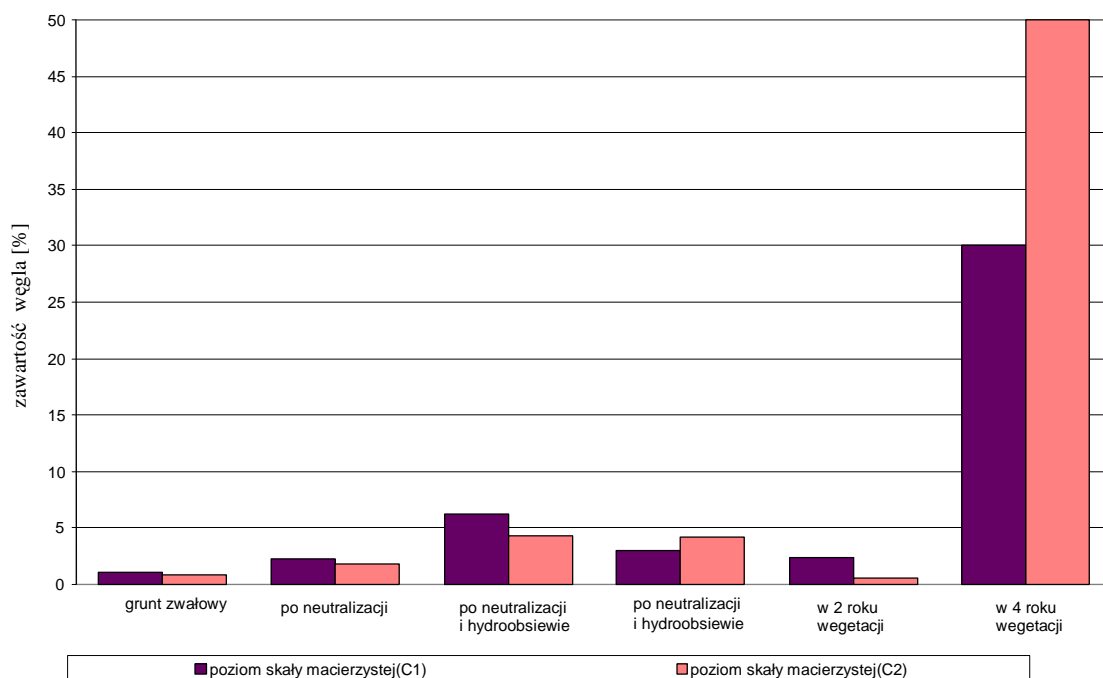
Z uwagi na znaczną domieszkę węgla w rekultywowanym nadkładzie zawartość węgla może reprezentować obie formy węgla tj. węgiel zawarty w nadkładzie przeniesiony z nadkładem i węgiel wytworzony w procesie rekultywacji z materii organicznej.

Badaną powierzchnię przed rekultywacją charakteryzuje zawartość 1,07% węgla na głębokości 0-20 cm oraz 0,82% na głębokości 30-40 cm (profil pierwszy).

Po wykonanej neutralizacji (profil drugi), na głębokości 0-20 cm zawartość węgla wynosiła 2,3%, natomiast na głębokości 30-40 cm – 1,8%.

Powierzchnie rekultywowane po neutralizacji i hydroobsiewie reprezentują profile trzeci i czwarty. Zawartość w nich węgla kształtowała się od 3,00% (profil czwarty, głębokość 30-40 cm) do 6,24% (profil trzeci na głębokości 0-20 cm), ze średnią zawartością 4,44% (tab. 7, w zał.).

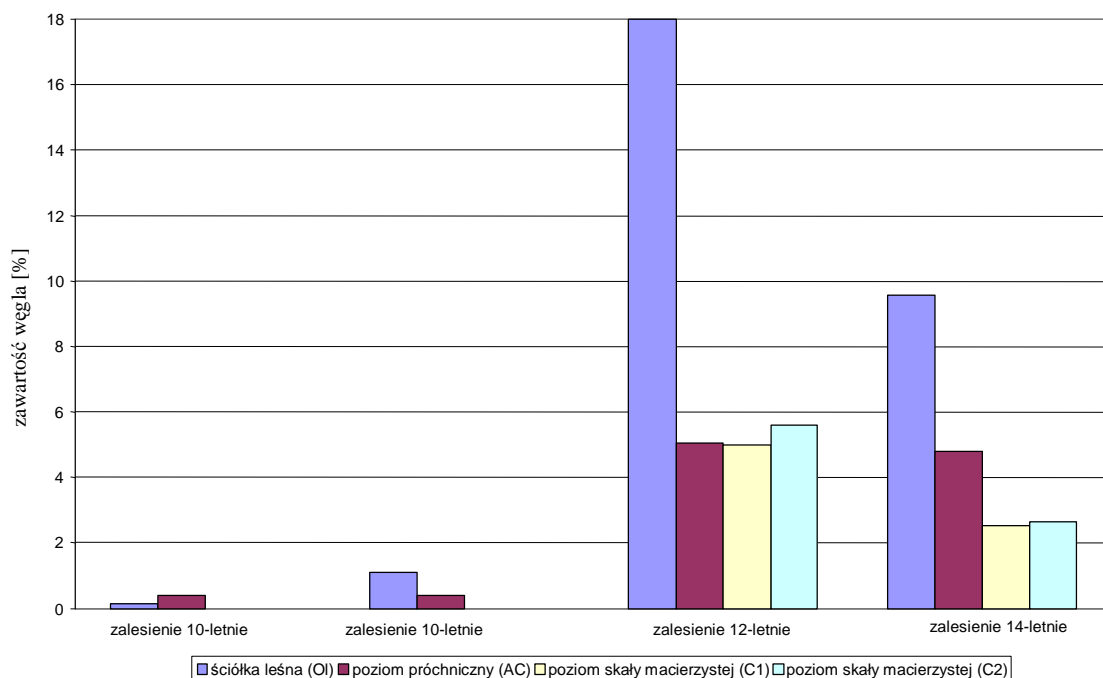
Powierzchnie, na których zostało wykonane nawożenie mineralne w drugim i czwartym roku wegetacji reprezentuje profil piąty i szósty. Tam zawartość węgla kształtowała się odpowiednio: 2,4% i 3,05% na głębokości 0-20 cm oraz 0,54% i 50% na głębokości 30-40 cm.



Rys. 20. Zawartość węgla w glebach i utworach macierzystych profili 1-6

Profile 7 i 8 reprezentują powierzchnie z dziesięcioletnim zalesieniem. Zawartość węgla w ich wierzchnich poziomach organicznych wynosiła od 0,14% do 0,39%.

Profil 9 i 10 z obszarów, na których od zalesienia minęło dwanaście i czternaście lat charakteryzują się w poziomie ściółki zawartością węgla na poziomie 18% i 9,6%; w poziomie próchnicznym wynosiła ona 5,04% i 4,80%, a głębiej (w skale macierzystej) od 2,50% do 5,58% (średnio 3,93%).



Rys. 21. Zawartość węgla w glebach i utworach macierzystych profili 7-10

Szesnastoletnie powierzchnie rekultywowane reprezentują profile: 11, 12, 13 i 14.

W profilach 11 i 14, w ich poziomie ściółki zawartości węgla wynosiły odpowiednio: 9,6% i 15,36%; w poziomie próchnicy nadkładowej z kolei: 6,24% i 3,12%, natomiast w poziomach próchnicznych: 4,44% i 1,38%. W poziomach skały macierzystej zawartość węgla wahała się od 1,44% do 5,76% (tab. 7, w zał).

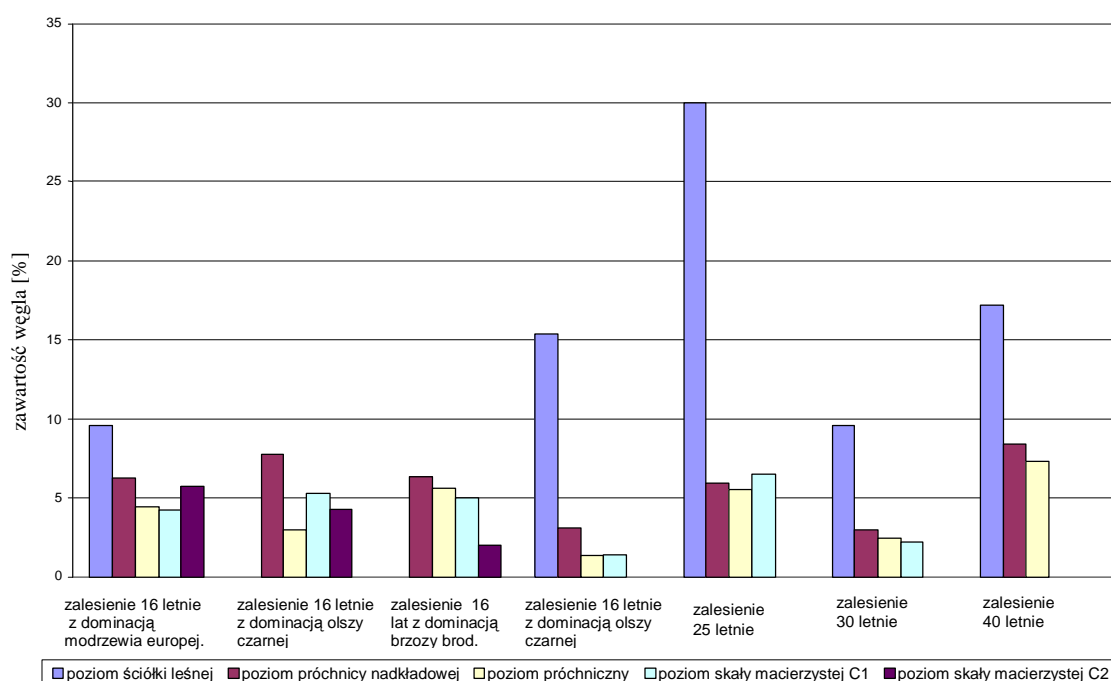
W profilach 12 i 13, w poziomie próchnicy nadkładowej zawartość węgla przyjęła wartości 7,74% i 6,36%, w poziomie próchnicy nadkładowej: 3% i 5,63%, w poziomie próchnicznym: 5,28% i 5,04% i w poziomie skały macierzystej wartości kształtowały się na poziomie: 4,32% i 2,04%.

Zawartość węgla w profilu dwunastym, zlokalizowanym na powierzchni, na której w składzie gatunkowym roślinności drzewiastej dominuje olsza czarna (*Alnus glutinosa*

(L.) Gaertn.) w poziomie ściółki wynosiła 7,74%. Na powierzchni szesnastoletniej (profil 13), ale z dominacją brzozy brodawkowatej, zawartość węgla w tym poziomie była niższa i wynosiła 6,36%.

W trzecim profilu, na szesnastoletniej powierzchni (profil 14), z przewagą w udziale gatunkowym drzew olszy czarnej, zawartość węgla była dwukrotnie większa – na poziomie 15,36%.

Na najstarszych powierzchniach: 25-, 30- i 40-letnich (profile: 15, 16 i 17), w poziomie ściółki zawartość węgla wynosiła odpowiednio: 30,00%; 9,60% i 17,16%; w próchnicy nadkładowej: 5,94%, 3,00% i 8,40%; w poziomie próchnicznym: 5,52%, 2,46% i 7,30%, a w skale macierzystej osiągała średnio 4,38%.



Rys. 22. Zawartość węgla w glebach i utworach macierzystych profili 11-17

Najwyższą zawartość węgla w starszych profilach z wyraźnie wykształconym poziomem ściółki (profile: 9, 15, 17) stwierdzono w profilu dziesiątym pod 12-letnim zadrzewieniem (18,00%), w piętnastym pod 25-letnim zadrzewieniem (30,00%) oraz w profilu siedemnastym pod 40-letnim zadrzewieniem (ok. 17,20%).

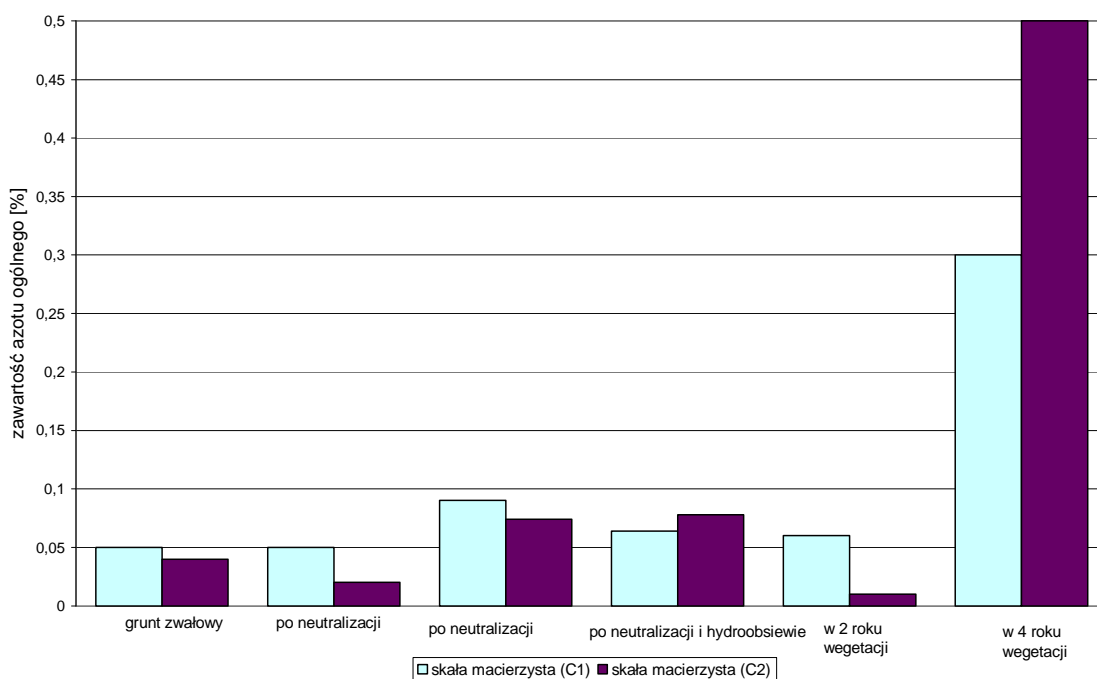
3.3.5. Zawartość azotu ogólnego

W profilu pierwszym, na głębokości 0-20 cm, stwierdzono zawartość azotu ogólnego 0,05%, natomiast na głębokości 30-40 cm – 0,04%.

W profilu drugim, po wykonanej neutralizacji, na głębokości 0-20 cm zawartość azotu ogólnego osiągała wartość 0,05%, a na głębokości 30-40 cm – 0,02%.

W reprezentujących najmłodsze powierzchnie rekultywowane profilach: trzecim i czwartym, stwierdzono zawartość azotu w granicach od 0,064% do 0,078% (tab. 7, w zał.).

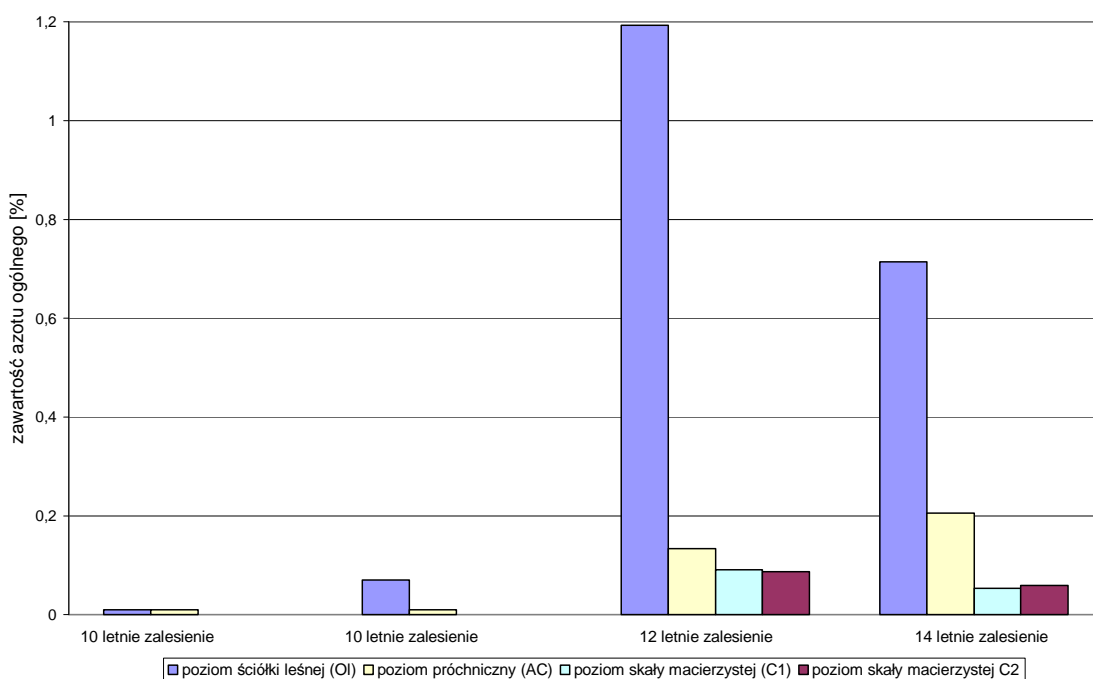
Profile piąty i szósty (po wykonaniu nawożenia mineralnego mocznikiem) w wierzchnich poziomach zawierały azotu ogólnego odpowiednio: 0,06% i 0,30%, a głębiej 0,01% i 0,50%.



Rys. 23. Zawartość azotu ogólnego w glebach i utworach macierzystych profili 1-6

W gruntach powierzchni z dziesięcioletnim zalesieniem (profile siódmy i ósmy) stwierdzono zawartość azotu ogólnego w wierzchnich poziomach odpowiednio: 0,01%, i 0,07% , a głębiej 0,13% i 0,01%.

Powierzchnie dwunasto- i czternastoletnie (profile 9 i 10) charakteryzowały się zawartością w poziomie ściółki 1,19% i 0,71% azotu ogólnego, w poziomach próchnicznych 0,13%; 0,20%, a głębiej – w skale macierzystej – od 0,053% do 0,091%.



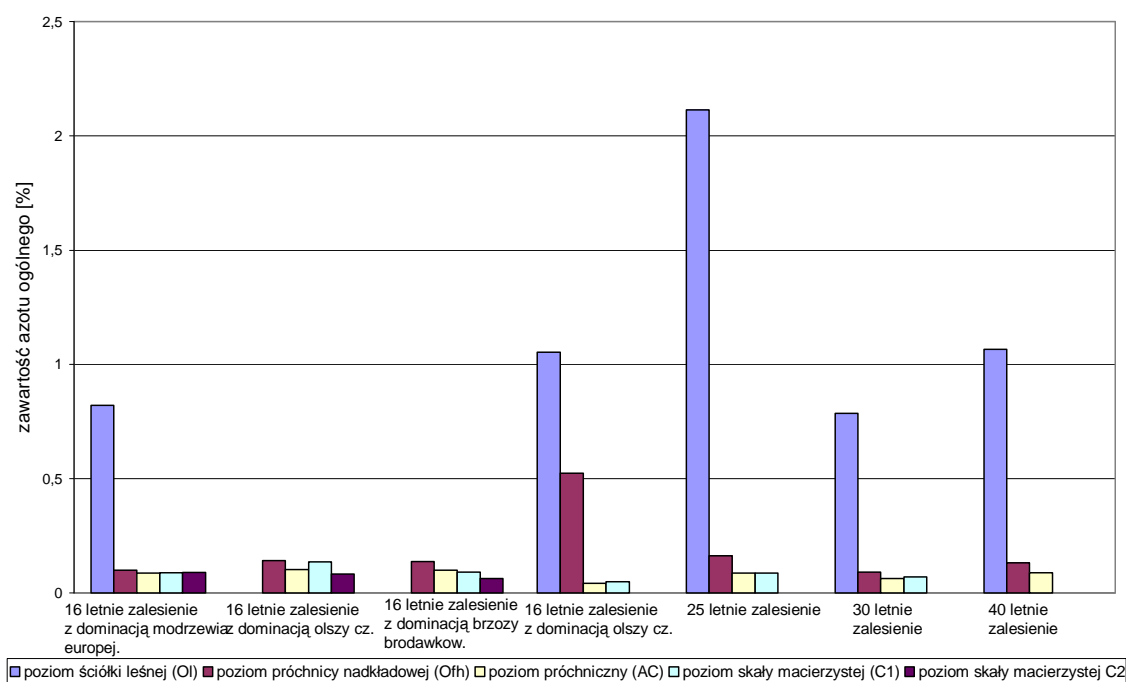
Rys. 24. Zawartość azotu ogólnego w glebach i utworach macierzystych profili 7-10

Szesnastoletnie powierzchnie (profile: 11 i 14), w poziomie ściółki zawartość azotu ogólnego wynosiły: 0,82% i 1,053%, w poziomie próchnicy nadkładowej: 0,099% i 0,525%, w poziomach próchnicznych: 0,087% i 0,042%, a głębiej – w poziomie skały macierzystej – od 0,049% do 0,090%.

W profilach 12 i 13, w poziomie próchnicy nadkładowej zawartość azotu wynosiła 0,143% i 0,137%, w poziomie próchnicznym: 0,103% i 0,1%, w poziomie skały macierzystej od 0,063% do 0,136%.

Zawartość azotu ogólnego w gruntach, na powierzchni których dominuje olsza czarna w składzie gatunkowym roślinności drzewiastej (profil 12), w poziomie ściółki, wynosiła 0,143%. Na powierzchni szesnastoletniej, ale z dominacją brzozy brodawkowatej (profil 13) zawartość azotu ogólnego w tym poziomie była niższa i wynosiła 0,137%. W profilu piętnastym w poziomie ściółki, zlokalizowanym na szesnastoletniej powierzchni z przewagą w udziale gatunkowym drzew olszy czarnej, zawartość azotu była znacznie wyższa i wynosiła 1,053%.

W profilach charakterystycznych dla powierzchni 25-, 30- i 40-letnich (profile: 15, 16 i 17), w poziomie ściółki, zawartość azotu ogólnego wynosiła odpowiednio: 2,11%, 0,78% i 1,06%, w próchnicy nadkładowej: 0,16%, 0,09% i 0,13%, w poziomie próchnicznym: 0,087%, 0,063% i 0,08%, a w skale macierzystej (w zalesieniach 25 i 30 letnich) wynosiła od 0,070% do 0,087% (tab. 7, w zał.).



Rys. 25. Zawartość azotu ogólnego w glebach i utworach macierzystych profili 11-17

Zawartość azotu ogólnego w analizowanych profilach, w poziomie ściółki i próchnicy nadkładowej, zawierała się w przedziale od 0,1 do 2,1 %, przy czym najwyższe wartości odnotowano w poziomie ściółki „starszych profili” (profile: 9, 15, 17). Najwięcej azotu ogólnego w tym poziomie zawiera profil piętnasty, pod dwudziestopięcioletnim zadrzewieniem, wynosząc 2,11% (rys. 25). Zdecydowanie mniejszą zawartość odnotowano w poziomie próchnicznym tych profili – od 0,08 do 0,10% (tab. 7, w zał.).

3.3.6. Stosunek C:N

Miarą humifikacji substancji organicznej jest stosunek węgla do azotu. Proces humifikacji ma charakter przede wszystkim biochemiczny. Biorą w nim udział enzymy wydzielane przez mikroorganizmy glebowe, jak również cały kompleks reakcji fizykochemicznych.

W profilu pierwszym na głębokości 0-20 cm stosunek węgla do azotu wynosił 21,4, a na głębokości 30-40 cm 20,5.

Po wykonanej neutralizacji (profil drugi) wartości te w wierzchnim poziomie wyniosły 46,0, a głębiej osiągnęły 90.

Stosunek węgla do azotu w profilu trzecim wynosił: na głębokości 0-20 cm 69,3, 30-40 cm – 58,4.

W profilu czwartym wartości te kształtowały się: na głębokości 0-20 cm – 46,92, a na 30-40 cm – 53,8.

