

Jerzy Wójcik\*, Stanisław Kowalik\*

## **Kształtowanie się wybranych właściwości inicjalnej gleby na zrehabilitowanej w kierunku leśnym hałdzie górnictwa miedzi\*\***

### **1. Wstęp**

W procesie rekultywacji terenów bezglebowych dla leśnego kierunku zagospodarowania kształtowane są, poprzez odpowiednie zabiegi techniczne i biologiczne, cechy inicjalnych gleb, które mają decydujący wpływ na efekty całego przedsięwzięcia. Zasadniczego znaczenia nabierają przy tym właściwości utworów występujących w wierzchnich warstwach obiektu, jak również skład gatunkowy wprowadzanej roślinności [4, 6, 7, 14]. Właściwy dobór roślinności, uwzględniający w racjonalnych proporcjach zarówno kryteria oddziaływania fitomelioracyjnego na podłoże, jak i docelowego zagospodarowania, determinuje harmonijne odtwarzanie ekosystemu leśnego, w tym szczególnie gleby – jego podstawowego komponentu.

Obok procesów wietrzeniowych oraz przemieszczania się składników, podstawowe znaczenie dla kształtowania obrazu morfologicznego i wszystkich podstawowych właściwości tworzącej się gleby ma akumulacja materii organicznej. Z tego względu wielu badaczy za jedno z głównych kryteriów oceny efektywności rekultywacji uznaje ilość i jakość materii organicznej akumulowanej w inicjalnych glebach [2, 3, 5, 10, 14].

Celem podjętych badań była ocena wpływu oddziaływania wybranych, czterech gatunków, drzew leśnych na właściwości inicjalnej gleby, a w konsekwencji na stopień zaawansowania procesów glebotwórczych, po 8 latach od wykonania zalesień rekultywacyjnych na hałdzie skały płonnej górnictwa rud miedzi.

### **2. Obiekt badań**

Badania przeprowadzono na jednej z hałd (oznaczonej jako RG) skał odpadowych Kopalni Miedzi „Rudna”. Hałda ta zajmuje powierzchnię 4,3 ha i jest obiekt-

---

\* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Kształtowania i Ochrony Środowiska

\*\* Praca wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.171

tem nadpoziomowym o wysokości względnej 16 m. Zbudowana została głównie ze skał uzyskiwanych przy drążeniu kopalnianych szybów i chodników. Skały te, z gleboznawczego punktu widzenia, stanowią zróżnicowany, często zły substrat glebowy. Należą do utworów szkieletowych, charakteryzują się alkalicznym odczynem (pH w H<sub>2</sub>O oscyluje wokół 8,0), posiadają podwyższoną, niekiedy toksycznie wysoką, przewodność elektrolityczną właściwą, świadczącą o dużej koncentracji rozpuszczalnych w wodzie soli. Ponadto skład jonowy tych soli jest często niekorzystny dla procesów glebotwórczych oraz rozwoju roślin, głównie z powodu wysokiego udziału Na<sup>+</sup> oraz Cl<sup>-</sup> i SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Część budujących hałdę utworów charakteryzuje się zbyt wysoką zawartością miedzi i cynku oraz podwyższoną zawartością ołowiu [4]. Właściwości te nie pozwoliły na efektywną rekultywację, dla ustalonego leśnego kierunku, wyłącznie metodami biologicznymi.

Hałda RG została z końcem lat 80. ubiegłego stulecia nawieziona warstwą utworów glebowych miąższości około 40 cm, w tym około 10 cm stanowiła ziemia próchniczna, po czym wykonano jej zalesienie. Zbyt mała udatność nasadzeń oraz intensywny rozwój roślinności trawiasto-zielnej skłoniły ZG „Rudna” do wykonania dodatkowych zabiegów rekultywacyjnych według projektu opracowanego przez Katedrę Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH [4]. W roku 1994 cały obiekt został przykryty dodatkową warstwą miąższości 40+50 cm potencjalnie produktywnych utworów bezglebowych (co dało łącznie ponad 80 cm miąższości utworów nawiezionych), a następnie wiosną 1995 r. przeprowadzono zalesienia.

W ramach zalesień gatunki docelowe wprowadzono w kwaterach wielkości ok. 0,5 ara, a pomiędzy nimi grupy gatunków fitomelioracyjnych, biocenotycznych i pomocniczych. Zakres szczegółowych rozwiązań rekultywacyjnych przyjęty dla tego obiektu oraz cząstkową ocenę uzyskanych efektów przedstawiono w pracy [13].

Nawiezione na hałdę, w procesie rekultywacji, utwory ziemne były stosunkowo mało zróżnicowane i w przeważającej części należały do lekkich i średnich. Charakteryzowały się odczynem lekko alkalicznym (pH w KCl około 7,5), przewodnością elektrolityczną właściwą na poziomie 0,1 mScm (stosunek woda : gleba wynosił 5:1), dobrą zasobnością w przyswajalne formy magnezu, średnią – potasu i fosforu oraz nieznaczną zawartością węgla organicznego – ok. 0,13%, i azotu ogólnego – ok. 0,011% [13].

