

ANNA PATRZALEK\*, MAREK POZZI\*

## **Obudowa biologiczna budowli ziemnych z odpadów górnictwa węgla kamiennego**

### **Wprowadzenie**

Zwałowiska oraz różnego rodzaju budowle ziemne powstające z odpadów górniczych i przerobczych z eksploatacji węgla kamiennego obudowuje się biologicznie. Trwałość takiej obudowy oraz jej dobra jakość chroni obiekt przed procesem erozji wodnej, zapoczątkowuje na nim proces glebotwórczy i sprawia, że rozwijające się zbiorowiska roślinne czynią go bardziej przyjaznym człowiekowi.

Właściwości gruntów powstałych z odpadów węglowych kształtowane są przez ich skład petrograficzny i mineralogiczny. Intensywne procesy wietrzenia fizycznego i chemicznego masy skalnej powodują zmiany jej właściwości fizycznych i chemicznych. Duża dynamika tych zmian wpływa na warunki powietrzno-wodne gruntu, a brak podstawowych składników mineralnych niezbędnych do odżywiania roślin sprawia, że wzrost i rozwój roślin na takim podłożu jest bardzo utrudniony. Dlatego użyczenie gruntu metodami technicznymi oraz jego zadarnienie poprzez obsiew dobraną mieszanką traw jest ważnym elementem w uzyskaniu trwałości obudowy biologicznej budowli ziemnych z odpadów górniczych (Patrzalek 1984).

Celem badań była ocena trwałości obudowy biologicznej, właściwości fizycznych i chemicznych przypowierzchniowej warstwy gruntu na obwałowaniu rzecznym z odpadów węglowych z górnictwa węgla kamiennego przykrytego mieszaniną tych odpadów z osadem ściekowym, po okresie 5-letnim.

---

\* Dr hab. inż., prof. Pol. Śl., Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: Marek.Pozzi@polsl.pl

## 1. Zakres i metody badań

Zakresem badań objęto właściwości przypowierzchniowej warstwy podłoża na odcinku obwałowania rzeki Kłodnicy w Zabrze oraz jej produktywność po 5 latach od rozpoczęcia procesu obudowy biologicznej.

Produktywność podłoża czyli zdolność do produkcji biomasy roślinnej, odpowiadająca możliwościom wysianych gatunków traw i ich odmian, oceniono w doświadczeniu polowym, w którym sprawdzono wzrost i rozwój mieszanki traw o składzie: *Festuca ovina* Mimi + *Lolium perenne* Niga. Nasiona mieszanek traw wysiano po dwóch miesiącach leżakowania mieszaniny na obwałowaniu.

Mieszaninę, którą przykrywano kamienisty grunt obwałowania przygotowano z odpadów górniczych po półtorarocznym ich sezonowaniu, a następnie wymieszaniu z osadem ściekowym z oczyszczalni ścieków w Zabrze. Mieszaninę wykonano w stosunku 3:2 wykorzystując do tego sprzęt mechaniczny.

Grunt z nałożoną mieszaniną o miąższości około 10 cm po obsiewie trawami nazwano glebą inicjalną. Wyróżniono w niej poziomy: darniowy-akumulacyjny, przejściowy i skały macierzystej.

Próbki gleby do badań laboratoryjnych pobierano z poziomu akumulacyjnego gleby inicjalnej w trzech miejscach: z korony oraz z górnej i dolnej partii skarpy odwodnej. Dla porównania pobrano także próbki z podobnych miejsc na odcinku obwałowania, które nie było obudowane biologicznie (Patrzalek, Pozzi 2003, 2007).

