



# **Wpływ aktywności termicznej zwałowiska odpadów węgla kamiennego na rozwój roślinności**

*Ewelina Zajęc, Jan Zarzycki*  
*Uniwersytet Rolniczy, Kraków*

## **1. Wstęp**

Składowiska odpadów górnictwa węgla kamiennego zajmują duże powierzchnie, przekształcają krajobraz i wywierają negatywny wpływ na podstawowe komponenty środowiska przyrodniczego – glebę, wody i powietrze. W przeszłości odpady pogórniczne usypywane były głównie w formie wysokich zwałowisk nadpoziomowych, o kształcie stożkowym. Są one szczególnie uciążliwe ze względu na dużą ekspozycję na działanie słońca, wiatru oraz powietrza. Pomimo ich dużej podatności na samozapłon, nie stosowano wówczas żadnej profilaktyki przeciwpożarowej [16].

Zjawiska termiczne prowadzące do samozapalenia odpadów węglowych są wypadkową wielu czynników, między innymi składu petrograficznego (domieszka składników palnych, głównie węgla i piritu), uziarnienia, swobody wnikania powietrza do wnętrza obiektu i możliwość akumulacji w nim ciepła [4, 23]. Według szacunków Dulewskiego i innych [4] na terenie naszego kraju problem zagrożenia zjawiskami termicznymi dotyczy około połowy ilości odpadów wydobywczych pochodzących z górnictwa węgla kamiennego (około 30 mln Mg), a w ostatnim dziesięcioleciu odnotowano co najmniej 21 przypadków pożarów, głównie endogenicznych. Dotyczy to także obiektów zrekułtywowanych.

Podstawowym kierunkiem rekułtywacji terenów pogórnicznych w Polsce jest ich zalesienie lub zadrzewienie. W ocenie warunków wyjściowych do rekułtywacji biologicznej ważnym wskaźnikiem jest roślinność samoistnie wkraczająca na dany obiekt. Roślinność ta pełni funkcję indykatora, dostarcza informacji o warunkach siedliskowych oraz pozwa-

la określić kierunki ich zmian [7, 15]. Obserwacja samorzutnej sukcesji, a także zmian zachodzących w składzie gatunkowym roślinności wprowadzonej w ramach rekultywacji daje możliwość doboru gatunków najlepiej przystosowanych do danego siedliska. Rekultywacja może być wówczas prowadzona z wykorzystaniem metod opartych na współpracy z przyrodą [7]. Rozwój roślinności jest nieodłącznie związany z warunkami siedliskowymi. Na terenach przemysłowych Właściwości podłoża mogą jednak znacząco odbiegać od właściwości gleb na obszarach rolnych lub leśnych, co stwarza problemy w ich biologicznej rekultywacji i zagospodarowaniu. W swoich badaniach nad rozwojem procesów glebotwórczych na zwałowiskach odpadów pogórnich, Skawina [24] jako jeden z czynników glebotwórczych uznaje czynność termiczną zwałów. Celem pracy było dokonanie oceny wpływu aktywności termicznej hałdy pogórnich na zróżnicowanie składu gatunkowego roślinności w aspekcie jej przystosowania się do nowych warunków.

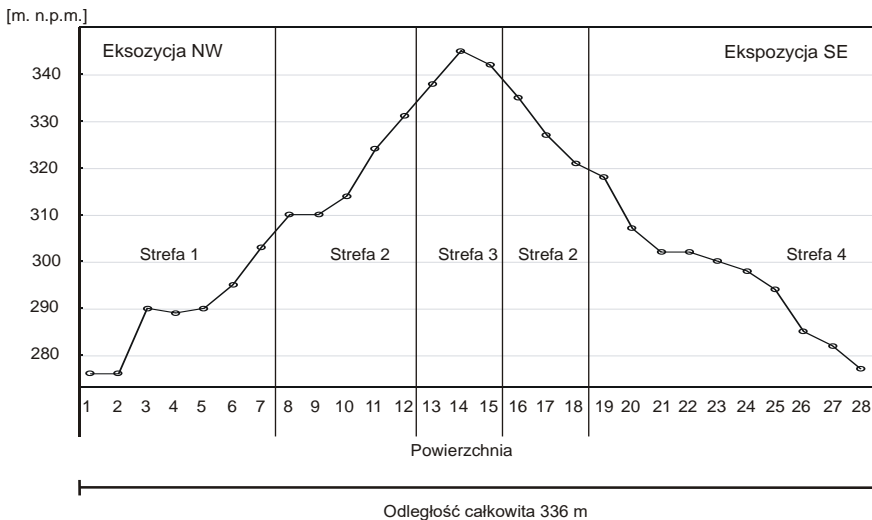
## **2. Materiały i metody**

Składowisko odpadów pokopalnianych znajdujące się na terenie gminy i miasta Czerwionka – Leszczyny, powiat rybnicki, województwo śląskie jest pozostałością po działającej w latach 1898–2000 kopalni węgla kamiennego „KWK Dębieńsko”. Składowisko tworzyło pięć hałd stożkowych, osadniki mułowe oraz zwał płaski. Hałdy stożkowe osiągnęły wysokość bezwzględną 351 m n.p.m., a wysokość względna najwyższej z nich to około 75 m. Składowano tu odpady powęglowe pochodzące z procesu wydobywczego (kamień z pomieszanymi drobnymi frakcjami węgla) oraz odpady przeróbcze (kamień popłuczkowy oraz muły zgromadzone w osadnikach). W strukturze odpadów przeważały odpady gruboziarniste, a drobnoziarniste stanowiły około 10% ogólnej ich ilości. Pod względem petrograficznym dominują skały ilaste zwięzłe, kaolinitowo-serycytowo-kwarcowe (średnio 72,2%) oraz kaolinitowe z pasemkami węgla (średnio 17,6%). W składzie mineralnym przeważają kaolinit, illit i mieszane warstwy illitowo-montmorillonitowe. Główną postacią występowania siarki w odpadach jest piryt, który w składzie chemicznym odpadów stanowi 0,9%. Domieszka węgla kamiennego w odpadach szacowana jest na 10–12% [3]. Obecnie dwa stożki są rozbierane w celu odzysku znajdującego się w odpadach węgla, a także materiału do budowy dróg i autostrad. Odpowiada to aktualnym tendencjom w zago-

spodarowaniu odpadów górnictwa węgla kamiennego zmierzającym do ich gospodarczego wykorzystania [1]. Pozostałe stożki zostały zrehabilitowane. Według uzyskanych informacji wiadomo, że w latach 80. XX w. na hałdach wykonano nasadzenia drzew i krzewów, brak jednak dokładnych danych na ten temat.