Podczas wykonywania badań (8 lat po wprowadzeniu nasadzeń) zadrzewienia charakteryzowały się pełnym zwarciem, a uwzględnione w badaniach gatunki drzew posiadały następujące średnie parametry wzrostowe:

- olsza czarna:  $h = 6,24$  m;  $d_{1,3} = 5,63$  cm;
- brzoza brodawkowata:  $h = 6,09$  m;  $d_{1,3} = 4,54$  cm;
- sosna czarna:  $h = 2,94$  m;  $d_{1,3} = 4,18$  cm;
- modrzew europejski:  $h = 5,43$  m;  $d_{1,3} = 4,81$  cm.

### 3. Metodyka badań

Do badań wytypowano powierzchnie z trzema gatunkami lasotwórczymi i jednym fitomelioracyjnym. W obrębie każdej powierzchni wykonano po trzy odkrywki glebowe do głębokości 30 cm. Do badań laboratoryjnych pobrano próchnicę nadkładową (Olfh) oraz grunt mineralny z warstw 0÷5 cm; 5÷10 cm; 10÷20 cm i 20÷30 cm.

Laboratoryjnie oznaczono:

- w próchnicy nadkładowej: suchą masę metodą suszarkową i zawartość materii organicznej metodą prażenia;
- w próchnicy nadkładowej i gruncie mineralnym: pH metodą potencjometryczną, N og. metodą Kiejldahla; ogólną zawartość wybranych składników w wyciągu mieszaniny stężonych kwasów  $\text{HClO}_4$  i  $\text{HNO}_3$ ;
- w gruncie mineralnym: skład ziarnowy metodą Cassagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, gęstość objętościową metodą usypową, przewodność elektrolityczną właściwą metodą konduktometryczną przy stosunku grunt : woda 1:5, zawartość C org. metodą Tiurina, zawartość składników ekstrahowanych 1 M octanem amonu metodą absorpcyjnej spektroskopii atomowej, przyswajalny P i K metodą Wegnera-Riehma w modyfikacji Domingo (ekstrakcja buforem mleczanu amonu w kwasie octowym - wartości graniczne dla gleb leśnych: P - 3,5 i 6,6 mg/100 g; K - 6,6 i 12,5 mg/100 g), przyswajalny Mg metodą Schachtschabela.

### 4. Omówienie wyników badań

Analiza frakcyjna pobranych z powierzchni badawczych próbek gruntu wykazała niewielkie jego zróżnicowanie zarówno w przestrzeni, jak i w profilu do głębokości 30 cm. Zdecydowana większość utworów charakteryzowała się składem granulometrycznym gliny lekkiej i gliny piaszczystej o zawartości cząstek ilastych w granicach 22÷30% (tab. 1).

Obraz morfologiczny profili inicjalnych gleb, wszystkich objętych badaniami powierzchni, wykazywał zróżnicowanie na charakterystyczne dla gleb leśnych poziomy akumulacji. Po 8 okresach wegetacyjnych wytworzyła się cienka warstwa próchnicy nadkładowej (ok. 1 cm) o różnym stopniu rozkładu substancji organicznej. Bezpośrednio pod próchnicą nadkładową zaznaczył się kilkucentymetrowej miąższości (około 3 cm) inicjalny poziom próchniczny (A), o nieco ciemniejszym zabarwieniu w stosunku do warstw głębszych.

Wielkość akumulacji próchnicy nadkładowej (Olfh) kształtowała się na poszczególnych powierzchniach badawczych w przedziale od 14,4 (pod sosną) do 28,3 (pod modrzewiem) Mg suchej masy na hektar (tab. 2).

**Tabela 1.** Skład granulometryczny i gęstość objętościowa utworów w profilach glebowych badanych powierzchni na hałdzie RG – 8 lat od wprowadzenia nasadzeń