W uśrednionych próbkach oznaczono następujące właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleby:

- odczyn na podstawie pomiaru pH w H<sub>2</sub>O oraz pH w 1N KCl w stosunku 1:2,5 za pomocą elektrody kombinowanej pH-ERH 111,
- przewodnictwo właściwe w roztworze wodnym w stosunku 1:5 za pomocą konduktometru mikrokomputerowego z czujnikiem PS-2Z,
- jony zasadowe Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> w wyciągu kwaśnym (1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>),
- kwasowość hydrolityczną według metody Kappena,
- właściwości sorpcyjne wg metody Pullmana,
- substancję organiczną – metodą wagową z ubytku masy w czasie wyżarzania,
- azot ogólny (N<sub>ogólny</sub>) – metodą Kjeldahla,
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O – metodą Wegnera-Rihma, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – metodą Braya-Kurtza nr 2.

## 2. Omówienie wyników badań

Wysiana mieszanka traw przykryła w 100% powierzchnię obwałowania już w pierwszym roku. W runi w tym czasie było jedynie około 2% gatunków dwuliściennych z nalotu nasion. Gatunki te ustąpiły w dalszych latach. Pokrycie utrzymało się na tym samym poziomie przez okres 5 lat. W piątym roku niską zwartą ruń o cechach dużej żywotności

tworzyła głównie wysiana odmiana kostrzewy owczej. W nieliczne puste miejsca osiedlał się trzcinnik piaskowy. Jego udział w runi oszacowano na około 1%. Przez cały okres prowadzonych obserwacji na obwałowaniu nie wykonywano zabiegu koszenia.

Trwałość obudowy biologicznej na obwałowaniu zależna jest od żyzności gruntu, czyli zdolności do dostarczania wprowadzonym w takie siedlisko roślinom składników odżywczych oraz wody i powietrza w długich przedziałach czasowych (Patrzalek 1984, 2001).

Żyzność kamienistego gruntu uzyskano poprzez wymieszanie odpadów skalnych z osadem ściekowym. Zawartość substancji biogenych w mieszaninach po ich rozłożeniu była wysoka w porównaniu z samym odpadem górniczym. Zawartość substancji organicznej, w tym azotu ogólnego, form przyswajalnych dla roślin fosforu  $P_2O_5$  i potasu  $K_2O$  była bardzo wysoka. Ilości takich nie spotyka się w glebach uprawnych. Za bardzo wysoką należy także uznać zawartość przyswajalnych form magnezu (tab. 1).

TABELA 1

Właściwości chemiczne mieszaniny odpadów górniczych z osadem ściekowym po wymieszaniu (Patrzalek, Pozzi 2007)

TABLE 1

Chemical properties of the mixture of sludge and mine waste material (Patrzalek, Pozzi 2007)

Substancja organiczna [%]	N ogólny [%]	$K_2O^*$ [mg/100 g]	$MgO^{**}$ [mg/100 g]	$P_2O_5^{***}$ [mg/100 g]
35,72	0,76	80,0	40,1	159,9

\* wg Egnera-Rhima,

\*\* wg ASA,

\*\*\* wg Braya-Kurza 2

Wyczerpywanie się składników pokarmowych jest bardzo powolne, dlatego taka zasobność w biogeny zapewniła długotrwałe ich wykorzystywanie przez roślinność. Do obudowy biologicznej zastosowano mieszankę traw. W składzie mieszanki traw, wysianej na obwałowaniu, był gatunek o dużych wymaganiach pokarmowych – życica trwała (*Lolium perenna*) oraz gatunek o małych wymaganiach – kostrzewa owcza (*Festuca ovina*). Trawy te uzupełniały się w swoich cyklach wzrostu. Świadczy o tym stan okrywy roślinnej w okresie pięcioletnim.

Odczyn gleby jest istotnym wskaźnikiem możliwości pobierania składników pokarmowych przez roślinę. Przewodnictwo właściwe decyduje o ilości soli, jakie mogą przejść do roztworu wodnego gleby.

W tabeli 2 porównano wartości tych parametrów w mieszaninie rozłożonej na obwałowaniu, w warstwie akumulacyjnej gleby inicjalnej 5-letniej i w gruncie na odcinku obwałowania bez roślinności, który przylegał do powierzchni doświadczalnej.