Według podziału dokonanego przez Wosia [29] pod względem klimatycznym badany obszar znajduje się w regionie górnośląskim. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi tu  $8,1^{\circ}\text{C}$ , a roczna amplituda  $19,9^{\circ}\text{C}$ . Średnia roczna suma opadu to 675 mm. Okres wegetacyjny trwa około 194 dni.

Badania podłoża odpadowego oraz roślinności na terenie termicznie czynnej hałdy stożkowej (N  $50^{\circ}9'34,42''$ ; E  $18^{\circ}40'45,33''$ ) prowadzono w latach 2009–2011. W transekcie wysokościowym w kierunku NE-SW wyznaczono systematycznie co 12 m 28 powierzchni badawczych (rys. 1), każda o powierzchni  $100\text{ m}^2$  ( $10 \times 10\text{ m}$ ).



**Rys. 1.** Rozmieszczenie powierzchni badawczych w gradiencie wysokościowym i zasięgu wyznaczonych stref

**Fig. 1.** Distribution of plots in altitude gradient and range of delimited zones

W miesiącach styczeń, kwiecień i czerwiec w poziomie 0–10 cm mierzono temperaturę podłoża (3 powtórzenia). W celu określenia właściwości podłoża z każdej z wydzielonych powierzchni pobrano materiał do badań laboratoryjnych. Próby pobierano jako próby mieszane z trzech

powtórzeń z głębokości: 0–10 cm, 10–30 cm i 30–50 cm. Analizy laboratoryjne obejmowały:

- skład granulometryczny – metoda areometryczna według Prószyńskiego (PN-R-04032),
- pH w H<sub>2</sub>O i 1 M KCl – metoda potencjometryczna (stosunek gleba : roztwór 1:2,5),
- wskaźnik plastyczności ( $I_p$ ) – jako różnicę pomiędzy granicą płynności i plastyczności [8],
- przewodność elektryczną właściwą (EC) – metoda konduktometryczna (stosunek gleba : roztwór 1:2,5),
- zawartość węglanu wapnia (CaCO<sub>3</sub>) – metoda Scheiblera,
- całkowitą kationową pojemność sorpcyjną (CEC) – metoda sorpcji błękitu metylenowego [14].

Na podstawie wykonanych oznaczeń określono klasę przydatności gruntu do rekultywacji według oceny punktowej tzw. liczby bonitacyjnej (LB) [25]. Na liczbę bonitacyjną składają się cztery odpowiednio punktowane wskaźniki. Określana jest ona na podstawie: składu granulometrycznego (wskaźnik litologiczny  $W_L$ ), zawartości węglanów (wskaźnik wapniowy  $W_{Ca}$ ), pojemności sorpcyjnej (wskaźnik sorpcji  $W_{So}$ ) i wskaźnika plastyczności (wskaźnik spoistości  $W_{Sp}$ ). Zaletą metody jest względna stabilność oznaczanych wskaźników, a także potwierdzona w praktyce duża uniwersalność i przydatność w fazie rozpoznania warunków do rekultywacji biologicznej [15].

Na każdej powierzchni badawczej dokonano w okresie pełnego rozwoju roślinności (czerwiec 2010) inwentaryzacji roślinności. Oszacowano procent pokrycia powierzchni przez rośliny w poszczególnych warstwach: a – warstwa drzew (ponad 6 m), b – warstwa krzewów i podrostu (2–6 m), c – warstwa zielna (do 2 m) oraz warstwa d – warstwa mszaków. W warstwie c uwzględniono także siewki i formy młodociane drzew do 2 m wysokości. W warstwie tej spotyka się jedynie gatunki pojawiające się spontanicznie, a więc ich występowanie odzwierciedla występujące na danej powierzchni warunki siedliskowe. Dlatego wartości procentowego pokrycia powierzchni przez poszczególne gatunki w warstwie c zostały wykorzystane do przeprowadzenia numerycznej klasyfikacji powierzchni przy zastosowaniu programu TWINSPAN [6]. Na tej podstawie wydzielono trzy strefy o zróżnicowanej roślinności oraz czwartą, strefę ekshalacyj-

na termicznie czynnej hałdy, na której roślinność nie występuje. Rozmieszczenie i zasięg wydzielonych stref przedstawiono na rysunku 1. Dla drzew określano wysokość oraz obwód pnia na wysokości 130 cm (pierśnica). Na tej podstawie przy użyciu wzorów empirycznych [27] obliczono ich miąższość. Dla każdego gatunku roślin w poszczególnych warstwach wyliczono stałość występowania, czyli procent powierzchni badawczych w każdej strefie, na których występował dany gatunek.

Analizę statystyczną wpływu czynników środowiskowych na zróżnicowanie powierzchni pod względem składu gatunkowego warstwy c dokonano metodami analizy wielocechowej. Zastosowano nietendencyjną analizę zgodności (DCA) przy użyciu programu CANOCO ver. 4.5 [28] porządkującą gatunki, powierzchnie i zmienne środowiskowe wzdłuż osi. Długość gradientu wyrażona w jednostkach odchylenia standardowego obliczana jest przez nieliniowe przeskalowanie każdej osi i wyraża wymianę gatunków względem osi. Spośród zmiennych środowiskowych analizowanych w badaniach (tab. 1) uwzględniono tylko te, co do których stwierdzono ich istotność statystyczną przy użyciu testu Monte Carlo.

