

FRANCISZEK MACIAK, STEFAN LIWSKI, ELŻBIETA BIERNACKA

WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE I BIOCHEMICZNE
UTWORÓW ZE SKŁADOWISK POPIOŁU
PO WĘGLU BRUNATNYM I KAMIENNYM ¹

Instytut Przyrodniczych Podstaw Melioracji
Akademii Rolniczej w Warszawie

WSTĘP

Do niedawna popiół pochodzący ze spalania drewna, torfu lub węgla miał znaczenie lokalne. Ze względu na niewielkie ilości nie stwarzał gospodarce rolniczej większego kłopotu. Składowiska popiołu stały się problemem dopiero w ostatnich latach z uwagi na potrzebę przeznaczania do tego celu nowych terenów wobec ciągłego wzrostu liczby elektrowni ciepłych [1, 4, 6]. Powierzchnia składowisk popiołu wzrasta rocznie o ok. 200 ha, często kosztem żyznych gleb. Niezależnie od tego składowiska powodują duże zapylenie popiołem osiedli, urządzeń komunalnych, pobliskich obszarów uprawnych itp. Poza tym wszelkie wysypiska i hałdy pozbawione roślinności obok ośrodków wielkiego przemysłu wpływają ujemnie na psychikę mieszkańców, z czym wiążą się elementy socjalne, higieniczne i estetyczne [1].

Wielkość składowisk popiołu obok każdej elektrowni ciepłej uzależnione jest od zawartości części popielnych w masie węgla, a także od ilości użytego do spalania materiału energetycznego. W przypadku spalania węgla gorszej jakości ilość zawartego w nim popiołu dochodzić może do 50% s.m.

Znikoma ilość popiołów, bo około 13%, wykorzystywana jest do produkcji prefabrykatów budowlanych i utwardzania dróg. Składowiska hałd popiołów wymagają zatem rekultywacji. Jest to jednak problem bardzo złożony, gdyż składowiska te są utworem niezwykle specyficznym i zmiennym, stwarzającym znaczne trudności przy rekultywacji rolniczej lub leśnej [2, 3, 4]. Jak dotychczas, nie posiadamy charakterystyki krajowych

¹ Praca finansowana przez Centralne Biuro Studiów i Projektów Wodnych Melioracji.

składowisk popiołów pod względem właściwości fizykochemicznych i biochemicznych.

Mając na względzie potrzebę zagospodarowania hałd, zbadano wierzchnie warstwy składowisk z elektrowni Konin, Adamów, Skawina i Siekierki pod względem niektórych właściwości fizycznych, chemicznych i biochemicznych, istotnych przy rekultywacji rolniczej lub leśnej. Badania te stanowią pierwszą część pracy związanej z zagadnieniem zagospodarowania hałd popiołu. W perspektywie mamy badania dotyczące doboru roślin na hałdy, nawożenia, uprawy oraz składu chemicznego plonów.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiał do badań stanowiły próbki (średnie) popiołów pobranych z wierzchnich warstw (0-15 cm) hałd popiołu składowanych na „mokro” z elektrowni Konin i Skawina oraz składowanych na „sucho” z elektrowni Adamów i Siekierki.

Hałdy popiołu elektrowni Konin i Adamów pochodziły ze spalania węgla brunatnego, natomiast z elektrowni Skawina i Siekierki — ze spalania węgla kamiennego. Wysokość hałd wahała się od 8 do 20 m. Składowiska formowane na mokro (popiół transportowany wodą) tworzyły obszar bardzo nierównomierny pod względem składu mechanicznego, co wynika z segregacji wodnej utworów grubszych i cieńszych. Przy wylocie rury transportującej „pulpę” popiołową z elektrowni na składowisko gromadziły się bowiem części najgrubsze popiołu, zaś utwory drobne, pylaste, przenoszone wodą, osadzały się dalej w różnych punktach składowiska.

Składowiska hałd formowane na sucho (popiół transportowany z elektrowni na składowisko za pomocą taśmociągów lub odpowiednich przenośników) posiadały skład mechaniczny bardziej równomierny i nie tworzyły scementowanych warstw. O ile jednak składowiska mokre miały zewnętrzną powierzchnię płaską i przed rekultywacją rolniczą z reguły nie wymagały równania, to składowiska „suche” odznaczały się powierzchnią bardzo nierówną, pofałdowaną lub stożkową i przed rozpoczęciem rekultywacji rolniczej lub leśnej wyrównanie jej było konieczne.

W zakresie prac laboratoryjnych wykonano następujące oznaczenia:

— suchą masę określono przez suszenie popiołów w temperaturze 105°C do stałej wagi,

— ciężar właściwy oznaczono metodą piknometryczną w wodzie destylowanej,

— zawartość wody niedostępnej dla roślin — metodą biologiczną (za pomocą siewek owsa),

— odczyn oznaczono potencjometrycznie (w H_2O) przy użyciu elektrody szklanej,

— straty na żarzeniu — przez długotrwałe prażenie popiołu w temperaturze $550^{\circ}C$,

— popiół i krzemionkę (SiO_2) — przez trzykrotne potraktowanie popiołu 20-procentowym HCl , odparowanie do sucha, rozpuszczenie pozostałości gorącą wodą i sączenie (popiół czysty stanowił przesącz, krzemionka osad),

— żelazo (Fe_2O_3) jodometrycznie,

— wapń (CaO) metodą szczawianową,

— magnez (MgO) oznaczono na spektrometrze absorpcji atomowej firmy Junican Sp/90,

— potas (K_2O) oznaczono na spektrometrze absorpcji atomowej Junican Sp/90,

— glin (Al_2O_3) określono przez oznaczenie sumy tlenków i wyliczenie z różnicy R_2O_3 — ($Fe_2O_3 + P_2O_5$),

— siarczany (SO_3) wagowo przez przeprowadzenie siarki w siarczan baru,

— mangan oznaczono kolorymetrycznie z nadsiarczanem amonu,

— miedź kolorymetrycznie z dwuetylodwutiokarbaminianem sodu,

— bor kolorymetrycznie z kurkumina,

— kobalt kolorymetrycznie z β -nitrozo- α -naftolem,

— molibden kolorymetrycznie z rodankiem amonu.