Jak wynika z tego zestawienia aktualna kwasowość w glebie inicjalnej utrzymuje się na poziomie lekko kwaśnym. Warstwa akumulacyjna zatrzymuje duże ilości soli, które nie są wymywane do wód, dlatego przewodnictwo elektrolityczne w tej warstwie utrzymuje się

TABELA 2

Właściwości fizykochemiczne próbek z obwałowania

TABLE 2

Physico-chemical characteristic of the samples collected from the embankment

Lp.	Stanowisko na obwałowaniu	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	pH <sub>KCL</sub>	μScm <sup>-1</sup>
1.	Mieszanina po rozłożeniu	5,97	5,95	2 440
2.	Warstwa akumulacyjna 5-letnia	6,05	5,83	1 300
3.	Grunt bez roślinności	3,70	3,35	743

w zakresie wartości wysokich. Wskazuje to na postępujący proces wietrzenia odpadów mineralnych w warstwie akumulacyjnej gleby inicjalnej, ale także na proces zatrzymywania się soli w poziomie darniowym.

W gruncie bez roślinności wartość kwasowości utrzymuje się w zakresie odczynu bardzo kwaśnego, przy stosunkowo wysokim poziomie zasolenia.

Kompleks sorpcyjny gleby inicjalnej jest tą częścią masy glebowej, która posiada zdolność wchłaniania i wymiany jonowej pomiędzy roztworem glebowym a cząstkami komponentu koloidalnego gleby.

Zaadsorbowane w kompleksie sorpcyjnym kationy wymienne sodu, potasu, wapnia i magnezu mogą być wymienione przez kationy z roztworu glebowego z zachowaniem równowagowych ładunków.

Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami oraz jego pojemność sorpcyjna świadczą o żyzności gleby. Im wyższa pojemność i wysycenie zasadami tym lepsze zaopatrzenie gleby w składniki pokarmowe. Kwasowość hydrolityczna odpowiada całkowitej kwasowości gleby.

W warstwie akumulacyjnej gleby inicjalnej na obwałowaniu w okresie pięcioletnim obniżyła się suma jonów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym. Do roztworu wodnego przeszło najwięcej jonów sodowych. Wzrosła ilość jonów magnezowych (tab. 3). Jest to wynik procesu wietrzenia masy skalnej, wymywania soli jak również pobierania przez roślinność wapnia, magnezu, sodu i potasu. Proces przemian chemicznych w gruncie obudowanym biologicznie i pozbawionym obudowy przebiega w tym samym kierunku. Wskazuje na to obniżanie się ilości jonów zasadowych oraz utrzymujące się wysokie przewodnictwo elektrolityczne w porównaniu do gruntu bez roślinności. Poziom darniowy ogranicza te procesy. Jest to potwierdzeniem wcześniejszych badań (Patrzalek 1984).

Brak zasadniczych zmian odczynu oraz utrzymujące się wysokie wartości przewodnictwa elektrolitycznego warstwy akumulacyjnej gleby inicjalnej wytworzonej na obwałowaniu daje podstawy do wnioskowania o braku zagrożenia, związanego z wymywaniem metali ciężkich do wód (tab. 4). Wcześniejsze badania tej samej mieszaniny wykazały ich obecność zarówno w odpadach, jak i w osadach (Patrzalek, Pozzi 2007).