Po- wierzchnia	Warstwa [cm]	Zawartość [%] cząstek o średnicy w mm					Utwór wg BN-78/ 9180-11	Gęstość obj. [g/cm <sup>3</sup> ]
		>1,0	1,0÷0,1	0,1÷0,02	<0,02	<0,002		
Olsza	0÷5	19÷27	54÷69	10÷17	23÷29	10÷15	gp-gl	1,56
	5÷10	10÷17	53÷64	10÷14	24÷33	13÷19	gp-gl	1,66
	10÷20	6÷18	58÷72	11÷15	13÷27	8÷16	pgl-gl	1,69
	20÷30	16÷19	47÷66	10÷17	24÷33	10÷20	gp-gl	1,66
Brzoza	0÷5	15÷23	57÷61	13÷16	26÷28	12÷15	gl	1,59
	5÷10	17÷26	58÷60	14÷15	26÷27	13÷15	gl	1,65
	10÷20	14÷22	61÷67	12÷20	21÷26	10÷15	gp-gl	1,68
	20÷30	12÷17	59÷66	12÷14	22÷27	13÷15	gp-gl	1,74
Sosna	0÷5	9÷19	53÷68	7÷19	25÷28	12÷13	gp-gl	1,64
	5÷10	8÷10	52÷63	15÷20	22÷28	10÷15	gp-gl	1,70
	10÷20	8÷17	53÷69	13÷18	18÷31	8÷18	pgm-gl	1,67
	20÷30	9÷11	48÷68	12÷20	20÷32	10÷18	pgm-gl	1,68
Modrzew	0÷5	5÷12	52÷59	14÷19	27÷34	14÷20	gl	1,59
	5÷10	13÷30	48÷59	15÷18	25÷34	12÷19	gp-gl	1,61
	10÷20	13÷19	55÷68	10÷20	20÷25	9÷15	pgm-gp	1,63
	20÷30	4÷24	56÷61	15÷16	23÷29	12÷14	gp-gl	1,67

**Tabela 2.** Masa próchnicy nadkładowej oraz zawarte w niej zasoby materii organicznej i azotu na objętych badaniami powierzchniach zrekultywowanej hałdy RG – 8 lat od wprowadzenia nasadzeń

Powierzchnia	Masa [Mg/ha ]					
	próchnicy nadkładowej (sucha masa)		w próchnicy nadkładowej			
	(Ol <sub>fh</sub> )		Materii organicznej*		N og.	
	Średnia	V	Średnia	V	Średnia	V
Olsza	18,213	31,7	6,041	22,4	0,207	21,4
Brzoza	18,436	30,3	5,072	15,5	0,117	9,5
Sosna	14,373	22,4	6,265	43,9	0,112	24,1
Modrzew	28,284	21,2	7,690	12,0	0,187	12,5

Objaśnienia:

Średnia – średnia arytmetyczna

V – współczynnik zmienności

\* wyliczona na podstawie strat prażenia w 600°C

Stwierdzono także różnice w składzie chemicznym próchnicy nadkładowej na poszczególnych powierzchniach badawczych. Zaznaczyła się odwrotna zależność

pomiędzy masą ektopróchnicy a zawartością w niej materii organicznej (tab. 2), co sprawiło, że ilość materii organicznej zakumulowana w glebach pod badanymi gatunkami drzew jest stosunkowo mało zróżnicowana, waha się od 5,1 do 7,7 Mg/ha.

Znacznie większe zróżnicowanie, między powierzchniami badawczymi, odnotowano natomiast w przypadku zawartości azotu ogólnego (tab. 3). Największe ilości tego składnika wykazywała ektopróchnica pod olszą czarną (1,14%), wyraźnie niższe pod sosną czarną (0,78%) oraz najniższe pod modrzewiem europejskim (0,66%) i brzozą brodawkowatą (0,64%). Zróżnicowanie w zawartości azotu sprawiło, że to właśnie na powierzchni z olszą stwierdzono największy jego zapas na 1 ha – 207 kg/ha (tab. 2), najmniejszy natomiast na powierzchniach z sosną (112 kg/ha) i brzozą (117 kg/ha).

**Tabela 3.** Średnie wartości strat prażenia, zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego oraz stosunek C:N w utworach profili glebowych objętych badaniami powierzchni na hałdzie RG – 8 lat od wprowadzenia nasadzeń

Po- wierz- chnia	Warstwa [cm]	Straty prażenia		C org.		N og.		C:N	
		Średnia	V	Średnia	V	Średnia	V	Średnia	V
		[%]		[%]		[%]		[%]	
Olsza	0łfh	33,17	22,4	n.o.	–	1,137	21,4	–	–
	0÷5	2,83	18,5	0,57	16,2	0,065	20,2	11,2	18,2
	5÷10	2,00	15,7	0,25	17,4	0,023	28,5	12,3	28,6
	10÷20	1,50	20,4	0,12	20,4	0,010	20,1	9,0	42,3
	20÷30	1,76	22,6	0,12	58,3	0,013	26,6	8,9	10,6
Brzoza	0łfh	27,51	15,5	n.o.	–	0,637	9,5	–	–
	0÷5	2,50	2,1	0,43	15,2	0,048	8,3	8,9	7,1
	5÷10	1,99	7,1	0,21	2,7	0,023	9,2	9,5	9,8
	10÷20	1,62	15,4	0,15	26,4	0,015	0,0	10,2	26,4
	20÷30	1,74	3,0	0,11	10,8	0,014	12,4	7,6	1,5
Sosna	0łfh	43,59	43,9	n.o.	–	0,776	24,1	–	–
	0÷5	2,82	43,1	0,49	60,2	0,043	25,8	8,3	10,0
	5÷10	1,83	16,1	0,19	32,3	0,025	13,0	8,0	23,0
	10÷20	1,71	23,2	0,15	0,0	0,017	0,0	8,8	0,0
	20÷30	1,60	22,2	0,12	0,0	0,017	0,0	9,3	12,4
Modrzew	0łfh	27,19	12,0	n.o.	–	0,660	12,5	–	–
	0÷5	2,69	7,3	0,35	14,2	0,061	70,5	8,5	11,7
	5÷10	2,10	4,8	0,22	13,3	0,025	57,5	8,8	11,2
	10÷20	1,66	7,1	0,15	0,0	0,017	0,0	8,8	0,0
	20÷30	1,75	4,1	0,15	0,0	0,013	13,3	8,8	0,0