Składniki rozpuszczalne w 0,5n HCl otrzymano przez wytrząsanie na aparacie rotacyjnym 5 g popiołu z 200 ml 0,5n HCl w ciągu 0,5 godziny. W przesączu 0,5n HCl oznaczono zawartość poszczególnych składników chemicznych według opisanych metod.

SKŁADNIKI CHEMICZNE WYMYWANE Z POPIOŁU

Doświadczenie wykonano w trzech powtórzeniach na popiele z elektrowni Konin. Do cylindrów (wysokość 15 cm, średnica 11,6 cm) z dnem siatkowym przykrytym sączkiem z bibuły filtracyjnej wprowadzono 900 g popiołu lub popiołu z dodatkiem gipsu, siarki, torfu wysokiego i torfu niskiego. Odpowiadało to ilościom:

| | | | | |
|-------------------|---|--------|---|--|
| S | — | 2 t/ha | — | 2 g na 100 cm ² (powierzchnia cylindra) |
| CaSO ₄ | — | 5 „ | — | 5 „ „ „ „ „ „ „ |
| torfu | — | 100 „ | — | 100 „ „ „ „ „ „ „ |

Spreparowane w powyższy sposób warstwy popiołu (odpowiadające warstwie gleby) o miąższości 15 cm i powierzchni ± 100 cm² zalewano

codziennie przez 16, 32 i 48 dni 200 ml wody destylowanej. Odpowiadało to 500, 1000 i 1500 mm opadów. Przesiakiwniętą wodę zbierano i analizowano na zawartość składników chemicznych.

DOŚWIADCZENIA BIOCHEMICZNE

W celu zbadania aktywności biologicznej popiołów określono w nich:

- intensywność rozkładu błonnika,
- intensywność wydzielania się CO_2 po dodaniu masy organicznej.

Na 100 g s.m. popiołu zastosowano 1,4 g błonnika, którego rozkład określano w popiołach bez dodatku lub z dodatkiem 6 g torfu. Zamiast torfu dodawano także po 0,1 g N, P_2O_5 i K_3O oraz w ilościach śladowych Cu, B, Mn, Mo, Zn.

Rozkład błonnika określono wagowo z różnicy między ciężarem błonnika na początku i na końcu doświadczenia, które prowadzono w ciągu 3 miesięcy w 0,5-litrowych słojach, w termostacie, w temperaturze 22°C .

Intensywność wydzielania CO_2 zbadano w popiele z elektrowni Konin po dodaniu substancji organicznej w postaci torfu i węgla brunatnego. Dla porównania zbadano również w glebie mineralnej bielcowej (piasek lekko gliniasty) intensywność wydzielania CO_2 .

Dwutlenek węgla (CO_2) w czasie inkubacji popiołu (100 g s.m. popiołu + 40 g s.m. organicznej lub gleby) był sorbowany w zamkniętych słojach przez 0,5n NaOH, który następnie strącano BaCl_2 i miareczkowano 0,1n HCl. Z ilości zużytego HCl wyliczano ilość wydzielonego CO_2 . Próby popiołu inkubowano w termostacie w temperaturze 22°C przy utrzymaniu wilgotności popiołu $\pm 70\%$.

Inkubowane oddzielnie próby popiołów z rozkładem błonnika i wydzielaniem się CO_2 zaszczepiane były na początku wyciągiem wodnym żywej gleby ogrodowej.

WYNIKI BADAŃ

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE POPIOŁÓW

Pod względem właściwości fizycznych popioły stanowią specyficzny konglomerat. Dotyczy to szczególnie popiołów składowanych na mokro w elektrowni Konin i częściowo elektrowni Skawina, gdzie niektóre frakcje tworzą drobniejsze lub grubsze utwory o charakterze gruzu cementowego, inne przyjmują charakter twardych łupków, trudno ulegających rozbięciu, jeszcze inne stanowią ziemistą masę.

Popioły pozostałych elektrowni składowane na sucho mają wygląd popielatoszarej ziemistej masy, łatwo cementującej się po nasyceniu wodą. Ich ciężar właściwy waha się od $1,84 \text{ g/cm}^3$ (popiół elektrowni Ska-

wina) do 2,74 g/cm³ (popiół elektrowni Konin). Ciężar właściwy popiołów elektrowni Siekierki wynosi 2,36 g/cm³, a elektrowni Adamów 2,30 g/cm³.

Pojemność wodna badanych popiołów elektrowni Konin i Siekierki wynosi 86 i 79%, natomiast pozostałych, tj. elektrowni Skawina i Adamów, odpowiednio 124 i 120%. Małej pojemności wodnej popiołów towarzyszy znaczna ilość zawartej w nich wody niedostępnej dla roślin. Ilość wody niedostępnej, np. dla popiołów elektrowni Konin, mieści się w granicach 17,2-25,8% s.m. Prawie na wszystkich składowiskach właściwości fizyczne nie przyjąją wzrostowi roślin wskutek zeskalania się utworów popiołowych, ich małej pojemności wodnej i słabego podsiąkania.