TABELA 3

Wybrane właściwości chemiczne próbek z obwałowania (+ cmol/kg)

TABLE 3

Selected chemical properties of the embankment samples (+ cmol/kg)

Lp.	Stanowisko na obwałowaniu	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Hh	S	T	V <sub>s</sub> %
1.	Mieszanina po rozłożeniu	7,46	4,95	2,89	1,36	4,50	16,66	21,16	78,73
2.	Warstwa akumulacyjna 5-letnia	3,51	5,31	0,12	0,88	0,47	9,82	10,29	95,43
3.	Grunt bez roślinności	0,69	1,45	0,12	0,30	0,51	2,56	3,07	83,39

Hh – kwasowość hydrolityczna, S – suma jonów zasadowych, T – pojemność kompleksu sorpcyjnego, V<sub>s</sub> – stopień wysycenia kationami o charakterze zasadowym

TABELA 4

Metale ciężkie w mieszaninach glebotwórczych i ich komponentach, wyciąg 10% HNO<sub>3</sub>  
(Patrzalek, Pozzi 2007)

TABLE 4

Heavy metals in soil-forming mixtures and their components, extract 10% HNO<sub>3</sub> (Patrzalek, Pozzi 2007)

Materiał	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn
	mgkg <sup>-1</sup> s.m.					
Odpad górniczy	6,51	0,08	3,70	10,49	13,18	5,62
Osad ściekowy	69,50	2,60	69,09	97,13	16,14	1 703,33
Mieszanina	26,97	0,77	11,41	31,74	15,57	479,23
Ilość metali ciężkich w gruncie z osadami ściekowymi*	100,00	5,00	200,00	100,00	60,00	300,00

\* Według zał. 3 do Rozporz. Min. Śr. (Dz.U. 134, poz. 1140, 2002 r.)

Ilość metali ciężkich w badanych materiałach nie przekraczała obowiązujących w Polsce norm (Rozporządzenie MŚ 2002), co pozwala stosować taką mieszaninę do rekultywacji terenów na cele nierolne.

Metale ciężkie wraz z innymi solami znajdującymi się w glebie inicjalnej na obwałowaniu rzeczonym mogą być wypłukiwane do cieku. Istotna była dynamika wymywania soli z warstwy glebotwórczej (tab. 5).

W pierwszych przesączach prowadzonego doświadczenia, z przemywaniem mieszaniny wodą destylowaną w ilości odpowiadającej średnim opadom atmosferycznym, przewodnictwo właściwe było bardzo wysokie. Dopiero przemycie materiału ilością wody odpowiadającą 400 mm opadu spowodowało obniżenie się zasolenia do wartości 765  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . Przemycie próbki wodą w ilości odpowiadającej rocznemu opadowi sprawiło, że przewodnictwo właściwe spadło do 576  $\mu\text{Scm}^{-1}$  (tab. 5). Badania te potwierdzają dużą dynamikę

TABELA 5

Dynamika wymywania soli z mieszaniny glebotwórczej (Patrzalek, Pozzi 2007)

TABLE 5

Dynamics of the salt rinsing process out of the soil-forming mixture (Patrzalek, Pozzi 2007)

Opad mm	16	80	160	240	320	400	480	560	640	720
$\mu\text{Scm}^{-1}$	3 497	3 290	2 297	1 323	999	765	691	628	585	576

TABELA 6

Metale ciężkie w wyciągach wodnych mieszaniny glebotwórczej [mg/l] (Patrzalek, Pozzi 2007)

TABLE 6

Heavy metals in extracts from the soil-forming mixture (Patrzalek, Pozzi 2007)

Materiał	Pb	Cd	Zn	Fe
Mieszanina glebotwórcza	0,021–0,032	0,003–0,004	0,115–0,200	0,099–0,0187
Najwyższe dopuszczalne wartości*	0,1	0,4	2,0	10,0

\* Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 137 nr poz. 984, 2006)

wymywania soli z takiego materiału w początkowym okresie jego użytkowania. Jest to ważna wskazówka dla rozpoczynania prac agrotechnicznych na gruncie przykrytym taką mieszaniną.

W otrzymanych przesączach oznaczono metale ciężkie (tab. 6) i porównano je z dopuszczalnymi zawartościami określonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (Rozporządzenie MŚ, 2006).