n.o. – nie oznaczono

Próchnica nadkładowa wykazywała wyraźnie wyższe zakwaszenie niż poziomy mineralne badanych profili glebowych. Wartości jej pH w KCl kształtowały się na poszczególnych powierzchniach od 5,8 do 6,4 i były o 1,0÷1,7 jednostki niższe niż w utworach mineralnych z głębokości 20÷30 cm (tab. 4). Rozpatrując wpływ objętych badaniami gatunków drzew na odczyn poziomu Olfh, można stwierdzić, że najniższe pH wykazywała ektopróchnica z powierzchni porośniętej sosną (5,8), najwyższe zaś – z powierzchni porośniętych brzozą (6,4).

**Tabela 4.** Podstawowe właściwości chemiczne gleby inicjalnej z powierzchni badawczych na hałdzie RG – 8 lat od wprowadzenia nasadzeń

Powierzchnia	Warstwa [cm]	pH		Przewodn. elektrolit. wł. [μS/cm]	CaCO <sub>3</sub> [%]	Składniki przyswajalne [mg/100 g]		
		H <sub>2</sub> O	KCl			P	K	Mg
Olsza	Olfh	6,4 (6,3÷6,5)	6,2 (6,1÷6,3)	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	0÷5	7,3 (7,3÷7,3)	7,1 (7,1÷7,1)	127	2,5	4,0	14,4	11,1
	5÷10	7,5 (7,5÷7,6)	7,3 (7,1÷7,4)	114	3,2	4,5	10,1	9,6
	10÷20	7,8 (7,8÷7,8)	7,4 (7,3÷7,5)	98	3,0	4,6	6,8	8,5
	20÷30	7,8 (7,7÷7,9)	7,4 (7,3÷7,4)	103	3,8	4,1	7,8	11,4
Brzoza	Olfh	6,5 (6,4÷6,5)	6,4 (6,3÷6,4)	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	0÷5	7,4 (7,3÷7,4)	7,1 (7,1÷7,1)	125	1,9	6,6	13,8	8,6
	5÷10	7,5 (7,4÷7,6)	7,3 (7,2÷7,4)	113	2,4	4,7	9,8	6,2
	10÷20	7,7 (7,6÷7,7)	7,4 (7,3÷7,5)	104	2,4	4,5	6,7	5,8
	20÷30	7,7 (7,6÷7,8)	7,4 (7,4÷7,4)	100	2,4	4,6	7,2	7,7
Sosna	Olfh	6,1 (5,6÷6,4)	5,8 (5,1÷6,2)	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	0÷5	7,5 (7,3÷7,6)	7,2 (7,2÷7,3)	125	3,0	4,8	11,2	9,4
	5÷10	7,7 (7,6÷7,9)	7,4 (7,3÷7,4)	110	3,0	4,5	8,7	8,9
	10÷20	7,8 (7,7÷7,9)	7,4 (7,4÷7,5)	113	2,9	4,4	8,0	10,5
	20÷30	7,9 (7,7÷8,0)	7,5 (7,4÷7,5)	104	2,9	4,0	7,8	11,1
Modrzew	Olfh	6,3 (6,2÷6,4)	6,0 (5,8÷6,2)	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	0÷5	7,6 (7,6÷7,7)	7,2 (7,2÷7,2)	131	1,9	5,9	16,8	9,4
	5÷10	7,8 (7,7÷7,8)	7,4 (7,3÷7,4)	117	2,3	6,4	10,5	7,2
	10÷20	7,9 (7,9÷7,9)	7,5 (7,4÷7,5)	101	2,3	4,4	8,3	6,4
	20÷30	7,9 (7,8÷7,9)	7,5 (7,4÷7,5)	110	2,4	4,3	7,9	9,7