Często w pewnych układach przy silnym scementowaniu tworzyły się na składowiskach zastoiska wodne (składowiska mokre) lub popiół był nadmiernie przepuszczalny (składowiska suche). Obok tych elementów należy jeszcze wymienić nadmierne nagrzewanie się składowisk i ich pylenie. Czynniki te powodowały wypadanie roślin.

ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW CHEMICZNYCH

Popioły odznaczają się dużą różnorodnością pod względem odczynu i składu chemicznego (tab. 1). W odróżnieniu od często bardzo kwaśnych nadkładów trzeciorzędowych, zalegających na złożach węgla kopalnego, popioły z badanych składowisk są wysoko zasadowe (pH 8,7-11,2). Dla większości roślin tego typu środowisko nie jest odpowiednie. Neutralizacja kwasem nie wchodzi w rachubę z uwagi na potrzebę zużycia dużych ilości tego składnika (próby wykazały, że na 1 kg popiołu o pH 11,2 dla doprowadzenia do pH 7,0 potrzeba było ok. 50 ml stężonego H₂SO₄). Z reguły popioły zawierają duże ilości krzemionki, wapnia, glinu, żelaza i siarki, znaczne potasu, na średnim poziomie zaś fosforu oraz brak im zupełnie azotu.

O ile nie ma w popiołach zbyt dużej różnicy zarówno w ogólnej zawartości, jak i w ilości rozpuszczalnych składników chemicznych, to różnice te są znaczne w przypadku analizy poszczególnych rodzajów popiołów (popiół mieszany, luźny, zbity). Analizy chemiczne popiołu pochodzące z elektrowni węgla brunatnego Konin wykazały, że popiół zbity oraz popiół mieszany (mieszanina popiołu zbitego z drobniejszym) odznaczają się znacznie większą zawartością wapnia, magnezu i siarki niż popiół luźny. Popioły z węgla brunatnego (Konin, Adamów) zawierają kilkakrotnie większą ilość wapnia niż popioły pochodzące z węgla kamiennego (Skawina, Siekierki), przy czym występuje on głównie w formie tlenków (CaO).

Wymienione popioły z węgla brunatnego mają znacznie więcej magnezu i glinu niż popioły z węgla kamiennego. Popioły odznaczają się również wysoką zawartością manganu (310-1900 ppm), przy czym jest ona znacznie większa w popiołach z węgla brunatnego niż kamiennego. Ilość

Skład chemiczny popiołów elektrowni: Skawina, Siekierki, Adamów i Konin
 Chemical composition of ashes from the coal burning electricpower stations
 at Skawina, Siekierki, Adamów and Konin

| Obiekt Object | pH | Straty na za- rzeniu Igni- tion losses | SiO ₂ | Suma składni- ków po- oddzie- leniu krze- mionki Sum of elements after silica separa- tion | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Al ₂ O ₃ | Na ₂ O | SO ₃ | Mn | Zn | Cu | Co | Mo | B | w % s.m. - in % of d.m. | | |
|---|-----------------------|---|------------------|--|--------------------------------|------|-------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------|-------|------|-----|------|------|------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ogólny total | rozpuszcz. soluble | w mg/kg s.m. - in mg of d.m. |
| K Skawina | ogólny total | 8,7 | 7,65 | 51,96 | 40,39 | 2,75 | 5,93 | 2,39 | 0,199 | 0,46 | 1,85 | 0,058 | 4,035 | 920 | 300 | - | - | - | - | - | - |
| | rozpuszcz. soluble | - | - | - | - | 2,61 | 3,89 | 2,22 | 0,180 | 0,39 | 1,49 | 0,054 | - | 790 | 20 | - | - | - | - | - | - |
| K Siekierki | ogólny total | 9,2 | 7,84 | 76,54 | 15,62 | 5,80 | 3,61 | 1,63 | 0,096 | 0,44 | 1,42 | 0,038 | 0,263 | 390 | 100 | - | - | - | - | - | |
| | rozp. soluble | - | - | - | - | 5,47 | 3,28 | 1,43 | 0,084 | 0,30 | 1,07 | 0,038 | - | 310 | 100 | - | - | - | - | - | |
| B Adamów | ogólny total | 9,1 | 19,92 | 53,14 | 26,94 | 3,84 | 13,20 | 1,67 | 0,310 | 0,42 | 5,24 | 0,050 | 1,335 | 1900 | 90 | - | - | - | - | | |
| | rozp. soluble | - | - | - | - | 3,62 | 12,70 | 1,56 | 0,230 | 0,34 | 5,04 | 0,050 | - | 1480 | 100 | - | - | - | - | | |
| B Konin /popiół mieszany/ /mixed ash/ | ogólny total | 11,2 | 10,80 | 36,95 | 52,25 | 1,58 | 30,92 | 6,91 | 1,400 | 0,32 | 10,49 | - | 3,300 | - | - | - | - | - | - | | |
| | rozp. soluble | - | - | - | - | 1,20 | 28,72 | 6,45 | 0,700 | 0,24 | 9,60 | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| B Konin /popiół luźny/ /loose ash/ | ogólny total | 11,2 | 12,04 | 46,70 | 53,30 | 2,92 | 20,66 | 3,36 | 0,310 | 0,97 | 18,33 | 0,086 | 3,77 | 1250 | - | 17,2 | 0,04 | 2,30 | 0,42 | | |
| | rozp. soluble | - | - | - | - | 1,23 | 20,32 | 2,82 | 0,200 | 0,25 | 11,46 | - | 2,99 | - | - | - | - | - | - | | |
| B Konin /popiół zbity/ /compact ash/ | ogólny total | 11,2 | 3,04 | 41,03 | 58,97 | 4,33 | 30,47 | 5,24 | 0,170 | 1,24 | 21,40 | 0,065 | 5,89 | 1750 | - | 26,6 | 0,05 | 3,10 | 5,20 | | |
| | rozp. soluble | - | - | - | - | 2,55 | 29,90 | 4,04 | 0,140 | 0,27 | 11,48 | 0,058 | 4,86 | - | - | - | - | - | - | | |