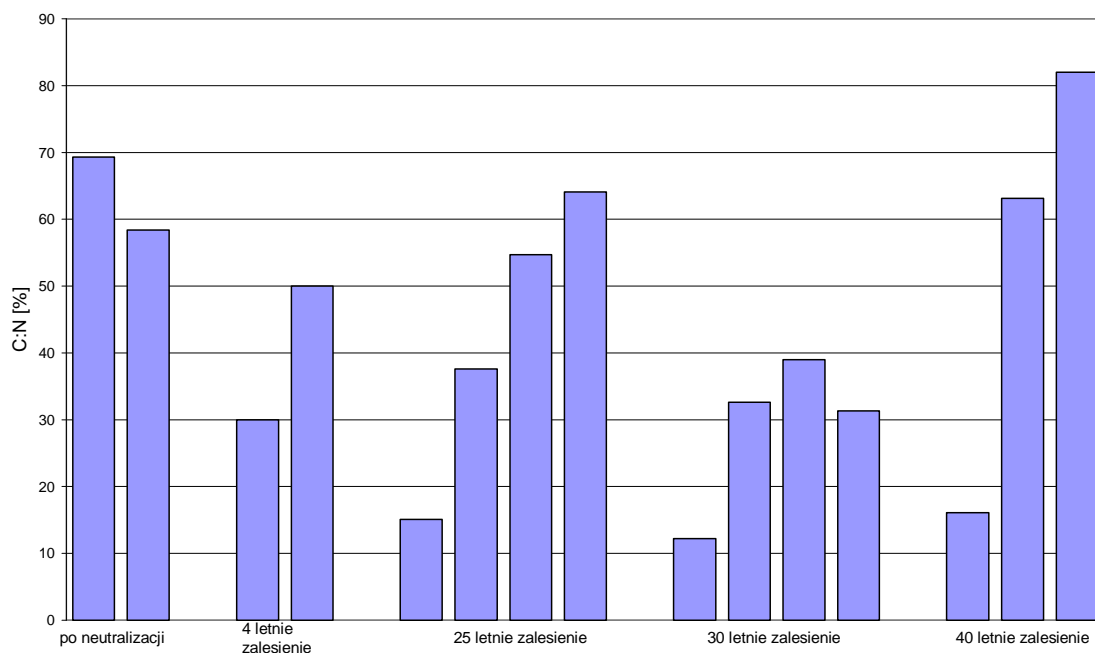
W profilach piątym i szóstym, w wierzchnim poziomie skały macierzystej C1, stosunek C:N wynosił odpowiednio: 40 i 30, natomiast w poziomie skały macierzystej C2 osiągnął 54 i 50 (tab. 7, w zał.).

W profilach z zadrzewieniem dziesięcioletnim-, dwunasto- i czternastoletnim (profile: 7, 8, 9 i 10) w poziomie ściółki wartości te kształtowały się na poziomie odpowiednio: 17,2, 15,9, 15,1 i 13,4, w poziomie próchnicznym: 40,3, 39, 37,6 i 23,3, w poziomie skały macierzystej profilu dziewiątego C:N wynosił 54,7 i 64,1 natomiast w poziomie skały macierzystej profilu dziesiątego 47,5 i 44,7.

W profilach 11 i 14 zlokalizowanych na powierzchniach z szesnastoletnim zalesieniem, w poziomie ściółki wartości C:N wyniosły odpowiednio: 11,7 i 14,6; w poziomie próchnicy nadkładowej wynosiły: 63 i 5,9; w poziomie próchnicznym osiągnęły: 51 i 32,9, natomiast w skale macierzystej osiągnęły wartości od 29,4 do 64.

W profilach 12 i 13, w poziomie próchnicy nadkładowej wartości C:N kształtowały się na poziomie 54,1 i 46,4, w poziomie próchnicznym: 29,1 i 56,3, natomiast w poziomie skały macierzystej od 32,4 do 54,8.

W „starszych” profilach 25-, 30- i 40-letnich (profile: 15, 16 i 17), w poziomie ściółki wartości te kształtowały się na poziomie: 14,2, 12,2 i 16,09, w poziomie próchnicy nadkładowej: 36,2, 32,6 i 63,16, a w poziomie próchnicznym: 63,4, 39 i 82,02. W poziomie skały macierzystej, w profilach zlokalizowanym na powierzchni 25- i 30-letniej C:N osiągnęły wartości: 75,2 i 31,3 (tab. 7, w zał.).



Rys. 26. Stosunek C:N w w glebach i utworach macierzystych wybranych profili gleb inicjalnych na obiektach rekultywowanych

W badanych glebach stosunek węgla do azotu w poszczególnych poziomach: poziomie ściółki, próchnicy nadkładowej, poziomie próchnicznym oraz w skale macierzystej, zawierał się w przedziałach odpowiednio: od 13 do 15, od 36 do 54, od 47 do 56 i od 31,3 do 75,2. (tab.7, w zał.).

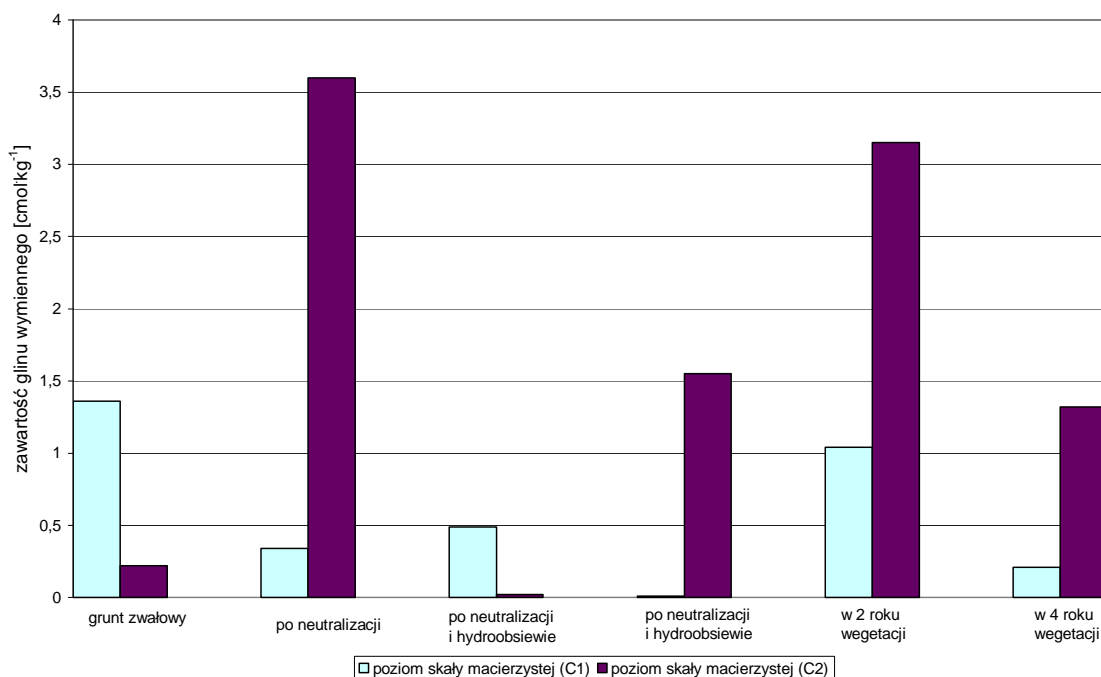
3.3.7. Zawartość glinu wymiennego

W profilu pierwszym, na głębokości 0-20 cm, stwierdzono zawartość glinu wymiennego $1,36 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast na głębokości 30-40 cm – $0,22 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W profilu drugim, po wykonanej neutralizacji, na głębokości 0-20 cm zawartość glinu ruchomego osiągnęła wartość $0,34 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm – $3,6 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W reprezentujących najmłodsze powierzchnie rekultywowane profilach: trzecim i czwartym, stwierdzono na głębokości 0-20 cm zawartość glinu wymiennego, odpowiednio: $0,49 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,01$, a na głębokości 30-40 cm : $0,02 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $1,55 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 8, w zał.).

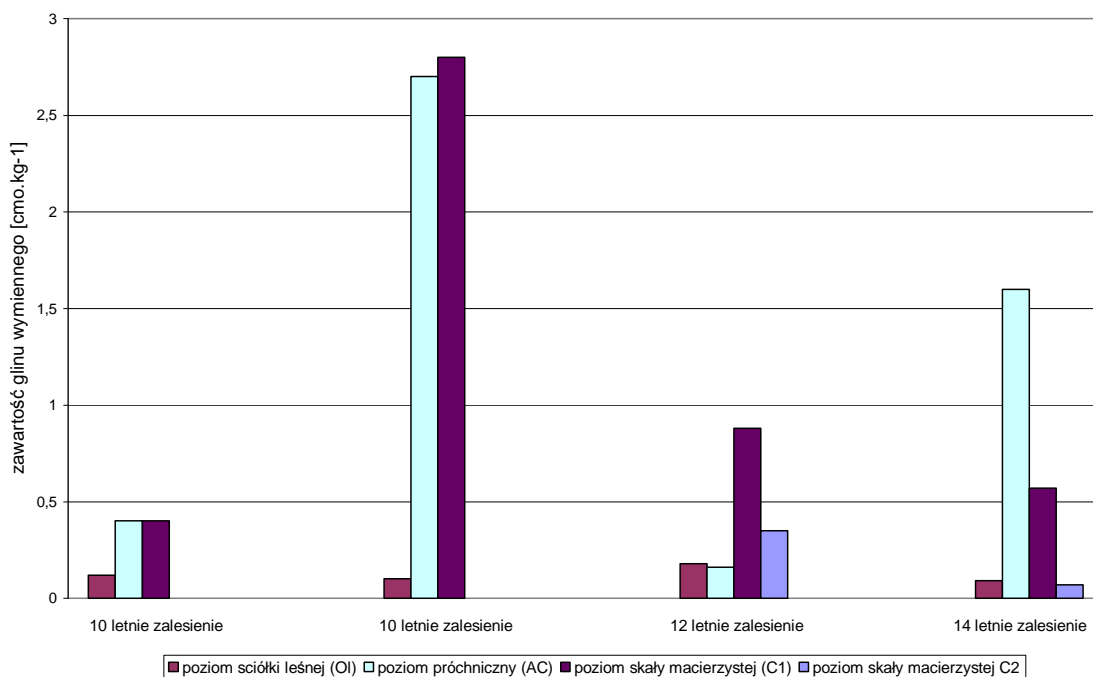
Profile piąty i szósty w wierzchnich poziomach zawierały glinu ruchomego odpowiednio: $1,04 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,21 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, a głębiej $3,15 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $1,32 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.



Rys. 27. Zawartość glinu wymiennego w glebach i utworach macierzystych profili 1-6

Na powierzchni z dziesięcioletnim zalesieniem (profil siódmy i ósmy) w poziomie ściółki zawartość glinu wymiennego był na poziomie 0,12 cmol·kg⁻¹ i 0,1 cmol·kg⁻¹, w poziomie próchnicznym: 0,4 cmol·kg⁻¹ i 2,7 cmol·kg⁻¹, natomiast w poziomie skały macierzystej: 0,4 cmol·kg⁻¹ i 2,8 cmol·kg⁻¹ (tab. 8, w zał.).

W gruntach pokrywających obszary z dwunastoletnim i czternastoletnim zalesieniem (profile dziewiąty i dziesiąty) stwierdzono zawartość glinu ruchomego w poziomach ściółki odpowiednio: 0,18 cmol·kg⁻¹ i 0,09 cmol·kg⁻¹, w poziomie próchnicznym: 0,16 cmol·kg⁻¹ i 1,6 cmol·kg⁻¹, w poziomie skały macierzystej stwierdzono natomiast wartości od 0,07 cmol·kg⁻¹ do 0,88 cmol·kg⁻¹.

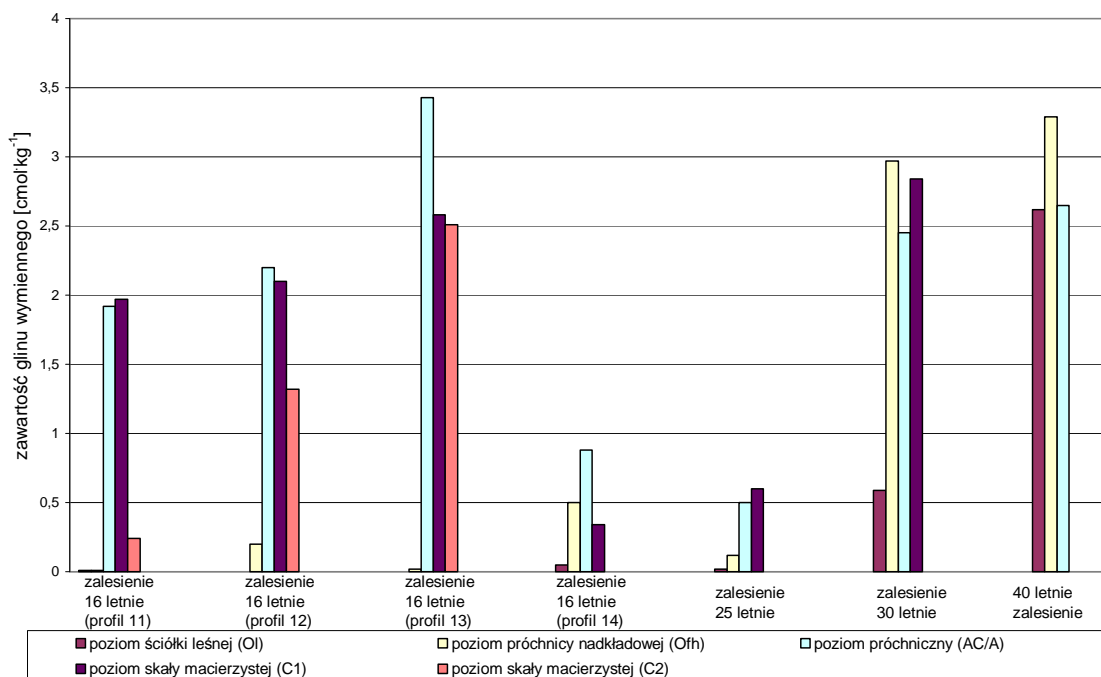


Rys. 28. Zawartość glinu wymiennego w glebach i utworach macierzystych profili 7-10

Szesnastoletnie powierzchnie (profile: 11 i 14) odznaczały się, w poziomie ściółki zawartością jonów glinu ruchomego na poziomie: 0,01 cmol·kg⁻¹ i 0,05 cmol·kg⁻¹, w poziomie próchnicy nadkładowej: 0,01 cmol·kg⁻¹ i 0,5 cmol·kg⁻¹, w poziomach próchnicznych: 1,92 cmol·kg⁻¹ i 0,88 cmol·kg⁻¹, a głębiej – w poziomie skały macierzystej – od 0,24 cmol·kg⁻¹ do 1,97 cmol·kg⁻¹.

W profilach 12 i 13 zawartość jonów glinu w poziomie próchnicy nadkładowej wynosiła: 0,2 cmol·kg⁻¹ i 0,02 cmol·kg⁻¹, w poziomie próchnicznym: 2,2 cmol·kg⁻¹ i 3,43 cmol·kg⁻¹, w poziomie skały macierzystej od 1,32 cmol·kg⁻¹ do 2,58 cmol·kg⁻¹.

W profilach charakterystycznych dla powierzchni 25-, 30- i 40-letnich (profile: 15, 16 i 17), w poziomie ściółki, zawartość glinu wymiennego wynosiły odpowiednio: 0,02 cmol·kg⁻¹, 0,59 cmol·kg⁻¹ i 2,62 cmol·kg⁻¹, w poziomie próchnicy nadkładowej wartości te kształtowały się odpowiednio: 0,12 cmol·kg⁻¹, 2,97 cmol·kg⁻¹ i 3,29 cmol·kg⁻¹, w poziomie próchnicznym przybierały wartości odpowiednio: 0,5 cmol·kg⁻¹, 2,45 cmol·kg⁻¹ i 2,65 cmol·kg⁻¹, natomiast w poziomie skały macierzystej stwierdzono wartości na poziomie od 0,6 cmol·kg⁻¹ do 2,84 cmol·kg⁻¹ (tab. 8, w zał.)



Rys. 29. Zawartość glinu wymiennego w glebach i utworach macierzystych profili 11-17

Największe ilości glinu ruchomego obserwowano w profilu drugim, na głębokości 30-40 cm – gdzie wynosiły $3,6 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gruntu. Tak wysoka zawartość jonów glinu w tym profilu związana jest z niskim odczynem gruntu wynoszącym 3,5 pH w KCl.

Widoczny jest wyraźny wpływ zabiegu neutralizacji, obejmującego warstwę do 20 cm gruntu, gdzie zawartość jonów glinu spadła do $0,49 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, powodując skuteczne eliminowanie jego działania. Duże ilości glinu występowały również na powierzchni z szesnastoletnim zadrzewieniem w poziomie próchnicznym zawierającej $3,43 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (tab. 8, w zał.). Tak duża zawartość glinu ruchomego w tym profilu, jest ściśle związana z niskim odczynem gleby, wynoszącym 3,3 (pH w KCl) na głębokości 7-20 cm, jak również głębiej na 20-30 cm odczynem będącym na poziomie 3,3 (tab. 8, w zał.).

3.3.8. Formy przyswajalne makroelementów

3.3.8.1. Fosfor

W badanych próbkach gruntu zwałowego przed rekultywacją (profil 1) nie stwierdzono obecności fosforu (tab. 7, w zał.).

W profilu drugim, po wykonaniu neutralizacji, zawartość fosforu przyswajalnego wynosiła od 55 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby na głębokości 0-20 cm do 69 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby na głębokości 30-40 cm.

W trzecim i czwartym profilu, reprezentującym powierzchnie po wykonaniu neutralizacji i hydroobsiewu, zawartość fosforu na głębokości 0-20 cm wynosił odpowiednio: 1,0 i 4,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby, a na głębokości 30-40 cm: 1,0 ;2,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby.

W profilu piątym i szóstym – w drugim i czwartym roku wegetacji, po wykonaniu nawożenia mineralnego – zawartość fosforu przyswajalnego w poziomie skały macierzystej C1 wynosiła odpowiednio: 165 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby i 142 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby, a w poziomie skały macierzystej C2 osiągnęła wartości: 127 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby i 101 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ (tab. 7, w zał., rys. 30).

W profilu siódmym i ósmym, na powierzchni z dziesięcioletnim zalesieniem, zawartość fosforu przyswajalnego w poziomie ściółki kształtowała się na poziomie 2,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby i 4,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ natomiast w poziomie próchnicznym: 3,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby i 7,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$.

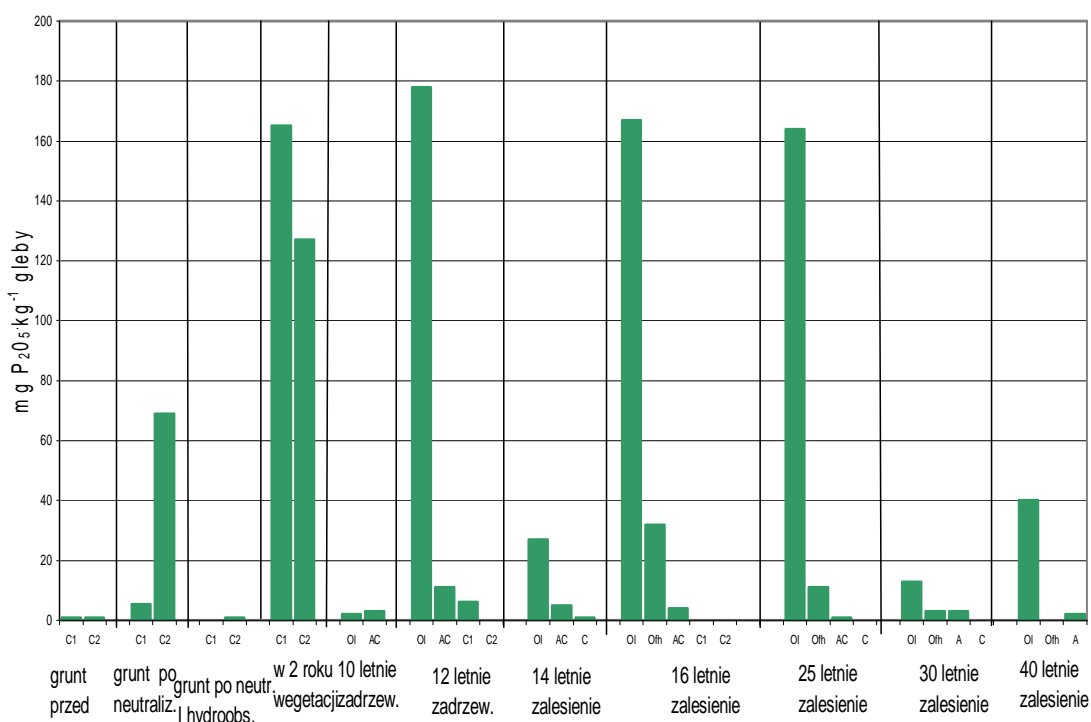
W profilach: 9 i 10 zawartość fosforu przyswajalnego w poziomie ściółki leśnej wynosił odpowiednio: 178 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby oraz 27 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby. W poziomie próchnicznym zawartość fosforu przyswajalnego kształtowała się na poziomie: 11 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby i 5,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby. W poziomie skały macierzystej ilości fosforu przyswajalnego zmniejszyły się wynosząc odpowiednio: 6,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby i 1,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby.

W profilach: 11 i 14 , zawartość fosforu w poziomie ściółki wynosiła: 167 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby i 60 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby. W poziomie próchnicy nadkładowej wartości te wyniosły odpowiednio: 32 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby i 4,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby. W poziomie próchnicznym tych profili zawartość fosforu przyswajalnego osiągnęła wartości: 4,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby i 1,0 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ gleby, w poziomie skały macierzystej przeprowadzone badania nie wykazały zawartości fosforu przyswajalnego.

W profilach 12 i 13 w poziomie próchnicy nadkładowej zawartość fosforu przyswajalnego była na poziomie $46 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ i $57 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie próchnicznym tych profili badania nie wykazały zawartości fosforu przyswajalnego. W poziomie skały macierzystej zawartość fosforu przyswajalnego przyjęła wartości od $0 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ do $16 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$.

W „starszych profilach”: 15, 16 i 17 zawartość fosforu przyswajalnego wynosiła odpowiednio, w poziomie ściółki: $164 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, $13 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby i $40 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, w poziomie próchnicy nadkładowej: $11 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby i $3,0 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (tab. 7, w zał.).

W profilu 17 w poziomie próchnicy nadkładowej nie wykazano zawartości fosforu przyswajalnego. W poziomie próchnicznym tych profili wartości kształtowały się na poziomie: $1,0 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, $3,0 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby i $2,0 \text{ mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby.



Rys. 30. Zawartość przyswajalnych form fosforu w glebach i utworach macierzystych wybranych profili gleb inicjalnych na obiektach rekultywowanych

3.3.8.2. Potas

W gruncie przed rekultywacją (profil 1) zawartość potasu na głębokości 0-20 cm wynosiła 157 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, a na głębokości 30-40 cm- 116 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby.

W drugim, trzecim i czwartym profilu wartości te kształtowały się odpowiednio na głębokości 0-20 cm: 250 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, 97 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 120 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, 30-40 cm: 25 mg $K_2O \cdot 100g^{-1}$ gleby, 8,1 mg $K_2O \cdot 100g^{-1}$ gleby i 59 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby (tab. 7, w zał.).

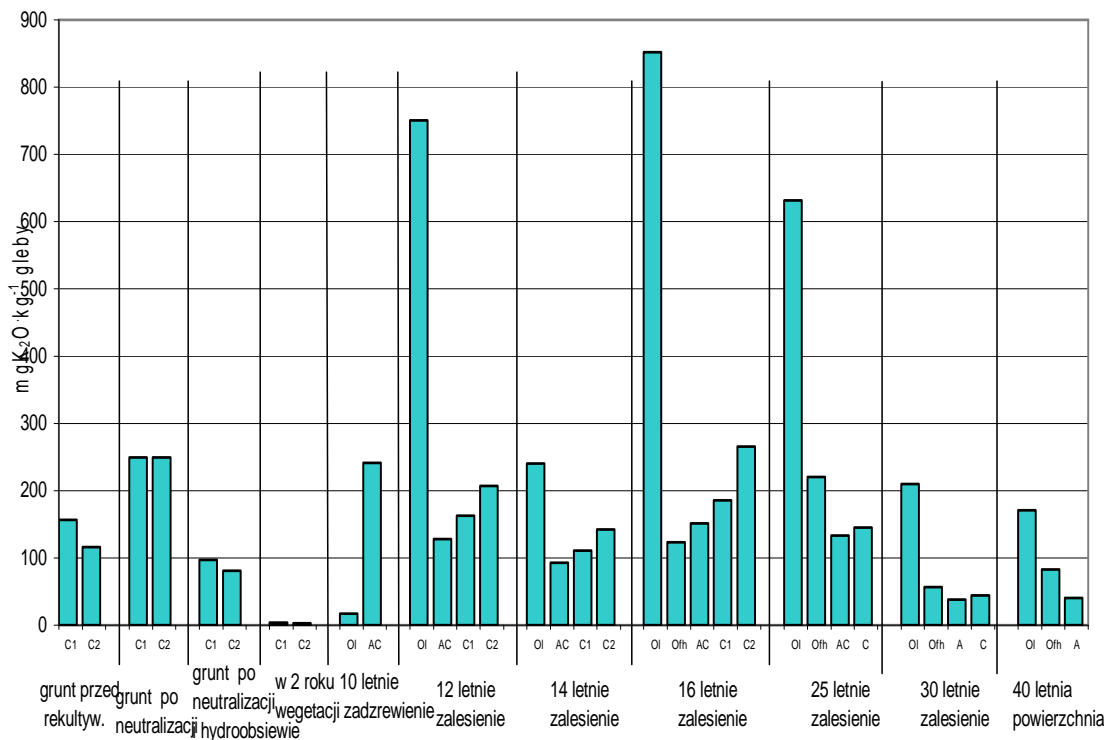
W 5 i 6 profilu, w poziomie skały macierzystej C1 zawartość potasu była na poziomie: 122 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 109 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, natomiast w poziomie skały macierzystej C2 wynosiła: 96 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 85 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby.

