ROCZNIKI GLEBOZNAWCZE T. XXVII, Nr 4, WARSZAWA 1976

FRANCISZEK MACIAK, STEFAN LIWSKI, JÓZEF PROŃCZUK

REKULTYWACJA ROLNICZA SKŁADOWISK ODPADÓW PALENISKOWYCH (POPIOŁÓW) Z WĘGLA BRUNATNEGO I KAMIENNEGO [1])

CZĘŚĆ I. WZROST ROŚLINNOŚCI NA SKŁADOWISKACH POPIOŁU W ZALEŻNOŚCI OD ZABIEGÓW AGROTECHNICZNYCH I NAWOŻENIA

Instytut Przyrodniczych Podstaw Melioracji
Akademii Rolniczej w Warszawie

Wśród nieużytków poprzemysłowych ważną pozycję ze względu na swoją specyfikę zajmują obszary składowisk (hałd) popiołu, które powstają w wyniku odprowadzania popiołu z elektrofiltrów oraz żużli z elektrowni cieplnych opalanych węglem brunatnym i kamiennym. Składowiska popiołu o miąższości od kilku do kilkunastu metrów o kilkudziesięciohektarowych powierzchniach zalegają często żyzne tereny rolnicze. Wywołując pylenie i zanieczyszczanie środowiska przyrodniczego stwarzają poważny problem w gospodarce kraju i życiu mieszkańców.

W produkcji hałd popiołu Polska zajmuje jedno z czołowych miejsc z uwagi na to, że ok. 95% energii elektrycznej w kraju pochodzi ze spalania węgla [8]. Prognozy rozwoju dalszej elektryfikacji przewidują, że w roku 1975 ilość popiołu z węgla kamiennego wynosić będzie 4,3 mln ton, zaś z węgla brunatnego ok. 3,7 mln ton. Należy się spodziewać, że zajmą one w 1980 r. ok. 2000 ha.

Na składowiska popiołu roślinność nie wchodzi samorzutnie, a pozostawione hałdy nawet po kilkunastu latach są martwe. Spowodowane jest to specyficznymi właściwościami fizykochemicznymi popiołów [5, 7, 8]. Utwory te zawierają zarówno części najdrobniejsze, pyłowe, ilaste), jak i grube (szkieletowe), często silnie scementowane. Są one silnie zasolone, pH osiąga nierzadko wartości 12, mają nadmiar glinu, żelaza, wapnia, często magnezu, siarki, manganu i boru. Zawsze zaś jest w nich niedobór fosforu i azotu [8, 12, 13, 14]. W świeżo składowanym popiele metale występują w postaci tlenków lub krzemianów, brak natomiast węglanów, które rozkładają się w wysokiej temperaturze spalania węgla.

Rośliny różnie reagują na składniki chemiczne zawarte w popiołach.

[1] Praca wykonana przy finansowej pomocy C.B.S. i P.W.M. oraz Ministerstwa Energetyki.

Wobec znacznej ilości znajdującego się w popiołach wapnia, magnezu i potasu niektórzy autorzy [5, 6, 17] zalecają użycie ich jako nawozu wapniowo-magnezowego zawierającego mikroelementy. Doświadczenia wykazały, że o ile popiół z węgla kamiennego stosowany do gleby w stosunkowo niewielkich ilościach nie powoduje ujemnych skutków, to jego duże dawki działały niekorzystnie na niektóre rośliny [4, 9, 17]. Ze składników chemicznych mogących na rośliny działać toksycznie należy wymienić glin, żelazo, mangan, bor. Pierwiastki te występują często w popiołach w ilościach nadmiernych. Rees i Sidrak [16], a także Holiday, Townsend i Hodgson [1, 2] w doświadczeniach wegetacyjnych nad wpływem dużych dawek popiołu z węgla kamiennego na rośliny stwierdzili objawy podobne do zatrucia ich manganem i glinem. Z badań Jonesa [3] wynika, że popiół zawierający wysoką dawkę glinu działał na niektóre rośliny toksycznie. Autor ten znalazł dużą ilość glinu w korzeniach jęczmienia rosnącego w środowisku alkalicznym. Stwierdzono, że o przyswajalności glinu w środowisku alkalicznym decyduje zmiana pH. Jęczmień jest zdolny sorbować glin z koloidalnego tlenku glinu przy zetknięciu się z nim korzeniami. Wskutek zmniejszonego pH pod wpływem soku komórkowego roślin glin wytrąca się bowiem jako wodorotlenek lub fosforan. Wówczas objawia się niedobór fosforu w częściach nadziemnych roślin przy równoznacznym nagromadzeniu glinu i fosforanów w korzeniach.