* W 0,5n HCl - in 0.5N HCl; K - popiół z węgla kamiennego - K - ash of hard coal; B - popiół z węgla brunatnego - ash of brown coal

pozostałych mikroelementów (Zn, Cu, Co, Mo, B) nie odbiega w zasadzie od zawartości spotykanych w glebach.

ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW WYMYWANYCH Z POPIOŁÓW

W przeprowadzonych doświadczeniach chodziło o wyjaśnienie, w jakim stopniu następuje wymywanie niektórych składników chemicznych z popiołu po dodaniu do niego siarki, gipsu i torfu, a następnie potraktowaniu dużymi dawkami wody. Efekty takiego działania mogą mieć duże znaczenie w ustaleniu zmian zachodzących w uprawnej warstwie popiołu pod wpływem deszczowania i opadów.

Intensywność wymywania składników chemicznych z 15-centymetrowej warstwy popiołu po potraktowaniu jej różnymi ilościami wody (tab. 2 i 3) przedstawia się różnie dla poszczególnych składników chemicznych. Największemu wypłukaniu z popiołu ulegają: wapń, potas, magnez i siarka, w nieznacznym natomiast stopniu glin, żelazo i fosfor. Dodatek do popiołu gipsu lub torfu spowodował zwiększenie stopnia wypłukiwania niektórych składników; i tak pod wpływem dodatku gipsu do popiołu obserwuje się w przesiąkniętej wodzie zwiększoną ilość popiołu, wapnia i siarki. Również dodatek torfu do popiołu wpłynął na zwiększenie ilości tych składników. Dotyczy to szczególnie pierwszego okresu 16 dni (przy zastosowaniu ilości wody odpowiadającej 500 mm opadów). Po okresie 48 dni nie widać już różnic wskazujących wpływ dodanych do popiołów materiałów na wzrost składników chemicznych w wodzie. Część składników wypłukanych (CaO , SO_3) pochodzi prawdopodobnie również z materiału dodanego do popiołu (gips).

Wraz ze zwiększeniem się czasu wymywania i wielkości dawki wody (tab. 3) następowało zwiększenie ilości wypłukiwanego wapnia, magnezu, potasu, siarki oraz krzemionki. Natomiast w niewielkim stopniu miało miejsce wypłukiwanie żelaza, fosforu i glinu.

INTENSYWNÓŚĆ ROZKŁADU BŁONNIKA W POPIOŁACH

Popioły z poszczególnych składowisk odznaczały się słabą aktywnością biologiczną. Świadczy o tym nikły lub zupełny brak wzrostu roślin w przypadku, jeśli na hałdę nie zostały dostarczone składniki pokarmowe i substancja organiczna. Z rysunku 1 wynika, że największy rozkład błonnika występuje kolejno w porównywanej glebie mineralnej z dodatkiem NPK, a następnie w popiołach z elektrowni Siekierki i Konin, jednak również z dodatkiem NPK lub NPK i torfu. Rozkład błonnika w kombinacjach tych sięga 68-88%. Najmniejszą aktywnością biologiczną odznacza się popiół z elektrowni Adamów. Z danych tych wynika również, że aktywność rozkładu błonnika w niektórych popiołach wzrosła po dodaniu NPK i substancji organicznej (torfu); dotyczy to np. popiołu z elektrowni

Zawartość wypłukanych składników z popiołu elektrowni Konin w mg/l zastosowanej wody
 Content of leached elements from ashes of the electric power station Konin in mg/l of the water applied