Zawartość potasu w profilach: 7, 8, 9 i 10 wynosiła odpowiednio, w poziomie ściółki: 167 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, 164 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, 751 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 240 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby; w poziomie próchnicznym: 241 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, 142 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, 128 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 93 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby. W skale macierzystej profile 9 i 10 zawierały od 111 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby do 163 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby.

W profilach: 11 i 14, reprezentujących 16-letnie powierzchnie, zawartość potasu w poziomie ściółki wynosiła: 852 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 660 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby; w poziomie próchnicy nadkładowej: 123 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 178 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby; w poziomie próchnicznym: 152 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 82 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, a w poziomie skały macierzystej w przedziale od 90 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby do 266 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby.

W profilach 12 i 13 w poziomie próchnicy nadkładowej zawartość potasu przyswajalnego wynosiła: 140 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 171 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, w poziomie próchnicznym: 114 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 59 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, w poziomie skały macierzystej wartości zawierały się w przedziale od 102 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby do 257 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby (tab. 7, w zał.).

W profilach z 25-, 30- i 40-letnimi zalesieniami (profil 15, 16 i 17) zawartość potasu wynosiła odpowiednio, w poziomie ściółki: 631 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, 210 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 171 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby; w poziomie próchnicy nadkładowej: 220 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, 57 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 83 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby; w poziomie próchnicznym wartości kształtowały się na poziomie: 133 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, 380 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby i 40 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby. W skale macierzystej zawartość potasu wynosiła w profilu 15 – 145 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby, a w 16 – 44 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ gleby.



Rys. 31. Zawartość przyswajalnych form potasu w glebach i utworach macierzystych wybranych profili gleb inicjalnych na obiektach rekultywowanych

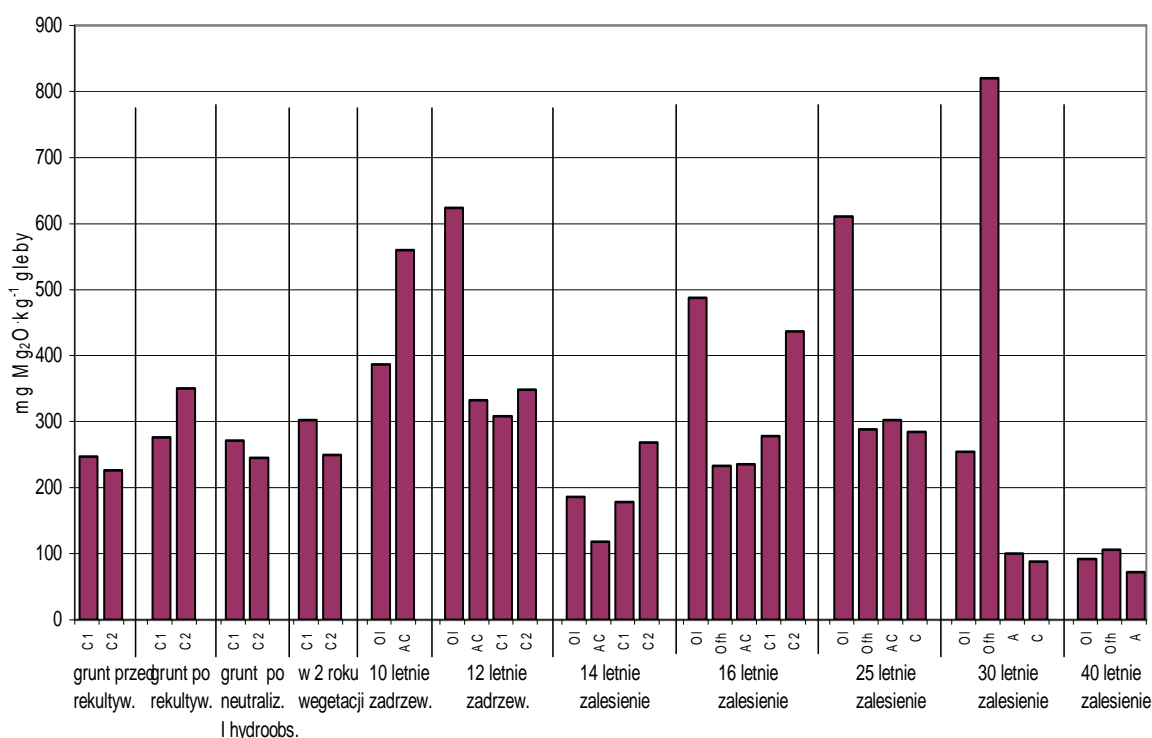
3.3.8.3. Magnez

Zawartość magnezu przyswajalnego w gruncie przed rekultywacją oraz w „młodszych” profilach osiągnęła na głębokości 0-20 cm wartości (odpowiednio dla profili: 1,2,3,4,5,6): 247 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 276 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 271 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 263 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 302 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 250 mg MgO·kg⁻¹ gleby, natomiast na głębokości 30-40 cm wartości te kształtowały się: 226 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 350 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 245 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 137 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 249 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 202 mg MgO·kg⁻¹ gleby (tab. 7, w zał.).

Zawartość magnezu przyswajalnego w próbkach z profili: 7, 8, 9, 10, w poziomie ściółki była na poziomie odpowiednio: 386 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 510 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 624 mg MgO·kg⁻¹ gleby i 186 mg MgO·kg⁻¹ gleby; w poziomie próchnicznym: 560 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 487 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 332 mg MgO·kg⁻¹ gleby i 118 mg MgO·kg⁻¹ gleby. W skale macierzystej zawartość ta wynosiła od 268 mg MgO·kg⁻¹ gleby do 340 mg MgO·kg⁻¹ gleby.

W próbkach pobranych z powierzchni z szesnastoletnim zalesieniem- profile: 11 i 14, w poziomie ściółki, opisywane wartości kształtowały się następująco: 488 mg MgO·kg⁻¹ gleby i 576 mg MgO·kg⁻¹ gleby; w poziomie próchnicy nadkładowej profili 11,12,13 i 14 wartości przedstawiały się następująco: 233 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 287 mg MgO·kg⁻¹ gleby, 158 mg MgO·kg⁻¹ gleby i 108 mg MgO·kg⁻¹ gleby, a w skale macierzystej od 128 mg MgO·kg⁻¹ gleby do 436 mg MgO·kg⁻¹ gleby.

W „najstarszych” profilach z dwudziestopięcio-, trzydziesto- i czterdziestoletniej powierzchni (profile 15, 16 i 17), w poziomie O₁ zawartość magnezu przyswajalnego osiągnęła wartości: 611 mg MgO·kg⁻¹ gleby; 254 mg MgO·kg⁻¹ gleby i 92 mg MgO·kg⁻¹ gleby; w poziomie próchnicy nadkładowej i próchnicznym od 82 mg MgO·kg⁻¹ gleby do 302 mg MgO·kg⁻¹ gleby; natomiast w skale macierzystej od 72 mg MgO·kg⁻¹ gleby do 284 mg MgO·kg⁻¹ gleby (tab. 7, w zał.).



Rys. 32. Zawartość przyswajalnych form magnezu w glebach i utworach macierzystych wybranych profili gleb inicjalnych na obiektach rekultywowanych

W analizowanych glebach zawartość przyswajalnego magnezu mieściło się w granicach od 100 do 768 mg MgO·kg⁻¹ gleby, a średnia jego zawartość wynosiła 264 mg MgO·kg⁻¹ gleby (tab. 7, w zał.).

3.3.9. Zawartość mikroelementów ogółem

3.3.9.1. Cynk

W badanych próbkach gruntu zwałowego przed rekultywacją (profil 1) zawartość cynku na głębokości 0-20 cm kształtuje się na poziomie $66 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na 30-40 cm osiąga wartość $71 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (tab. 7, w zał.).

W profilu drugim, po wykonaniu neutralizacji, zawartość cynku na głębokości 0-20 cm wynosiła $147 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby natomiast na głębokości 30-40 cm- $145 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W trzecim i czwartym profilu, reprezentujących powierzchnie po wykonaniu neutralizacji i hydroobsiewu, zawartość cynku na głębokości 0-20 cm wynosiła odpowiednio: $12,0 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $55,3 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm: $110 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $60,2 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby.

W profilu piątym i szóstym – w drugim i czwartym roku wegetacji, po wykonaniu nawożenia mineralnego – zawartość cynku w poziomie C1 skały macierzystej wynosiła odpowiednio: $120,2 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $143,1 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$, a w poziomie skały macierzystej C2: $38,1 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $36,7 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 7 w zał.).

W profilu siódmym i ósmym, na powierzchni z dziesięcioletnim zalesieniem, zawartość cynku w poziomie ściółki kształtowała się na poziomie: $65,5 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $81,5 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie próchnicznym kształtowała się na poziomie: $103,5 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $62,5 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$, a w poziomie skały macierzystej: $89 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $60,2 \text{ mgZn}\cdot\text{kg}^{-1}$.

3.3.9.2. Kadm

W gruncie przed rekultywacją (profil 1) zawartość kadmu na głębokości 0-20 cm wynosiła $1,2 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm- $0,9 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W drugim, trzecim i czwartym profilu wartości te kształtowały się odpowiednio na głębokości 0-20 cm na poziomie: $0,1 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$, $0,8 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,9 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm: $0,4 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$, $0,3 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,6 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W 5 i 6 profilu, w poziomie skały macierzystej, na głębokości 0-20cm, zawartość kadmu stwierdzono na poziomie: $1,0 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $1,1 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast w poziomie skały macierzystej, na głębokości 30-40cm wynosiła ona: $0,4 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,3 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Zawartość kadmu w profilach siódmym i ósmym wynosiła odpowiednio, w poziomie ściółki: $0,35 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,525 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$, w poziomie próchnicznym: $0,6$

$\text{mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,325 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$, a w poziomie skały macierzystej: $0,5 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,3 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Zawartość kadmu w analizowanych glebach wahała się w granicach od 0,1 do $1,2 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 7, w zał.).

3.3.9.3. Mangan

Zawartość manganu gruntów przed rekultywacją na głębokości 0-20 cm kształtowała się na poziomie $106 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm – $132 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W drugim, trzecim i czwartym profilu wartości te osiągnęły odpowiednio na głębokości 0-20 cm: $188 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$, $92,2 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$, $102 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$, a na głębokości 30-40 cm: $191 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$, $34,5 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $28,9 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W piątym i szóstym profilu, w poziomie skały macierzystej odnotowano zawartość manganu na poziomie od $26,66 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $110,1 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Zawartość manganu w profilach: 7 i 8 wykazała w poziomie ściółki wartość: $106,85 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $119,3 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$; w poziomie próchnicznym: $103,575 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $69 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$; w skale macierzystej natomiast: $95,6 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $70,2 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Zawartość manganu w analizowanych glebach wahała się w dosyć szerokim zakresie od 26 do $191 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 7, w zał.).

W gruncie surowym – przed wykonaniem zabiegów rekultywacyjnych – zawartość manganu wynosiła ok. $100 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ z tendencją wzrostową w głąb profilu. Największe wartości zaobserwowano w próbce gruntu po wykonanej neutralizacji, gdzie wynosiła $188 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ w wierzchnim poziomie (0-20cm) i $191 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ na głębokości 30-40 cm (tab. 7, w zał.). Świadczy to o wpływie rodzaju skały macierzystej na zawartość manganu oraz o istotnym znaczeniu używanych neutralizatorów na zwiększenie zawartości manganu w rekultywowanych gruntach.

W miarę upływu czasu od rekultywacji można zauważyć, że największe ilości manganu, od $110,1$ do $119,3 \text{ mgMn}\cdot\text{kg}^{-1}$ w analizowanych glebach, znajdują się w wierzchnich poziomach organicznych (tab. 7, w zał.).

3.3.9.4. Ołów

W profilu pierwszym, na głębokości 0-20 cm, stwierdzono zawartość ołowiu 28 mgPb·kg⁻¹, natomiast na głębokości 30-40 cm – 18 mgPb·kg⁻¹.

W profilu drugim, po wykonanej neutralizacji, na głębokości 0-20 cm zawartość ołowiu odnotowano na poziomie 53 mgPb·kg⁻¹, a na głębokości 30-40 cm – 47 mgPb·kg⁻¹ (tab. 7, w zał.).

W reprezentujących najmłodsze powierzchnie rekultywowane profilach: trzecim i czwartym, stwierdzono na głębokości 0-20 cm zawartość ołowiu, odpowiednio: 32,5 mgPb·kg⁻¹ i 51,1 mgPb·kg⁻¹, a na głębokości 30-40 cm: 12,4 mgPb·kg⁻¹ i 15,6 mgPb·kg⁻¹.

Profile piąty i szósty, w poziomie skały macierzystej C1, zawierały ołowiu odpowiednio: 29 mgPb·kg⁻¹ i 12,36 mgPb·kg⁻¹, a w poziomie skały macierzystej C2: 36,1 mgPb·kg⁻¹ i 11,3 mgPb·kg⁻¹.

W gruntach profili siódmego i ósmego stwierdzono zawartość ołowiu w poziomach ściółki odpowiednio: 34,075 mgPb·kg⁻¹ i 33,825 mgPb·kg⁻¹, w poziomie próchnicznym: 37,125 mgPb·kg⁻¹ i 36,075 mgPb·kg⁻¹, a w poziomie skały macierzystej odnotowane zostały wartości: 30,6 mgPb·kg⁻¹ i 28,7 mgPb·kg⁻¹.

Zawartość ołowiu w badanych glebach wahała się w granicach od 11,3 do 53 mgPb·kg⁻¹, a średnia jego zawartość wynosiła 31,07 mgPb·kg⁻¹ (tab. 7, w zał.).

3.4. Wzrost i rozwój roślin na terenach rekultywowanych

3.4.1. Wysokość drzew

Na powierzchni dwuletniej, gdzie zastosowano w procesie rekultywacji biologicznej gatunki roślinności drzewiastej: olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), olsza szara (*Alnus incana* (L.) Moench.), dąb czerwony (*Quercus rubra* L.), modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.), dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.), brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.). Odnotowano ok. 80% pokrycie roślinnością drzewiastą. Wysokość drzewek kształtowała się odpowiednio: olszy czarnej i szarej 0,45 m, dębu czerwonego i szypułkowego 0,40 m, modrzewia europejskiego, brzozy brodawkowatej i klonu jawora 0,40 m.

Na powierzchni czteroletniej występowały takie gatunki jak: olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), olsza szara

(*Alnus incana* (L.) Moench.). Stopień pokrycia przez roślinność wynosił ok.80%. Odnotowano następujące wysokości poszczególnych gatunków: brzozy brodawkowatej 0,45 m, olszy szarej 0,45 m, olszy czarnej 0,50 m.

Na powierzchni z 10-letnim zalesieniem rosły olsza szara (*Alnus incana* (L.) Moench.), olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) i brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.). Pokrycie powierzchni przez tę roślinność wynosił ok.70%. Wysokości tych gatunków przedstawiały się następująco: olsza szara osiągnęła wysokość ok. 3 m, olsza czarna 4 m, a brzoza brodawkowata 3 m.

Na powierzchni z dwunastoletnim zalesieniem występowały gatunki: olsza czarna (*Alnus incana* (L.)), brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.). Stopień pokrycia w warstwie drzew wynosił ok.80%. Wysokość olszy czarnej dochodziła do 5 m, brzozy brodawkowatej do 6 m, natomiast wysokość modrzewia europejskiego określono na 4 m.

Powierzchnia czternastoletnia charakteryzowała się początkiem kształtowania pięter lasu. W warstwie A występowały: brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), topola osika (*Populus tremula* L.), dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.). Pokrycie powierzchni stanowi ok. 70%. Wysokość poszczególnych gatunków drzew przedstawiała się następująco: brzoza brodawkowata 6 m, olsza czarna 7 m, topola osika 10 m, modrzew europejski 7 m.

Na powierzchni 16-letniej z dominacją modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) rosły także: brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), dąb czerwony (*Quercus rubra* L.), czeremcha zwyczajna (*Padus racemosa* (Lam.)C.K.Schn.), a pokrycie w warstwie A sięgnęło ok. 60%. Na powierzchni z dominacją w składzie brzozy brodawkowatej (*Betula verrucosa* Ehrh.), występowały takie gatunki jak: modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), czeremcha zwyczajna (*Padus racemosa* (Lam.)C.K.Schn.), olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), z pokryciem ok.70%. Natomiast na powierzchni szesnastoletniej z dominacją olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) stwierdzono równoległą obecność niniejszych gatunków: modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.), brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), topola osika (*Populus tremula* L.), z pokryciem powierzchni ok. 80%.

Wysokość poszczególnych drzew na powierzchniach 16-letnich, z dominacją modrzewia europejskiego wynosiła: modrzewia europejskiego 11 m, brzozy brodawkowatej 8 m, dębu czerwonego 7 m, czeremchy zwyczajnej ok. 3m. Na powierzchni z domi-

nacją brzozy brodawkowatej wysokość: brzozy brodawkowatej dochodziła do 5 m, modrzewia europejskiego wynosiła 10 m, olszy czarnej 7 m. Na powierzchni szesnastoletniej z dominacją olszy czarnej wysokość: olszy czarnej wynosiła 5,5 m, modrzewia europejskiego 12 m, klonu jawora 8 m i topoli osiki 12 m.

Powierzchnię z 25-letnim zalesieniem charakteryzowało zwarte zadrzewienie z przeważającym udziałem olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) i brzozy brodawkowatej (*Betula verrucosa* Ehrh.). Stopień pokrycia roślinnością w warstwie A wynosił ok. 50%. Na tej powierzchni występowały również inne gatunki drzew: modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.), topola osika (*Populus tremula* L.), robinia akacjowa (*Robinia pseudoacacia* L.), jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.), jarząb pospolity (*Sorbus aucuparia* L.), wierzba krucha (*Salix fragilis* L.), czeremcha amerykańska (*Prunus serotina* Ehrh.). Wysokość głównych gatunków drzew przedstawiała się następująco: olszy czarnej 15 m, brzozy brodawkowatej 15 m, modrzewia europejskiego 18 m, topoli osiki 12 m. W warstwie drzew domieszkę stanowiły takie gatunki jak: robinia akacjowa, jesion wyniosły, jarząb pospolity, wierzba krucha, czeremcha amerykańska.

Na powierzchni 30-letniej występowało zwarte zalesienie, o 50 % stopniu pokrycia utworzone przez niniejsze gatunki : brzozę brodawkowatą (*Betula verrucosa* Ehrh.), dąb czerwony (*Quercus rubra* L.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.), olszę czarną (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) oraz gatunki bioce-notyczne: jarząb pospolity (*Sorbus aucuparia* L.), czeremchę amerykańską (*Prunus serotina* Ehrh.). Wysokość średnia poszczególnych gatunków to: olszy czarnej 15 m, brzozy brodawkowatej 14 m, klonu jawora 16 m, jesionu wyniosłego 17 m, topoli osiki 15 m, topoli 'Robusta' 17 m oraz topoli 'H-194' 20 m.

Na czterdziestoletniej powierzchni o zwartym drzewostanie i ok. 60% stopniu pokrycia powierzchni występowały dąb czerwony (*Quercus rubra* L.), olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), czeremcha amerykańska (*Prunus serotina* Ehrh.). Ich wysokość osiągnęła: dębu czerwonego 12m, olszy czarnej 17m, brzozy brodawkowatej 16m, czeremchy amerykańskiej ok.9m.

3.4.2. Pierśnica drzew

Na powierzchni z czteroletnim zalesieniem pierśnice poszczególnych gatunków przedstawiały się następująco: brzoza brodawkowata średnio 2,6 cm; olsza szara śr. 2,9 cm, olsza czarna śr. 2,3cm.

Po dziesięciu latach od rekultywacji pierśnica olszy szarej wynosiła średnio 4,8 cm; olszy czarnej 4,9 cm; brzozy brodawkowatej 2,2 cm.

Na powierzchni dwunastoletniej pierśnice poszczególnych gatunków wynosiły: olszy czarnej 6,3 cm; brzozy brodawkowatej 4,8 cm; modrzewia europejskiego 5,7 cm.

Na powierzchni czternastoletniej pierśnica brzozy brodawkowatej wynosiła średnio 4,6 cm; olszy czarnej 9,6 cm; topoli osiki 12,7 cm; dębu szypułkowego śr. 6,7cm; czeremchy zwyczajnej 6,4 cm i modrzewia europejskiego 10,8 cm.

Na powierzchniach szesnastoletnich z dominacją modrzewia pierśnice poszczególnych gatunków drzew wynosiły średnio: modrzewia europejskiego 9,5 cm; czeremchy zwyczajnej 4,7 cm; brzozy brodawkowatej śr. 3,8cm; dębu czerwonego śr. 6,9cm; olszy czarnej 9,8 cm. Na powierzchniach z dominacją brzozy brodawkowatej odnotowano pierśnice: brzozy brodawkowatej 3,9 cm; klonu jawor 4,1 cm; klonu jawor śr. 7,2cm; czeremchy 3,8 cm; olsza czarna 6,4 cm. Na powierzchni z dominacją olszy czarnej: olsza 6,6 cm; brzoza brodawkowata 5,4 cm; modrzew europejski 6,8 cm; topola 5,7 cm.

Na 25-letniej powierzchni pierśnice wynosiły: olszy czarnej 8,3 cm; jesionu amerykańskiego 7,1 cm; brzozy brodawkowatej 9,2cm; klona jawor 12 cm.

Na powierzchni 30-letniej pierśnice rosnących tam gatunków drzew wynosiły: dla brzozy brodawkowatej 19,3 cm; modrzewia europejskiego 14,3 cm; dębu czerwonego 16,3cm; jarzębiny 9,2 cm i olszy czarnej 16,6 cm.

Na powierzchni z 40-letnim zalesieniem średnia z pierśnicy rosnących gatunków dla dębu czerwonego wynosiła 21,6 cm; dla olszy czarnej 19 cm; dla brzozy brodawkowatej 22,2 cm.

3.4.3. Podszyt i runo leśne

Na powierzchni po wykonanej neutralizacji i hydroobsiewie roślinność trawiasto-zielna była w stanie wschodów. Pokrycie powierzchni roślinnością zielną stanowiło ok. 90%.

Na powierzchni 2-letniej rosły gatunki roślinności zielnej wprowadzane w trakcie prac rekultywacyjnych: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), rajgras angielski (*Lolium perenne* L.), mietlica biaława (*Agrostis gigantea* Roth.), łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.), komonica rożkowa (*Lotus corniculatus* L.). Pokrycie było równomierne ok.95%.

Na czteroletniej powierzchni pokrycie roślinnością zielną wynosiło ok. 80%. W składzie gatunkowym występowały: łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.), podbiał pospolity (*Tussilago farfara* L.), kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), komonica różkowa (*Lotus corniculatus* L.), fiołek trójbarwny (*Viola tricolor* L.).

Na powierzchni dziesięcioletniej rosły: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), rajgras angielski (*Lolium perenne* L.), komonica różkowa (*Lotus corniculatus* L.), wyka ptasia (*Vicia cracca* L.), koniczyna biała (*Trifolium repens* L.), sit rozpięchły (*Juncus effusus* L.), trzcinnik leśny (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.). Odnotowano ok. 60% pokrycie powierzchni.

Na powierzchni dwunastoletniej występowały gatunki roślin zielnych: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.), starzec gajowy (*Senecio nemorensis* L.), przytulia właściwa (*Galium verum* L.), ostrożeń lancetowaty (*Cirsium vulgare* (Savi) Tenore), komonica różkowa (*Lotus corniculatus* L.), mietlica biaława (*Melilotus albus*), szczaw polny (*Rumex acetosella* L.). Pokrycie roślinnością zielną stanowiło ok. 80%.

Na powierzchni 14-letniej w warstwie B, przy pokryciu powierzchni ok. 15%, występowały takie gatunki jak: brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.). Warstwa C z 40% pokryciem obejmowała takie gatunki jak: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), malina właściwa (*Rubus idaeus* L.), siewka czeremchy amerykańskiej (*Prunus serotina* Ehrh.), trzcinnik leśny (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.), przetacznik kłosowy (*Veronica spicata* L.), wyka drobnokwiatowa (*Vicia hirsuta* (L.) S.F. Gray), jastrzębiec kosmaczek (*Hieracium pilosella* L.), siewka olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.), siewka brzozy brodawkowatej (*Betula verrucosa* Ehrh.). W warstwie D (ok. 70% pokrycie) rosły: mech (*Brachytecium rubatulum*), a z grzybów maślak zwyczajny (*Suillus luteus* (L.) S.F.Gray) oraz porosty.