n.o. – nie oznaczono

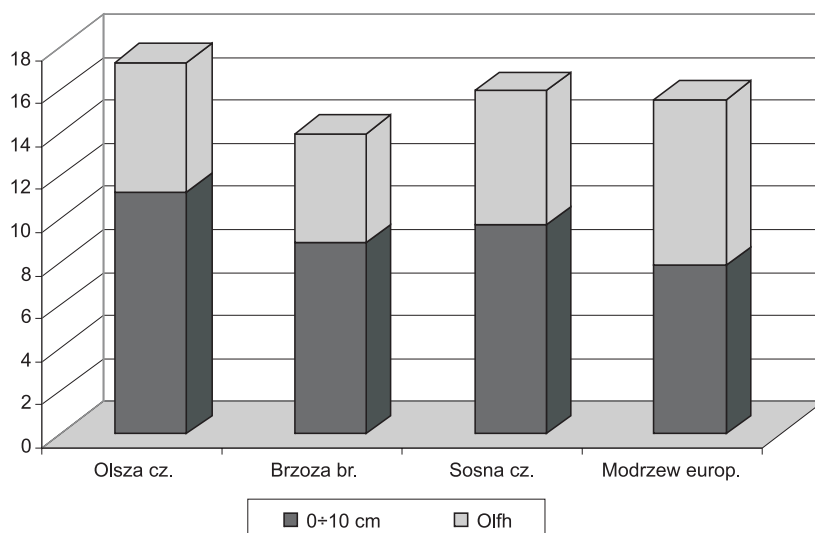
Analiza zawartości wybranych składników alkalicznych wskazuje, że ektopróchnica zawierała ich na ogół mniej w porównaniu z warstwami mineralnymi. Pomimo to jest ona niewątpliwie znaczącym ich rezerwuarem. Wyliczenia wykonane na podstawie całkowitej zawartości składników (tab. 5) wykazują, że na powierzchni 1 ha zawiera ona około: 210÷290 kg Ca, 45÷86 kg Mg i 46÷107 kg K.

**Tabela 5.** Zawartość [mg/kg] podstawowych składników alkalicznych w różnych wyciągach w utworach profili glebowych objętych badaniami powierzchni na hałdzie RG – 8 lat od wprowadzenia nasadzeń

Powierzchnia	Warstwa [cm]	Na		K		Mg		Ca	
		CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	HClO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	HClO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	HClO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	HClO <sub>4</sub>
Olsza	Olfb	n.o.	127	n.o.	2807	n.o.	3403	n.o.	16260
	0÷5	11	183	119	4603	202	3443	8910	13040
	5÷10	12	187	78	5257	198	3903	10660	15713
	10÷20	11	177	60	4437	223	3457	10930	14223
Brzoza	20÷30	13	203	71	4940	249	3800	13110	17627
	Olfb	n.o.	200	n.o.	3253	n.o.	4213	n.o.	11843
	0÷5	11	187	121	4757	147	3397	8580	11327
	5÷10	12	183	85	4923	125	3513	10200	14683
Sosna	10÷20	10	193	58	4193	133	3147	9300	12397
	20÷30	11	173	68	4413	187	3400	9760	12067
	Olfb	n.o.	113	n.o.	3133	n.o.	3200	n.o.	14600
	0÷5	17	187	96	4410	205	4017	8580	14873
Modrzew	5÷10	17	183	73	4363	221	4147	9430	16193
	10÷20	15	173	67	4543	225	3727	8670	13140
	20÷30	17	170	56	4503	204	3930	7770	14657
	Olfb	n.o.	140	n.o.	3047	n.o.	3777	n.o.	10177
Modrzew	0÷5	18	213	137	5827	165	4097	6950	12420
	5÷10	19	210	82	5080	134	3683	7340	12703
	10÷20	14	160	58	3377	120	2987	6970	10557
	20÷30	17	173	63	4470	167	3407	7810	10483