### 3. Wyniki i dyskusja

Uziarnienie odpadów powęglowych wynika z zastosowanych metod udostępniania i eksploatacji złoża oraz technologii przeróbki surowca. W świeżych odpadach zazwyczaj przeważają części gruboziarniste, które z czasem w wyniku procesów mechanicznego rozdrabniania i wietrzenia ulegają rozpadowi na coraz mniejsze cząstki. Odpady powęglowe zalegające na zwałowiskach od 15 do 30 lat i dłużej, jak ma to miejsce w przypadku badanego obiektu, są bardzo zwietrzałe [23]. W składzie granulometrycznym badanego materiału we wszystkich z wydzielonych stref udział części szkieletowych ( $\emptyset > 2$  mm) rośnie wraz z głębokością (tab. 1). W strefie korzeniowej tj. na głębokości 0–10 cm, zawartość części szkieletowych jest mniej więcej równa zawartość części ziemistych ( $\emptyset < 2$  mm). Jedynie w strefie szczytowej (nr 4) stosunek ten jest inny, a średni udział części szkieletowych i ziemistych wynosi odpowiednio 67,2% i 32,8 %. Na głębokości 10–30 cm średnia zawartość szkieletu jest wyższa i waha się w granicach od 69,8% do 80,74%, a na głębokości 30–50 cm w zakresie od 71,2% do 82,75%. Najwyższe wartości odnotowano w strefie szczytowej. Wśród części ziemistych na wszystkich badanych głębokościach zdecydowanie przeważa frakcja piasku (65,5–71,5%). Frakcja pyłu stanowi od 22,1% do 24,7%, a iłu pomiędzy 6,3% a 11,3%.

**Tabela 1.** Wybrane właściwości badanego podłoża  
**Table 1.** Selected properties of investigated substratum

Parametr	Głębokość [cm]	strefa 1	strefa 2	strefa 3	strefa 4
		zakres (średnia)	zakres (średnia)	zakres (średnia)	zakres (średnia)
szkielet [%]	0–10	43–65 (51,25)	40–64 (55,32)	61–74 (67,19)	33–61 (49,53)
	10–30	67–74 (69,75)	69–82 (75,94)	79–82 (80,74)	65–75 (70,01)
	30–50	72–78 (74,37)	73–82 (78,96)	82–83 (82,75)	66–76 (71,19)
części ziemiste [%]	0–10	35–57 (48,75)	35–60 (44,68)	25–38 (32,81)	38–67 (50,47)
	10–30	26–33 (30,25)	17–30 (24,07)	18–21 (19,26)	24–35 (29,99)
	30–50	22–28 (25,63)	17–27 (21,04)	16–17 (17,25)	23–34 (28,81)
frakcje [%]					
2,00–0,05 mm	0–10	56–81 (70,43)	58–79 (69,75)	62–79 (67,67)	58–77 (68,50)
0,05–0,002 mm		17–30 (22,14)	16–31 (23,25)	18–29 (24,67)	17–29 (22,50)
<0,002 mm		2–14 (7,73)	4–11 (7,00)	3–11 (7,67)	6–13 (9,00)
2,00–0,05 mm	10–30	64–73 (69,43)	64–76 (71,50)	67–71 (69,33)	58–76 (65,60)
0,05–0,002 mm		19–24 (22,43)	18–25 (22,13)	23–25 (24,33)	22–25 (23,30)
<0,002 mm		6–13 (8,43)	4–11 (6,63)	6–8 (7,00)	2–19 (11,50)
2,00–0,05 mm	30–50	62–75 (70,43)	59–76 (70,00)	70–73 (71,67)	58–78 (67,90)
0,05–0,002 mm		20–24 (22,57)	20–25 (23,25)	21–24 (22,33)	20–24 (22,30)
<0,002 mm		4–14 (7,29)	2–16 (7,13)	5–8 (6,33)	0–19 (10,00)

**Tabela 1. cd.**  
**Table 1. cont.**

Parametr	Głębokość [cm]	strefa 1	strefa 2	strefa 3	strefa 4
		zakres (średnia)	zakres (średnia)	zakres (średnia)	zakres (średnia)
pH w H <sub>2</sub> O	0–10	4,06–5,05 (4,61)	3,90–4,61 (4,37)	3,80–4,29 (4,06)	3,85–5,44 (4,83)
	10–30	4,10–4,61 (4,36)	4,00–4,51 (4,34)	3,70–3,99 (3,88)	4,25–5,03 (4,63)
	30–50	4,00–4,81 (4,54)	4,18–4,89 (4,51)	3,72–3,80 (3,77)	3,94–5,05 (4,60)
pH w KCl	0–10	3,33–4,35 (3,88)	3,30–3,72 (3,54)	3,30–3,94 (3,54)	2,96–4,60 (4,00)
	10–30	3,46–3,91 (3,70)	3,44–3,94 (3,63)	3,24–3,68 (3,63)	3,42–4,15 (3,79)
	30–50	3,32–4,04 (3,80)	3,30–4,19 (3,82)	3,20–3,61 (3,69)	3,12–4,12 (3,77)
EC [mS cm <sup>-1</sup> ]	0–10	0,08–0,15 (0,11)	0,06–0,23 (0,11)	0,15–7,00 (2,52)	0,11–0,15 (0,13)
	10–30	0,08–0,22 (0,13)	0,08–0,27 (0,14)	0,40–5,00 (2,00)	0,12–0,24 (0,15)
	30–50	0,09–0,26 (0,15)	0,09–0,31 (0,19)	0,40–4,98 (2,00)	0,13–0,90 (0,26)
T [°C]	styczeń	2,4–4,0 (3,1)	3,5–8,8 (5,3)	10,1–25,0 (15,9)	2,5–4,1 (3,1)
	kwiecień	10,5–11,6 (10,9)	11,5–19,7 (5,2)	19,7–55,6 (34,1)	12,8–15,7 (13,8)
	czerwiec	16,2–18,8 (17,5)	19,4–27,2 (22,1)	50,4–73,5 (61,5)	18,5–20,9 (19,6)
CEC [cmol(+) kg <sup>-1</sup> ]	0–10	5,00–5,48 (5,06)	3,99–5,48 (4,76)	3,96–4,37 (4,18)	4,68–5,72 (5,21)
	10–30	5,48–5,97 (5,73)	4,15–5,89 (5,07)	4,15–5,31 (4,67)	4,44–5,75 (5,36)
	30–50	3,96–5,67 (4,82)	4,65–5,72 (5,24)	4,72–5,21 (4,97)	4,78–5,67 (5,50)

*Symbole: EC – electrical conductivity/przewodność elektryczna; T – temperature/temperatura; CEC – Cation Exchange Capacity/całkowita kationowa pojemność sorpcyjna*

Odczyn badanych odpadów jest silnie kwaśny (tab. 1). Wartości pH mierzone w KCl mieszczą się w zakresie od 3,12 do 4,60, a w 3,70 do 5,44. W warstwie 0–10 cm wartości pH były nieznacznie wyższe niż głębiej. Najniższe pH stwierdzono na szczycie stożka, w strefie występowania najwyższych temperatur. Świeże odpady powęglowe wykazują odczyn obojętny do zasadowego. Może się on jednak znacząco obniżać w warunkach dostępu powietrza, w którego obecności dochodzi do utleniania zawartego w odpadach pirytu [23], co z kolei może być jedną z przyczyn wystąpienia reakcji termicznej.