Na powierzchniach 16-letnich, z dominacją olszy czarnej, w warstwie B (pokrycie 40%) rosły: brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), czeremcha amerykańska (*Prunus serotina* Ehrh.); w warstwie C: trzcinnik leśny (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.), mietlica pospolita (*Agrostis tenuis* Sibth), pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica* L.), kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), przetacznik kłosowy (*Veronica spicata* L.), ostrożeń lancetowaty (*Cirsium vulgare* (Savi) Tenore) z pokryciem ok. 30%. W warstwie D niniejszych powierzchni dominował mech (*Brachytecium rubatulum*) z 70%

pokryciem. Z kolei na powierzchniach również 16 letnich, lecz z dominacją brzozy brodawkowatej (*Betula verrucosa* Ehrh.) i modrzewia europejski (*Larix decidua* Mill.), w warstwie B, przy pokryciu powierzchni ok. 30% występowały gatunki: czeremcha amerykańska (*Prunus serotina* Ehrh.), olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.). W warstwie C powyższych powierzchni występowały: przetacznik kłosowy (*Veronica spicata* L.), jastrzębiec kosmaczek (*Hieracium pilosella* L.), krwawnik pospolity (*Achillea millefolium* L.), mietlica pospolita (*Agrostis tenuis* Sibth), wyka drobnokwiatowa (*Vicia hirsuta* (L.) S.F. Gray), kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), rajgras angielski (*Lolium perenne* L.), trzcinnik leśny (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.). Pokrycie powierzchni roślinnością w tej warstwie wyniosło ok. 30%. W warstwie D dominowały porosty (70% pokrycia) i mchy (10% pokrycia).

Na powierzchni 25-letniej pokrycie roślinnością zielną w warstwie C wyniosło 30%. Gatunki w niej stwierdzone to: pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica* L.), łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.), bylica pospolita (*Artemisia vulgaris* L.), trzcinnik leśny (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.), kuklik pospolity (*Geum urbanum* L.), ostrożeń lancetowaty (*Cilium vulgare* (Savi) Tenore), wrotycz pospolity (*Tanacetum vulgare* L.), szarota leśna (*Gnaphalium sylvaticum* L.), starzec gajowy (*Senecio nemorensis* L.), wiechlina gajowa (*Poa nemoralis* L.), siewki czeremchy amerykańskiej (*Prunus serotina* Ehrh.), siewka jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.), kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), siewka dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.). W warstwie B ogólne pokrycie wyniosło ok. 5%. Gatunkami rosnącymi tutaj były: olsza czarna (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), jesion amerykański (*Fraxinus americana* L.).

Na powierzchni 30-letniej w warstwie podszytu odnotowano ok. 20% pokrycie poprzez następujące gatunki: czeremchę amerykańską (*Prunus serotina* Ehrh.), robinie akacjową (*Robinia pseudoacacia* L.), jeżynę (*Rubus* sp.), czereśnię dziką (*Prunus avium* L.), jarząba pospolitego (*Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers.), różę polną (*Rosa agrestis* Savi), brzozę brodawkowatą (*Betula verrucosa* Ehrh.), dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.), malinę właściwą (*Rubus idaeus* L.). W warstwie C runa leśnego o 30% stopniu pokrycia powierzchni występowały: kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), trzcinnik leśny (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.), śmiełek darniowy (*Deschampsia caespitosa* L.), kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.), kłosownica leśna (*Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P.Beauv.), kuklik pospolity (*Geum urbanum* L.), pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica* L.), wiechlina gajowa (*Poa nemoralis* L.), dąb czerwony (*Quercus*

rubra L.), róża dzika (*Rosa canina* L.), brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.), jastrzębiec Lachenala (*Hieracium lachenalii* C. C. Gmel.).

Na powierzchni 40-letniej, w warstwie podszytu z ok. 10% stopniem pokrycia powierzchni występowały: siewki dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.), siewki jarząba pospolitego (*Sorbus aucuparia* L. em. Hedl.). W warstwie runa leśnego z 20% stopniem pokrycia powierzchni rosły: dziurawiec zwyczajny (*Hypericum perforatum* L.), łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* Lindl.), narecznica samcza (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott.), kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.), kłosownica leśna (*Brachypodium sylvaticum* (Huds.) P.Beauv.), siewka brzozy brodawkowata (*Betula verrucosa* Ehrh.).

4. Dyskusja

4.1. Kształtowanie się właściwości gruntów rekultywowanych

Jednym z podstawowych zadań rekultywacji terenów poprzemysłowych jest wytworzenie gleb, jako niezbędnego elementu składowego ekosystemów. Nie chodzi przy tym o literalnie traktowaną rekonstrukcję budowy i stanu gleb sprzed działania czynników dewastujących – jest to w zdecydowanej większości przypadków niemożliwe. Pokrywa glebowa ma być natomiast w pełni funkcjonalną, w rozumieniu zarówno użytkowym, jak przyrodniczym.

W przypadku terenów pogórnicych główną uwagę, z racji intensywności i skali przekształceń gleb, skupiają na sobie właściwości materiału skalnego jako macierzystego dla nowo tworzonej pokrywy glebowej. Maciak, w swoich pracach przedstawił klasyfikację materiału zwałowego dla potrzeb rekultywacji (tab. 9).

Tab. 9. Klasyfikacja materiału zwałowego dla potrzeb rekultywacji [Maciak 1996].

Klasa	Charakterystyka utworów glebowych	Właściwości		Przydatność do rekultywacji	Uwagi
		chemiczne	fizyczne		
I	lessy, utwory lessopodobne, gliny margliste, wierzchnie warstwy gleb uprawnych (brunatnych, czarnoziemów zdegradowanych, czarnych ziem,	bardzo dobre lub dobre	bardzo dobre lub dobre	rekultywacja rolna (sadownicza, ogrodnicza itp.) bez większych nakładów na zabiegi melioracyjne	grunty potencjalnie produktywne
II	gliny pylaste, gliny ilaste zasobne w węglan wapnia, czwartorzędowe utwory gliniasto-iłowe oraz iły sedimentacyjne	bardzo dobre lub dobre	dobre lub wadliwe	rekultywacja rolna po zastosowaniu zabiegów melioracyjnych oraz rekultywacja leśna bez zabiegów	j.w.
III	iły trzeciorzędowe (mioceńskie), piaski gliniaste i pylaste	dobre lub wadliwe	dobre lub wadliwe	rekultywacja rolna i leśna po zastosowaniu intensywnych zabiegów melioracyjnych	j.w.
IV	iły ciężkie warstw spągowych lub stropowych z domieszką węgla, utwory rumoszowe, kamieniste, żwirowe, piaszczyste	wadliwe lub złe	złe	rekultywacja rolna po intensywnych zabiegach melioracyjnych, zadrzewienia sanitarne, w pierwszej fazie bez określonych efektów	jałowe
V	grunty nadmiernie zasolone z domieszką węgla oraz pirytów (zw. siarki), skały rumoszowe kamieniste, żwirkowate, piaszczyste z zawartością pierwiastków toksycznych (Pb, Zn, Cu, As, B)	złe	złe	zagospodarowanie po wykonaniu specjalnych zabiegów melioracyjnych albo izolacji (wymagane specjalne metody rekultywacji)	toksyczne

W analizowanych profilach 60% stanowią gliny ciężkie, ok. 23% to gliny, 6% gliny lekkie, 4% iły a pozostałe 2% są to gliny średnie, ił pylasty i gliny pylaste. Frakcje piaszczyste (o średnicy 2,0 do 0,1mm) stanowią od 10% do 54% natomiast frakcje iłowe mieszczące się w przedziale od 15% do 37%. Zestawiając uzyskane wyniki składu granulometrycznego materiału skał nadkładu w BOT KWB Turów z danymi Maciaka, nie można jednoznacznie stwierdzić potencjalnej ich jakości. Z drugiej strony, wielu

autorów [Stachowski, 2000; Szafrąński, 1997; Buckman, 1971] podkreśla, że skład granulometryczny decyduje o produktywności gruntów, a Krzaklewski i Szafrąński [Krzaklewski, 1997; Szafrąński, 1997] opisują, że grunty w których dominują utwory o składzie granulometrycznym glin należą do potencjalnie żyznych.

Problem tkwi we właściwościach fizycznych, fizyczno-chemicznych i chemicznych utworów macierzystych i możliwego stopnia ich regulacji w wyniku działań rekultywacyjnych.

Od składu granulometrycznego uzależniona jest według literatury [Stachowski, Szafrąński, 2000; Giedrojć, 1990] gęstość właściwa gleb i szereg właściwości fizycznych, będących pochodnymi możliwości strukturotwórczych materiału (gęstość objętościowa, porowatość). Analizowane materiały, budujące profile glebowe, charakteryzuje dość duża gęstość właściwa od $2,27 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $2,51 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, z tendencją wzrostową w głąb profilu. Natomiast gęstość objętościowa kształtuje się w granicach $0,83 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $1,82 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Porowatość ogólna badanych gleb i ich utworów macierzystych zawiera się w przedziale od 27,5% do 53,44%. W strukturze porowatości przewaga mikroporów ok. 59,5% przyczynia się do tworzenia gleb zwięzłych, mało przewiewnych o znacznym deficycie wody dostępnej dla roślin. W wierzchnich poziomach organicznych „starszych” profili zaznacza się wpływ materii organicznej powodującej zmniejszenie gęstości właściwej, zwiększenie gęstości objętościowej i porowatości ogólnej. Zróżnicowanie wybranych właściwości fizycznych badanych gleb zaznaczyło się również w zależności od kategorii zwięzłości gruntu. I tak w profilu 14 o składzie gliny lekkiej i średniej uwidacznia się mniejsza gęstość właściwa oraz większa gęstość objętościowa i porowatość ogólna w porównaniu do pozostałych profili.

Nadmierne zagęszczenie omawianych utworów oraz bezstrukturalność powodują skokową zmienność ich konsystencji. W przypadku braku wilgoci stają się one zbite, a w przypadku nadmiernego zawilgocenia są zlewne i pozbawione odpowiedniej ilości powietrza glebowego [Wąchalewski, Krzaklewski, Wójcik, 1995]. Właściwości wodne tychże gleb zależą od wody opadowej. Jej przemieszczanie w głąb profilu jest utrudnione, a większe nasilenie opadów powoduje spływ wód powierzchniowych wywołujących erozję i namulanie.

Zgodnie z klasyfikacją Skawiny [1971] i Maciaka [1996], opisywane utwory glebowe i skalne zaliczyć można do dobrych lub wadliwych. Z jednej strony, potencjał strukturotwórczy materiałów jest znaczny, tak więc istnieje możliwość stosunkowo długiego

utrzymania dobrych właściwości fizycznych po uprawie mechanicznej, z drugiej ich zwięzłość wpływa negatywnie na stosunki wodne i łatwość uprawy.

Przeprowadzone badania wskazują na poprawę właściwości fizycznych gleb w konsekwencji rekultywacji zwałowisk BOT KWB Turów, aczkolwiek jej stopień jest zależny od akumulacji materii organicznej, będącej w dużej mierze wypadkową czasu przy danym kierunku rekultywacji. Jako minimalny czas potrzebny na znaczącą poprawę opisywanych właściwości w toku rekultywacji leśnej wskazać można około 16 lat.

Niemniej istotnymi dla funkcjonowania gleb są ich właściwości fizykochemiczne. Szereg wad rekultywowanych terenów pokopalnianych wiąże się z odczynem materiału skalnego. Optymalnym odczynem dla większości gatunków lasotwórczych w warunkach Europy Środkowej jest mieszczący się w przedziale 5,0-6,5. Odczyn powstających gleb ze zwałowanych utworów pogórnicych jest ściśle związany z rodzajem i gatunkiem skały macierzystej. Według Chodaka [1997] skład mineralogiczny młodszych zwietrzelin determinuje chemizm wietrzejących skał. Na analizowanym obszarze przeważającą część (ok. 70%) stanowią utwory trzeciorzędowe, z dominacją minerału ilastego – kaolinitu. Według danych literaturowych [Patrzalek, Rostański 1992; Krzaklewski 1997; Znamirowska-Karaś, 2000], główną przyczynę kwaśnego odczynu należy upatrywać w silnie zasiarczonych utworach, które są deponowane na zwałowisko. Iły trzeciorzędowe są bogate w dwusiarczki, głównie piryty i markazyty. Poprzez kontakt tych minerałów z tlenem, po ich odłożeniu na zwałowisku, w osadach trzeciorzędowych, bogatych w siarczki, głównie żelaza, następuje przy udziale mikroorganizmów reakcja utlenienia prowadząca do wytworzenia kwasu siarkowego i hydrolytycznie rozpadających się siarczanów [Krzaklewski, Ratajczyk, 1997; Drozd, 1997]. Wietrzenie piryty i wypłukiwanie wolnego kwasu siarkowego z osadów trzeciorzędowych oraz rozpuszczalnych w wodzie siarczanów przez wody opadowe trwa przy tym dziesiątki lat [Katur, Liebner, 1995; Krzaklewski, Wójcik, 1998, 1999, 2000]. Zawartość dwusiarczków piryty i markazytów jest m.in. przyczyną utrzymującego się zakwaszenia zarówno w układzie przestrzennym, jak i pionowym profili glebowych. Dlatego do odkwaszenia tych gruntów konieczne jest wykonanie neutralizacji, która wpływa na spowolnienie procesów utleniania. Zabieg neutralizacji zdecydowanie zwiększa pH gruntu od 5,5 do 7,2 (pH w KCl). Skokowe wartości pH zauważalne są w początkowym okresie rekultywacji do 4 roku zalesień. Istotnym elementem potęgującym zakwaszenie jest skład granulometryczny rekultywowanych gruntów. Duża zwięzłość gruntu, wpływa na

spowolnienie procesów utlenienia w głębszych poziomach, obniżając uwalnianie składników alkalicznych w procesie wietrzenia i akumulacji materii organicznej.

Na starszych powierzchniach (profile od 7 do 17) pH jest bardziej ustabilizowane niż w materiale świeżo składowanym i wynosi od 3,6 do 5,6 (pH w KCl) i od 3,7 do 6,2 (pH w H₂O). Ponadto różnica w wartości pH w układzie pionowym, jak i przestrzennym, jest znacząco mniejsza, aczkolwiek nadal wartość pH stopniowo maleje wraz z głębokością. Na ww. powierzchniach zaznacza się istotna rola powstającej substancji próchnicznej, sprawiającej, że odczyn gleb inicjalnych nie osiąga wartości fitotoksycznych. Natomiast w głębszych warstwach pomimo przewagi czynnika zakwaszającego nad alkalicznym, obserwuje się niską aktywność procesu utleniania siarki, nie stanowiącego zagrożenia dla rosnącej roślinności (tab. 8, w zał.).

Wśród właściwości fizyczno-chemicznych gleb, jedną z budzących większe zainteresowanie, z racji licznych powiązań przyczynowo-skutkowych jest zdolność do zatrzymywania na wewnętrznych i zewnętrznych powierzchniach cząstek glebowych różnych składników, a w szczególności wody, par, gazów, drobnych cząstek, molekuł i mikroorganizmów. Zdolność tę nazywamy sorpcją, a układy biorące udział w sorbowaniu – kompleksem sorpcyjnym.

Skały nadkładowe, trafiające na zwałowisko zewnętrzne BOT KWB „Turów” stanowią w przeważającej większości utwory trzeciorzędowe zawierające kaolinit [Bolewski, Kubisz, Manecki, Żabiński, 1971]. Pojemność sorpcyjna kaolinitu jest stosunkowo mała – nie przekraczająca 20 cmol·kg⁻¹. Tym samym właściwości sorpcyjne gruntu zwałowego są na początku stosunkowo małe. Opisywana przewaga kaolinitu, czy illitu w materiale wpływa na wolniejszy przebieg dezintegracji gruntu-skały [Dobrzański, 1981]. Skutkiem tego jest fakt, że pojemność sorpcyjna wzrasta wraz z rozwojem próchnicy dopiero na zwałowiskach starszych (16-25 letnich) i to jedynie w górnej 0-20 cm warstwie.

Wielkością pojemności sorpcyjnej oraz ilością zasorbowanych kationów o charakterze zasadowym uwarunkowane są m.in. zdolności buforowe powstających gleb. Im większa jest pojemność sorpcyjna, tym większą zdolnością buforowania odznacza się gleba. Według Pokojskiej [1997] zdolności buforowe gleb leśnych są na ogół stosunkowo małe, jednak odgrywają istotną rolę w utrzymaniu stabilnego poziomu pH. Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym jest również dobrym wskaźnikiem odporności gleb na degradację [Grochowicz, 1997]. Po wykonaniu neutralizacji gruntów pogórnich w BOT KWB Turów stopień wysycenia

był duży bo wynosił ok. 70%, na co złożył się szczególnie udział jonów wapnia i magnezu. Pewna stabilizacja nastąpiła na najstarszych powierzchniach, 30 i 40 letnich, gdzie stopień wysycenia wynosił 50%. Zaznacza się przy tym postępująca w czasie przewaga czynnika zakwaszającego.

Grunty pokopalniane odznaczają się najczęściej złożonym, z punktu widzenia użytkownika gruntów, chemizmem. Jest to związane z obecnością w powierzchniowych warstwach materiałów, zalegających w normalnych warunkach na znacznych głębokościach.

Specyficzną właściwością rekultywowanych gruntów pogórnich na zwałowiskach BOT KWB Turów jest znaczna domieszka w nich węgla brunatnego.

W szóstym profilu duża zawartość węgla w poziomie skały macierzystej C1, wynosząca 30%, a także w poziomie skały macierzystej, na poziomie 50%, spowodowana była ewidentnie znaczną zawartością węgla brunatnego pochodzenia geologicznego (ok. 4% zawartość węgla w rekultywowanej skale nadkładowej). Analiza składu granulometrycznego tego poziomu wskazuje na dużą zawartość frakcji szkieletowych. Większy udział węgla w poziomie ściółki w profilach ze starszych powierzchni (9, 15, 17) związany jest z kolei ze wzmożoną akumulacją materii organicznej spowodowaną m.in. dużym opadem liści z drzew. Wraz z upływem czasu zwiększa się ilość nagromadzonej substancji organicznej tą drogą. W poziomie próchnicy nadkładowej zawartość węgla raptownie zmniejsza się, a wraz z dalszym zwiększaniem głębokości maleje stopniowo. Poniżej poziomu ściółki spadek zawartości węgla wraz z głębokością oraz jego wyraźny ubytek w warstwie (tab. 7, w zał.) jest cechą charakterystyczną dla gleb leśnych [Pokoj-ska, 1992, 1997].

Zawartość azotu ogólnego, bardziej niż węgla, jest ściśle skorelowana z upływem czasu od wykonania zabiegów rekultywacyjnych. Na przestrzeni lat substancja organiczna gromadzi się ulegając humifikacji – przekształca się w próchnicę, będącą następnie źródłem związków azotowych. Najniższą zawartość azotu ogólnego stwierdzono w gruntach przed i w początkowej fazie rekultywacji oraz w „młodych” glebach inicjalnych (tab. 7, w zał.). W dużym stopniu zawartość azotu w glebach zależy od gatunków porastających je roślin. Na powierzchniach z udziałem olszy czarnej i łubinu trwałego (profile 12 i 14) zawartość azotu ogólnego była większa i wynosiła od 0,1 do 1,0% w poziomach ściółki leśnej i próchnicy nadkładowej. Na poletkach gdzie dominowały modrzew i brzoza (profile 11 i 13) zawartość azotu kształtowała się wyraźnie w niż-

szym przedziale od 0,09 do 0,8%. Pomimo, że profile jedenasty i trzynasty reprezentują sytuację glebową na „starszych” powierzchniach (16-letnich), zawartość azotu w wierzchnich poziomach była niższa niż na niektórych powierzchniach „młodszych”. Powodem tego był brak gatunków roślin żyjących w symbiozie z grzybami i bakteriami asymilującymi azot z powietrza.

Stosunek C:N w badanych glebach był najniższy w poziomie ściółki leśnej. Przyczyną była zwiększona akumulacja wyraźnie podwyższająca zawartość azotu w tym poziomie. Wartości C:N wzrastały w miarę głębokości. Świadczy to o spadku wraz z głębokością tempa mineralizacji i humifikacji substancji organicznej oraz zmniejszaniu się aktywności biologicznej inicjalnych gleb. Taka sytuacja odnotowana została w większości badanych gleb, w których przeważają utwory o składzie granulometrycznym gliny ciężkiej. W utworach o składzie granulometrycznym gliny lekkiej, występujących rzadziej na zwałowisku zewnętrznym mineralizacja przebiega inaczej (profil 14). W poziomie ściółki profilu glebowego na tej powierzchni stosunek węgla do azotu wynosił 14,6 natomiast w próchnicy nadkładowej był niższy i wyniósł 5,9. Świadczy to o szybkim tempie mineralizacji związków próchnicznych w poziomie próchnicy nadkładowej. Według danych literaturowych [Pokojska, 1997], stosunek C:N zawierający się w przedziale 10-30, przy jednoczesnym wzroście w miarę upływu czasu zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego w poziomach organicznych gleb leśnych, wpływa korzystnie na kształtowanie się gleb z rekultywowanych utworów bezglebowych.

Z racji możliwego, negatywnego oddziaływania na organizmy żywe zamieszkujące tereny rekultywowane, uwagę zwraca również zawartość glinu ruchomego, zwłaszcza w sytuacji zakwaszenia gleb i gruntów. Głównym źródłem jonów glinu jest proces wietrzenia minerałów glebowych i uleganie procesom hydrolizy zależnie od pH gleby [Fotyma, Mercik, 1992]. W opisywanych w pracy utworach macierzytych o dużej zawartości pirytu, wskutek procesów utleniania kwasu siarkowego następuje zwiększenie aktywności glinu. W glebach o odczynie poniżej 5 pH, o kwasowości obok jonów wodorowych decydują także jony wymienne glinu. Obecność łączna jonów glinu i wodoru decyduje o kwasowości potencjalnej gleb [Fotyma, Mercik, 1992].

Na powierzchniach o dłuższym czasie rekultywacji zaznacza się w poziomach organicznych zdecydowany wpływ materii organicznej wiążącej szkodliwe jony glinu w trwałe połączenia. Gleby organiczne mogą dlatego wykazywać małą i bardzo małą wartość pH, mimo to rośliny rosną i rozwijają się bez zakłóceń [Fotyma, Mercik, 1992]. Zawartość jonów glinu jest większa w „surowych” utworach skał nadkładu.

W starszych profilach zaznacza się istotna rola próchnicy glebowej, która sorbuje w sposób specyficzny jony glinu o dużej toksyczności dla roślin [Fotyma, Mercik, 1992]. Zawartość glinu ruchomego w badanych poziomach organicznych jest znacznie mniejsza wynosząc od 0,02 do 0,59 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby w porównaniu z poziomami głębszymi. Z tym że najmniejsze wartości występują w kształtującym się poziomie ściółki.

Z racji założenia kierunku leśnego (ochronno-produkcyjnego) rekultywacji na opisywanym zwałowisku ważnym elementem rozważań jest zasobność utworów macierzystych oraz gleb, tworzących się w rezultacie działań rekultywacyjnych. W gruncie zwałowym, przed przystąpieniem do rekultywacji, nie wykazano znaczącej zawartości fosforu przyswajalnego. Dopiero po wykonaniu nawożenia mączką fosforytową zawartość fosforu zdecydowanie wzrosła (profil drugi: tab. 7, w zał., rys. 30). Zawartość fosforu przyswajalnego jest znacznie wyższa w profilu piątym, reprezentującym powierzchnię po wykonaniu nawożenia w drugim roku wegetacji. Nadto w profilach z wykształconymi poziomami, począwszy od profilu dziesiątego, zawartość fosforu przyswajalnego jest zdecydowanie wyższa w poziomie ściółki leśnej. Wraz z głębokością zawartość ta raptownie obniża się. Czynnikiem decydującym jest wpływ materii organicznej kumulowanej w miarę upływu czasu od rozpoczęcia prac rekultywacyjnych. Zauważalna jest wyraźna tendencja wzrostowa zawartości poszczególnych składników przyswajalnych z upływem czasu od zakończenia rekultywacji. Na dostępność fosforu przyswajalnego duży wpływ ma odczyn gleby [Puchalska, Prusinkiewicz, 1982; Drozd, 1997]. Potwierdzają to wyniki badań gleb z profilu szesnastego i siedemnastego (35 i 40 lat od rekultywacji), gdzie w poziomie ściółki leśnej zawartość fosforu była bardzo mała, wynosząc odpowiednio 40 i 13 $\text{mg P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, pomimo znacznej zasobności w materię organiczną, jednak pH w KCl wyniosło 3,8 a zawartości glinu wymiennego 2,62 $\text{me}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ gleby (tab. 7 i 8, w zał.). Zawartość przyswajalnego fosforu była w badanych glebach bardzo zróżnicowana i kształtowała się w granicach od 0,0 do 178 $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (tab. 5). Ogólnie badane gleby w ponad 80% charakteryzowały się bardzo niską i niską zawartością fosforu przyswajalnego. Najwyższą zawartość odnotowano przy tym w powierzchniowych poziomach ściółki.