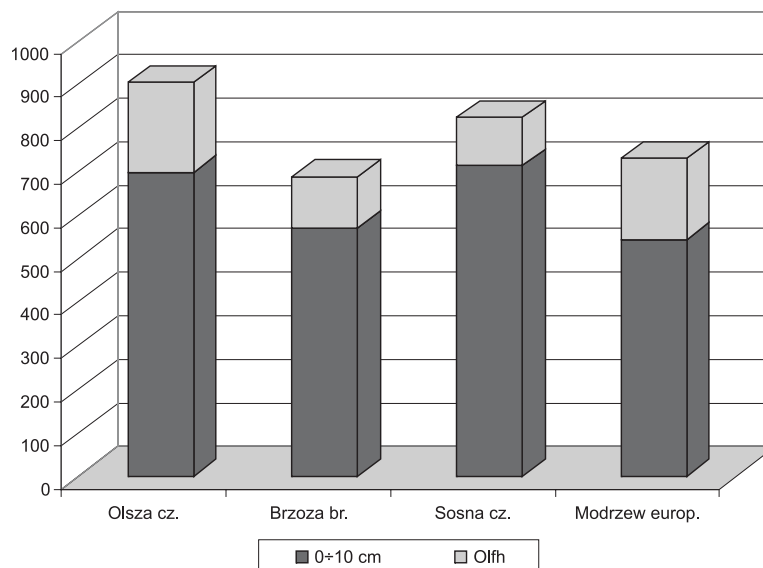
n.o. – nie oznaczono

Z czterech badanych warstw mineralnych tylko dwie przypowierzchniowe (0÷5 i 5÷10 cm) wykazywały większą zawartość substancji organicznej: C org. i N og., w stosunku do średniej zawartości tych składników w utworze nawiezionym podczas rekultywacji [13]. Najwyższą zawartością C org. i N og. charakteryzowała się warstwa 0÷5 cm spod olszy (odpowiednio 0,57% i 0,065%), nieco mniejszą – warstwa spod sosny (0,49% C org. i 0,043% N og.) oraz spod brzozy (0,43% C org. i 0,061% N og.), wyraźnie najmniejszą – warstwa spod modrzewia (0,35% C org. i 0,043% N og.). W warstwie 5÷10 cm zawartość obydwu tych składników kształtowała się na zbliżonym poziomie pod wszystkimi badanymi gatunkami drzew (0,19÷0,25% C org. i 0,023÷0,025 N og.) i była nieznacznie tylko wyższa niż w warstwach głębszych (tab. 3). Średni zapas materii organicznej w inicyjalnej glebie do głębokości 10 cm (łącznie próchnica nadkładowa i warstwy mineralne) był najwyższy na powierzchniach z olszą i wynosił ponad 17,3 Mg/ha (rys. 1).



**Rys. 1.** Zapas materii organicznej [Mg/ha] w inicyjalnych glebach powierzchni badawczych na hałdzie RG w ZG „Rudna” po 8 latach od wprowadzenia nasadzeń

Wyraźnie niższą ilość materii organicznej stwierdzono w glebie pod modrzewiem (15,6 Mg/ha), a najmniejszą pod brzozą (nieco poniżej 14 Mg/ha) i sosną (około 11,5 Mg/ha). Na powierzchniach z olszą, brzozą i sosną około 2/3 tego zapasu zostało nagromadzone w warstwach mineralnych, natomiast w glebie pod modrzewiem znajdował się on po połowie w ektopróchnicy i warstwach mineralnych (rys. 1). Analogicznie przedstawia się sytuacja z zapasem azotu ogólnego, którego ilość waha się od około 690 kg/ha pod brzozą do 905 kg/ha pod olszą, z tym że w każdym przypadku przeważająca część tego zapasu występowała w mineralnej części profilu (rys. 2).



**Rys. 2.** Zapas azotu ogólnego [kg/ha] w inicjalnych glebach powierzchni badawczych na hałdzie RG w ZG „Rudna” po 8 latach od wprowadzenia nasadzeń

Największe zmiany podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych w objętych badaniami glebach zaznaczyły się, podobnie jak w przypadku akumulacji materii organicznej, w warstwie do głębokości 5 cm. Nastąpiła niewielka, ale już możliwa do stwierdzenia na drodze analitycznej, zmiana gęstości objętościowej utworu glebowego w tej warstwie o  $0,06 \pm 0,15 \text{ g/cm}^3$  w stosunku do warstwy  $10 \div 20 \text{ cm}$  (tab. 3). Zaznaczyła się przy tym wyraźna zależność pomiędzy wartościami tej cechy a wielkością akumulacji materii organicznej.

Rozpatrując wartości pH warstw mineralnych, można stwierdzić wyraźne ich obniżenie tylko w warstwie  $0 \div 5 \text{ cm}$ , o ok. 0,3 jednostki (w KCl) w stosunku do warstwy  $10 \div 30 \text{ cm}$  oraz minimalne w warstwie  $5 \div 10 \text{ cm}$  (o ok. 0,1) (tab. 4). Procesowi stopniowego wzrostu zakwaszenia w warstwach przypowierzchniowych sprzyja niewątpliwie sukcesywny ubytek węglanów, w wyniku rozkładu i przemieszczania do warstw głębszych. W warstwie  $0 \div 5 \text{ cm}$  stwierdzono ich około 0,7% mniej w porównaniu z warstwami zalegającymi głębiej (tab. 4). Proces ten znajduje również potwierdzenie w wynikach oznaczeń całkowitej zawartości Ca oraz w wyciągu 1 M octanu amonu (tab. 5).

Niewątpliwym efektem zachodzących przemian, szczególnie zaś akumulacji produktów przemian materii organicznej oraz procesów wietrzeniowych mineralnego tworzywa glebowego, jest wzrost zasobności wierzchnich warstw mineralnych w składniki pokarmowe roślin, szczególnie potas i magnez (tab. 5).

## 5. Dyskusja

W efekcie prawidłowo przeprowadzonych zabiegów rekultywacyjnych na objętej badaniami hałdzie RG występują aktualnie wielogatunkowe, zwarte na przeważającej powierzchni, dynamicznie przyrastające młodniki, pod którymi stopniowo powstaje gleba – podstawowy element odtwarzanego ekosystemu leśnego [13]. Procesom glebotwórczym sprzyjają korzystne właściwości fizyczne i chemiczne nawiezionych utworów, pełniących rolę skały macierzystej odtwarzanych gleb, jak również odpowiednio dobrany skład gatunkowy zalesień o funkcjach fitomelioracyjnych, biocenotycznych i produkcyjnych.