Obecność węglanów oznaczanych metodą Scheiblera nie była wykrywalna, co wskazuje że ich zawartość była niższa niż 1%. Brak węglanów świadczy o słabej buforowości gruntu i stanowi problem w utrzymaniu optymalnego odczynu.

Kompleks sorpcyjny zwałowanych odpadów tworzy się w miarę procesu wietrzenia fizycznego i chemicznego [26]. Oznaczone wartości całkowitej kationowej pojemności sorpcyjnej (CEC) wahały się pomiędzy 3,96 a 5,89  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$  gleby (tab. 1). Według klasyfikacji Lityńskiego [8] zdolności sorpcyjne badanego gruntu należy określić jako małe do średnich.

Wartości średnie przewodnictwa elektrycznego w zakresie 0,11 do 0,18  $\text{mS cm}^{-1}$ , wskazują na przemycie odpadów z nadmiaru soli przez infiltrujące wody opadowe do głębokości 50 cm (tab. 1). Odpady górnicze zdeponowane na składowisku charakteryzują się wysoką wodoprzepuszczalnością, co jest uwarunkowane dużą zawartością części gruboziarnistych. Umożliwia to swobodną infiltrację wód opadowych i wymywanie soli, takich jak chlorki i siarczany [3]. Toksyczne dla większości roślin wartości zasolenia, czyli ponad 2,0  $\text{mS cm}^{-1}$  [11] stwierdzono jedynie na szczycie, gdzie wynosiło ono 7  $\text{mS cm}^{-1}$  (strefa 4). Poziom zasolenia w tej strefie niewątpliwie związany jest z wytrącaniem się soli w warstwie powierzchniowej w wyniku zachodzącej w zgromadzonych odpadach powęglowych reakcji termicznej.

Pożary endogeniczne są efektem procesu samozagrzewania się obecnej w odpadach substancji węglowej lub np. pirytu, co prowadzi do samozapalania się materiału [23]. Proces ten powoduje wzrost temperatury zwałowiska. W tym przypadku zewnętrznym jej objawem jest wydobywanie się dymu. Temperatura zmierzona na szczycie badanego stożka w warstwie 0–10 cm w miesiącu czerwcu przekraczała 60°C. Najniższą temperaturę w tym miesiącu stwierdzono w strefie 1 – stok północny



(14,4°C), a wyższą w strefie 3 – stok południowy (19,6°C) oraz w strefie 2 (22,1°C) (tab. 1). Zaobserwowano również wzrost temperatury w warstwie powierzchniowej wraz z wysokością.

Na podstawie oznaczonych wskaźników, w oparciu o klasyfikację Skawiny i Trafas [25] badane grunty zaliczone zostały do klasy C. Oznacza to, że są to grunty wadliwe, nieprzydatne do rekultywacji rolnej, a do rekultywacji leśnej nadają się dopiero po częściowym ulepszeniu. Obliczona średnia wartość liczby bonitacyjnej (LB) dla badanych utworów wynosi 31 punktów i waha się pomiędzy 28 (strefa 3), a 33 punkty (strefa 4). Wartości poszczególnych wskaźników były słabo zróżnicowane i mieściły się w granicach: wskaźnik litologiczny ( $W_L$ ) od 15 do 26, wskaźnik sorpcji ( $W_{So}$ ) od 3 do 5, natomiast wartość wskaźnika wapniowy ( $W_{Ca}$ ) wynosiła 0, a wskaźnika plastyczności ( $W_{Sp}$ ) – 6.

Roślinność porastająca hałdę wykazuje znaczne zróżnicowanie fitozonomiczne i gatunkowe związane z temperaturą podłoża oraz ekspozycją stoku. Na powierzchniach badawczych stwierdzono występowanie 53 gatunków roślin naczyniowych: 15 gatunków leśnych i zaroślowych, 10 gatunków ruderalnych i 4 gatunków łąkowych. Pozostałe 24 gatunki nie miały jednoznacznej przynależności fitosocjologicznej. Takie zbiorowiska o niejednoznacznym charakterze fitosocjologicznym są typowe dla terenów poddanych silnym przekształceniom przez człowieka [15, 22]. Wśród gatunków porastających hałdę charakterystyczny jest duży udział gatunków drzewiastych i krzewiastych we wszystkich warstwach.

Gatunki wchodzące w skład drzewostanu są to gatunki zalecane do rekultywacji i biologicznego zagospodarowania odpadów górnictwa węgla kamiennego [26]. Obecność takich gatunków jak topola balsamiczna, czeremcha amerykańska, grab czy dąb czerwony wskazuje, że pochodzą one z nasadzeń celowych sprzed okresu aktywności termicznej. Pod względem miąższości w warstwie a zdecydowanie dominuje topola balsamiczna. Znacznie mniejszą miąższość osiągają kolejno brzoza brodawkowata, dąb szypułkowy i klon jawor (rys. 2). Warstwa b jest na większości powierzchni słabo wykształcona i składa się głównie z gatunków drzewiastych – osobników młodocianych lub form zdegenerowanych. Także w warstwie c stwierdzono bardzo obfite występowanie osobników młodocianych drzew. Gatunkami drzewiastymi pojawiającymi się najczęściej w warstwie c są: klon jawor, czeremcha amerykańska, jarzab pospolity, dąb czerwony (tab. 2). Spontaniczne rozprzestrzenianie się tych gatunków na zwałowiskach zaobserwował również Rostański

[22]. Z roślin zielnych najczęściej występuje trzcinnik piaskowy, gatunek który bardzo często opanowuje tereny silnie zdegradowane [22]. Na badanym obszarze pojawia się on z dużą stałością (tab. 2) lecz nie osiąga dużego pokrycia. Stosunkowo częste są także inne gatunki ruderalne: przytulia czepna i niecierpek drobnokwiatowy. Mszaki (warstwa d) osiąga duże pokrycie tylko na powierzchniach strefy drugiej od strony północnej (tab. 3).