Zawartość przyswajalnego potasu w analizowanych profilach glebowych kształtowała się w zakresie od 3,0 do 852 $\text{mg K}_2\text{O}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby (tab. 7, w zał.). Przeprowadzone badania wykazały, przewagę gleb o bardzo niskiej i niskiej zawartości potasu - 56%. Najzasobniejsze w potas okazały się poziomy ściółki profili glebowych: 9, 11, 14 i 15 (tab. 7, w zał.).

Zwiększona zawartość potasu w wierzchnich poziomach jest spowodowana intensywnym procesem wietrzenia materiału skalnego. W miarę upływu czasu od rozpoczęcia rekultywacji zauważalna jest jednak tendencja do zmniejszania ilości przyswajalnych form potasu (rys. 30, tab. 7, w zał.). W profilach szesnastym i siedemnastym (35 i 40 lat od rekultywacji), w poziomie ściółki, zawartość potasu była średnia a w poziomach głębszych bardzo niska. Jest to niewątpliwie związane z intensywnym pobieraniem tego składnika przez rośliny. Stwierdzono podobne rozmieszczenie potasu w profilach glebowych – najwyższą zawartość odnotowano w poziomach ściółki.

Badane gleby wykazują dużą zasobność w przyswajalny magnez. Duża zawartość tego pierwiastka wynika z zasobności w ten składnik skały macierzystej gleb. Najwyższe wartości podobnie jak potasu, stwierdzono w wierzchnich poziomach ściółki. Wyjątek stanowi profil siódmy, gdzie zaobserwowano wyższe wartości magnezu przyswajalnego w głębszych częściach profilu (tab. 7, rys. 31). Wynika to z rodzaju rekultywowanego utworu (skały macierzystej), ale również z odczynu środowiska glebowego. W poziomie ściółki (Ol) tego profilu, przy pH w KCl równym 4, zawartość magnezu przyswajalnego wynosi $386 \text{ mg MgO} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby. Przy wyższym odczynie w poziomie próchnicznym (AC) wynoszącym 4,6, zawartość przyswajalnego magnezu jest większa i wynosi $560 \text{ mg MgO} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby (tab. 7, w zał, rys. 31). Odczyn wpływa znacznie na zawartość przyswajalnych form magnezu. W profilu piątym, po nawożeniu mineralnym powierzchni rekultywowanej, zdecydowanie wzrosła zawartość przyswajalnego magnezu w wierzchnich poziomach (rys. 31, tab. 7, w zał.). Nie wykazano decydującego znaczenia upływu czasu od przeprowadzenia rekultywacji na kształtowanie się zawartości tego pierwiastka.

Osobną kategorię w rozważaniach składu chemicznego gruntów rekultywowanych stanowią metale ciężkie. Te pierwiastki, opisywane szeroko w literaturze z racji szeregu ich negatywnych oddziaływań są jednak też (w licznych przypadkach) niezbędnymi dla roślin i zwierząt mikroelementami, o czym nie wolno zapominać.

Takim, niezbędnym w procesach metabolicznych organizmów żywych pierwiastkiem jest cynk. Przeważalność cynku przez rośliny jest duża ze względu na dużą rozpuszczalność związków, w których występuje. W glebach cynk występuje w postaci jonów związanych przez mineralny i organiczny kompleks sorpcyjny. Cynk jest jednym z bardziej ruchliwych metali w glebie, na co mają wpływ zarówno jego formy wymienne jak i związki z substancją organiczną. Substancja organiczna gleb tworzy dosyć trwałe połączenia z cynkiem i dlatego akumulacja jego następuje w wierzchnich pozio-

mach gleb [Kabata-Pendias, 1993]. Zawartość cynku w badanych glebach wahała się w granicach od 62,5 do 147 mgZn·kg⁻¹ (tab. 7, w zał.). Dopuszczalna zawartość cynku nie została przekroczona. Największą jego zawartość stwierdzono w poziomach organicznych, z wyraźnym jej zróżnicowaniem. Średnia zawartość cynku w glebach Świata mieści się w granicach 30-125 mgZn·kg⁻¹ gleby i jest uzależniona między innymi od składu granulometrycznego [Kabata-Pendias, 1993]. Zawartość dopuszczalna cynku w badanych profilach nie została przekroczona w odniesieniu do standardów jakości gleby i ziemi dla grupy B.

Innymi pierwiastkami, z racji ich interakcji z organizmami żywymi, przy nieokreślonej do końca roli (lub jej braku) w procesach metabolicznych są ołów i kadm. Z uwagi na słabą migrację ołowiu, naturalne jego rozmieszczenie w profilu glebowym odzwierciedla jego zawartość w skałach macierzystych, a występowanie tego pierwiastka w glebach ma bezpośredni związek z ich składem mineralogicznym i granulometrycznym. Jednakże występowanie tego pierwiastka w wierzchnich poziomach związane jest w dużym stopniu z wpływem czynników antropogenicznych. Pierwiastek ten jest uważany za czynnik najpowszechniej zanieczyszczający środowisko. Gromadzenie się ołowiu w wierzchnich poziomach gleby jest spowodowane jego unieruchomieniem przez materię organiczną silnie sorbującą ten pierwiastek lub tworzącą z nim związki kompleksowe [Dębowski, 2006]. Głównym źródłem zanieczyszczenia gleb ołowiem jest oddziaływanie na nie emisji przemysłowych i komunikacyjnych. Kwaśny odczyn gleb, ich słabe zdolności sorpcyjne oraz niska zawartość próchnicy intensyfikuje pobieranie ołowiu przez rośliny. W badanych glebach nie odnotowano przekroczenia dopuszczalnej zawartości ołowiu, określonej w Rozporządzeniu MŚ o standardach jakości gleby i ziemi dla grupy B. Najwyższą zawartość ołowiu stwierdzono w poziomach skały macierzystej profilu drugiego. Wynosząc na głębokości 0-20 cm 53 mgPb·kg⁻¹ gleby i 47 mgPb·kg⁻¹ gleby na 30-40cm. W większości analizowanych gleb stwierdzono stopniowe obniżenie zawartości ołowiu w głąb profilu. Średnia naturalna zawartość ołowiu w glebach Polski wynosi 18 mg·kg⁻¹, natomiast tło geochemiczne wynosi 25-40 mgPb·kg⁻¹ [Kabata-Pendias, 1993]. Ołów jest silnie wiązany przez większość komponentów glebowych, szczególnie przez minerały ilaste i materię organiczną. Nadmiernemu pobieraniu ołowiu, podobnie jak innych metali ciężkich sprzyja kwaśny odczyn gleby oraz słabe zdolności sorpcyjne.

Kadm jest naturalnym składnikiem utworów geologicznych występujących w glebach, w zróżnicowanych ilościach, w zależności od skały macierzystej. Kwaśny odczyn gleb wpływa na zwiększoną fitoprzyswajalność kadmu. Większe ilości kadmu stwierdza

się w glebach obszarów narażonych na zanieczyszczenie spowodowane gospodarczą działalnością człowieka [Dębowski, 2006]. Zróznicowanie w badanych glebach i ich utworach macierzystych zawartości kadmu były większe jeśli chodzi o wartości graniczne niż w przypadku ołowiu (tab. 5). Związane jest to niewątpliwie z immisją transgraniczną związków kadmu oraz z wpływem pobliskiej Elektrowni Turów. Zawartość dopuszczalna kadmu w badanych profilach nie została przekroczona w odniesieniu do standardów jakości gleby i ziemi dla grupy B. Najwyższą zawartość kadmu stwierdzono w wierzchnim poziomie (0-20 cm) nie zrekultywowanego gruntu, gdzie wynosiła $1,2 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ (tab. 7, w zał.). Według Kabaty-Pendias [1993] średnia zawartość kadmu w powierzchniowych poziomach gleb wynosi $0,5 \text{ mgCd}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby. Naturalna zawartość tego pierwiastka zależy od jego występowania w skale macierzystej, ale niezwykle istotny jest również wpływ antropogeniczny. Duże ilości kadmu dostarczane są do gleby przy zastosowaniu nawozów mineralnych w szczególności fosforowych oraz przy wykorzystaniu odpadów komunalnych.

Występowanie manganu, podobnie jak ołowiu i cynku, zależy od jego zawartości w skale macierzystej, jak również od przebiegu procesu glebotwórczego decydującego o rozmieszczeniu tego pierwiastka w profilu glebowym. Znaczny wpływ na przemiany manganu glebowego, a zwłaszcza na zawartość jego formy przyswajalnej, ma odczyn gleby i jej potencjał oksydo-redukcyjny [Motowicka-Terelak, 1988]. W porównaniu z innymi metalami mangan jest słabo wiązany przez materię organiczną, co między innymi decyduje o jego względnej mobilności w glebach o większej zawartości materii organicznej [Kabata-Pendias, 1993]. Bardzo duży wpływ na przyswajalność manganu ma odczyn gleby. W glebach bardzo kwaśnych ($\text{pH} < 4,5$) mangan występuje w formie dwuwartościowej – przyswajalnej. W badanych glebach zawartość manganu zawiera się w przedziale od 20 do $191 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby. Jest znacznie niższa od dopuszczalnych zawartości określonych w literaturze. Według danych literaturowych, średnie zawartości manganu w glebach różnych rodzajów i typów wynoszą od 100 do $1300 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby, a dopuszczalna zawartość w glebach uprawnych wynosi od 1500 do $3000 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby [Kabata-Pendias, 1993].

4.2. Rekultywacja leśna jako technologia przyspieszająca procesy powstawania gleby

Według definicji ISO 11074, z sierpnia 1996 roku „gleba to powierzchniowa warstwa skorupy ziemskiej, złożona z cząstek mineralnych, materii organicznej, wody, powietrza i organizmów”. Gleba będąc ogniwem pomiędzy przyrodą ożywioną a nieożywioną pełni w środowisku wielorakie funkcje m.in. ekologiczne, techniczne, gospodarcze, socjoekonomiczne i kulturowe [Dębicki, 2000]. Będąc elementem siedliska, jest najbardziej odporna na szybkie zmiany dzięki zdolnościom buforowym.

W warunkach naturalnych powstawanie gleby jest procesem trwającym kilkadziesiąt a nawet kilkaset lat [Katzur, Liebner, 1997; Ulrich, 1988]. Zniszczenie jej może nastąpić w tempie stukrotnie szybszym. Przemysł wydobywczy przyczynia się do powstania wielkoobszarowych bezglebowych terenów pogórnich. Poprzez umiejętnie dobrane i zastosowane czynności rekultywacyjne, powodujące likwidację wad charakterystycznych dla gruntów pogórnich, następuje szybkie (w porównaniu do naturalnego) przekształcenie ich w glebę. Zwałowiska nadkładu są typowym przykładem terenów pogórnich pozbawionych gleby, której odtworzenie jest podstawowym celem rekultywacji. Przy współpracy czynnika ludzkiego i ekologicznego, uwzględniając cechy biologiczne i wartości gospodarcze roślin a przede wszystkim oddziaływanie ich na surowy grunt, następuje celowa rekonstrukcja przekształconych komponentów środowiska. Powstające ekosystemy leśne warunkują efektywne zagospodarowanie terenów pogórnich.

Procesy przebiegające w inicjalnych glebach tworzących się na zwałowisku, zwłaszcza wietrzenie minerałów, akumulacja materii organicznej oraz rozwój korzeni roślin wywarły istotny wpływ na zmiany właściwości fizycznych tzw. „surowych” skał nadkładu, przekształcając je w procesie rekultywacji w glebę. Jest to szczególnie istotne w przypadku bezstrukturalnych gruntów, których właściwości fizyczne w początkowym stadium rozwoju decydują o wzroście roślin i przebiegu procesów glebotwórczych. Potwierdzeniem korzystnych przemian są przeprowadzone badania, stwierdzające stopniowe ustrukturalnienie się wierzchnich warstw rekultywowanego gruntu oraz badania laboratoryjne zmian gęstości objętościowej, a ostatecznie zwiększenie ich porowatości ogólnej. Niniejsze właściwości warunkujące stosunki powietrzno-wodne, mają istotne znaczenie dla żyzności tworzących się gleb inicjalnych [Zawadzki, 1999]. Wyrażna przewaga mikropor w porowatości ogólnej potwierdza brak optymalnej, z punktu wi-

dzenia stosunków powietrzno-wodnych, proporcji między udziałem mikro-, mezo- i makroporów. Najbardziej dynamicznie przebiegały zmiany niniejszych właściwości w poziomach ściółki i próchnicy nadkładowej, nieco wolniej w poziomie próchnicznym, natomiast w poziomie skały macierzystej prawie w ogóle ich nie stwierdzono. Świadczy to o znacznym wpływie materii organicznej na rozluźnienie układu i ustrukturalnienie wierzchnich poziomów gleby inicjalnej [Buckman, 1971].

Obok poprawy właściwości fizycznych i akumulacji materii organicznej pozytywnym skutkiem przebiegu procesów glebotwórczych na zwałowisku zewnętrznym jest zmiana odczynu gleb na bardziej korzystny dla roślinności leśnej. W początkowym okresie rekultywacji, po wykonaniu neutralizacji zmiany są intensywne w warstwie neutralizowanej. Potwierdzają to również zmiany parametrów kompleksu sorpcji wymiennej kationów tj. wartości kwasowości hydrolitycznej i sumy kationów zasadowych, gdzie obniżone są wartości kwasowości hydrolitycznej w warstwie neutralizowanej i zwiększona jest zawartość kationów wapnia i magnezu. Wprowadzone w ramach neutralizacji jony wapnia i magnezu ulegają stopniowemu zabsorbowaniu przez tworzące się połączenia kompleksu sorpcyjnego. W miarę upływu czasu następuje stopniowa stabilizacja odczynu, szczególnie w poziomach organicznych gdzie pH zawiera się w przedziale 3,6-5,7. Utrzymanie kwaśnego odczynu poziomów ściółki i próchnicznych wynika z zakwaszającej roli akumulowanego materiału pochodzącego z opadu w większości gatunków liściastych [Sourkova, Frouz, Santruckova, 2005].

Zmiany właściwości badanych idustroziemów, jakie zaszły na przestrzeni 40 lat, są przede wszystkim skutkiem oddziaływania na „surowy grunt” procesów akumulacji i przemian materii organicznej jak również procesów wietrzeniowych pod wpływem czynników biotycznych i abiotycznych. W obrazie morfologicznym wyłoniły się, charakterystyczne dla inicjalnych gleb leśnych poziomy genetyczne: ściółki (Ol), próchnicy nadkładowej (Ofh), poziomu próchnicznego przejściowego (AC) a w „najstarszych” profilach poziomu próchnicznego właściwego (A) oraz poziomu skały macierzystej.

Najbardziej intensywne zmiany zauważalne są na głębokości od 0 do ok. 10 cm, w mniejszym stopniu od 10 do 20 cm.

4.3. Uprawa lasu metodą rekultywacji i zagospodarowania zwałowisk

Kształtowanie się piętrowej struktury zbiorowisk, licząc od powierzchni czternastoletniej jest niewątpliwie wskaźnikiem tworzenia się środowiska leśnego. Zróżnicowanie to wynika z różnego wzrostu drzew, występowania warstwy krzewów, runa oraz mchów i porostów [Krzaklewski, 2000]. Na terenach rekultywowanych zróżnicowanie wzrostu roślinności jest uzależnione również od uzupełniania wypadów roślin i prowadzonej gospodarki leśnej.

Na badanych powierzchniach gatunkami najczęściej spotykanymi na zwałowisku wśród roślinności drzewiastej są: olsza czarna, brzoza brodawkowata i modrzew europejski. Ta dominacja wynika zarówno z zalecanego składu gatunkowego sadzonek w trakcie prac rekultywacyjnych, jak i z możliwości adaptacyjnych tych roślin.

Zauważono, że szczególnie korzystny wpływ na przebieg procesu próchnicowotwórczego ma olsza czarna wprowadzana w trakcie prac rekultywacyjnych jako gatunek fitomelioracyjny. Według Krzaklewskiego i Wójcika rośliny o wybitnie fitomelioracyjnych właściwościach jak olsza czarna i szara, łubin trwały i rośliny motylkowe są szczególnie zalecane w biodynamicznej metodzie rekultywacji leśnej zwałowisk, w tym zwałowiska zewnętrznego w Turowie [Krzaklewski, Wójcik, 2005]. Spośród ocenianych gatunków największą dynamiką wzrostu charakteryzowała się brzoza brodawkowata i olsza czarna. Wymiary jakie osiągnęły te drzewa na powierzchniach badawczych to średnio około 16 m wysokości przy 20 cm pierśnicy w przypadku brzozy brodawkowatej i ok. 17 m wysokości oraz 17 cm pierśnicy olszy czarnej.

Z ekologicznego punktu widzenia rekultywacja jest ingerencją człowieka w sukcesję. Prowadząc prace rekultywacyjne, sukcesja samorzutna uzupełnia wprowadzaną roślinność lub odwrotnie wprowadzana roślinność uzupełnia sukcesję [Krzaklewski, 2001]. Gatunki roślinności zielnej, wkraczające w ramach sukcesji naturalnej na badane powierzchnie to przede wszystkim: wyka ptasia, sit rozpierzchły, przytulia czepna, ostrożeń lancetowaty, wyka drobnokwiatowa i czepna, przetacznik kłosowy, ostrożeń lancetowaty, krwawnik pospolity, bylica pospolita, dziurawiec zwyczajny. Natomiast gatunki charakterystyczne dla zbiorowisk leśnych to głównie: trzcinnik leśny, jastrzębiec kosmaczek, szarota leśna, starzec gajowy, wiechlina gajowa, kłosownica leśna, kuklik pospolity, jastrzębiec Lachenela oraz narecznica samcza.

Gatunki roślin z sukcesji spotykane w zbiorowiskach żyznych siedlisk leśnych to przede wszystkim: starzec gajowy, pokrzywa zwyczajna, kuklik pospolity. Takie gatunki występują na powierzchniach dwunastoletniej rekultywacji, m.in. starzec gajowy, 25-letniej rekultywacji – kuklik pospolity oraz pokrzywa zwyczajna. Wprowadzana w trakcie rekultywacji biologicznej roślinność zielna, a zwłaszcza łąbin trwały, dostarcza dodatkową biomasę do ekosystemu i znaczne ilości azotu. Natomiast roślinność pochodząca z sukcesji naturalnej, tworząc tzw. fitocenozy pionierskie, wytwarza znacznie więcej materii organicznej niż jej konsumuje [Krzaklewski, 2001]. Materia organiczna nie jest wynoszona i zmienia podłoże stając się źródłem pokarmu, a także substancji wzrostowych oraz inhibitorów wzrostu.

Substratem powstających na zwałowisku zewnętrznym kopalni węgla brunatnego gleb inicjalnych są w przewadze kwaśne utwory trzeciorzędowe, niejednokrotnie toksyczne. Duży udział syderytów, pirytów oraz węgla brunatnego, powodujących wtórne zakwaszenie przyczynia się m.in. do powstawania kwaśnego odczynu gleb inicjalnych [Patrzalek, Rostański, 1992; Krzaklewski, 1997]. W dużej mierze dyskredytuje to powierzchnie pokryte takimi utworami, jako uprawne w rozumieniu działalności rolniczej. Z punktu widzenia rekultywacji specjalnej, nastawionej na pozyskiwanie terenów parkowych, mieszkaniowych, czy innych inwestycyjnych, tereny te z kolei są nieprzydatne z innych powodów. Odległe położenie względem osiedli ludzkich, duże wysokości względne, strome skarpy, niestabilny materiał pokrywający teren, decydują, że te formy zagospodarowania docelowego są nieekonomiczne, a często niebezpieczne.

W konsekwencji w wielu przypadkach następuje ukierunkowanie na założenie leśne, jako optymalną formę zagospodarowania. Pytanie, które w tym miejscu należy sobie postawić, czy jest to zło konieczne, czy świadomie wybrany optymalny kierunek?

Według Krzaklewskiego [1998] i Gilewskiej [2000], rekultywacja terenów pogórnich powinna być wykonywana przez wyspecjalizowane przedsiębiorstwa uwzględniając najnowsze osiągnięcia i rozwiązania w tym zakresie. Natomiast o wyborze metod tej działalności powinien decydować nadrzędny cel ukształtowania wysokiej jakości biotopów.

Uzyskane wyniki w Turowie dowodzą o słuszności wybranej metody rekultywacji zwałowiska zewnętrznego. Prowadzone prace rekultywacyjne dają gwarancję uzyskania na opisywanych w pracy terenach pogórnich siedlisk leśnych o odpowiednio wysokich walorach ekologicznych i gospodarczych.

4.4. Problemy i trudności w rekultywacji leśnej zwałowisk

Główne problemy jakie występują podczas wykonywania prac rekultywacji biologicznej terenów pogórnich w Kopalni Turów wynikają ze skali przedsięwzięcia, właściwości skał – gruntów oraz ogólnego klimatu wokół działań rekultywacyjnych.

Kopalnia Turów, zgodnie z nałożoną decyzją administracyjną, corocznie rekultywuje ok. 80 ha terenów pogórnich. Zrekultywowane tereny przekazywane są Lasom Państwowym w celu prowadzenia właściwej gospodarki leśnej. Niejednokrotnie przekazywanie tychże terenów trwa wiele lat. Finansowanie prac rekultywacyjnych pochodzi ze środków własnych przedsiębiorstwa oraz z pożyczek i funduszy Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Działalność rekultywacyjna prowadzona w Turowie wymaga dużych nakładów finansowych oraz szeregu działań administracyjnych. Z punktu widzenia użytkownika docelowego ważne jest, że na zrekultywowane powierzchnie nakładany jest znacznie niższy podatek niż na grunty wyłącznie z produkcji, jakimi były przed rekultywacją.

Wśród trudności, związanych z właściwościami skał wymienić należy:

- nadmierne zakwaszenie skał nadkładu, wynikające z dużej zawartości węgla, pirytów, markazytów, przez co są to grunty toksyczne dla roślin,
- duża kwasowość hydrolityczna,
- nadmierna zawartość wymiennych jonów glinu,
- znikoma zawartość fosforu przyswajalnego oraz związków azotu w skałach nadkładu,
- nadmierne zagęszczenie utworów oraz ich bezstrukturalność, co powoduje skokową zmienność ich konsystencji,
- duża zwięzłość i zlewność (nadmierna gęstość właściwa, niska gęstość objętościowa, mała porowatość ogólna, duży udział w składzie granulometrycznym części spławianych oraz przewaga mikropor).

Szereg niekorzystnych właściwości znacznie utrudnia uzyskanie pożądanego efektu nawet po właściwym wykonaniu prac rekultywacyjnych. Niejednokrotnie na skutek wtórnego zakwaszenia zrekultywowanego już gruntu część roślin wypada. Należy wówczas wykonać rekultywacyjne prace uzupełniające wraz z neutralizacją punktową.

Niekorzystne właściwości fizyczne przyczyniają się do zasklepienia i scementowania wierzchnich warstw gruntu, co jest bezpośrednią przyczyną duszenia roślin, w szczególności roślinności zielnej. Takie powierzchnie również wymagają wykonania

szeregu poprawek i uzupełnień. Ponadto w początkowym okresie rekultywacji wprowadzana roślinność szczególnie drzewiasta przechodzi kilkuletni okres adaptacyjny. W tym czasie wzrost roślin jest znikomy.

Tak więc, pomimo poprawnego wykonania prac rekultywacyjnych na ich efekt należy poczekać. Niejednokrotnie oczekiwania nie zawsze są współmierne do poniesionych nakładów. Wynika to ze szczególnej trudności w rekultywacji gruntów, a nie z błędnie przyjętych czy wykonanych rozwiązań rekultywacyjnych. Przy ocenie wykonywanych prac rekultywacyjnych należy szczególnie zwrócić na ten fakt uwagę.

Czasem, w oczach dycydentów rekultywacja gruntów silnie zaburzonych nie znajduje uzasadnienia praktycznego. Wynika to przy tym nie tylko z trudności i kosztochłonności samych działań oraz opisanych powyżej problemów następczych. Ważna jest wątpliwość o cel odzyskiwania terenów, gdy obok zalegają tysiące hektarów w formie nieużytków porolnych i po innych działalnościach. Ta trudność „mentalna” może być niwelowana (i jest) na drodze prawnej – poprzez wymuszenie rekultywacji gruntów zdegradowanych i zdewastowanych. Tym niemniej dużo lepszych rezultatów można by oczekiwać przy większej aktywności dycydentów, rozumiejących potrzebę takich działań.