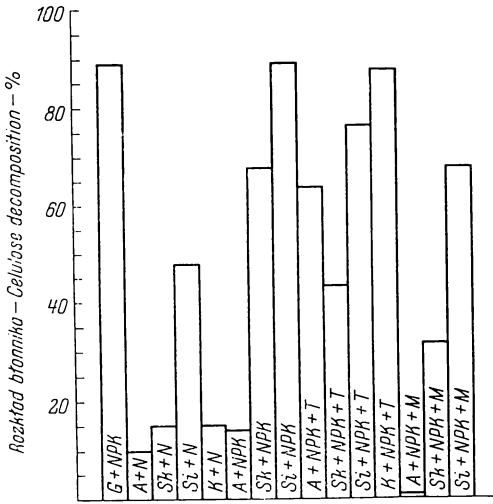
T a b e l a 2

| Kombinacje Treatments | Ilość wody odpowiadająca opadom Water amount corresponding with the precipitations | Czas wypłukiwania Leaching time | Sucha pozostałość Dry residue | Straty na żarzeniu Ignition losses | Krzemionka Silica | Suma składników po oddzieleniu krzemionki Sum of elements after silica separation | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Al ₂ O ₃ |
|---|--|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------|---|--------------------------------|-------|------|-----------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Popiół bez dodatków Ash without additions | 500 mm /3200 ml H ₂ O/ | 16 dni 16 days | 605,8 | 30,9 | 19,5 | 555,4 | 1,6 | 190,4 | 37,6 | 32,3 | 187,8 | 0,04 | 0,5 |
| " + gips - gypsum | | | 980,5 | 45,2 | 24,0 | 911,3 | 1,6 | 422,8 | 28,3 | 83,2 | 180,6 | 0,04 | 0,2 |
| " + siarka-sulphur | | | 682,2 | 42,7 | 26,2 | 613,3 | ślady traces | 245,8 | 34,8 | 29,8 | 192,6 | 0,06 | 0,2 |
| Popiół + torf wysoki Ash + raised peat | | | 994,2 | 212,4 | 59,0 | 722,8 | 7,9 | 287,8 | 29,6 | 139,8 | 180,6 | 0,10 | 2,1 |
| Popiół + torf niski Ash + low peat | | | 762,0 | 171,1 | 35,3 | 495,6 | 9,6 | 194,8 | 23,2 | 86,2 | 180,6 | 0,08 | 2,1 |
| Popiół bez dodatków Ash without additions | 1000 mm /6400 ml H ₂ O/ | 32 dni 32 days | 414,5 | 28,4 | 21,5 | 363,6 | 1,6 | 186,5 | 35,0 | 60,2 | 180,6 | 0,02 | 0,3 |
| " + gips - gypsum | | | 598,2 | 26,3 | 10,1 | 561,8 | 0,8 | 284,4 | 51,4 | 51,5 | 98,8 | ślady traces | 0,1 |
| " + siarka-sulphur | | | 391,4 | 19,9 | 15,0 | 356,5 | ślady traces | 241,9 | 47,8 | 64,9 | 144,4 | 0,02 | 0,1 |
| Popiół + torf wysoki Ash + raised peat | | | 796,4 | 175,6 | 97,2 | 524,0 | 3,2 | 356,2 | 73,4 | 90,5 | 98,8 | 0,04 | 1,1 |
| Popiół + torf niski Ash + low peat | | | 419,5 | 107,9 | 22,2 | 289,4 | 4,0 | 202,0 | 34,8 | 64,4 | 120,4 | 0,06 | 1,9 |
| Popiół bez dodatków Ash without additions | 1500 mm /9600 ml H ₂ O/ | 48 dni 48 days | 473,3 | 13,20 | 17,05 | 443,1 | ślady traces | 257,0 | 28,3 | 22,6 | 108,4 | ślady traces | ślady traces |
| " + gips - gypsum | | | 426,2 | 13,95 | 21,0 | 391,2 | " | 212,8 | 23,2 | 43,8 | 114,4 | " | " |
| " + siarka-sulphur | | | 450,3 | 58,20 | 15,3 | 376,8 | " | 240,0 | 25,4 | 31,0 | 90,3 | " | " |
| Popiół + torf wysoki Ash + raised peat | | | 571,8 | 116,25 | 140,8 | 314,8 | " | 174,5 | 58,5 | 50,1 | 102,3 | 0,04 | " |
| Popiół + torf niski Ash + low peat | | | 614,9 | 114,69 | 125,2 | 375,1 | " | 235,2 | 27,6 | 50,3 | 84,3 | 0,04 | 0,03 |

Tabela 3

Zawartość wypłukanych składników z popiołu elektrowni Konin w % s.m.
Content of leached elements from ashes of the electric power-station Konin in per cent of dry matter