**Tabela 2.** Częstotliwość występowania gatunków roślin w wydzielonych strefach  
**Table 2.** Frequency of occurrence of plant species in delimited zones

Gatunek	Strefa 1			Strefa 2			Strefa 4		
	Warstwa roślinności			Warstwa roślinności			Warstwa roślinności		
	c	b	a	c	b	a	c	b	a
<i>Acer pseudoplatanus</i>	57	29	14	13	13	8	100	90	
<i>Quercus robur</i>	14			25		13	80		50
<i>Carpinus betulus</i>	43		43				40	20	30
<i>Ligustrum vulgare</i>	29						40		
<i>Sorbus aucuparia</i>	86	14		38	25		30		
<i>Poa nemoralis</i>	57			13			20		
<i>Geum urbanum</i>	14						20		
<i>Populus tremula</i>			43		25		10	30	
<i>Impatiens parviflora</i>	100			13			40		
<i>Sambucus nigra</i>	100	71					10		
<i>Galium aparine</i>	100			38			50		
<i>Humulus lupulus</i>	86						50		
<i>Galinsoga parviflora</i>	86			13			10		
<i>Stellaria media</i>	71			13					
<i>Eupatorium cannabinum</i>	57			13			10		
<i>Solidago gigantea</i>	57			13			10		
<i>Aposeris foetida</i>	57			25			20		
<i>Quercus rubra</i>	57		14	25		13			10
<i>Stellaria nemorum</i>	43								
<i>Dryopteris filix-mas</i>	43								
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	29								
<i>Epilobium parviflorum</i>	29								
<i>Acer platanoides</i>	29			13					
<i>Symphoricarpos albus</i>	29			13					
<i>Larix europea</i>			43						

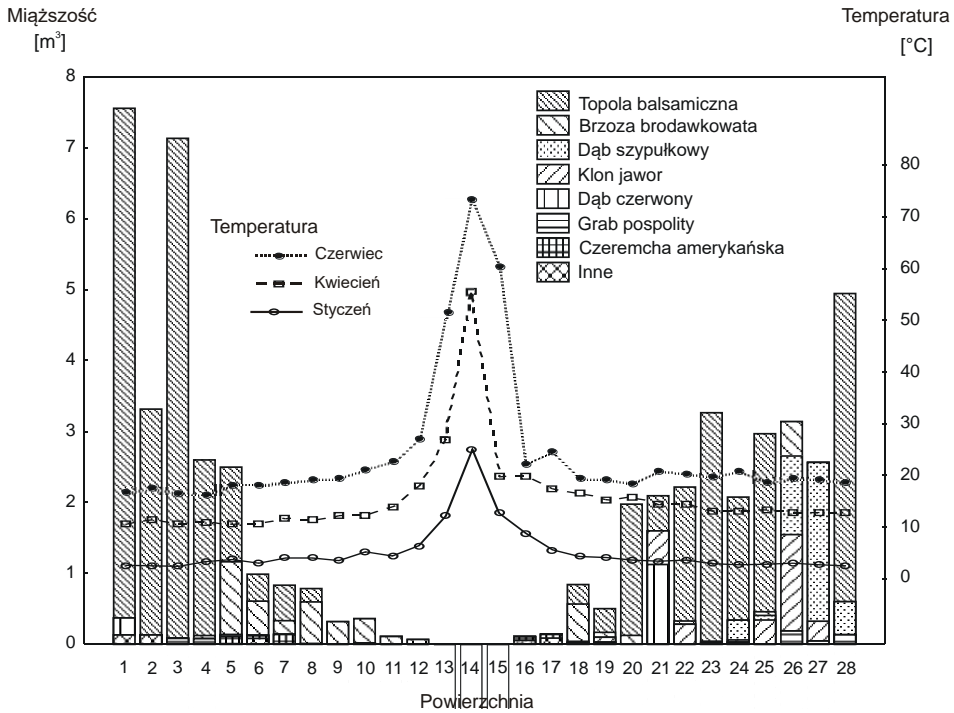
**Tabela 2. cd.**  
**Table 2. cont.**

Gatunek	Strefa 1			Strefa 2			Strefa 4		
	Warstwa roślinności			Warstwa roślinności			Warstwa roślinności		
	c	b	a	c	b	a	c	b	a
<i>Deschampsia flexuosa</i>				88			20		
<i>Prunus serotina</i>	71	43	57	88	38	38	80	50	20
<i>Calamagrostis epigeios</i>	57			75			70		
<i>Betula pendula</i>			57	63	50	75		30	60
<i>Bidens tripartita</i>	14			50			20		
<i>Robinia pseudacacia</i>				50	25	25			
<i>Holcus lanatus</i>	29			38			10		
<i>Rubus species</i>	29			38					
<i>Hypochoeris radicata</i>				38					
<i>Arrhenatherum elatius</i>	14			25			10		
<i>Pinus sylvestris</i>				25					
<i>Senecio jacobaea</i>				25			20		
<i>Lysimachia vulgaris</i>	14			13					

Gatunki występujące na jednej powierzchni badawczej/Plant species occurred in only one zone: Strefa (Zone) 1 – *Artemisia vulgaris*, *Festuca rubra*, *Malus sylvestris*, *Ribes uva-crispa*, *Tilia cordata*; Strefa (Zone) 2 – *Conyza canadensis*, *Spergula morisonii*, *Crataegus sp.*; Strefa (Zone) 4 – *Rumex sp.*, *Cirsium sp.*, *Viburnum opulus*, *Taraxacum officinale*, *Euonymus europea*

**Tabela 3.** Średnie pokrycie roślinności w wydzielonych strefach [%]  
**Table 3.** Mean vegetation cover in delimited zones [%]

Strefa	Warstwa roślinności			
	a	b	c	d
1	60	13	36	6
2	25	50	26	25
3	0	0	0	0
4	70	36	24	0