Metale ciężkie takie jak kadm, cynk, ołów i żelazo, które przeszły do wyciągów wodnych nie przekroczyły wartości dopuszczalnych (Rozporządzenie MŚ 2006).

### Podsumowanie

Właściwości fizyczne mieszaniny glebotwórczej sporządzonej z odpadów górniczych węgla kamiennego z osadami ściekowymi zabezpieczają skarpy budowli z odpadów górniczych przed erozją. Ograniczają proces wymywania soli z powierzchniowej warstwy gleby inicjalnej.

Wysoka zawartość makroskładników troficznych i duża wartość kompleksu sorpcyjnego dają gwarancję dobrego i długotrwałego odżywiania roślin, wprowadzonych na takie podłoże.

Przy stosowaniu mieszanin glebotwórczych sporządzonych z mieszanin odpadów górniczych węgla kamiennego z osadem ściekowym na obwałowaniach rzecznych nie ma niebezpieczeństwa wprowadzania do wód dużych ładunków metali ciężkich.

Zastosowanie analizowanej mieszaniny glebotwórczej do obudowy biologicznej budowli ziemnych z odpadów po górnictwie węgla kamiennego, przy jednoczesnym odpowiednim doborze roślin, daje pełną gwarancję jej trwałości w długich przedziałach czasu. Na tak obudowanym obwałowaniu zabiegi pielęgnacyjne, takie jak odbiór biomasy roślin mogą być pominięte.

## LITERATURA

- Patrzałek A., 1984 – Zdolność darniotwórcza mieszanek traw i motylkowatych wysiewanych na zwałowisku odpadów węgla kamiennego oraz ich wpływ na wietrzenie gruntu. *Archiwum Ochrony Środowiska* 3–4, s. 157–170.
- Patrzałek A., 2001 – The meaning of grass in formation of plant communities and initial soil on the ground consisting of rock from karboniferous period. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu* nr 202. Rozprawy CLXXVI.
- Patrzałek A., Pozzi M., 2003 – Geologic- engineering and chemical properties of topsoil in forming process for biological restoration of coal mine waste-based structures. *Mat. Konf. Applied Geology for Eastern and Central Europe*, Wiena October.
- Patrzałek A., Pozzi M., 2007 – Physical and Chemical Properties of Topsoil Used for Biological Restoration of Coal Mine Waste-Based Structures in Upper Silesian Coal Basin, 24th Meeting American Society of Mining and Reclamation, Gillette, Wyoming, USA, 2007.
- Skarżyńska K., 1997 – Odpady węglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej. *Akademia Rolnicza*, Kraków.
- Twardowska I., Szczepańska J., Witczak S., 1988 – Wpływ odpadów górnictwa węgla kamiennego na środowisko wodne. Ocena zagrożenia, prognozowanie, zapobieganie. PAN, Wyd.: Zakład im. Ossolińskich, Wrocław.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 134, poz. 1140, 2002).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. nr 137 poz. 984, 2006).

## OBUDOWA BIOLOGICZNA BUDOWLI ZIEMNYCH Z ODPADÓW GÓRNICICTWA WĘGLA KAMIENNEGO

### Słowa kluczowe

Odpady górnicze, obwałowania rzeczne, obudowa biologiczna gruntu, proces glebotwórczy

### Streszczenie

Zwałowiska oraz różnego rodzaju budowle ziemne powstające z odpadów górniczych i przerobczycych z eksploatacji węgla kamiennego obudowuje się biologicznie.

Właściwości gruntów powstałych z odpadów węglowych, kształtowane przez ich skład petrograficzny i mineralogiczno-chemiczny, zmieniają się na skutek wietrzenia fizycznego i chemicznego (Skarżyńska 1997; Twardowska i in. 1988). Niekorzystne warunki powietrzno-wodne gruntu oraz brak podstawowych składników mineralnych niezbędnych w odżywianiu się roślin sprawia, że wzrost i rozwój roślin na takim podłożu jest utrudniony.