| Kombinacje Treatments | Ilość wody odpowiadająca opadom Water amount corresponding with the pre- cipitations | Czas wypłu- kiwania Leaching time | Sucha pozos- tałość Dry resi- due | Straty na za- rzeniu Igni- tion losses | SiO ₂ | Suma skład- ników po od- dziele- niu krze- mionki Sum of elemen- ts af- ter silica sepa- ration | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Al ₂ O ₃ |
|--|--|---|--|---|------------------|---|--------------------------------|------|------|-----------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Popiół bez dodatków Ash without additions | | | 2,15 | 0,11 | 0,07 | 1,97 | 0,008 | 0,67 | 0,13 | 0,11 | 0,87 | ślady traces | ślady traces |
| " + gips-gypsum | 500 mm | 16 dni | 3,48 | 0,16 | 0,08 | 3,24 | 0,008 | 1,50 | 0,10 | 0,20 | 0,64 | " | " |
| " + siarka-sulphur | /355 ml/100 g | 16 days | 2,42 | 0,15 | 0,08 | 2,18 | ślady traces | 0,76 | 0,12 | 0,11 | 0,68 | " | " |
| Popiół + torf wysoki Ash + raised peat | | | 3,53 | 0,75 | 0,21 | 2,57 | 0,018 | 1,01 | 0,11 | 0,40 | 0,64 | " | " |
| Popiół + torf niski Ash + low peat | | | 2,49 | 0,61 | 0,12 | 1,76 | 0,035 | 0,68 | 0,08 | 0,30 | 0,64 | " | " |
| Popiół bez dodatków Ash without additions | | | 2,49 | 0,20 | 0,15 | 2,57 | 0,011 | 1,32 | 0,25 | 0,43 | 1,32 | ślady traces | ślady traces |
| " + gips-gypsum | 1000 mm | 32 dni | 4,25 | 0,18 | 0,07 | 3,93 | 0,005 | 2,02 | 0,37 | 0,37 | 0,70 | " | " |
| " + siarka-sulphur | /710 ml/100g | 32 days | 2,77 | 0,14 | 0,13 | 2,52 | ślady traces | 1,73 | 0,34 | 0,46 | 1,03 | " | " |
| Popiół + torf wysoki Ash + raised peat | | | 5,67 | 1,27 | 0,69 | 3,72 | 0,022 | 2,53 | 1,21 | 0,69 | 0,70 | " | " |
| Popiół + torf niski Ash + low peat | | | 2,98 | 0,77 | 0,16 | 1,93 | 0,028 | 1,45 | 0,25 | 0,46 | 0,85 | " | " |
| Popiół bez dodatków Ash without additions | | | 5,04 | 0,14 | 0,18 | 4,73 | ślady traces | 2,75 | 0,30 | 0,24 | 1,15 | ślady traces | ślady traces |
| " + gips-gypsum | 1500 mm | 48 dni | 4,54 | 0,15 | 0,22 | 4,17 | " | 2,23 | 0,25 | 0,47 | 1,21 | " | " |
| " + siarka-sulphur | /1065 ml/100g | 48 days | 4,20 | 0,62 | 0,16 | 4,02 | " | 2,56 | 0,27 | 0,32 | 1,00 | " | " |
| Popiół + torf wysoki Ash + raised peat | | | 6,10 | 1,25 | 1,49 | 3,36 | " | 1,85 | 0,62 | 0,54 | 1,09 | " | " |
| Popiół + torf niski Ash + low peat | | | 6,56 | 1,22 | 1,33 | 3,99 | " | 2,51 | 0,29 | 0,55 | 0,89 | " | " |



Rys. 1. Rozkład błonnika w popiołach i glebie po trzech miesiącach inkubacji w temperaturze 22°C

K — popiół z elektrowni Konin, A — popiół z elektrowni Adamów, Sk — popiół z elektrowni Skawina, Si — popiół z elektrowni Siekierki, G — gleba mineralna, T — torf, M — mikroelementy

Cellulose decomposition in ashes and soil 3 months after incubation at the temperature of 22°C

K — ashes from the electric power-station Konin, A — ashes from the electric power-station Adamów, Sk — ashes from the electric power-station Skawina, Si — ashes from the electric power-station Siekierki, G — mineral soil, T — peat, M — minor elements

Adamów. Natomiast dodatek samego azotu (N) oraz mikroelementów nie zwiększa aktywności rozkładu błonnika.

Wyniki rozkładu błonnika wskazują, że w pewnych przypadkach elementem istotnym, wpływającym na procesy rozkładowe oraz na zwiększenie aktywności biologicznej popiołu, jest dodatek substancji organicznej.

INTENSYWNOŚĆ WYDZIELANIA SIĘ CO₂ PO DODANIU DO POPIOŁU MASY ORGANICZNEJ

Z dotychczasowych doświadczeń wegetacyjnych na składowiskach popiołu wynika, że dodatek substancji organicznej w postaci torfu lub węgla brunatnego w wyraźny sposób stymulował wzrost roślin.

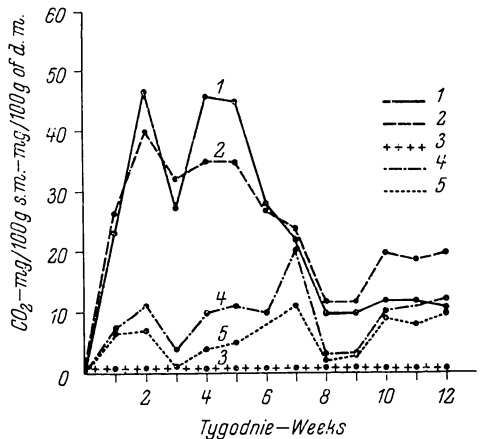
Doświadczenie inkubacyjne (rys. 2) wskazuje, że w „martwym” ma-

Rys. 2. Wydzielanie się CO₂ z substancji organicznej dodanej do popiołu i gleby

1 — gleba mineralna + N, 2 — gleba mineralna + N + torf wysoki, 3 — popiół (Konin) + N, 4 — popiół (Konin) + N + torf wysoki, 5 — popiół (Konin) + N + węgiel brunatny

CO₂ secretion from organic matter added to ash and soil

1 — mineral soil + N, 2 — Mineral soil + N + raised peat, 3 — ash from the electric power-station Konin + N, 4 — ash (Konin) + N + raised peat, 5 — ash (Konin) + N + brown coal



teriale, jaki stanowił popiół na składowisku, po zastosowaniu masy organicznej i zaszczepieniu go wyciągiem żyznej gleby rozkład substancji organicznej odbywał się dość intensywnie (aczkolwiek nie w takim stopniu jak w glebie mineralnej). Jak wynika z przeprowadzonego doświadczenia, spośród dodanej do popiołów materii organicznej torf ulega w większym stopniu rozkładowi niż węgiel brunatny. W ciągu 12 tygodni w glebie mineralnej (bielicowej) z dodatkiem torfu wydzielilo się 302 mg CO₂/100 g s.m., w popiele z dodatkiem torfu 115 mg CO₂/100 g s.m., zaś w popiele z dodatkiem węgla brunatnego 77 mg CO₂/100 g s.m. Śladowe ilości CO₂ znaleziono w inkubowanym popiele bez dodatku substancji organicznej.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Zagospodarowanie rolnicze lub leśne składowisk popiołu po węglu brunatnym i kamiennym wymaga specjalnych zabiegów agrotechnicznych z uwagi na specyficzny materiał, jakim składowiska te się odznaczają.