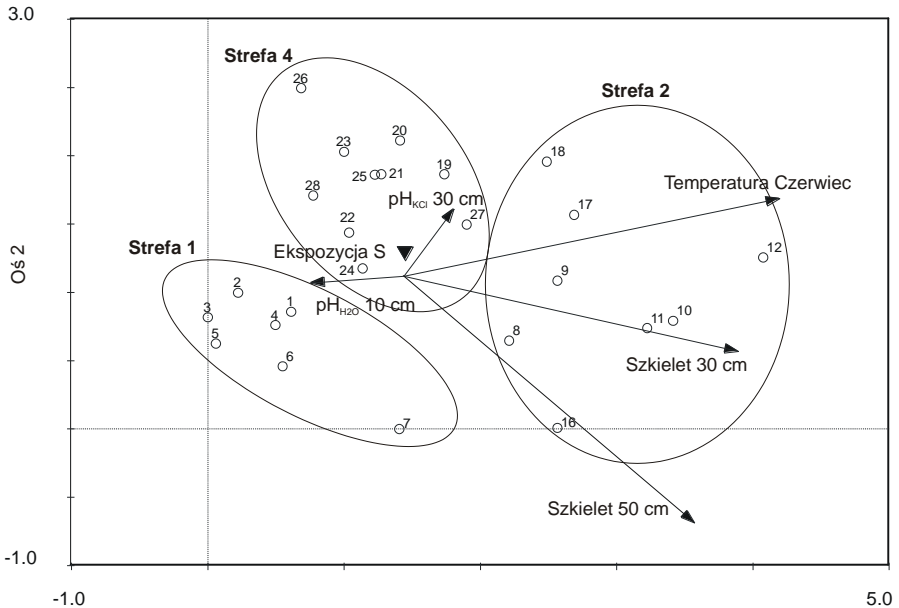


**Rys. 2.** Miąższość poszczególnych gatunków drzew oraz temperatura podłoża (0–10 cm) na powierzchniach badawczych

**Fig. 2.** Stand volume of tree species and temperature of ground (0–10 cm) on plots

W wydzielonych strefach 1 i 4 głównym czynnikiem różnicującym roślinność jest ekspozycja stoku (rys. 3). Podobną zależność stwierdzono także na innych rekultywowanych zwalowiskach pogórnicych [9]. W strefie 1, o ekspozycji północnej, roślinność w większym stopniu przypomina zbiorowiska leśne (tab. 2). Warstwa c jest tu najlepiej rozwinięta, średnie pokrycie powierzchni wynosi 36% (tab. 3) i tworzą ją gatunki związane z siedliskami leśnymi i zaroślowymi takie jak: nercznica samcza, gwiazdnica gajowa, bez czarny i chmiel zwyczajny. Z dużą częstotliwością występują także gatunki ruderalne takie jak: niecierpek drobnokwiatowy, gwiazdnica pospolita, żółtlica drobnokwiatowa czy przytulia czepna. Warstwa b jest z kolei słabo rozwinięta, rośliny pokrywają średnio 13% powierzchni (tab. 3), najczęściej spotykany jest bez czarny, czeremcha amerykańska i klon jawor. W warstwie drzewostanu (a) głównym gatunkiem jest topola balsamiczna. Inne gatunki drzewiaste,

których łącznie jest osiem (tab. 4) odgrywają znacznie mniejszą rolę (rys. 2). W strefie 4, o ekspozycji południowej, podobnie jak w strefie 1 głównym gatunkiem w drzewostanie jest topola balsamiczna, jednak jej miąższość jest znacznie mniejsza. Pozostałe gatunki drzewiaste mają podobną miąższość jak w strefie 1 (rys. 2). Warstwa b i c składa się głównie z form młodocianych czeremchy amerykańskiej oraz jaworu, który występuje tutaj prawie na wszystkich powierzchniach. Brak jest jednak dorosłych osobników jaworu w warstwie a. W strefie tej zanotowano najmniejszą liczbę gatunków roślin zielnych (tab. 4) i występują one z mniejszą stałością (tab. 2). Również w tej strefie często występuje trzcinnik piaskowy. Pokrycie roślin warstwy c (tab. 3) jest niewielkie (24%).



**Rys. 3.** Nietendancyjna analiza zgodności (DCA) oparta o pokrycie gatunków roślin warstwy c. Okręgi reprezentują powierzchnie badawcze, strzałki zmienne środowiskowe. Jedynie zmienne o istotnym statystycznie oddziaływaniu ( $p < 0.05$ ) zostały przedstawione

**Fig. 3.** Detrended Correspondence Analysis (DCA) based on the coverage of plant species in layer c. Empty circles represent the plots, arrows represent environmental variables. Only environmental variables with significant effect ( $p < 0.05$ ) are presented

**Tabela 4.** Liczba gatunków roślin występujących w wydzielonych strefach  
**Table 4.** Number of plant species in delimited zones

Strefa	Warstwa roślinności		
	a	b	c
1	8	4	35
2	7	7	30
3	0	0	0
4	6	7	27

Procesy termiczne zachodzące wewnątrz stożka spowodowały podniesienie temperatury powierzchni na pewnym obszarze hałdy, co jest głównym czynnikiem wpływającym na roślinność. Jest to obserwowane także na innych termicznie czynnych hałdach [32]. Wpływ rosnącej temperatury uwidacznia się stopniowo wraz z wysokością. Pierwsza oś DCA, przedstawiająca gradient największej zmienności składu gatunkowego, skorelowana jest głównie ze wzrastającą temperaturą podłoża (rys. 3). W przypadku roślinności drzewiastej oddziaływanie to objawia się początkowo zmniejszeniem miąższości drzew i widoczne jest już na najwyższej położonych powierzchniach badawczych strefy 1 i 4 (rys. 2). Największy wzrost temperatury ma miejsce w strefie 2, co powoduje także znacznie większe niż w przypadku strefy 1 i 4, zróżnicowanie roślinności we wszystkich warstwach (tab. 2). Uwidacznia się to również na wykresie DCA. Powierzchnie badawcze w obrębie stref 4 i 1 tworzą skupienia, natomiast w strefie 2 są one bardziej rozproszone (rys. 3). Warstwa drzew w strefie 2 jest bardzo słabo rozwinięta, o średnim pokryciu 25% (tab. 3) i ograniczona do niżej położonych powierzchni badawczych.