Szkodliwość popiołu na rośliny przypisywana jest również nadmiernej zawartości boru [1, 12, 13].

W doświadczeniach wegetacyjnych z wpływem popiołów na wzrost roślin ustalono nawet ich podział na grupy według wrażliwości, a mianowicie:

— tolerancyjne — buraki pastewne i cukrowe, szpinak, kalarepa,

— średnio tolerancyjne — koniczyna, lucerna, jarmuż, rzepak, gorczyca,

— wrażliwe — jęczmień, groch, wyka, fasola, sałata, marchew, gryka.

Poza gliniem, borem i manganem również inne związki zawarte w popiele mogą szkodliwie oddziaływać na rośliny. Między innymi Kozel [7] w sąsiedztwie elektrowni węglowej znalazł w popiele opadającym na rośliny ołów, cynk, miedź, nikiel i arsen, a także stwierdził toksyczne ilości SO_2 pochodzącego ze spalanego węgla. Szkodliwe działanie związków zawartych w popiele na rośliny nie występuje w równym stopniu na wszystkich składowiskach popiołu.

Nieliczne próby z zagospodarowaniem wykazały również w pewnych przypadkach możliwość zabezpieczenia składowisk przed pyleniem przez pokrycie ich roślinnością trawiastą, a także drzewiastą [15, 16, 19, 20, 21, 22]. Dość skuteczną, ale kosztowną metodą jest nawiezienie składowiska popiołu odpowiedniej grubości warstwy gleby i pokrycie go roślinnością [12, 13, 14].

W celu zbadania możliwości zagospodarowania hałd popiołu przeprowadzono kilkuletnie doświadczenia wegetacyjne i badania laboratoryjne. Celem badań było ustalenie odpowiednich gatunków roślin oraz właściwych zabiegów agrotechnicznych i nawozowych do wykorzystania rolniczego i zabezpieczenia składowisk popiołu przed pyleniem. Badano popioły po węglu brunatnym z elektrowni Konin i Adamów oraz po węglu kamiennym z Siekierek i Skawiny.

Charakterystykę utworów popielnych przedstawiono w innej pracy [10].

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Użyte do doświadczeń popioły ze składowisk elektrowni Konin i Skawina formowane były na mokro hydraulicznie, zaś popioły elektrowni Adamów i Siekierki składowano na sucho za pomocą taśmociągów i samochodów.

Przy ustalaniu metod rekultywacji rolniczej składowisk wzięto pod uwagę sposób ich formowania. W zależności bowiem od sposobów składowania popiołów i żużli paleniskowych materiał ten odznacza się większą lub mniejszą różnorodnością pod względem składu fizycznego i chemicznego. Przy składowaniu suchym różnice w składzie uzależnione są głównie od właściwości samego węgla użytego w procesie spalania. Natomiast przy składowaniu mokrym następuje bardzo duża segregacja cząstek popiołu, stąd też na hałdzie występują warstwy popiołów od cząstek najdrobniejszych do części grubszych. Najdrobniejsze części tworzą, szczególnie na powierzchni, liczne scementowane warstwy trudne do wzruszenia i trudno przepuszczalne dla wody. Segregacja wodna popiołu wpływa też na jego skład chemiczny. Cząstki najgrubsze stanowi krzemionka, najdrobniejsze zawierają największą ilość wapnia, magnezu i glinu oraz innych składników.

Popioły z badanych składowisk odznaczają się wysoką zasadowością (pH 8,7—11,2), co większości roślin uniemożliwia wzrost. Ponadto popioły te mogą zawierać bardzo wysokie, a przy tym zmienne ilości CaO (3,61—30,92%), MgO (1,63—6,91%), Na_2O (0,38—1,78%), K_2O (0,096—1,40%), Al_2O_3 (1,42—21,40%), Mn (0,039—0,19%), wykazują natomiast małą zawartość fosforu zwykle uwstecznionego oraz zupełny brak azotu.

Również właściwości fizyczne popiołów mogą nie sprzyjać wzrostowi roślin wskutek zeskalenia utworów. Należy podkreślić jeszcze, że woda zawarta w popiołach jest w znacznej mierze niedostępna dla roślin.