O składzie mechanicznym i właściwościach fizycznych popiołu na poszczególnych składowiskach decyduje w dużym stopniu sposób składowania popiołów.

Popioły składowane hydraulicznie na „mokro” odznaczają się bardzo nierównomiernym składem mechanicznym, gdyż obok cząstek najdrobniejszych (poniżej 0,06 mm) zawierają często warstwy silnie scementowane, dużą ilość utworów o charakterze twardych łupków i gruzu cementowego.

Natomiast popioły składowane na „sucho” w większości przypadków mają charakter ziemistej masy ulegającej łatwemu unoszeniu przez wiatr. Badane popioły mają małą pojemność wodną (79-124%) oraz zawierają znaczną ilość wody niedostępnej dla roślin. Czynniki te nie sprzyjają wzrostowi roślin na hałdzie.

Sposoby składowania i formowania hałd popiołu wpływają również na ich właściwości chemiczne i biochemiczne. Przy hydraulicznym transporcie popiołów na składowisko pod wpływem działania wody następuje całkowite „rozlasowanie się” tlenków i przejście ich w wodorotlenki. Wskutek tego nie ma późniejszego „zagrzewania” się górnych warstw hałdy popiołu, co obserwuje się np. przy suchym składowaniu, gdzie wody opadowe nawilżające poszczególne jego warstwy powodują „lasowanie się” popiołu z powstawaniem wysokiej temperatury. Uwalniane ciepło hamuje lub wręcz uniemożliwia uprawę roślin. W naturalnych warunkach na składowisku proces lasowania trwać może przez dłuższy czas, dopóki pod wpływem klimatu nie nastąpi nawilżenie i przewietrzenie warstw składowiska.

Popioły odznaczają się bardzo dużą różnorodnością pod względem odczynu i składu chemicznego. Odczyn ich jest zasadowy (pH 8,7-11,2), przy którym w naturalnym stanie rośliny nie utrzymają się. Wysokie pH oprócz bezpośredniego ujemnego wpływu na rośliny może powodować również w warstwie korzeniowej taki stan, w którym większość zarówno makro- jak i mikroelementów nie jest przyswajalna dla roślin [3, 4]. Dotyczyć to może zarówno składników znajdujących się w popiołach, jak i składników dodanych w postaci nawozów. Z dalszych czynników można wymienić występowanie w masie popiołów niektórych składników chemicznych w wysokich koncentracjach, jak np. krzemionki, wapnia, glinu, żelaza, siarki oraz manganu.

Właściwości chemiczne badanych popiołów sprawiają, że dawki fosforu pod uprawiane na składowisku rośliny powinny być kilkakrotnie wyższe niż normalnie stosowane, z uwagi na uwstecznienie fosforu, zachodzące przy wysokiej zasadowości środowiska oraz dużej ilości wapnia, glinu i żelaza [2, 3]. Również z powodu alkaliczności środowiska azot musi być stosowany na składowiska w odpowiedniej formie (azotanowej), a także w wysokich dawkach ze względu na zupełny jego brak w popiele i możliwość strat w wyniku ulatniania się jonu amonowego.

Składowiska popiołu charakteryzuje duża koncentracja soli, którą można obniżyć stosując do popiołu dodatek gipsu i substancji organicznej. Szczególnie bardzo korzystne wydaje się działanie substancji organicznej w postaci torfu, a nawet w postaci węgla brunatnego na zmniejszenie się koncentracji niektórych szkodliwych składników chemicznych w warstwie wierzchniej składowiska popiołu.

Dodatek substancji organicznej polepsza właściwości buforowe środowiska popiołowego, a także zwiększa jego aktywność biologiczną; ma to istotne znaczenie przy stosowaniu dawek nawożeniowych pod rośliny w przyszyłych uprawach na składowiskach popiołu.

WNIOSKI

1. Składowiska popiołów po węglu brunatnym elektrowni Konin i Adamów oraz po węglu kamiennym elektrowni Siekierki i Skawina odznaczają się wysoką zasadowością (pH 8,7-11,2).

2. Badane popioły mają znacznie zróżnicowaną ilość składników chemicznych. Popioły elektrowni Konin i Adamów są bogate w wapń, potas, glin, żelazo, mangan i krzemionkę. Popioły z elektrowni Siekierki i Skawina poza znaczną zawartością krzemionki i żelaza zawierają pozostałe składniki w średnich bądź niewielkich ilościach.

3. Wskutek potraktowania popiołu wodą (popiół elektrowni Konin) dawkami odpowiadającymi 500, 1000, 1500 m opadów następowało intensywne wymywanie z popiołów wapnia, magnezu, potasu, siarki i krze-

mionki; inne składniki chemiczne, jak fosfor, glin oraz żelazo ulegały wypłukiwaniu w nieznacznym stopniu. Intensywność wypłukiwania składników chemicznych z popiołu zależała od czasu traktowania popiołu wodą oraz od wielkości stosowanej dawki wody. Dodatek do popiołu gipsu lub torfu powodował zwiększenie stopnia wypłukiwania przez wodę niektórych składników chemicznych.