Rosnące tu głównie brzoza i robinia wykazują słaby wzrost, znaczne deformacje morfologiczne i dużą ilość posuszu. Podobne zaburzenia obserwowano także na innych hałdach pogórnich [13, 22]. Często obserwuje się wywrócone drzewa, o płaskim, pozbawionym korzenia głównego systemie korzeniowym. Słaby rozwój systemu korzeniowego jest częstym problemem przy rekultywacji różnego rodzaju obszarów zdegradowanych, o podłożu utrudniającym wzrost korzeni [18, 30]. Czynnikiem utrudniającym wzrost korzeni w strefie 2 może być zwiększona zawartość części szkieletowych w niższych częściach profilu (tab. 1, rys. 3). Penetracja korzeni drzew do warstwy łupków może powodować zainicjowanie utleniania pirytu i prowadzić do wypadania drzew [13]. Na badanej hałdzie

to głównie wysoka temperatura prowadzi do zaburzeń rozwoju systemu korzeniowego. Niewielkie ogrzanie jest zwykle korzystne dla wzrostu korzeni [21], jednak już w temperaturach powyżej 30°C mogą następować zaburzenia w funkcjonowaniu systemu korzeniowego [5]. Ogrzewanie gleby do pewnej wysokości w niewielkim stopniu wpływa na zmianę parametrów fizycznych i chemicznych gleby [19, 20, 31]. W strefie 2, a zwłaszcza 3 zauważalne jest już oddziaływanie temperatury na niektóre parametry podłoża. Najwyższe wartości osiąga temperatura w strefie 3, gdzie brak jest zupełnie roślinności. Bardzo wysoka temperatura wnętrza hałdy prowadzi także do powstania gazów będących wynikiem spalania (pirolizy). Ich wydzielanie się obserwowane jest w szczytowych partiach badanego stożka. Gazy te mogą zawierać wiele toksycznych substancji, takich jak CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HF, NH<sub>3</sub>, HCl, n-alkanes, n-alkenes, cukry, alkohole, PAH, Hg, As, Pb, i Se [16, 17 i literatura tam cytowana]. W strefach wyziewów gazów poprzez kondensację w powierzchniowych warstwach hałdy tworzą się także nowe minerały, do których zaliczyć można siarkę (S) oraz salmiaki (NH<sub>4</sub>Cl) [2, 12]. Procesy te mogą wywoływać toksyczny wpływ na rosnące w głąb profilu korzenie. Płytkie i płaskie systemy korzeniowe roślin na aktywnej termicznie hałdzie stwierdził także Zhang i in [32]. Dodatkowo, wydostające się na powierzchnię gazy powodują zaburzenia we wzroście i rozwoju części nadziemnych roślin, objawiające się między innymi, licznymi nekrozami i zasychaniem liści. Obok wysokiej temperatury podłoża, emisja szkodliwych związków może być podstawową przyczyną braku roślinności w strefie objętej reakcją termiczną.

W strefie 2 wraz ze wzrostem temperatury następuje zmniejszanie się udziału wysokich drzew na korzyść roślinności warstwy b. Jest ona stosunkowo dobrze rozwinięta (tab. 3) i składa się z obficie występującej czeremchy amerykańskiej oraz brzozy na stoku północnym oraz robinii akacjowej na stoku południowym, która miejscami tworzy zwarte zakrzewienia. Wszystkie te gatunki mają także duży udział w pokryciu powierzchni w warstwie c. Najbardziej charakterystyczny dla tej strefy jest śmiałek pogięty, co związane jest z odczynem podłoża. Gatunek ten jest typowy dla gleb silnie kwaśnych i ubogich i występuje zarówno w siedliskach naturalnych jak i często na silnie zakwaszonych zwałowiskach pogórnicych [22]. Na powierzchniach badawczych położonych najwyższej w tej strefie, roślinność występuje w bardzo niewielkiej ilości i ograniczona jest do kilku gatunków zielnych np. uczepek trójlistkowy i prosienicznik wyprostowany (tab. 2).

#### 4. Wnioski

1. Na powierzchniach o ekstremalnych warunkach siedliskowych wywołanych zachodzącym procesem termicznym biologiczna rekultywacja nie jest możliwa bez wcześniejszego zahamowania aktywności termicznej składowiska.
2. Podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne gruntu na badanym składowisku odpadów górnictwa węgla kamiennego nie różnią się zasadniczo od spotykanych na tego typu obiektach.
3. Zachodzące wewnątrz hałdy stożkowej procesy termiczne spowodowały podwyższenie temperatury podłoża i wynikające z tego silne zróżnicowanie roślinności zielnej i drzewiastej. W szczytowej partii stożka wysoka temperatura całkowicie uniemożliwiła rozwój roślinności.
4. Aktywność termiczna hałdy w większym stopniu oddziałuje na roślinność drzewiastą niż zielną, co można wiązać z głębszym systemem korzeniowym drzew. Wpływ zwiększającej się wraz z wysokością stożka temperatury uwidacznia się w malejącej miąższości drzew i ubożeniu składu gatunkowego drzewostanu.
5. Spośród gatunków zielnych najczęściej spotykanym na całym obszarze jest trzcinnik piaskowy, a na powierzchniach o podwyższonej temperaturze podłoża dominuje śmiałek darniowy.
6. Gatunkami drzewiastymi rozwijającymi się w strefie wysokich temperatur podłoża są brzoza brodawkowata, czeremcha amerykańska i robinia akacjowa, a więc gatunki pionierskie i ekspansywne.

#### Literatura

1. **Baic I., Witkowska-Kita B.:** *Technologie zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego – diagnoza stanu aktualnego, ocena innowacyjności i analiza SWOT*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 13, 1315–1326 (2011).
2. **Buchta D., Molenda T.:** *Minerały stref ekshalacyjnych termicznie czynnych składowisk odpadów górnictwa węgla kamiennego*. Miesięcznik Wyższego Urzędu Górniczego, 4, 8–10 (2007).
3. **Chudek M. [red].:** *Koncepcja zagospodarowania zwałowiska kamienia pokopalnianego w Czerwionce-Leszczynach*. KGBPiOP Politechnika Śląska, Gliwice, maszynopis, 2002.
4. **Dulewski J., Madej B., Uzarowicz R.:** *Zagrożenie procesami termicznymi obiektów zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 26 (3), 125–142 (2010).