Uzyskane wyniki badań wskazują na dynamiczny przebieg procesów glebowych, dowodzi tego kształtowanie się charakterystycznych dla inicjalnych gleb leśnych poziomów akumulacji, zawierających znaczne ilości zasobnej w azot materii organicznej. Coroczne wzbogacanie inicjalnej gleby w substancję organiczną, zwłaszcza jeżeli jest zasobna w azot, stanowi bardzo istotny czynnik aktywizowania procesów glebotwórczych [2, 3, 5, 9, 12]. Po 8 latach wzrostu zalesień zasięg zmian, dających się określić w obrazie morfologicznym profili glebowych i analitycznie, obejmuje warstwę ok. 10 cm, wykazując największą ich dynamikę w warstwie 0÷5 cm. Według doniesień literaturowych dla gleb kształtujących się na terenach rekultywowanych po okresie 15÷25 lat od wprowadzenia zalesień, strefa wyraźnych zmian właściwości fizycznych i chemicznych w profilu glebowym nie przekracza 20 cm [5, 6, 12, 15].

Najbardziej znaczące zmiany w badanych glebach dotyczą akumulacji materii organicznej i azotu, przy czym stwierdzono zróżnicowanie pod tym względem w zależności od składu gatunkowego zalesień. Największą dynamikę tego procesu stwierdzono w glebie pod olszą czarną, która dzięki swoim biologicznym właściwościom, przewyższa inne gatunki drzew leśnych pod względem ilości opadu zasobnej w azot ścióły [1]. Głównie z uwagi na te cechy jest ona wprowadzana w składzie zalesień na licznych, rekultywowanych obiektach przemysłowych jako cenna roślina fitomelioracyjna [14]. Mimo krótkiego okresu wzrostu nasadzeń (8 lat) średnioroczny przyrost C org. w warstwie 0÷5 cm na powierzchni pod olszą wynosił 0,07%, natomiast w warstwie 0÷10 cm – 0,04%. Bardzo zbliżone wartości stwierdzono w warstwie 0÷20 cm powierzchni z 25-letnimi nasadzeniami olszy na zwałowisku KWB „Adamów” [14] oraz na zalesionych gruntach porolnych Bieszczadów [1]. W przypadku powierzchni zalesionych pozostałymi gatunkami docelowymi, tj. brzozą brodawkowatą, modrzewiem europejskim i sosną czarną, średnia, roczna akumulacja C org. i N og. w warstwie 0÷5 cm kształtowała się na poziomie o 20÷30% niższym. Mimo to stwierdzona akumulacja materii organicznej i azotu pod sosną czarną na hałdzie RG przewyższała, w warstwie 0÷10 cm, stwierdzoną przez Węgorka [12] pod 15-letnią sosną zwyczajną na glebie piasz-

czystej zwałowiska kopalni siarki. Korzystnie przebiegające procesy akumulacji i przemian materii organicznej na hałdzie RG są niewątpliwie wynikiem coraz sprawniej działającego obiegu składników w układzie gleba – roślina.

Wraz z postępującym procesem akumulacji materii organicznej zaznaczyły się trendy zmian również innych właściwości fizycznych i chemicznych objętych badaniami inicjalnych gleb. Wyjściowo alkaliczny odczyn tworzywa glebowego uległ w warstwie 0÷5 cm zmianie do obojętnego. Zjawisko obniżania się pH utworów alkalicznych jest niezwykle istotne z punktu widzenia powstawania warunków korzystnych dla rozwoju mikroorganizmów charakterystycznych dla gleb leśnych oraz przyswajalności składników pokarmowych [9]. Wpływ na ten proces miał głównie dopływ, działających zakwaszająco, produktów przemian materii organicznej, jak również zjawisko przemieszczania się składników alkalicznych w głąb profilu glebowego. Wielkość zmian pH badanych gleb była niższa od odnotowanej na powierzchniach zbudowanych z utworów lekkich w wyrobisku kopalni piasku, po 10 latach od wykonana zalesień [6]. Małe tempo zakwaszania się wierzchnich warstw gleby na badanym obiekcie można wytłumaczyć znaczną zawartością działających buforująco węglanów wapnia.

Korzystne tendencje, zachodzące w objętych badaniami inicjalnych glebach, dotyczą również wzrostu zasobności w składniki pokarmowe wierzchniej, 10-centymetrowej warstwy gleby. Wpływ na to miały niewątpliwie akumulacja i przemiany materii organicznej oraz wzrost przyswajalności składników w wyniku zmiany odczynu.

Podsumowując, można stwierdzić, że uzyskane wyniki badań, ze względu na zaledwie 8-letni okres, jaki upłynął od wykonania nasadzeń rekultywacyjnych na hałdzie RG, pozwalają jedynie określić symptomy i kierunki zmian niektórych właściwości fizycznych i chemicznych tworzącej się w procesie rekultywacji inicjalnej gleby. Charakter tych procesów świadczy jednak o stopniowej przemianie surowych utworów mineralnych w inicjalną glebę leśną.