Uzyskanie okrywy roślinnej o dobrym zwarciu, żywotności i cechach długotrwałości na budowlach ziemnych z odpadów górnictwa węgla kamiennego umożliwiony jest poprzez zabieg przykrycia ich mieszaniną osadu ściekowego z odpadami węglowymi o miąższości warstwy około 10 cm oraz wysiew na tak przygotowane podłoże specjalnie dobranej mieszanki traw.

Na podstawie 5-letnich prac badawczych i obserwacji w doświadczeniu polowym założonym na skarpach wału przeciwpowodziowego rzeki Kłodnicy, zbudowanego z odpadów węglowych, oceniono przydatność takich zabiegów.

Przez cały okres prowadzonych badań powierzchnia obwałowania była pokryta zwartą runią traw o dużej żywotności. Darń przerastała poziom warstwy glebotwórczej. Wysokość runi nie przekraczała 10–12 cm i nie wymagała zabiegów pielęgnacyjnych. Na taki stan okrywy roślinnej wpływ miała żyzność gruntu, którą uzyskano przez dodanie do odpadów węglowych materię organiczną, zawartą w osadzie ściekowym. Wzbogacono w ten sposób grunt w składniki troficzne, przyswajalne dla roślin, takie jak azot, fosfor, potas i magnez. Przeprowadzone obserwacje w okresie 5-letnim wykazały, że w glebie inicjalnej aktualna kwasowość utrzymuje się na poziomie lekko kwaśnym, zatrzymywane są duże ilości soli mineralnych, obniżyła się suma jonów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym. Na gruncie bez obudowy biologicznej procesy przemian chemicznych zachodzą w tym samym kierunku ale zdecydowanie szybciej. Testy wymywalności dowodzą, że sporządzona mieszanina nie stanowi zagrożenia metalami ciężkimi dla ciekłu wodnego.

#### BIOLOGICAL CASING OF EARTHEN STRUCTURES MADE OF HARD COAL MINING WASTE MATERIALS

##### Key words

Mining waste, river embankments, biological casing of ground, soil formation process

##### Abstract

Dumping grounds and various types of earthen structures made of mining waste coal-processing waste remaining after mining activities undergo biological casing.

The properties of ground/ soil formed from mining waste, formed by their petrographic and mineralogical-chemical composition, change due to physical and chemical weathering. Disadvantageous air and water conditions of the ground/ soil, along with the absence of basic mineral components indispensable for the plant nutrition cause the growth and development of plants in such earth to be difficult.

Obtaining of plant cover with good level of compaction, vitality, and features of permanence on earthen structures made of hard coal mining waste is enabled via the procedure of covering them with a mixture of sludge with coal mining waste, the thickness of the layer being about 10 cm and sowing a specially selected blend of grass [seeds] on the surface thus prepared.

On the basis of 5-year study work and observations in the field experiment established on the slopes of the flood bank of the river Kłodnica, made of coal mining waste, the usability of such procedures was assessed.

Throughout the period of the study, the surface of the flood bank was covered with compact cover of grass, with substantial vitality. The sod overgrew the depth of soil-forming layer. The grass cover height did not exceed 10–12 cm and did not require conservation activities. That condition of the sod cover was influenced by the fertility of the soil, which was achieved via adding to the mining waste organic matter contained in the sludge. Thus the soil was enriched with trophic components, available/ absorbable for the plants, such as nitrogen, phosphorus, potassium, and magnesium. The observations carried out over the 5-year period revealed that in the initial soil the present acidity remains at the slightly acid level, substantial amounts of mineral salts were kept, while the total level of alkaline ions got reduced in the sorptive complex. On the soil without biological casing, the process of chemical change occurs in the same direction, but in a much more rapid pace. The washout tests prove, that the mixture prepared does not pose a heavy metal threat for the water-course.