DOŚWIADCZENIA WEGETACYJNE

Na popiele składowiska elektrowni Konin wykonano:

I — 5-letnie doświadczenie wazonowe nad doborem roślin i ich nawożeniem,

II — 3-letnie doświadczenie wazonowe nad ustaleniem odpowiednich dawek nawożeniowych pod kupkówkę,

III — 4-letnie doświadczenie polowe nad uprawą mieszanki traw i motylkowych,

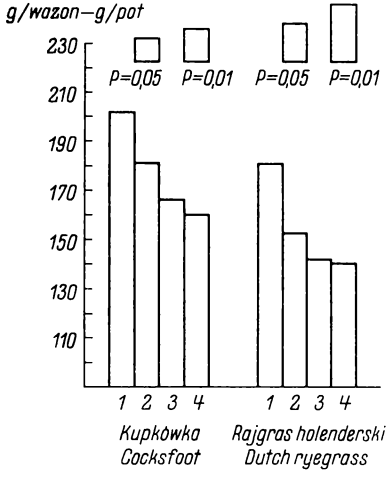
IV — 2-letnie doświadczenia polowe nad uprawą nostrzyku białego,

V — 1-roczne doświadczenie polowe z uprawą buraka pastewnego, brukwi, rzepy oraz gorczycy.

Na popiele składowiska elektrowni Adamów, Siekierki i Skawina prowadzono 3-letnie doświadczenie wazonowe mające na celu ustalenie odpowiednich dawek nawozów pod kupkówkę.

POPIÓŁ ELEKTROWNI KONIN (pH w H_2O — 11.2)

I doświadczenie wazonowe nad doborem roślin i nawożeniem prowadzono w latach 1969—1973 (rys. 1).



Rys. 1. Łączne plony siana z pięcioletniego okresu (1969—1973) z doświadczeń wazonowych na popiele elektrowni Konin

1 — NPK + mikroelementy + torf, *2* — NPK + mikroelementy + gleba mineralna, *3* — NPK + mikroelementy + H_2SO_4, *4* — NPK + mikroelementy

Total yield of hay for the 5-year period (1969—1973) in pot experiments on ash of the Konin power plant

1 — NPK + trace elements + peat, *2* — NPK + trace elements + mineral soil, *3* — NPK + trace elements + H_2SO_4, *4* — NPK + trace elements

Stosowano następujące dawki nawozów na wazon: N — 1 g w postaci NH_4NO_3, K_2O — 1 g jako K_2SO_4, P_2O_5 — 1 g jako 18-procentowy superfosfat, 0,5 g $CuSO_4$, 1,0 g $MnSO_4$, 0,026 g $ZnSO_4$, 0,1 g $Na_2B_4O_7 \cdot 10\ H_2O$, 0,022 g $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4\ H_2O$ oraz 250 ml H_2SO_4 stężonego. Ponadto 300 g torfu wysokiego (ściółka) o wilgotności 70% i pH H_2O — 3,6 oraz 3,3 kg gleby mineralnej — 10-centymetrowa warstwa gleby bielicowej (piasek gliniasty lekki) o pH H_2O — 6,2.

Doświadczenia prowadzono w 4 powtórzeniach w wazonach Mitscherlicha w hali wegetacyjnej. W kombinacjach z dodatkiem nawozów mineralnych stosowano 5,2 kg popiołu na wazon, w kombinacjach z dodatkiem torfu — 4 kg popiołu na wazon.

Rozdrobniony popiół wymieszano z nawozami mineralnymi i w zależności od kombinacji (rys. 1) część popiołu z kwasem siarkowym, a część z torfem; następnie napełniano wazony. Do części wazonów wprowadzono

popiół, a następnie warstwę (10 cm) gleby. Corocznie stosowano nawozy w pełnej dawce na początku wegetacji i po 1/2 dawki po każdym pokosie. Zasiano następujące rośliny:

— długotrwała mieszanka traw i motylkowych:
wiechlina łąkowa, kupkówka pospolita,
rajgras francuski, komonica rożkowa,
kostrzewa czerwona, koniczyna szwedzka,
kostrzewa owcza, koniczyna biała;
stokłosa prosta,

— krótkotrwała mieszanka traw i motylkowych:
rajgras holenderski, nostrzyk biały,
esparceta, przelot pospolity,
lucerna chmielowa, koniczyna perska;

— mieszanka traw, chwastów i motylkowych:
wiechlina zwyczajna, koniczyna łąkowa,
kostrzewa czerwona, koniczyna biała,
kupkówka pospolita, bodziszek łąkowy,
rajgras francuski, babka lancetowata,
mietlica biaława, gwiazdnica pospolita,
nostrzyk biały, starzec łąkowy.