## 6. Wnioski

Przeprowadzone na hałdzie RG badania inicjalnych gleb, po 8 latach od wykonania zabiegów rekultywacyjnych i zalesienia, pozwalają na sformułowanie następujących uogólnień i wniosków:

1. Hałda RG stanowi aktualnie teren z harmonijnie rozwijającym się ekosystemem leśnym, charakteryzującym się wielogatunkowymi, zwartymi na przeważającej powierzchni i dynamicznie przyrastającymi młodnikami, pod którymi stopniowo odtwarza się gleba – podstawowy element ekosystemu leśnego.

2. Dające się stwierdzić w profilach glebowych zmiany właściwości fizycznych i chemicznych występują w strefie do 10 cm, wykazując największą intensywność w warstwie 0÷5 cm, co jest charakterystyczne dla początkowej fazy rozwoju gleby na terenach rekultywowanych.
3. Znaczące trendy zmian dotyczyły: akumulacji materii organicznej i azotu, odczynu, gęstości objętościowej oraz zasobności w składniki pokarmowe.
4. Na obecnym etapie rozwoju inicjalnej gleby wpływ składu gatunkowego zalesień uzewnętrznił się w sposób jednoznaczny tylko w odniesieniu do akumulacji materii organicznej i azotu.

## Literatura

- [1] Brożek S.: *Przekształcanie górskich gleb porolnych przez olszę szarą*. Kraków, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej, nr 194, 1993
- [2] Gilewska M.: *Rekultywacja biologiczna gruntów pogórnich na przykładzie KWB „Konin”*. Roczniki AR w Poznaniu, rozprawy naukowe, nr 211, 1991
- [3] Gołębiowska J., Bender J.: *Czynniki warunkujące powstawanie poziomu próchnicznego w procesie rekultywacji zwałowisk*. Arch. Ochr. Środowiska, 1-2, 1983, 65-75
- [4] Kowalik S., Krzaklewski W., Wójcik J.: *Projekt etapu technicznego i biologicznego rekultywacji uzupełniającej hałd R-VII, R-VIII i R-G w ZG „Rudna”*. Kraków, Archiwum Zakładu Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH 1994
- [5] Kowalik S.: *Właściwości chemiczne gleb przemysłowych użytkowanych rolniczo i leśniczo na zrehabilitowanym zwałowisku Kopalni Siarki „Machów”*. Roczn. Gleb., t. LV, nr 2, 2004, 239-249
- [6] Kowalik S., Wójcik J.: *Symptomy rozwoju procesu glebotwórczego pod zalesieniami rekultywacyjnymi na spągu wyrobiska kopalni piasku „Szczakowa”*. Kraków, Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska, t. 10, z. 2, 2005
- [7] Krzaklewski W., Miłkaszewski A.: *Rekultywacja zwałów nadkładu w górnictwie węgla brunatnego w Polsce*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 79, 1996, 215-218
- [8] Mucha W., Sienkiewicz A., Cichocka I.: *Wpływ różnych sposobów przygotowania gleb w ekosystemie leśnym na przemiany materii organicznej*. Roczn. Gleb., t. XXXVII, nr 2-3, 1986
- [9] Pokojska U.: *Rola próchnicy w kształtowaniu odczynu, właściwości buforowych i pojemności jonowymiennej gleb leśnych*. Roczn. Gleb., t. XXXVII, nr 2-3, 1986
- [10] Rumpel C., Kögel-Knabner I., Hüttl R.F.: *Organic matter composition and degree of humification in lignite-rich mine soils under a chronosequence of pine*. Plant and Soil, 213, 1999, 161-168

- [11] Skawina T., Wąchalewski T.: *Powstawanie próchnicy w wyniku biologicznej rekultywacji gleb na terenach pogórnicych*. XIX Ogólnopolski Zjazd Naukowy P. T. Gleb, Katowice – Kraków – Puławy 1972
- [12] Węgorzek T.: *Zmiany niektórych właściwości materiału ziemnego i rozwój fitocenozy na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Siarki w wyniku leśnej rekultywacji docelowej*. Rozprawy Naukowe AR w Lublinie, nr 275, 2003
- [13] Wójcik J., Kowalik S.: *Ocena efektywności rekultywacji leśnej hałd skał odpadowych w Zakładach Górniczych Miedzi „Rudna”*. Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska, t. 8, z. 2, 2002
- [14] Wójcik J.: *Biodynamiczna metoda leśnej rekultywacji na przykładzie zboczy zwałowiska Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”*. Kraków, Arch. Zakładu Kształtowania i Ochrony Środowiska WGGiS AGH 2002 (rozprawa doktorska)
- [15] Wójcik J.: *Kształtowanie się wybranych właściwości fizycznych inicjalnych gleb na zwałowisku zewnętrznym KWB „Adamów”*. Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska, t. 8, z. 2, 2003