4. Największą aktywnością biologiczną (największy rozkład błonnika w popiele) odznaczały się popioły elektrowni Siekierki i Konin, następnie popiół elektrowni Skawina, najniższą aktywność wykazał popiół elektrowni Adamów. Dodatek do popiołów składników nawozowych (NPK) zwiększał ich aktywność biologiczną.

5. W ciągu 12-tygodniowego okresu inkubacji w glebie mineralnej z dodatkiem torfu wydzieliło się 302 mg CO₂/100 g s.m. gleby, w popiele (elektrowni Konin) z dodatkiem torfu wydzieliło się 115 mg CO₂/100 g s.m. gleby, a w popiele z dodatkiem węgla brunatnego — 77 mg CO₂/100 g s.m. gleby.

LITERATURA

- [1] Grünekles H. G.: Ödlandbergrünung im Gebiet des Siedlungsverbandes Ruhrkohlenbezirk. Der Forst und Holzwirt 22, 1965, 504-510.
- [2] Illiner K., Raasch H.: Zur Bestimmung des Kalkgehaltes von Braunkohlenasches für die Melioration von Kippen. Z. Landeskultur 8, 1967, 3, 171-178.
- [3] Jones L. H.: Aluminium uptake and toxicity in plants. Plant and Soil 13, 1961, 297-310.
- [4] Pikatowa G.: Wykorzystanie roślinności wieloletniej dla celów rekultywacyjnych. Biul. Zakł. Badań GOP PAN, Mater. sympoz. 5, 1965.
- [5] Skawina T., Zubikowska-Skawinowa Z.: Zagadnienie toksyczności i neutralizacji na rekultywowanych zwałowiskach kopalni węgla brunatnego Turów. Węgiel brun. 2, 1964.
- [6] Skopkova M.: Prukopnicke rostliny pro rekultivaci ploch devastovanych terbou uhli. Vedecké Prace 7, 1965, 83-96.
- [7] Tarczewski W., Chamidulina M. W.: Opyt oblesienija promyslennykh otwałow. Les. Coz. 12, 1966, 28-30.

Ф. МАЦИАК, С. ЛИВСКИ, Е. БЕРНАЦКА

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАЛОК ЗОЛЫ БУРОГО И КАМЕННОГО УГЛЯ

Институт природных основ мелиорации,
Сельскохозяйственная академия в Варшаве

Резюме

Проведены испытания с целью определения некоторых физико-химических и биохимических свойств поверхностного слоя свалок (насыпей) золы бурого и каменного угля из электростанций. Характеристика свалок золы в отноше-

нии вышеназванных свойства была нужна для установления способов их агрономического рекультивирования. Анализы показали, что в зависимости от свалочной техники исследованные золы характеризуются большим разнообразием в отношении механического состава (от мелких цементированных пылевидных образований до крупных зернистых и песчаных частей). Золы содержат значительное количество недоступной для растений влаги и отличаются низкой влагоемкостью. Их реакция (рН) колеблется в пределах 8,7-11,2. Испытанные золы бурого угля очень богаты кальцием, калием, алюминием, железом и кремнеземом. Золы каменного угля содержат значительное количество железа и кремнезема, но содержание других элементов в них лишь среднее или невысокое.

Обработка золы водой способствовала интенсивному вымыванию кальция, магния, калия и серы. Прибавка к золе гипса или торфа повысила степень элюирования водой некоторых химических элементов.

Испытание разложения целлюлозы в золе показало, что скорость разложения зависит от вида золы и от внесения в нее удобрений и органического вещества. Прибавка минеральных удобрений (NPK) и торфа ускоряла разложение целлюлозы в золе. Разложение органического вещества (торф) протекало почти 3 раза медленнее, чем в минеральной (подзолистой) почве.

F. MACIAK, S. LIWSKI, E. BIERNACKA

SOME PHYSICO-CHEMICAL AND BIOCHEMICAL PROPERTIES OF THE ASH DUMPS AFTER BROWN AND HARD COAL

Institute of Natural Fundamentals of Reclamation
Agricultural University of Warsaw

Summary

The investigations aiming at determination of some physico-chemical and biochemical properties of upper layers of the ash dumps after brown and hard coal, from the coal-burning electric power station, were carried out. The characteristics of the ash dumps with regard to the above properties was necessary for determination of their agricultural recultivation way. The analyses have proved that the ashes investigated distinguish themselves, depending on their storage way, with a great variability of the mechanical composition (from fine cemented silty particles to coarse granular and sandy particles). The ashes contain a considerable amount of water unavailable to plants and show a low water capacity. Their reaction (pH) varies within the limits 8.7-11.2. The ashes originating from burned brown coal are very rich in calcium, potassium, aluminium, iron and silica. The ashes from hard coal contain a considerable amount of iron and silica at a medium or low content of the remaining components.

The treatment of the ashes with water caused an intensive leaching of calcium, magnesium, potassium and sulphur from it. An addition of gypsum or peat to the ash caused an increase of leaching of some chemical components by water.

The attempts of cellulose decomposition in the ash have proved that this decomposition depended on the ash kind and on the addition of fertilizers and

organic matter to the ash. An addition to it of mineral fertilizers (NPK) or organic matter (peat) caused an increase of the cellulose decomposition in the ash. The organic matter (peat) decomposition ran in the ash almost three times slower than in mineral (podzolic) soil.

Prof. dr hab. Franciszek Mactak
Instytut Przyrodniczych
Podstaw Melioracji AR
Warszawa, ul. Nowoursynowska 166

Wpłynęło do PTG w grudniu 1972