Na wazon wysiano (13.V) po 3 g nasion poszczególnych mieszanek roślin. Z końcem wegetacji w roku 1969 w mieszance długotrwałej oraz w mieszance chwastów dominowała kupkówka, a mieszance krótkotrwałej — rajgras holenderski. W latach 1970, 1971, 1972 i 1973 podsiewano długotrwałą mieszankę kupkówką, a krótkotrwałą — rajgrasem holenderskim. Sprzęt odbywał się 3-krotnie w okresie wegetacyjnym.

II doświadczenie wazonowe nad ustaleniem dawek nawozowych pod kupkówkę na popiele z elektrowni Konin prowadzone w latach 1971—1973 (rys. 2, 4).

Sposób przeprowadzenia doświadczenia, jak i dawki nawożenia mineralnego były podobne jak w doświadczeniu I (corocznie pełne nawożenie mineralne NPK na początku wegetacji i po 1/2 dawki po każdym pokosie). Dawka torfu wynosiła 300 g na wazon. Corocznie dokonywano również podsiewu wazonów kupkówką w ilości 1 g na wazon.

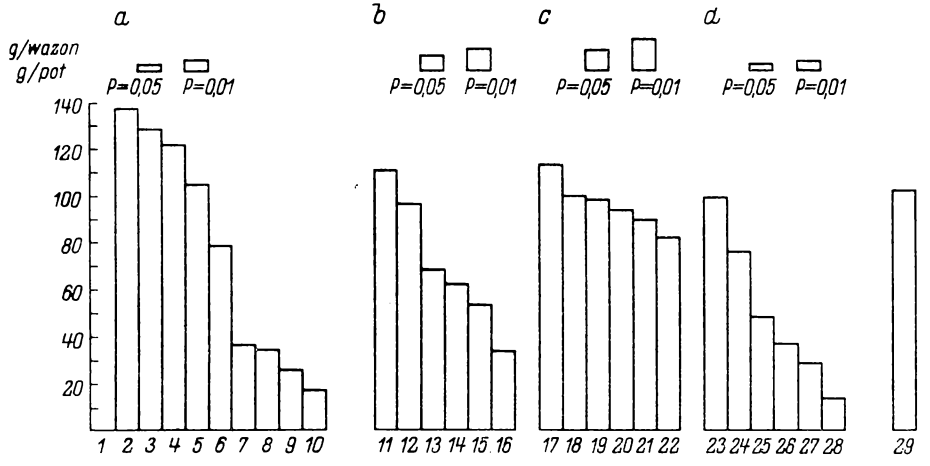
III doświadczenie polowe nad uprawą mieszanki traw i motylkowych na składowisku elektrowni Konin prowadzono w latach 1970—1973 (rys. 3a).

Dwa doświadczenia z mieszanką traw i motylkowych (pole A i B) założono metodą bloków losowanych w 4 powtórzeniach (wielkość poletek 40 m^2).

Kolejność prac przygotowawczych polowych do siewu była następująca:

— orka traktorowa do głębokości 0,15—0,20 m;

— bronowanie konne bronami średnimi w celu wyrównania powierzchni i rozdrobnienia większych grup popiołu;

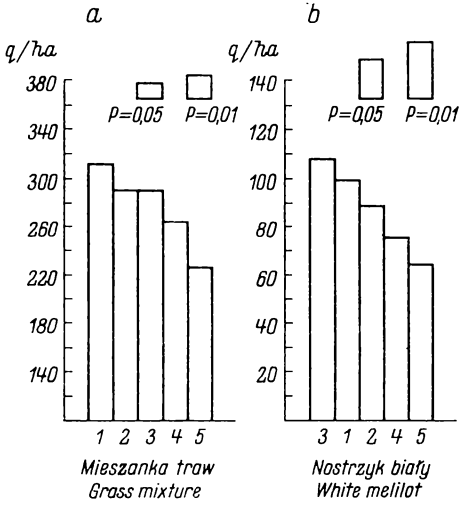


Rys. 2. Łączne plony siana kupkówki z trzyletniego okresu (1971—1973) doświadczeń wazonowych