Podsumowanie i wnioski

- Zastosowana w BOT KWB Turów metoda rekultywacji prowadzi do skutecznego i dynamicznego odtworzenia gleby. Jest też skuteczną metodą odtwarzania ekosystemu leśnego.
- Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na dynamiczny przebieg procesów glebotwórczych, co znalazło odzwierciedlenie w zmianach morfologicznych profilu glebowego oraz podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych skały macierzystej, prowadząc w efekcie do przekształcenia jej w inicjalną glebę leśną z charakterystycznymi poziomami.
- Opisywane grunty pokopalniane BOT KWB Turów można zaklasyfikować do działu gleb antropogenicznych, rzędu gleb industroziemnych, typu gleb o niewykształconym profilu glebowym.
- W ciągu 40 lat, pod wpływem rekultywacji leśnej, w obrazie morfologicznym zaznaczają się, charakterystyczne dla inicjalnych gleb leśnych poziomy genetyczne:

- ściółki (Ol), próchnicy nadkładowej (Ofh), poziomu próchnicznego właściwego (A), poziomu próchnicznego przejściowego (AC) oraz poziomu skały macierzystej.
- Z biegiem lat następuje stopniowe ustrukturalnienie się wierzchnich warstw „surowych” skał nadkładu, zmniejszenie gęstości objętościowej oraz zwiększenie porowatości ogólnej.
 - Przewaga mikroporów w porowatości ogólnej gruntu-skały przyczynia się do tworzenia gleb zwięzłych, mało przewiewnych o znacznym deficycie wody dostępnej dla roślin.
 - Roślinność leśna, zastosowana w rekultywacji wpływa na rozluźnienie tekstury i ustrukturalnienie poziomów organicznych badanych gleb inicjalnych.
 - Przewaga trzeciorzędowych ilów bogatych w dwusiarczki żelaza (piryt, markazyt) często zawęglonych w gruntach rekultywowanych determinuje pierwotne oraz wtórne zakwaszenie utworów macierzystych tworzących się gleb. Duża zwięzłość gruntu potęguje zakwaszenie poprzez spowolnienie procesów utleniania w głębszych poziomach.
 - Intensywne zmiany odczynu, kwasowości hydrolitycznej oraz udziału kationów zasadowych w utworach rekultywowanych, w początkowych latach rekultywacji następują pod wpływem przeprowadzanych prac technicznych, a w szczególności neutralizacji gruntu.
 - Stopniowa stabilizacja odczynu na „starszych” powierzchniach szczególnie w wierzchnich poziomach organicznych, wynika z metabolizmu roślin wyższych, zwłaszcza opadu liści i gromadzenia się oraz przemian ściółki. Kształtujący się kwaśny odczyn badanych gleb inicjalnych na zwałowisku zewnętrznym BOT KWB Turów S.A. jest zbliżony do gleb leśnych, co m.in. potwierdza trafność wybranego kierunku rekultywacji.
 - Kształtowanie się piętrowej struktury zbiorowisk leśnych zaobserwowano na powierzchniach czternastoletnich i starszych. Z jednej strony wskazuje to na rekultywację jako proces długotrwały z punktu widzenia gospodarki, z drugiej na zdecydowanie przyspieszony w porównaniu z sukcesją naturalną.
 - Szczególnie korzystny wpływ na przebieg rekultywacji gruntów bezglebowych KWB Turów ma olsza czarna, wprowadzana jako gatunek fitomelioracyjny, wyraźnie dynamizujący proces próchnicotwórczy.
 - Dynamika akumulacji zasobnej w azot materii organicznej, jak również cechy morfologiczne i właściwości chemiczne formujących się poziomów próchnicznych

wskazują, że rozwój tworzących się na powierzchniach badawczych ekosystemów jest dynamiczny i zmierza w kierunku potencjalnie żyznych siedlisk leśnych.

Spis literatury

1. Andrzejewski M. "Wpływ nawożenia organicznego na przemieszczanie się związków próchnicznych w profilach glebowych". Wydawnictwo PTPN, 20, 2, 1966.
2. Andrzejewski M. "Znaczenie próchnicy". Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych z.411 „Próchnica rolnicza i ekologiczne znaczenie”, 1993, s.12-21.
3. Bartoszewicz A. "Właściwości chemiczne gleb pługowych" Roczniki AR w Poznaniu 56, Poznań 2000, s.195-205.
4. Bauman K., Gołda T., Gruszczyński S., Krzaklewski W. i inni „Weryfikacja i opracowanie technologii wytwarzania materiału ekologicznego do obudowy zwalówisk” etap I. AGH Kraków 1993, s.2-22.
5. Bender J. „Rekultywacja terenów pogórnich w Polsce”. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, z.418 cz.I KGiChR PAN, Warszawa 1995, s.75-86.
6. Bieszczad S., Sobota J. „Zagrożenia ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego”. Skrypt Akademii Rolniczej we Wrocławiu 1978.
7. Biuletyn informacyjny PPWB „Węgiel Brunatny – 55 lat KWB Turów”. Wydawnictwo EXPO-CHEM Sp. z o.o. Warszawa 2002.
8. Bogda A., Chodak T., Szerszeń L. "Właściwości i skład minerałów ilastych gleb Dolnego Śląska". Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu 1998.
9. Bolewski A., Kubisz J, Manecki A., Żabiński W. (red.) „Sprawozdanie z badań chemicznych i mineralogicznych próbek gruntów dostarczonych przez Zakład Gruntoznawstwa i rekultywacji Terenów Przemysłowych-część I. Wyniki badań z Turowa”, Instytut Mineralogii i Złóż Surowców Mineralnych AGH Kraków 1971, s. 7-56.
10. Brogowski Z., Borzyszkowski J., Gworek B., Ostrowska A., Porebska G., Sienkiewicz J. „Charakterystyka gleb wylesionych obszarów gór Izerskich”. Roczniki Gleboznawcze, t. XLVIII nr 1 /2 Warszawa 1997, s.111-124.
11. Buckman H.C.-Nyle C.Brady „Gleba i jej właściwości”- (tłumaczenie) PWRiL Warszawa 1971, s. 90-460.
12. Chodak T., Bogda A. „ Wpływ składu minerałów ilastych na kształtowanie się żyzności gleb” opracowanie końcowe 1986-1990. AR we Wrocławiu Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego 1990.
13. Chodak T., Jahn A. "Odczyn i właściwości sorpcyjne zwietrzelin i pokryw zwietrzeliowych w Sudetach na tle ich składu mineralogicznego". II sympozjum naukowe „Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb” Lublin 23-24.09.1997, s. 62.
14. Chodak T., Kabała C. „Powierzchnia właściwa – złożony parametr charakteryzujący stan środowiska glebowego”. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, z.418 cz.II, KGiChR PAN Warszawa 1995, s. 445-506.
15. Chodak T., Szerszeń L. „Zmiany w środowisku glebowym pod wpływem przemysłu i rolnictwa na Dolnym Śląsku”. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych 1998b, z. 460, s. 41-52.

16. Chodak T., Szerszeń L., Bogda A. „Zmiany w składzie mineralogicznym gleb objętych niektórymi czynnikami degradującymi”. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, z.418 cz.II, KGiChR PAN, Warszawa 1995, s. 703-707.
17. Czarnowska K. „Zawartość niektórych metali ciężkich w glebach wytworzonych z różnych utworów pyłowych”. Roczniki Gleboznawcze 40, Warszawa 1989, 2, s.107-117.
18. Czerwiński W. „Fizjologia roślin”. PWN Warszawa 1977, s 320.
19. Dębicki R. „Degradacja gleby i jej skutki w środowisku przyrodniczym”. Roczniki AR w Poznaniu CCCXVII, 56, Poznań 2000, s.210-224.
20. Dick R.P: “Long-term effect of agricultural systems soil biochemical and microbial parameters”. Agric Ecos.Environ.1992, 40, 1-4, s.25-36.
21. Dilla L. “Forstliche Rekultivierung im Rheinbraun. Zeitschrift-Wo neue Walder wachsen. Köln 1983.
22. Dobrzański B., Zawadzki S. (red.) „Gleboznawstwo”. PWRiL, Warszawa 1999, s.166-200.
23. Dobrzyński Z. „Płynie struga węgla”. Wydawnictwo KWB „Turów” S.A. 2002, s.19-66.
24. Drozd J. ,Wyskida J. ”Wpływ ważniejszych elementów żyzności wybranych jednostek glebowych na ich produktywność”. Zeszyty Naukowe AR L III, nr 196, Wrocław 1990, s. 75-83.
25. Drozd J., Licznar M.,Licznar St.E., Weber J. ”Gleboznawstwo z elementami mineralogii i petrografii”. AR we Wrocławiu 1997, s.162.
26. Fiszer J., Jerz U., Pacia G., Solowczuk B., Sowiński L., Tylikowski M. (red.) „Studium warunków i skutków odwodnienia dla południowych i zachodnich obrzeży eksploatacji w KWB Turów”. Biuro Projektów Górniczych i Geologicznych-Geolog, Wrocław 2000, s.31-32.
27. Fiszer J. (red.) ”KWB Turów w latach 1997-2035”. Geomax, Wrocław 1997, s.7-38.
28. Folder informacyjny „KWB Turów S.A.” pod red.BukowskiJ., Holinka Z., Izydorczyk H., Bogatynia 2002, s. 44.
29. Fotyma M., Mercik St. „Chemia rolna”. Warszawa 1992.
30. Foy C.D.,Chanej R.L, White M.C. ”The physiology of metal toxicity in plants”. Ann.Rev. Plant. Physial. 1978, 29, s.511-566.
31. Gąszczyk R., Paszko T. „Badanie trwałości połączeń kompleksu sorpcyjnego gleb z Cu,Ni i Zn metodą dynamiczną”. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, z.418, KGiChR PAN, Warszawa 1995, s.495-500.
32. Gericke S. „Humusfragen „, Z.Pflanzenernähr Düng., Bodenk.1949, s.43.
33. Giedrojć B. “Gleboznawstwo melioracyjne z podstawami torfoznawstwa“. Skrypt AR we Wrocławiu Wyd.III, Wrocław 1990, s.115-120.
34. Gilewska M. ”Rekultywacja biologiczna gruntów pogórnich na przykładzie KWB „Konin” ”. Roczniki AR w Poznaniu 1991, Rozprawy nauk. Z.211, s.6-15.
35. Gilewska M., Przybyła Cz., Stachowski P. ”Wpływ rolniczej eksploatacji gruntów pogórnich i ich zdolności retencyjnych na wielkość ewapotranspiracji rzeczywistej i plonowanie”. Zeszyty Naukowe AR nr 206 , Wrocław 1995, s.343-353.

36. Gilewska M., Wójcik A. "Aktywność enzymatyczna gruntów pogórnich pod pionierskimi nasadzeniami leśnymi". *Archiwum Ochrony Środowiska* 3-4, Poznań 1984, s.141-156.
37. Gilewska M. "Rekultywacja i zagospodarowanie terenów zdewastowanych działalnością górnictwa odkrywkowego". *Kom.Ogólnop.Konfer.Nauk."Przyrodnicze i techniczne problemy kształtowania środowiska rolniczego"*. Wydawnictwo AR w Poznaniu 2001, s.79-80
38. Gilewska M. "Rola podstawowych makroelementów w rekultywacji i zagospodarowaniu gruntów pogórnich". *Roczniki AR CCCXVII w Poznaniu*, 2000, s.391-400.
39. Gilewska M. "Właściwości próchnicy wytworzonej w procesie rekultywacji gruntów pogórnich". *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, Warszawa 1998, z. 460, s.153-166.
40. Główny Urząd Statystyczny. *Raport środowiskowy 2004. Stan środowiska w Polsce*.
41. Gołąb Z., Tomaszewska, Rippel J. „Ocena stosowania różnych sposobów neutralizacji”. Instytut Górnictwa Odkrywkowego-Poltegor, Wrocław 1993, s.11.
42. Gołda T. „Rekultywacja”. Skrypty uczelniane, AGH Kraków 1993.
43. Gołębiowska J., Bender J. „Czynniki warunkujące powstawanie poziomu próchnicznego w procesie rekultywacji zwałowiska”. *Archiwum Ochrony Środowiska*, Wrocław 1983, s. 52-75.
44. Gorbunow N.I. „Glebowe minerały wysokodispersyjne i metody ich badań”. PWRiL Warszawa 1967, s.35-54.
45. Greinert H. "Ochrona gleb". Skrypt Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze 1992, s.23.
46. Greinert H., Greinert A. „Ochrona i rekultywacja środowiska glebowego”. Politechnika Zielonogórska, Zielona Góra 1999, s.15-264.
47. Grochowicz E., Korytkowski J. „Ochrona gleb”. WSP Warszawa 1997, s.45-46.
48. Gworek B., Degórski M. „Przestrzenne i profilowe rozmieszczenie pierwiastków śladowych i żelaza w glebach zbiorowisk borowych”. *Roczniki Gleboznawcze*, t. XLVIII nr1/2, Warszawa 1997, s.19-30.
49. Gworek B. „Pierwiastki śladowe Mn,Zn,Cr,Co,Pb,Cd w glebach wytworzonych z glin zwałowych utworów północno-wschodniego regionu Polski”. *Roczniki Gleboznawcze* 35,2, Warszawa 1984, s.79-100.
50. H.Gołowin „Ocena jakościowa dyspozycyjnych zasobów wodnych”. IMGW Wrocław 1991, s.3-5.
51. Janeczko-Mazur A., Błachta J., Maciejowska B. „Bilans ilościowo-jakościowy wód dla Pola I odkrywki "Turów". IMGW, Wrocław 2000, s.2-6.
52. Janeczko-Mazur A., Grabiński A. „Określenie ilościowo-jakościowego wpływu popiołu oraz produktów odsiarczania pochodzących z Elektrowni Turów składowanych na zwałowisku zewnętrznym kopalni na jakość wód odprowadzanych ze zwałowiska wraz z długoterminową prognozą oddziaływania powyższych odpadów na lokalne środowisko naturalne”. IMGW, Wrocław 1998, s. 3-30.

53. Januszek K. "Aktywność enzymatyczna wybranych gleb leśnych Polski południowej w świetle badań polowych i laboratoryjnych". Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, Kraków 1999, Rozpr. 250.
54. Kabata-Pendias A., Pendias H. "Biogeochemia pierwiastków śladowych". PWN, Warszawa 1993, s.357.
55. Kasztelewicz Z. "Sposoby rekultywacji, ekologia i ochrona środowiska w KWB „Konin” w Kleczewie S.A." Węgiel Brunatny nr 2(43), Porozumienie Producentów Węgla Brunatnego, Bełchatów 2003, s.4-10.
56. Katzur J., Liebner F. "Stofffrachten der Sickerwässer und Entwicklung des Entsorgungspotentials landwirtschaftlich genutzter Kippböden." F/E-Abchlußbericht. BMBF-FKZ: 0339393C, Finstrowalde 1997.
57. Katzur J., Liebner F. „Erste Ergebnisse eines Großlisimeterversuchen zu den Auswirkungen der Abraumsstrate und Aschemelioration auf Sickerwasserbildung und sofffrachten der Sickerwasser aus den Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaues". Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd.1995.
58. Kicińska A., Helios-Rybicka E. „Metale ciężkie w układzie gleba-roślina na obszarze oddziaływania huty cynku". Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, z.418 cz.II, KGiChR PAN, Warszawa 1995, s.751-759.
59. Kowalski J. „Hydrogeologia z podstawami geologii". Wyd.II AR we Wrocławiu 1998, s.49-63.
60. Kowda W.A. "Podstawy nauki o glebach". Tłumaczenie, PWN, Warszawa 1984.
61. Krzaklewski W. (red.) „Doskonalenie technologii rekultywacji skarp stałych, półek i tarasów za frontem zwałowania na nowych powierzchniach włączonych do rekultywacji wraz z opracowaniem dokumentacji badawczej siedlisk terenów przekazywanych Lasom Państwowym –etap V. KWB "Bełchatów". Maszynopis, IKiOŚ AGH, Kraków 1990, s.15-30.
62. Krzaklewski W. , Żuławski Cz., Jonak Z., Wójcik J. (red.) „Bieżące prace badawcze na terenach przeznaczonych do rekultywacji biologicznej i badania nad wybranymi elementami działalności rekulturacyjnej dla leśnego zagospodarowania zwałowiska KWB „Turów”- etap IV". IKiOŚ AGH, Kraków 1989, s.6-11.
63. Krzaklewski W. "Powtórka z rekultywacji (2)". Kopaliny 2/2005 (59).
64. Krzaklewski W. „Rekultywacja obszarów pogórnich i przemysłowych". Aura 9/2001, Ochrona środowiska, Wydawnictwo SIGMA-NOT Warszawa 2001, s.13-15.
65. Krzaklewski W., Kowalik St., Wójcik J. (red.) "Rekultywacja utworów toksycznie kwaśnych w górnictwie węgla brunatnego". Monografia, Wydawnictwo MONOS, Kraków 1997, s.58-88.
66. Krzaklewski W., Ratajczak T., Tarkowski J., Wojtanowicz P. "Toksyczność zsiarczonych utworów nadkładu węgla brunatnych w aspekcie ich biologicznej rekultywacji". Materiały z konferencji naukowej p.n. Geochemiczne, hydrochemiczne i biochemiczne zmiany środowiska przyrodniczego na obszarach objętych antropopresją, AGH Kraków, 1997, s.59-69.
67. Krzaklewski W., Wójcik J. „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów". IKiOŚ AGH, Kraków 1993, s.1-9.

68. Krzaklewski W., Wójcik J. „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”. IKiOŚ AGH, Kraków 1997, s.2-10.
69. Krzaklewski W., Wójcik J. „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”. IKiOŚ AGH, Kraków 1998, s.16-46.
70. Krzaklewski W., Wójcik J. „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”. IKiOŚ AGH, Kraków 1999, s.2-22.
71. Krzaklewski W., Wójcik J. „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”. IKiOŚ AGH, Kraków 2000, s.3-41.
72. Krzaklewski W., Wójcik J. „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”. IKiOŚ AGH, Kraków 2001, s.3-30.
73. Krzaklewski W., Wójcik J. „Wykorzystanie popiołu z Elektrowni „Turów” do rekultywacji zwałowiska zewnętrznego na podstawie wyników dotychczasowych badań”. IKiOŚ AGH, Kraków 1997, s.2-6
74. Krzaklewski W., Wójcik J., Kowalik S., Jonak Z. (red.) „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”. IKiOŚ AGH, Kraków 1991, s.7-17.
75. Krzaklewski W., Żuławski C., Jonak Z., Wójcik J. (red.) „Bieżące prace badawcze na terenach przeznaczonych do rekultywacji biologicznej i badania nad wybranymi elementami działalności rekultywacji dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”. IKiOŚ AGH, Kraków 1987, s.3-41.
76. Krzaklewski W. „Rekultywacja terenów pogórnich”. Centralny Program Badań Podstawowych 04.10. Zasady ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego na obszarach eksploatacji złóż kopalni, Kraków 1995, s.158-168.
77. Krzaklewski W., Wójcik J. „Doskonalenie technologii rekultywacji zboczy i kształtowania biotopu dla leśnego zagospodarowania terenów pogórnich w KWB Turów S.A.”. AGH, Kraków 2005, s.9-40.
78. Laskowski S., Szerszeń L., Chodak T. „Minerały ilaste w niektórych glebach terenów nizinnych wytworzonych z utworów pochodzenia wodnego”. Konferencja „Minerały i surowce ilaste” Bolesławiec, PAN Komitet Nauk Geologicznych, Polskie Towarzystwo Mineralogiczne, Warszawa 1979, s.317-331.
79. Limanówka J. „Rekultywacja terenów pogórnich w BOT KWB Bełchatów S.A.”. Węgiel brunatny nr 1(54), Porozumienie Producentów Węgla Brunatnego, Bogatynia 2006, s.13-15.
80. Lityński T., Jurkowska H. „Żyzność gleby i odżywianie się roślin”. PWN, Warszawa 1982.
81. Maciak F. „Ochrona i rekultywacja środowiska”. SGGW, Warszawa 1999, s.106-112.
82. Maciejewska B., Janeczko-Mazur A. „Bilans ilościowo-jakościowy zasobów wodnych zwałowiska kopalni „Turów”. IMGiW Oddział we Wrocławiu 1997, s.89-90.

83. Malewski J. „Zagospodarowanie wyrobisk”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.
84. Malewski J., Kaźmierczak U. „Koncepcja systematyki kierunków rekultywacji”. Kopaliny Pospolite nr7, 2001.
85. Mazur W., Góral J., Konca B., Nowik K. „Uproszczony Plan Urządzenia Lasu Kopalni Węgla Brunatnego Turów S.A. w Bogatyni na okres 01.01.2003-31.12.2012r.”. Liga Ochrony Przyrody, Wrocław 2002, s.3-40.
86. Mengel, Kirkby „Podstawy żywienia roślin”. PWRiL, Warszawa 1983.
87. Michałek Wł. „Wpływ formy i dawki glinu na tempo pobierania i zawartość makroskładników w rzodkiewce”. Katedra Fizjologii roślin AR w Lublinie, II Międzynarodowe Sympozjum Naukowe „Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb”, Lublin 23-24.09.1997.
88. Mikłaszewski A. „Katastrofa ekologiczna w okręgu Turoszowa”. SGGW, AR Warszawa 1990, s.1-31.
89. Motowicka-Terelak T. „Reakcje niektórych roślin uprawnych na występowanie aktywnych frakcji glinu w glebie w doświadczeniu wazonowym”. Pamiętnik Puławski 73, Puławy 1980, s.151-166.
90. Motowicka-Terelak T. „Szkodliwość dla roślin aktywnych form glinu i Manganu oraz sposoby ich neutralizacji w glebach kwaśnych”. AR w Olsztynie, Komitet Gleboznawstwa i Chemii rolnej, Materiały z sympozjum, Olsztyn 24-25.06.1988, cz.II, s.213-218.
91. Mowszowicz J. „Przewodnik do oznaczania krajowych roślin zielarskich”. PWRiL, Warszawa 1983.
92. Mucha W. „Formy substancji organicznej gleb leśnych w Polsce”. Roczniki WSR nr 9, Poznań 1968, s.91-101.
93. Mucha W., Sienkiewicz A., Cichocka I. „Wpływ różnych sposobów przygotowania gleb w ekosystemie leśnym na przemiany materii organicznej”. Roczniki Gleboznawcze, t. XXXVII, nr2-3, Warszawa 1986, s.205-217.
94. Niemyska-Lukaszuk J. „Wpływ składu granulometrycznego i odczynu gleby na zawartość przyswajalnych form metali ciężkich”. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, 1995, z.418, cz.II, s.459-463.
95. O’neill P. „Chemia środowiskowa”. Tłumaczenie. PWN Warszawa-Wrocław 1998.
96. Oleś J., Rippel J., Strempek A., Tomaszewska H. (red.) „Weryfikacja i racowanie technologii wytwarzania materiału ekologicznego oraz opracowanie założeń do budowy stanowiska badawczego”. KBN Warszawa 1992, s.16-24.
97. Ostrega A. „Sposoby zagospodarowania wyrobisk i terenów po eksploatacji złóż surowców węglanowych na przykładzie Krzemionek Podgórskich w Krakowie”. Rozprawa doktorska, AGH Kraków, Wydział Górnictwa odkrywkowego, Kraków 2004, s.11-25.
98. Patrzalek A. „Obudowa biologiczna zwałowisk po kopalnictwie węgla kamiennego roślinnością niską w różnych stadiach przemian chemicznych gruntu”. Zabrze 1982, IPIŚ PAN, rozprawa doktorska, 92ss.