5. **Gosselin A., Trudell M. J.:** *Influence of root-zone temperature on growth, development and mineral content of tomato plants cv. Vendor.* J. Plant Sci., 62, 751–757 (1982).
6. **Hill M.O.:** *TWINSPAN – a FORTRAN Programme for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by Classification of Individuals and Attributes*, Section of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York, 1979.
7. **Krzaklewski W.:** *Wybrane metodyczne aspekty planowania i realizacji leśnej rekultywacji na przykładzie górnictwa odkrywkowego.* Zesz. Nauk. AGH, 1222 Sozól., 26, 331–338 (1988).
8. **Lityński T.:** *Żyzność gleby i nawożenie.* PWN, Warszawa, 1971.
9. **Martínez-Ruiz C., Fernández-Santos B.:** *Natural revegetation on topsoiled mining spoils according to the exposure.* Acta Oecol., 28, 231–238 (2005).
10. **Mocek A., Drzymała S.:** *Geneza, analiza i klasyfikacja gleb.* Wyd. UP, Poznań, 2010.
11. **Nowosielski O.** *Metody oznaczania potrzeb nawożenia.* PWRiL, Warszawa, 1974.
12. **Parafiniuk J., Kruszewski L.:** *Minerals of the ammonioalunite-ammoniojarosite series formed on a burning coal dump at Czerwionka, Upper Silesian Coal Basin, Poland.* Mineralogical Magazine, 74 (4), 731–745 (2010).
13. **Patrzałek A.:** *Ocena zbiorowisk roślinnych na zrehabilitowanych zwalówiskach w Zabrze w celu określenia ich dalszych funkcji w planie zagospodarowania przestrzennego.* Zesz. Nauk. P. Śl., Górnictwo, 267, 1690, 207–219 (2005).
14. **Piaskowski A.:** *Właściwości sorpcyjne i powierzchnia właściwa polskich gruntów. Badania nad sorpcją błękitu metylenowego.* Archiwum Hydrotechniki XXXI, 3, 297–314 (1984).
15. **Pietrzykowski M. [red.]:** *Analiza i optymalizacja metod klasyfikacji siedlisk i kryteriów oceny rekultywacji leśnej na wybranych terenach pogórnicznych w Polsce.* Wyd. Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków, 2010.
16. **Pikoń K., Bugla J.:** *Emisja ze zrehabilitowanych zwalówisk stożkowych.* Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 6, 55–70 (2007).
17. **Querol X., Zhuang X., Font O., Izquierdo M., Alastuey A., Castro I., van Drooge B.L., Moreno T., Grimalt J.O., Elvira J., Cabañas M., Bartroli R., Hower J.C., Ayora C., Plana F., López-Soler A.:** *Influence of soil cover on reducing the environmental impact of spontaneous coal combustion in coal waste gobs: A review and new experimental data.* International Journal of Coal Geology, 85, 2–22 (2011).
18. **Robinson G. R., Handel S.N.:** *Woody Plant Roots Fail to Penetrate a Clay-Lined Landfill: Management Implications.* Environ. Manage., 19 (1), 57–64 (1995).

19. **Rosik-Dulewska C.:** *Wpływ podgrzewania gleby niskotemperaturowym ciepłem (odpadowym) na zmianę jej właściwości fizycznych.* Archiwum Ochrony Środowiska, 3–4, 191–198 (1994).
20. **Rosik-Dulewska C.:** *Wpływ podgrzewania gleby niskotemperaturowym ciepłem (odpadowym) na zmianę jej właściwości chemicznych.* Archiwum Ochrony Środowiska, 3-4, 199–206 (1994).
21. **Rosik-Dulewska C.:** *Wpływ podgrzewania gleby niskotemperaturowym ciepłem odpadowym na dynamikę rozwoju systemu korzeniowego *Lycopersicon esculentum* Mill.* Archiwum Ochrony Środowiska, 24 (4), 165–176 (1998).
22. **Rostański A.:** *Spontaniczne kształtowanie się pokrywy roślinnej na zwałowiskach po górnictwie węgla kamiennego na Górnym Śląsku.* Wyd. UŚ, Katowice, 2006.
23. **Skarżyńska K. M.:** *Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej.* Wyd. AR Kraków, 1997.
24. **Skawina T., Trafas M.:** *Zakres wykorzystania i sposób interpretacji wyników badań geologicznych dla potrzeb rekultywacji.* Ochr. Ter. Górn., 16, 3–10 (1971).
25. **Skawina T.:** *Przebieg rozwoju procesów glebotwórczych na zwałowiskach kopalnictwa węgla.* Rocz. Glebozn., 7, 149–162 (1958).
26. **Strzyszczyński Z., Harabin Z.:** *Rekultywacja i biologiczne zagospodarowanie odpadów górnictwa węgla kamiennego ze szczególnym uwzględnieniem centralnych zwałowisk.* IPIŚ PAN, Zabrze, 2004.
27. **Sulinowski J.:** *Modelowanie bilansu wodnego w wymianie między atmosferą, drzewostanem i gruntem przy użyciu kryteriów ekologicznych.* Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Rozpr. hab. 179, 1993.
28. **Ter Braak C.J.F., Šmilauer P.:** *CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5),* Microcomputer Power (Ithaca NY USA), 2002.
29. **Woś A.:** *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku.* Wyd. Nauk. UAM, Poznań, 2010.
30. **Zajac E., Zarzycki J.:** *Revegetation of reclaimed soda waste dumps: effects of topsoil parameters.* Journal of Elementology, 3, 525–536 (2012).
31. **Zarzycki J.:** *Wpływ podziemnej sieci ciepłowniczej na sezonowe różnicowanie zbiorowisk roślinnych trawników Krakowa.* Acta Scientiarum Polonorum, ser. Formatio Circumiectus, 2(1), 87–101 (2003).
32. **Zhang C. L., Du Y. J., Hu Y. G.:** *Temperature Characteristics of Spontaneous Coal Combustion Waste Piles in Relation to Vegetation Pattern.* Journal of Agriculture, Biotechnology & Ecology, 3(2), 228–237 (2010).

## **The Effect of Thermal Activity of Colliery Waste Heap on Vegetation Development**

### **Abstract**

In the paper the effect of thermal activity of colliery spoil heap on plant species diversity is presented. Basic physical and chemical properties of the spoil do not differ significantly from that type of objects. The spoil consists of coarse and acidic material. Thermal processes inside the colliery heap lead to rise in temperature of the surface and have negative effect on vegetation development. Along with temperature increase diminish of stand volume, height reduction and morphological deformations of trees are observed. The variation of plant species composition also takes place. The most tolerant tree species to increased temperature of the surface are common birch, false acacia and black cherry while the dominant herbaceous species is tufted hair grass. Trees and shrubs are more influenced by thermal activity of the heap then the herbaceous vegetation, what can be explained by deeper root system of trees. Because of high temperature and toxic gases emission the top of the heap is bare. For complete reclamation of the heap it is essential to inhibit burning process.