popiół: *a* — z Konina, *b* — z Adamowa, *c* — z Siekierek, *d* — ze Skawiny; *2* — NPK + torf, *3* — NPK, *4* — NP, *5* — NP + torf, *6* — NPK + mikroelementy, *7* — NK + torf, *8* — N + torf, *9* — N, *10* — NK, *11* — NPK + torf, *12* — NPK, *13* — NPK + mikroelementy, *14* — NP, *15* — NPK + wyciąg glebowy, *16* — NK, *17* — NPK + torf, *18* — NPK + wyciąg glebowy, *19* — NPK, *20* — NPK + mikroelementy, *21* — NP, *22* — NK, *23* — NPK + torf, *24* — NPK + wyciąg glebowy, *25* — NPK, *26* — NP, *27* — NPK + mikroelementy, *28* — NK, *29* — gleba mineralna + NPK

Total cocksfoot hay yield for the 3-year period (1971—1973) in pot experiments

ash: *a* — from Konin, *b* — from Adamów, *c* — from Siekierki, *d* — from Skawina; *2* — NPK + peat, *3* — NPK, *4* — NP, *5* — NP + peat, *6* — NPK + trace elements, *7* — NK + peat, *8* — N + peat, *9* — N, *10* — NK, *11* — NPK + peat, *12* — NPK, *13* — NPK + trace elements, *14* — NP, *15* — NPK + soil extract, *16* — NK, *17* — NPK + peat, *18* — NPK + soil extract, *19* — NPK, *20* — NPK + trace elements, *21* — NP, *22* — NK, *23* — NPK + peat, *24* — NPK + soil extract, *25* — NPK, *26* — NP, *27* — NPK + trace elements, *28* — NK, *29* — mineral soil + NPK



Rys. 3. Łączne plony siana mieszanki traw *a* z czteroletniego okresu (1970/1973) oraz nostrzyku białego *b* z dwuletniego okresu (1970—1971) z doświadczeń polowych na składowisku popiołu w Koninie

1 — NPK + mikroelementy + torf + siarka, *2* — NPK + mikroelementy + węgiel brunatny, *3* — NPK + mikroelementy + torf, *4* — NPK + mikroelementy + siarka, *5* — NPK + mikroelementy

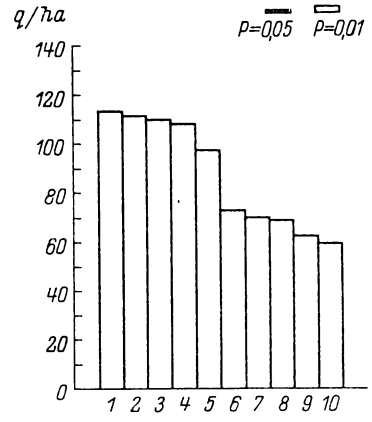
Total grass mixture hay yield *a* for the 4-year period (1970—1973) and white melilot *b* yield for the 2-year period (1970—1971) in field experiments on ash dump of the Konin power plant

1 — NPK + trace microelements + peat + sulphur, *2* — NPK + trace elements + brown coal, *3* — NPK + trace elements + peat, *4* — NPK + + trace elements + sulphur, *5* — NPK + trace elements

— podział pola na poletka o powierzchniach $8 \times 5 = 40$ m^2;

— zastosowanie (w zależności od kombinacji) na 1 ha: 100 t torfu wysokiego, 100 t węgla brunatnego, 2 t siarki pylistej,

— wysiew nawozów w następujących ilościach: N — 200 kg/ha (sa-



Rys. 4. Plon siana mieszanki traw uzyskany w 1973 r. z doświadczenia polowego w Koninie przy dwóch poziomach nawożenia

1 — NPK (po 300 kg) + torf + siarka, *2* — NPK (po 300 kg) + węgiel brunatny, *3* — NPK (po 300 kg) + torf, *4* — NPK (po 300 kg) + siarka, *5* — NPK (po 300 kg) + + mikroelementy, *6* — NPK (po 150 kg) + torf, *7* — NPK (po 150 kg) + siarka, *8* — NPK (po 150 kg) + + torf + siarka, *9* — NPK (po 150 kg) + węgiel brunatny, *10* — NPK (po 150 kg) + mikroelementy

Grass mixture hay hay yield obtained in 1973 in field experiments at Konin for two fertilization levels