99. Patrzalek A. „Zdolność darniotwórcza mieszanek traw i motylkowatych wysiewanych na zwałowisku odpadów węgla kamiennego oraz ich wpływ na wietrzenie gruntu”. *Archiwum Ochrony Środowiska*, Wrocław 1984b, s.157-170.
100. Patrzalek A., Rostański A. „Procesy glebotwórcze i zmiany roślinności na skarpie rekultywowanego biologicznie zwałowiska odpadów po kopalnictwie węgla kamiennego”. *Archiwum Ochrony Środowiska*, Wrocław 1992, s.157-168.
101. Pietryszczew W. „Górnictwo węgla brunatnego w Polsce w 2005 roku”. *Węgiel Brunatny* nr 1(54), Porozumienie Producentów Węgla Brunatnego, s.18-20, Bogatynia 2006.
102. Plichta W., Grelewicz A. „Charakterystyka wodnych właściwości absorpcyjnych materiału organicznego różnych typów próchnic leśnych”. *Roczniki Gleboznawcze XXXVII*, nr2-3, Warszawa 1986, s.265-276.
103. Pokojska U. „Adsorpcja i wymiana kationów w próchnicach leśnych”. UMK, Toruń 1992.
104. Pokojska U. „Zakwaszenie gleb leśnych –stan wiedzy i perspektywy badań”. Zakład Gleboznawstwa, Instytut Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, II Międzynarodowe Sympozjum naukowe „Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny i skutki zakwaszenia gleb” Lublin 23-24.09.1997, s.37-43.
105. Pokojska U. „Rola próchnicy w kształtowaniu odczynu, właściwości buforowych i pojemności jonowymiennej gleb leśnych”. *Roczniki Gleboznawcze t. XXXVII*, nr2-3, Warszawa 1986, s.249-263.
106. Praca zbiorowa: Barszczak T., Bilski J. „Działanie glinu na rośliny”. *Roczniki Postępu Nauk Rolniczych*, 1983, 3/98, s.23-30.
107. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002r. w sprawie standardów jakości gleby i ziemi. Dz.U nr 155, poz.1298.
108. Rząsa S., Mocek A., Owczarzak W. „Podatność gleb na kopalnianą degradację odwodnieniową w aspekcie merytorycznym i formalnym”. *Roczniki AR w Poznaniu CCCXVII*, 56, Poznań 2000, s.225-239.
109. Rząsa S., Owczarek W., Mocek A. „Problemy odwodnieniowej degradacji gleb uprawnych w rejonach kopalnictwa odkrywkowego na niżu środkowopolskim”. AR Poznań 1999.
110. Rzepa S., Trojanowska J., Wojcieszczyk G. „Wykonanie analiz fizykochemicznych wód kopalnianych z wyrobiska oraz wód opadowych ze zwałowiska i jego przedpola- Sprawozdanie z badań”. IMGiW, Wrocław 2000, s.20-24.
111. Rzeźnicki J. „Analiza oddziaływania produktów paleniskowych z Elektrowni Turów na środowisko atmosferyczne i glebowe zwałowiska zewnętrznego nadkładu KWB „Turów”. Przedsiębiorstwo Badawczo –Wdrożeniowe Ochrony Środowiska –Ekopolin, Wrocław 1998, s.4-6.
112. Rzeźnicki J., Zwoździak A, Sieczkowski J., Żurek G. (red.): „Określenie emisji niezorganizowanej wokół zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów”. Przedsiębiorstwo Badawczo-Wdrożeniowe Ochrony Środowiska – Ekopolin, Wrocław 2000, s.4-6
113. Rzeźnicki J., Zwoździak A., Sieczkowski J., Żurek G. (red.) „Określenie emisji niezorganizowanej wokół wyrobiska KWB „Turów”. Przedsiębiorstwo Badawczo-Wdrożeniowe Ochrony Środowiska – Ekopolin, Wrocław 1998.

114. Sawicki J. „Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego, górniczego drenażu”. Oficyna Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000, s. 169-171.
115. Sienkiewicz A. „Wpływ zabiegów agrotechnicznych na zawartość węgla organicznego, azotu ogólnego i kształtowanie stosunku C:N w bielicowych glebach leśnych”. PTPN, Prace Kom.Nauk Roln. i Leśnych, 52, 1981, s.167-173.
116. Siuta J. „Degradacja ziemi”. LSW, Warszawa 1989.
117. Siuta J. „Ochrona ziemi”. LSW, Warszawa 1982.
118. Skawina T. „Procesy zniekształcania gleb w okręgach górniczych i przemysłowych”. Roczniki Gleboznawcze, Dodatek do t. VII , Kraków 1958, s.131-147.
119. Skawina T. „Przebieg rozwoju procesów glebotwórczych na zwałach kopalnictwa węglowego”. Roczniki Gleboznawcze, Dodatek do t. VII , Kraków 1958, s.149-161.
120. Skawina T. „Rezultaty badań nad modelem rekultywacji terenów pogórnich w Polsce”. Zeszyty Naukowe, AGH, Kraków 1969, s.212.
121. Skawina T. „Wytyczne obudowy skarp i wierzchowin zwałowiska KWB „Turów”. Maszynopis, Kraków 1967, s.37-42.
122. T.Skawina, M.Trafas: „ Sposób interpretacji i wykorzystania wyników badań geologicznych do potrzeb rekultywacji ”. OTG, Kraków 1971.
123. Skłodowski P., Maciejewska A., Szafranek A. „Wpływ procesu bielicowania na rozmieszczenie pierwiastków śladowych w profilach gleb bielicowych”. Roczniki Gleboznawcze 39,4, Warszawa 1988, s.113-128.
124. Skłodowski P., Zarzycka H. „Wpływ użytkowania gleb na zawartość i rozmieszczenie metali ciężkich”. Roczniki Gleboznawcze, t.XLVIII nr1 i 2, Warszawa 1997, s.5-17.
125. Šourkova M., Frouz J.,Šantručkova „Accumulation of karbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after Brown-coal miting, near Sokolo (Czech republic)”. Geoderma 124 2004, s.203-214.
126. Stachowski P.,Szafrański Cz. „Dynamika zmian uwilgotnienia wierzchnich warstw gleb wytworzonych z gruntów pogórnich”. Roczniki AR w Poznaniu CCCXVII nr 56, Poznań 2000, s.367-375.
127. Strzelecki W., Sobczak R. „Zalesianie nieużytków i gruntów trudnych do odnowienia”. PWRiL, Warszawa 1972, s.60-64.
128. Strzyszczyk Z. „Oddziaływanie przemysłu na środowisko glebowe i możliwości jego rekultywacji”. Zakład Narodowy im.Ossolińskich, Wrocław 1982, s.52-53.
129. Strzyszczyk Z. „Podstawy nawożenia gruntów dla celów rekultywacji rolnej i leśnej”. Materiały z sympozjum, Olsztyn 24-25 czerwca 1998, część II, s. 242.
130. Szafer W., Kulczyński S., Pawłowski B. „Rośliny Polski ”. PWN, Warszawa 1972.
131. Szafrański Cz., Stachowski P „Skład granulometryczny i właściwości fizyko-wodne rekultywowanych gruntów pogórnich”. Roczniki AR w Poznaniu CCXCII, Melioracje Inżynierii Środowiska, Poznań 1997, s.91-101.

132. Szafrński Cz., Stachowski P. „Skład granulometryczny i właściwości fizyko-wodne rekultywowanych gruntów pogórnich”. Roczniki AR Poznaniu CCXCII, Poznań 1997, Melior.Inż.Środow.18, s.91-101.
133. Szafrński Cz., Stachowski P. „Właściwości fizyczne, chemiczne i wodne gleb wytworzonych z gruntów pogórnich”. Roczniki AR w Poznaniu CCCXVII 2000, s.377-390.
134. Szerszeń L. ”Stan zagrożenia środowiska glebowego. Zagrożenie ,ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego”. AE we Wrocławiu 1993, s.181-188.
135. Szerszeń L., Borkowski J., Bogda A., Chodak T., Karczewska A. „Stan środowiska glebowego Dolnego Śląska”. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych z.418 cz.I, KGiChR PAN, Warszawa 1995, s.61-74.
136. Terelak H., M.Piotrowska, T.Motowicka-Terelak, T.Stuczyński, K.Budzyńska „Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach uzysków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami”. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, z.418 cz.I, KGiChR PAN, Warszawa 1995, s.45-60.
137. Terlikowski F. „Próchnica a żyzność gleby. Nawozy mineralne”. PWRiL, Warszawa 1956.
138. Tokarska-Guzik B. „Rekultywacja czy renaturyzacja?- czyli o możliwościach kierunkach zagospodarowania wyrobisk poeksploatacyjnych”. Materiały z konferencji n.t. kształtowanie krajobrazu terenów poeksploatacyjnych w górnictwie, AGH Kraków, Politechnika Krakowska, Komisja Urbanistyki i Architektury, PAN Kraków 2003.
139. Twarowski R., Gendolla T., Sienkiewicz R. i inni „Monitoring jakości opadów atmosferycznych na obszarze oddziaływania kopalni „Turów”. Sprawozdanie roczne badań w 1995r. Wrocław 1996, s.8-15.
140. Trzciniński W. (red.) „Systematyka Gleb Polski - wyd. IV.” Roczniki Gleboznawcze. tom XL, nr 3 /4, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Warszawa 1989.
141. Uberman H., Ostrega A. ”Sposoby rekultywacji i zagospodarowania zwałowisk nadkładu i składowisk odpadów górniczych”. Górnictwo odkrywkowe 7-8, Poltegor-Instytut, Instytut Górnictwa odkrywkowego, Wrocław 2004, s.80-88.
142. Ugglą H. ”Gleboznawstwo rolnicze”. PWN, Warszawa 1981.
143. Ulrich B „Ökologische Kennwerte des Bodens”. Z.Pflanzenernähr.Bodenk., 151 (1988), s.171-176.
144. Ustawa z dnia 3 lutego 1995 „o ochronie gruntów rolnych i leśnych” Tekst jednolity z 2004 z późniejszymi zmianami. Dz.U.nr 121, poz.1266.
145. Uziak S. „Skład chemiczny frakcji ilastej gleb wytworzonych z utworów pyłowych różnego pochodzenia oraz glin zwałowych”. Annales Universitatis M.Curie-Skłodowska, S.E, 24,1969, s. 55-65.
146. W.Krzaklewski, J.Wójcik „Doskonalenie technologii rekultywacji biologicznej zboczy i kształtowanie biotopu dla leśnego zagospodarowania zwałowiska zewnętrznego KWB „Turów” IKiOŚ AGH w Krakowie 1995, s.5-14.
147. Wasilewski S. „Ocena przydatności gruntów pogórnich Zagłębia konińskiego do rekultywacji rolnej. Część II-Produktywność gruntów pogórnich”. Archiwum Ochrony Środowiska 3-4, Wrocław 1979, s.63-76.

148. Wąchalewski T., Krzaklewski W., Wójcik J. "Rekultywacja zwałowisk kopalnictwa węgla brunatnego jako element ich bezpieczeństwa w toku i po zakończeniu formowania na przykładzie kopalni „Turów”. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, z.418.cz.II, KGiChR PAN Warszawa 1995, s.133-137.
149. Włodek S., Biskupski A., Hryńczuk B. „Zmiany uwilgotnienia gleb użytków zielonych w rejonie kopalni „Bełchatów”. Roczniki AR w Poznaniu CCCXVII,56, Poznań 2000, s.295-303.
150. Wysocki Cz., Sikorski P. "Fitosocjologia stosowana". Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2002, s.73-375.
151. Wysocki W. „Odtwarzanie gleb dla rolniczego zagospodarowania zwałowisk na przykładzie Kopalni Węgla Brunatnego „Konin”. Roczniki Gleboznawcze.Z.1, Poznań 1975.
152. Wysocki W. „Projekt koncepcyjny rekultywacji zwałowiska zewnętrznego”. Dolnośląskie Biuro Projektów Górniczych, Wrocław 1967, s.17-86.
153. Wysocki W., Stawiarski J. ,Bochnia Z. „Technologia rekultywacji toksycznych gruntów poeksploatacyjnych w kopalni „Turów” Etap II-Wprowadzenie roślinności docelowej- zboża ozime”. COB-PGO „Poltegor” Wrocław 1988, s.198.
154. Zakład Górniczy BOT KWB Turów S.A. „Plan ruchu na lata 2004-2006. Roboty Górnicze odkrywkowe. Część szczegółowa”, Bogatynia 2003.
155. Zestawienie: "Ocena spełnienia przez KWB „Turów” S.A. wymogów ochrony środowiska, postawionych dla skreślenia jej z listy 80-etap II". Biuro Ekspertyz i Analiz Ochrony Środowiska, Wrocław 2000, s. 4-72.
156. Znamirowska-Karaś I. "Procesy glebotwórcze i glebowe zachodzące na terenach zdegradowanych geotechnicznie". Praca doktorska, IGiOŚ, Wrocław 2000.

Tabela 4. Ważniejsze cechy morfologiczne badanych utworów

numer profilu	poziom genetyczny	miąższość [cm]	barwy w stanie suchym	struktura i tekstura	Domieszki	Nowotwory
1	C1	0-20	10YR 6/1	bezstrukturalna, zbita	węgiel brunatny, kamienie	wytrącenia żelaziste
	C2	30-40	10YR 6/1	bezstrukturalna, zbita	sferosyderyty	
2	C1	0-20	10YR 7/2	bezstrukturalna, zwięzła	węgiel brunatny	brak
	C2	30-40	7,5YR 6/0	bezstrukturalna, zbita	węgiel brunatny (lignit)	brak
3	C1	0-20	10YR 6/1	bezstrukturalna, zwięzła	węgiel brunatny	brak
	C2	30-40	10YR 6/1	bezstrukturalna, zwięzła	węgiel brunatny, sferosyderyty	brak
4	C1	0-20	10YR 7/2	bezstrukturalna, zwięzła	węgiel lignitowy	brak
	C2	30-40	7,5YR 6/0	bezstrukturalna, zwięzła	brak	brak
5	C1	0-20	10YR 6/1	bezstrukturalna, zwięzła	kamienie, węgiel brunatny	wytrącenia żelaziste
	C2	30-40	10YR 7/2	bezstrukturalna, zbita	węgiel brunatny	brak
6	C1	0-20	10YR 6/2	bezstrukturalna, zwięzła	węgiel brunatny	brak
	C2	30-40	10YR 7/2	bezstrukturalna, zbita	lignit	brak
7	OI	0-5	10YR 6/2	bezpostaciowa, zwięzła	kamienie	brak
	AC	5-10	7,5YR 6/0	spójna, zwięzła	brak	brak
	C	20-30	10YR 7/2	bezstrukturalna, zbita	węgiel lignitowy	brak
8	OI	0-5	10YR 6/1	bezpostaciowa, zwięzła	brak	brak
	AC	5-10	7,5YR 6/0	spójna, zwięzła	brak	brak
	C	10-30	7,5YR 6/0	bezstrukturalna, zbita	brak	brak
9	OI	0-3	10YR 6/2	bezpostaciowa, zwięzła	brak	brak
	AC	3-10	10YR 7/2	bryłkowata, zwięzła	węgiel brunatny	narośla bakteryjne
	C1	10-30	10YR 6/1	bezstrukturalna, zbita	węgiel brunatny	wytrącenia żelaziste
	C2	30-50	10YR 6/1	bezstrukturalna, zbita	węgiel brunatny	brak
10	OI	0-3	10YR 6/2	bezpostaciowa, zwięzła	brak	brak
	AC	3-10	10YR 7/2	bryłkowata, zwięzła	brak	brak
	C1	10-30	10YR 6/1	bezstrukturalna, zwięzła	brak	brak
	C2	30-50	10YR 6/1	bezstrukturalna, zwięzła	brak	brak

c.d. Tabela 4.

numer profilu	poziom genetyczny	miąższość [cm]	barwy w stanie suchym	tekstura i struktura	domieszki	nowotwory
11	OI	0-2	10YR 7/4	bezpostaciowa, zwięzła	brak	brak
	Ofh	2-5	10YR 6/2	bryłkowata, zwięzła	brak	brak
	AC	5-15	10YR 7/4	spójna, zwięzła	brak	brak
	C1	15-40	10YR 7/2	bezstrukturalna, zbita	brak	brak
	C2	40-60	10YR 7/2	bezstrukturalna, zbita	brak	brak
12	Ofh	0-7	10YR 6/2	bryłkowata, zwięzła	brak	brak
	AC	7-20	10YR 7/4	spójna, zwięzła	brak	brak
	C1	20-30	10YR 6/1	spójna, zbita	brak	brak
	C2	40-50	10YR 6/1	bezstrukturalna, zbita	brak	brak
13	OI	0-7	10YR 6/2	bryłkowata, zwięzła	brak	brak
	Ofh	7-20	10YR 7/4	spójna, zwięzła	brak	brak
	AC	20-30	10YR 7/2	bezstrukturalna, zwięzła	brak	brak
	C	40-50	10YR 6/1	bezstrukturalna, zwięzła	brak	brak
14	OI	0-3	10YR 6/2	bezpostaciowa, pulchna	brak	brak
	Ofh	3-6	10YR 6/2	orzechowata, pulchna	brak	brak
	AC	6-20	10YR 6/1	bryłkowata, zwięzła	brak	brak
	C	30-50	10YR 6/1	bezstrukturalna, zwięzła	brak	brak
15	OI	0-3	10YR 5/2	bezpostaciowa, zwięzła	brak	brak
	Ofh	3-7	10YR 6/2	orzechowata, zwięzła	węgiel brunatny	brak
	AC	7-20	10YR 7/3	bryłkowata, zwięzła	brak	brak
	C	30-50	10YR 7/2	bezstrukturalna, zbita	węgiel brunatny	brak
16	OI	0-5	10YR 6/2	bezpostaciowa, pulchna	brak	brak
	Ofh	5-8	10YR 7/3	orzechowata, zwięzła	brak	brak
	A	8-20	10YR 6/1	bryłkowata, zwięzła	brak	brak
	C	20-50	10YR 6/1	bezpostaciowa, zbita	brak	brak
17	OI	0-3	10YR 6/1	bezpostaciowa, pulchna	brak	brak
	Ofh	3-10	10YR 6/1	orzechowata, zwięzła	węgiel lignitowy	narośla bakteryjne
	A	10-20	7,5YR 6/0	bryłkowata, zwięzła	sferosydepty, lignit	brak

Tabela 5. Skład granulometryczny analizowanych gruntów i gleb

Nr profilu	Czas rekultywacji [lata]	Głębokość pobrania [cm]	Zawartość frakcji >1mm [%]	Zawartość części ziemistych o średnicy [mm] - w proc.									Podgrupa granulometryczna (PN-R-04033)
				Piasek			Pył				Ił		
				2,0-0,1	0,1-0,05	Σ	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	Σ	<0,002	S	
1	przed rekultyw.	0-20	2,0	30	4	34	7	14	16	37	29	29	gc
		30-40	20,8	36	5	41	8	11	11	30	29	29	gc
2	po neutralizacji	0-20	3,5	31	8	39	13	15	7	35	26	26	gc
		0-20	6,8	35	7	42	10	12	7	29	29	29	gc
3	w danym roku po neutralizacji i hydroobsiewie	0-20	n.o	n.o	n.o		n.o	n.o	n.o		n.o		
		30-40	33,6	36	8	44	5	13	8	26	30	30	gc
4	w danym roku po neutralizacji i hydroobsiewie	0-20	n.o	n.o	n.o		n.o	n.o	n.o		n.o		
		30-40	5,3	36	8	44	9	16	8	33	23	23	g
5	2 (po nawożeniu w 2-im roku wegetacji)	0-20	28,2	25	8	33	8	15	14	37	30	30	gc
		30-40	22,9	26	3	29	8	12	15	35	36	36	i
6	4 (po nawożeniu w 4-tym roku wegetacji)	0-20	28,0	28	7	35	10	15	15	40	25	25	gc
		30-40	0,0	28	9	37	9	16	15	40	23	23	g
7	10	0-5	substancja organiczna										
		5-10	0,0	26	7	33	11	16	15	42	25	25	gc
		10-30	0,0	29	7	36	12	17	13	42	22	22	g
8	10	0-5	substancja organiczna										
		5-10	5,1	30	7	37	7	15	10	32	31	31	gc
		10-30	0,0	36	5	41	6	14	13	33	26	26	gc
9	12	0-3	substancja organiczna										
		3-10	9,5	25	5	30	10	12	15	37	33	33	gc
		10-30	11,4	26	8	34	7	11	14	32	34	34	gc
		30-50	13,3	26	5	31	7	12	13	32	37	37	i
10	14	0-3	substancja organiczna										
		3-10	7,6	31	9	40	9	17	14	40	20	20	g
		10-30	7,7	36	8	44	8	15	13	36	20	20	g
		30-50	9,7	42	5	47	8	15	11	34	19	19	g

Nr profilu	Czas rekultywacji [lata]	Głębokość pobrania [cm]	Zawartość frakcji >1mm [%]	Zawartość części ziemistych o średnicy [mm] - w proc.									Podgrupa granulometryczna (PN-R-04033)
				Piasek			Pył				Ił		
				2,0-0,1	0,1-0,05	Σ	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	Σ	<0,002	S	
11	16	0-2	substancja organiczna										
		2-5											
		5-15	9,5 (lignit)	26	6	32	9	22	5	36	32	32	gc
		15-40	0,0	21	7	28	9	19	12	40	32	32	gc
		40-60	0,0	22	8	30	8	17	11	36	34	34	gc
12	16	0-7	substancja organiczna										
		7-20	0,0	22	4	26	9	18	13	40	34	34	gc
		20-30	0,0	26	4	30	8	19	13	40	30	30	gc
		40-50	9,3	25	4	29	10	17	10	37	34	34	gc
13	16	0-7	substancja organiczna										
		7-20	0,0	30	6	36	9	15	10	34	30	30	gc
		20-30	0,0	31	6	37	8	14	12	34	29	29	gc
		40-50	0,0	10	6	16	8	21	18	47	37	37	ipl
14	16	0-3	substancja organiczna										
		3-6	33,3	51	9	60	6	9	9	24	16	16	gl
		6-20	24,4	45	10	55	8	11	9	28	17	17	gl
		30-50	29,1	54	7	61	7	9	8	24	15	15	gl
15	25	0-3	substancja organiczna										
		3-7	substancja organiczna										
		7-20	0,0	26	5	31	9	14	14	37	32	32	gc
		30-50	6,3 (w tym 3,2% lignit)	26	7	33	7	18	16	41	26	26	gc
16	30	0-5	substancja organiczna										
		5-8	substancja organiczna										
		8-20	10,1	25	11	36	10	14	14	38	26	26	gc
		20-50	11,3	35	5	40	7	14	14	35	25	25	gc
17	40	0-3	substancja organiczna										
		3-10	substancja organiczna										
		10-20	11,4	54	8	62	5	10	2	17	21	21	gs

Tabela 6. Właściwości fizyczne gleb inicjalnych (gęstość właściwa, objętościowa, porowatość ogólna)

nr profilu	głębokość pobrania [cm]	gęstość właściwa	gęstość objętościowa	porowatość ogólna	porowatość niekapilarna (pF 0-2,5;>4,7)	porowatość kapilarna (pF2,5-4,7)	struktura porowatości [%]			Zawartość wody w glebie	
		[Mg m ⁻³]		%			>8 um	8-0,2 um	<0,2 um	PPW	WD
							pF 0-2,5	pF 2,5-4,2	pF>4,2	%	
1	0-20	2,51	1,67	33,5	n.o	n.o	24,58	10,12	65,3	14,2	7,8
	30-40	2,51	1,82	27,5	n.o	n.o	24	9,6	66,4	15,6	5,2
10	0-10	2,3	0,83	51,3	48,57	51,43	36,96	9,1	53,94	20,26	7,71
	10-30	2,38	1,34	32,77	36,15	63,85	22,15	8,31	69,54	18,38	4,73
12	0-7	2,33	1,2	48,5	n.o	n.o	21,2	12,4	66,4	15,3	7,9
	7-20	2,45	1,39	43,3	n.o	n.o	22,6	11,6	65,8	14,9	7,5
	20-30	2,42	1,48	38,8	n.o	n.o	22,5	11,2	66,3	16,9	8,2
	30-50	2,46	1,44	41,5	n.o	n.o	23,3	9,2	67,5	15,6	5,02
14	0-6	2,47	1,15	53,44	41,71	58,29	32,25	7,47	60,28	20,47	5,01
	6-20	2,47	1,49	39,68	38,62	61,38	27,43	21,11	51,46	17,95	10,92
15	0-7	2,27	1,03	38,77	38,04	61,69	19,62	12,91	67,47	14,55	8,12
	7-20	2,27	1,06	34,8	39,91	60,69	23,24	11,2	65,56	15,86	6,75
16	0-8	2,46	1,07	35,37	39,67	60,33	23,67	12,23	64,09	15,72	7,7
	8-20	2,47	1,41	31,17	38,64	61,36	23,34	9,1	67,56	15,2	5,01

PPW- połowa pojemność wodna

WD- woda dostępna dla roślin

Tabela 7. Ogólna zawartość N-ogólnego, C-organicznego, mikroskładników, składników przyswajalnych

nr profilu	głębokość [cm]	N-og	C	C:N	zawartość składników przyswajalnych			Pb	Zn	Cd	Mn
					[mg · kg ⁻¹ gleby]						
		[%]		K	Mg	P	[mg · kg ⁻¹ gleby]				
1	0-20	0,05	1,07	21,4	15,7	24,7	0	28	66	1,2	106
	30-40	0,04	0,82	20,5	11,6	22,6	0	18	71	0,9	132
2	0-20	0,05	2,3	46,0	25	27,6	5,5	53	147	0,1	188
	30-40	0,02	1,8	90,0	25	35	6,9	47	145	0,4	191
3	0-20	0,09	6,24	69,3	9,7	27,1	0,1	32,5	120	0,8	92,2
	30-40	0,074	4,32	58,4	8,1	24,5	0,1	12,4	110	0,3	34,5
4	0-20	0,064	3	46,9	12	26,3	0,4	51,1	55,3	0,9	102
	30-40	0,078	4,2	53,8	5,9	13,7	0,2	15,6	60,2	0,6	28,9
5	0-20	0,06	2,4	40	0,4	30,2	16,5	29	120,2	1,0	85,4
	30-40	0,01	0,54	54	0,3	24,9	12,7	36,1	38,1	0,4	100,2
6	0-20	0,3	30	30	12,2	25	14,2	12,36	143,1	1,1	110,1
	30-40	0,5	50	50	9,6	20,2	10,1	11,3	36,7	0,4	26,66
7	0-5	0,01	0,14	17,2	16,7	38,6	0,2	34,075	65,5	0,35	106,9
	5-10	0,01	0,4	40,3	24,1	56	0,3	37,125	103,5	0,6	103,6
	20-30	n.o	n.o	n.o	n.o	n.o	n.o	30,6	89	0,5	95,6
8	0-5	0,07	1,1	15,9	16,4	51	0,4	33,825	81,5	0,525	119,3
	5-10	0,01	0,39	39	14,2	48,7	0,7	36,075	62,5	0,325	69,2
	10-30	n.o	n.o	n.o	n.o	n.o	n.o	28,7	60,2	0,3	70,2
9	0-3	1,193	18	15,1	75,1	62,4	17,8	n.o	n.o	n.o	n.o
	3-10	0,134	5,04	37,6	12,8	33,2	1,1	n.o	n.o	n.o	n.o
	10-30	0,091	4,98	54,7	16,3	30,8	0,6	n.o	n.o	n.o	n.o
	30-50	0,087	5,58	64,1	20,7	34,8	n.o	n.o	n.o	n.o	n.o
10	0-3	0,714	9,6	13,4	24	18,6	2,7	n.o	n.o	n.o	n.o
	3-10	0,206	4,8	23,3	9,3	11,8	0,5	n.o	n.o	n.o	n.o
	10-30	0,053	2,52	47,5	11,1	17,8	0,1	n.o	n.o	n.o	n.o
	30-50	0,059	2,64	44,7	14,2	26,8	n.o	n.o	n.o	n.o	n.o
11	0-2	0,82	9,6	11,7	85,2	48,8	16,7	n.o	n.o	n.o	n.o
	2-5	0,099	6,24	63	12,3	23,3	3,2	n.o	n.o	n.o	n.o

c.d.Tabela 7.

nr profilu	głębokość [cm]	N-og	C	C:N	zawartość składników przyswajalnych		
					[mg · kg ⁻¹ gleby]		
		[%]			K	Mg	P
11	5-15	0,087	4,44	51	15,2	23,5	0,4
	15-40	0,088	4,2	47,7	18,6	27,8	0
	40-60	0,09	5,76	64	26,6	43,6	0
12	0-7	0,143	7,74	54,1	14	28,7	4,6
	7-20	0,103	3	29,1	11,4	21,4	0
	20-30	0,136	5,28	38,8	17,8	25	0
	40-50	0,083	4,32	52	25,7	31,8	0,1
13	0-7	0,137	6,36	46,4	17,1	15,8	5,7
	7-20	0,1	5,63	56,3	5,9	10,6	0
	20-30	0,092	5,04	54,8	10,2	7,2	1,6
	40-50	0,063	2,04	32,4	14,1	14,5	0
14	0-3	1,053	15,36	14,6	66	57,6	6
	3-6	0,525	3,12	5,9	17,8	10,8	0,4
	6-20	0,042	1,38	32,9	8,2	7,6	0,1
	30-50	0,049	1,44	29,4	9	12,8	0
15	0-3	2,114	30	14,2	63,1	61,1	16,4
	3-7	0,164	5,94	36,2	22	28,8	1,1
	7-20	0,087	5,52	63,4	13,3	30,2	0,1
	30-50	0,087	6,54	75,2	14,5	28,4	n.o
16	0-5	0,787	9,6	12,2	21	25,4	1,3
	5-8	0,092	3	32,6	5,7	8,2	0,3
	8-20	0,063	2,46	39	3,8	10	0,3
	20-50	0,071	2,22	31,3	4,4	8,8	-
17	0-3	1,066	17,16	16,09	17,1	9,2	4,0
	3-10	0,133	8,4	63,16	8,3	10,6	0,0
	10-20	0,089	7,3	82,02	4,0	7,2	0,2

Tabela 8. Właściwości chemiczne i fizykochemiczne

nr profilu	pH		H _h	Al _{wym}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Stosunek Ca,Mg/K,Na	S	T	V
	H ₂ O	KCl										
1	3,7	3,5	8,25	1,36	2,9	3,1	0,6	0,3	6,7	7,9	18,2	43,4
	4,0	3,9	4,2	0,22	3,3	3,12	0,49	0,14	10,2	8,6	12,8	67,2
2	5,7	5,5	6,0	0,34	3,2	3,1	0,46	0,28	8,5	7,8	13,8	39,2
	3,7	3,5	19,3	3,6	1,3	1,8	0,36	0,2	6,2	4,0	23,3	17,2
3	4,2	3,8	7,7	0,49	6,11	2,55	0,35	0,89	6,9	9,9	17,6	56,3
	5,8	5,4	4,5	0,02	9,18	2,39	0,26	0,65	12,7	12,5	16,98	73,5
4	7,3	7,2	0,9	0	17,42	2,59	0,37	0,87	16,1	21,3	22,15	95,9
	4,2	4,0	4,5	1,55	5,96	1,11	0,26	0,46	9,8	7,8	12,29	63,4
5	4,6	4,0	11,8	1,04	3,55	2,59	0,38	0,15	11,6	6,7	18,47	36,1
	3,9	3,4	18,5	3,15	1,46	1,94	0,33	0,22	6,2	4,0	22,75	17,4
6	5,0	4,9	7,5	0,21	9,45	3,37	0,55	0,55	11,0	13,9	21,43	65
	3,9	3,8	10,3	1,32	4,49	3,28	0,64	1,3	4,0	9,7	20,02	48,5
7	4,6	4,0	7,7	0,12	9,5	3,0	0,36	0,61	12,9	13,5	20,5	66
	5,3	4,6	5,4	0,4	6,85	2,9	0,49	0,14	15,5	10,4	17,8	59,2
	5,2	4,5	4,9	0,4	7,04	3,2	0,51	0,3	12,6	11,0	15,6	47
8	4,8	4,1	7,1	0,1	8,4	3,4	0,58	0,54	10,5	18,2	21,6	54,3
	3,8	3,6	9,4	2,7	3,92	2,62	0,63	1,2	3,6	15,0	20,4	73,5
	3,9	3,6	12,7	2,8	1,48	1,83	0,28	0,21	6,8	11,4	19,8	48,2
9	5,1	4,6	21,6	0,18	20,36	8,24	1,46	0,24	16,8	30,3	51,9	58,4
	5,2	4,6	7,7	0,16	7,04	3,54	0,49	0,14	16,8	11,2	18,9	59,3
	4,5	3,9	10,4	0,88	3,84	3,13	0,59	0,29	7,9	7,9	18,25	43
	4,7	4,2	8	0,35	3,74	3,62	0,69	0,49	6,2	8,5	16,54	51,6
10	4,3	3,8	21	0,09	5,82	1,81	0,65	0,11	10,0	8,4	29,39	28,5
	4,2	3,8	13,7	1,6	2,92	1,19	0,39	0,1	8,4	4,6	18,3	25,1
	4,4	4,0	8	0,57	2,96	1,85	0,37	0,21	8,3	5,4	13,4	40,3
	5,1	4,8	4,5	0,07	4,61	2,63	0,45	0,28	10,0	8,0	12,47	63,9
11	5,3	4,6	4,9	0,01	23,32	5,04	2,21	0,44	10,7	31	31,02	54,2
	6,2	5,6	4,8	0,01	14,52	2,49	0,38	0,33	23,9	17,8	22,53	59,1
	4,3	3,8	12,8	1,92	2,97	2,02	0,46	0,5	5,2	5,9	18,75	44,0

c.d.Tabela
8.

nr profilu	pH		H _n	Al _{wym}	Ca ²⁺ [cmol · kg ⁻¹ gleby]	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Stosunek Ca,Mg/K,Na	S [cmol · kg ⁻¹ gleby]	T	V [%]
	H ₂ O	KCl										
	4,4	3,8	11,6	1,97	2,99	2,17	0,7	0,57	4,0	6,4	18,04	35,7
	4,9	4,3	9,0	0,24	4,24	3,87	0,68	1,31	4,0	10,1	19,09	52,9
12	5,3	4,6	10,1	0,2	10,24	2,71	0,39	0,31	18,5	13,6	23,75	57,5
	4,5	3,8	12,9	2,2	4,37	1,77	0,58	0,6	5,2	7,3	20,21	36,2
	4,2	3,7	12,3	2,1	2,94	2,15	0,59	0,39	5,2	6,1	18,37	33,1
	4,3	3,8	11,2	1,32	3,21	2,78	0,76	0,59	4,4	7,3	18,54	39,6
13	6,0	5,4	6	0,02	13,83	1,48	0,5	0,27	19,9	16,1	22,08	72,8
	3,7	3,3	15,7	3,43	2,4	0,53	0,33	0,37	4,2	3,6	19,34	18,8
	3,9	3,3	14,2	2,58	2,14	0,63	0,4	0,3	3,9	3,5	17,67	19,6
	3,8	3,4	9,7	2,51	2,48	1,12	0,68	0,52	3,0	4,8	14,49	33,1
14	5,2	4,7	17,4	0,05	28,09	7,81	1,63	0,13	20,4	37,7	55,06	68,4
	4,9	4,1	6,9	0,5	2,89	1,07	0,54	0,05	6,7	4,6	11,45	39,8
	4,4	3,9	5,4	0,88	1,54	0,81	0,39	0,05	5,3	2,8	8,19	34,1
	4,7	4,1	5	0,34	2,5	1,23	0,28	0,07	10,6	4,1	9,08	45,0
15	5,1	4,7	29,7	0,02	43,01	12,84	1,63	0,13	31,7	57,6	87,31	66,0
	5,3	4,9	6,9	0,12	11,11	3,5	0,7	0,09	18,5	15,4	22,29	69,0
	4,8	4,4	8,1	0,5	7,52	3,26	0,48	0,12	18,0	11,4	19,48	58,4
	4,6	4,1	9,8	0,6	6,97	2,99	0,56	0,14	14,0	10,7	20,46	52,1
16	4,8	4,3	18	0,59	10,43	1,89	0,77	0,23	12,3	13,3	31,32	42,5
	3,9	3,4	11,7	2,97	2,2	0,81	0,31	0,08	7,8	3,4	15,1	22,5
	3,7	3,2	12,2	2,45	2,45	0,91	0,33	0,06	8,6	3,7	15,94	23,5
	3,7	3,4	12,2	2,84	2,22	0,79	0,37	0,06	7,0	3,4	15,64	22,0
17	4,3	3,8	28,8	2,62	4,44	1,03	0,49	0,22	7,7	6,2	34,97	17,7
	3,9	3,5	18,3	3,29	4,44	0,91	0,38	0,35	7,3	6,1	24,38	24,9
	3,5	3,1	20,1	2,65	3,22	0,74	0,06	0,07	30,5	4,1	24,19	16,9



Fot. 7a.
Powierzchnia
po wykonanej
makroniwelacji



Fot. 7b. 1 Profil glebowy

O-20cm C1; poziom skały
macierzystej- glina
ciężka

30-40cm C2; poziom skały
macierzystej-
glina ciężka



Fot. 8a.
Powierzchnia po
neutralizacji



Fot. 8b. 2 Profil glebowy

0-20cm C1; poziom skały
macierzystej-
głina ciężka

30-40cm C2; poziom skały
macierzystej-
głina ciężka



Fot. 9a.
Powierzchnia- w danym roku po neutralizacji i hydroobsiewie

Fot. 9b. 3 Profil glebowy



0-20cm C1; poziom skały macierzystej-gлина ciężka

30 -40 cm C2; poziom skały macierzystej-gлина



Fot. 10a.
Powierzchnia w danym roku po neutralizacji i hydroobsiewie

Fot. 10b. 4 Profil glebowy



O-20cm C1; poziom skały
macierzystej-glina
ciężka

30-40 cm C1; poziom skały
macierzystej-
glina



Fot. 11a.
Drugi rok wegetacji

Fot. 11b. 5 Profil glebowy



0-20cm C1; poziom skały
macierzystej-glina
ciężka

30-40cm C2; poziom skały
macierzystej- ił



Fot. 12a.
4 letnia
powierzchnia

Fot. 12b. 6 Profil glebowy



0-20cm C1; poziom skały
macierzystej -
głina ciężka

30-40cm C2; poziom skały
macierzystej -
głina



Fot. 13a.
10 letnia
powierzchnia

Fot. 13b. 7 Profil glebowy



0-5cm OI; poziom organiczny;
poziom ściółki leśnej

5-10cm AC; poziom
próchniczny - glina
ciężka

10-30cm C; poziom skały
macierzystej -
głina ciężka



Fot. 14a.
10 letnia
powierzchnia

Fot. 14b. 8 Profil glebowy



poziom
0-5cm OI; organiczny;
poziom ściółki
leśnej

5-10cm AC; poziom
próchniczny -
głina ciężka

10-30cm C; poziom skały
macierzystej -
głina ciężka



Fot.15a.
12 letnia
powierzchnia

Fot. 15b. 9 Profil glebowy



0-3cm OI; poziom organiczny;
poziom ściółki
leśnej

3-10 cm AC; poziom
próchniczny-
głina ciężka

10-30 cm C1; poziom skały
macierzystej-
głina ciężka

30-50cm C2; poziom skały
macierzystej-
ił



Fot. 16a.
14 letnia powierzchnia

Fot. 16b. 10 Profil glebowy



- 0-3cm O₁; poziom organiczny;
poziom ściółki
leśnej
- 3-10cm AC; poziom
próchniczny-
głina
- 10-30cm C₁; poziom skały
macierzystej-głina
- 30-50cm C₂; poziom skały
macierzystej-głina



Fot. 17a.
16 letnia powierzchnia
z dominacją modrzewia
europejskiego

Fot. 17b. 11 Profil glebowy



- 0-2cm O₁; poziom organiczny;
poziom ściółki leśnej
- 2-5cm Of_h; poziom organiczny;
poziom próchnicy
nadkładowej
- 5-15cm AC; poziom próchniczny-
głina
- 15-40cm C₁; poziom skały
macierzystej-głina
- 40-60cm C₂; poziom skały
macierzystej-głina



Fot. 18a.
16 letnia powierzchnia
z dominacją olszy
czarnej



Fot. 18b. 12 Profil glebowy

0-7cm Ofh; poziom organiczny;
poziom próchnicy
nakładowej

7-20cm AC; poziom
próchniczny- glina
ciężka

20-30cm C1; poziom skały
macierzystej-glina
ciężka

30-50cm C2; poziom skały
macierzystej-glina
ciężka



Fot. 19a.
16 letnia
powierzchnia
z dominacją brzozy
brodawkowatej

Fot. 19b. 12 Profil glebowy



0-7cm Ofh; poziom organiczny;
poziom próchnicy
nakładowej

7-20cm AC; poziom próchniczny-
głina ciężka

20-30cm C1; poziom skały
macierzystej-głina
ciężka

30-50cm C2; poziom skały
macierzystej-ił
pylasty



Fot. 20a.
16 letnia powierzchnia
z dominacją olszy czarnej

Fot. 20b. 14 Profil glebowy



- 0-3cm O_l; poziom organiczny;
poziom ściółki
leśnej
- 3-6cm O_{fh}; poziom
organiczny;
poziom próchnicy
nadkładowej
- 6-20cm AC; poziom
próchniczny- glina
lekka
- 30-50cm C; poziom skały
macierzy stej-
glina lekka



Fot. 21a.
25 letnia powierzchnia

Fot. 21b. 15 Profil glebowy



0-3cm **Ol**; poziom organiczny;
poziom ściółki leśnej

3-7cm **Ofh**; poziom organiczny;
poziom próchnicy
nadkładowej

7-20cm **AC**; poziom
próchniczny,
przejściowy-
głina ciężka

20-50 cm **C**; poziom skały
macierzystej-
głina ciężka



Fot. 22a.
30 letnia
powierzchnia

Fot. 22b. 16 Profil glebowy



0-5cm OI; poziom organiczny;
poziom ściółki leśnej

5-10cm Ofh; poziom organiczny;
poziom próchnicy
nakładowej

10-20cm A; poziom próchniczny-
głina ciężka

20-50cm C; poziom skały
macierzystej -głina
ciężka



Fot. 23a.
40 letnia powierzchnia

Fot. 23b. 17 Profil glebowy



0-3cm O_l; poziom organiczny;
poziom ściółki leśnej

3-8cm O_{fh}; poziom organiczny;
poziom próchnicy
nadkładowej

8-20cm A; poziom próchniczny-
głina średnia

Mapa nr 2 Lokalizacja punktów badawczych



Spis fotografii, map, rysunków i tabel

Spis fotografii

Fot. 1. Urabianie nadkładu koparką [fot. Zając, 2004]	28
Fot. 2. Widok na fragment odkrywki [fot. Marcinonis, 2004].....	29
Fot. 3. Rów odwadniający siatkowo-kamienny [fot. Marcinonis, 2005].....	37
Fot. 4. Rów odwadniający umocniony elementami betonowymi [fot. Marcinonis, 2005]	37
Fot. 5. Widok na odkrywkę ze zwałowiska zewnętrznego BOT KWB Turów [fot. Marcinonis, 2005]	38
Fot. 6. Zabudowa biologiczna popiołów i produktów odsiarczenia spalin z Elektrowni Turów [fot. Marcinonis, 2006]	42
Fot. 7a. Powierzchnia po wykonanej makroniwelacji.....	148
Fot. 7b. 1 Profil glebowy.	148
Fot. 8a. Powierzchnia po neutralizacji.....	149
Fot. 8b. 2 Profil glebowy.....	149
Fot. 9a. Powierzchnia w danym roku po neutralizacji i hydroobsiewie.....	150
Fot. 9b. 3 Profil glebowy.....	150
Fot. 10a. Powierzchnia w danym roku po neutralizacji i hydroobsiewie.....	151
Fot. 10b. 4 Profil glebowy.....	151
Fot. 11a. Dwuletnie zalesienie.....	152
Fot. 11b. 5 Profil glebowy.....	152
Fot. 12a. Czteroletnie zalesienie.....	153
Fot. 12b. 6 Profil glebowy.....	153
Fot. 13a. 10 letnie zalesienie.....	154
Fot. 13b. 7 Profil glebowy.....	154
Fot. 14a. 10 letnie zalesienie.....	155
Fot. 14b. 8 Profil glebowy.....	155
Fot. 15a. 12 letnie zalesienie.....	156
Fot. 15b. 9 Profil glebowy.....	156
Fot. 16a. 14 letnie zalesienie.....	157
Fot. 16b. 10 Profil glebowy.....	157
Fot. 17a. 16 letnie zalesienie z dominacją modrzewia europejskiego.....	158
Fot. 17b. 11 Profil glebowy.....	158
Fot. 18a. 16 letnie zalesienie z dominacją olszy czarnej.....	159
Fot. 18b. 12 Profil glebowy.....	159
Fot. 19a. 16 letnie zalesienie z dominacją brzozy brodawkowatej.....	160
Fot. 19b. 13 Profil glebowy.....	160
Fot. 20a. 16 letnie zalesienie z dominacją olszy czarnej.....	161
Fot. 20b. 14 Profil glebowy.....	161
Fot. 21a. 25 letnie zalesienie.....	162
Fot. 21b. 15 Profil glebowy.....	162
Fot. 22a. 30 letnie zalesienie.....	163
Fot. 22b. 16 Profil glebowy.....	163
Fot. 23a. 40 letnie zalesienie.....	164
Fot. 23b. 17 Profil glebowy.....	164

Spis map

Mapa 1. Lokalizacja Worka Turowskiego.....	26
Mapa 2. Lokalizacja punktów badawczych.....	165

Spis tabel

Tab. 1. Grunty zdewastowane i zdegradowane wymagające rekultywacji i zagospodarowania [GUS, 2004]	11
Tab. 2. Zasoby węgla brunatnego w Polsce w eksploatowanych złożach (w mln ton) [Pietryszczew, 2005].	15
Tabela 3. Procentowy rozkład kierunków wiatru dla obszaru Worka Żytawskiego w latach 1981-1990 [Rzeźnicki, Zwoździak, 1998].....	34
Tab. 4. Ważniejsze cechy morfologiczne badanych utworów.....	139
Tab. 5. Skład granulometryczny analizowanych gruntów i gleb	141
Tab. 6. Właściwości fizyczne gleb inicjalnych	142
Tab. 7. Ogólna zawartość azotu ogólnego, węgla, mikroskładników, składników przyswajalnych.	143
Tab. 8. Właściwości chemiczne i fizykochemiczne	145
Tab. 9. Klasyfikacja materiału zwałowego dla potrzeb rekultywacji [Maciak 1996].	111

Spis rysunków

Rys. 1. Grunty zdewastowane i zdegradowane oraz zrehabilitowane i zagospodarowane w Polsce w latach 1990-2004 [GUS, MRiRW, 2004]	12
Rys. 2. Zmiany wykorzystania powierzchni kraju w latach 1990-2004 [GUS, MRiRW, 2004]	13
Rys. 3. Gęstość właściwa wybranych gleb i utworów macierzystych.....	58
Rys. 4. Gęstość objętościowa wybranych gleb i utworów macierzystych.....	59
Rys. 5. Porowatość ogólna wybranych gleb i utworów macierzystych.....	61
Rys. 6. Odczyn badanych gleb i utworów macierzystych. Profile od 1 do 6.....	67
Rys. 7. Odczyn wybranych gleb i utworów macierzystych. Profile od 7 do 17.....	68
Rys. 8a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb i utworów macierzystych profilu 4 (warstwa neutralizowana;0-20 cm).....	71
Rys. 8b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb i utworów macierzystych profilu 4 (warstwa nie neutralizowana;30-40 cm).....	71
Rys. 9a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb i utworów macierzystych profilu 5 (warstwa nie neutralizowana;0-20 cm).....	72
Rys. 9b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb i utworów macierzystych profilu 5 (warstwa nie neutralizowana;30-40 cm).....	72
Rys. 10a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 9 (poziom ściółki).	73
Rys. 10b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym profilu 9 (poziom próchniczny).....	73

Rys. 11a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 15 (poziom ściółki).	74
Rys. 11b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 15 (poziom próchnicy nadkładowej).....	74
Rys. 12a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 16 (poziom ściółki).	75
Rys. 12b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 16 (poziom próchnicy nadkładowej).....	75
Rys. 13a. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 17 (poziom ściółki).	76
Rys. 13b. Procentowy udział kationów w kompleksie sorpcyjnym gleb profilu 17 (poziom próchnicy nadkładowej).....	76
Rys. 14. Korelacja między zawartością w glebach jonów Ca^{2+} a wartością pH odnotowaną w badanych próbkach	78
Rys. 15. Korelacja między zawartością glinu wymiennego a wartością pH odnotowaną w 1m KCl w analizowanych próbkach.....	79
Rys. 16. Procentowy udział zasadowych kationów wymiennych w kompleksie sorpcyjnym gleb inicjalnych w opisywanych profilach.....	80
Rys. 17. Korelacja między sumą kationów o charakterze zasadowym a zawartością jonów Ca^{2+}	81
Rys. 18. Korelacja między pojemnością sorpcyjną a zawartością N ogólnego	83
Rys. 19. Korelacja między pojemnością sorpcyjną a zawartością C organicznego.....	83
Rys. 20. Zawartość węgla organicznego w glebach i utworach macierzystych profili 1-6	86
Rys. 21. Zawartość węgla organicznego w glebach i utworach macierzystych profili 7-10	87
Rys. 22. Zawartość węgla organicznego w glebach i utworach macierzystych profili 11-17	88
Rys. 23. Zawartość azotu ogólnego w glebach i utworach macierzystych profili 1-6	89
Rys. 24. Zawartość azotu ogólnego w glebach i utworach macierzystych profili 7-10	90
Rys. 25. Zawartość azotu ogólnego w glebach i utworach macierzystych profili 11-17	91
Rys. 26. Stosunek C:N w w glebach i utworach macierzystych wybranych profili gleb inicjalnych na obiektach rekultywowanych	93
Rys. 27. Zawartość glinu wymiennego w glebach i utworach macierzystych profili 1-6	94
Rys. 28. Zawartość glinu wymiennego w glebach i utworach macierzystych profili 7-10	95
Rys. 29. Zawartość glinu wymiennego w glebach i utworach macierzystych profili 11-17	96
Rys. 30. Zawartość przyswajalnych form fosforu w glebach i utworach macierzystych wybranych profili gleb inicjalnych na obiektach rekultywowanych	98
Rys. 31. Zawartość przyswajalnych form potasu w glebach i utworach macierzystych wybranych profili gleb inicjalnych na obiektach rekultywowanych	100
Rys. 32. Zawartość przyswajalnych form magnezu w glebach i utworach macierzystych wybranych profili gleb inicjalnych na obiektach rekultywowanych	101