1 — NPK by 300 kg + peat + sulphur, *2* — NPK by 300 kg + brown coal, *3* — NPK by 300 kg + peat, *4* — NPK by 300 kg + sulphur, *5* — NPK by 300 kg + trace elements, *6* — NPK by 150 kg + peat, *7* — NPK by 150 kg + sulphur, *8* — NPK by 150 kg + peat + sulphur, *9* — NPK by 150 kg + brown coal, *10* — NPK by 150 kg + trace elements

letra amonowa 34,5%), P_2O_5 — 200 kg/ha (superfosfat 18%), K_2O — 200 kg/ha (sól potasowa 60%). Prócz tego dano na hektar: 100 kg siarczanu miedzi, 100 kg siarczanu manganu, 20 kg boraksu, 4 kg molibdenianu amonu, 5 kg siarczanu cynku, 23,4 kg chlorku żelaza;

— bronowanie broną średnią;

— wysiew nasion — 42,5 kg/ha;

— zaszczepienie hałdy popiołu mikroflorą glebową (zastosowano około 100 kg/ha żyznej gleby mineralnej);

— bronowanie broną lekką;

— sprzęt roślin;

— po sprzęcie I pokosu wysiew nawozów (NPK) w ilości 1/2 dawki początkowej.

Użyta mieszanka traw zawierała: 25% kupkówki pospolitej, 20% wiechliny łąkowej, 20% kostrzewy czerwonej, 10% mietlicy białawej, 10% stokłosy bezostnej, 15% lucerny siewnej, 2 kg rajgrasu holenderskiego.

Przedstawione dawki nawozów oraz torfu, węgla brunatnego i siarki zastosowano na początku doświadczenia przed I pokosem w roku 1970. W dalszych latach użytkowania stosowano tylko nawożenie NPK. Corocznie poletka podsiewano mieszanką traw w ilościach 21,0 kg/ha.

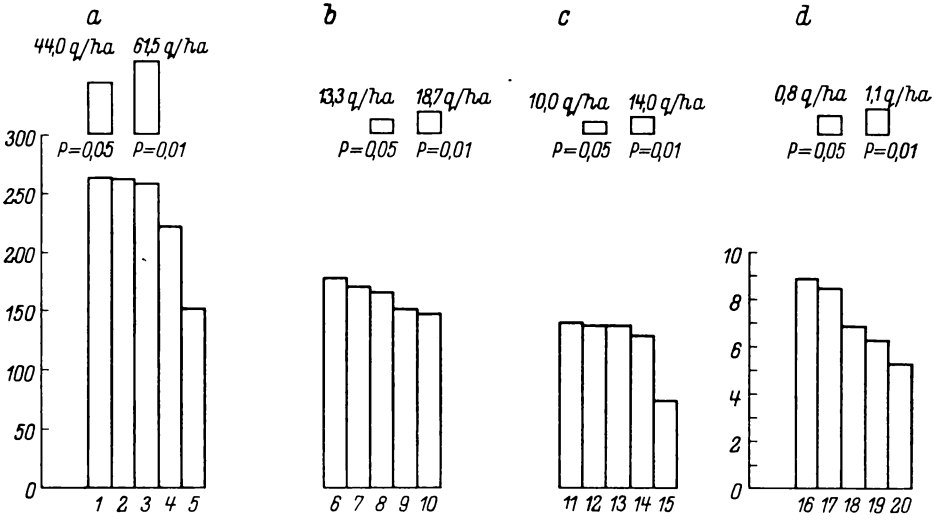
IV doświadczenie polowe nad uprawą nostrzyku białego na składowisku elektrowni Konin prowadzono w latach 1970—1971. Wykonano je w identycznym układzie, stosując tę samą agrotechnikę i nawożenie jak w doświadczeniu polowym z mieszanką traw. Nostrzyk biały wysiano w ilości 60 kg/ha (rys. 3b).

V doświadczenie polowe z uprawą buraka pastewnego, brukwi, rzepy oraz gorczycy na składowisku elektrowni Konin przeprowadzono w roku 1971.

W roku 1970 na składowisku wysiano słonecznik, który z powodu nie sprzyjających warunków tego siedliska po skiełkowaniu uległ zniszczeniu. Dlatego na wyznaczonych uprzednio poletkach po słoneczniku w roku

1971 wysiano brukiew — 4 kg/ha, rzepę — 4 kg/ha, burak pastewny — 30 kg/ha, gorczycę białą — 16 kg/ha.

Doświadczenia wykonano w 4 powtórzeniach. Wielkość poletek wynosiła 10 m². Stosowano podobną agrotechnikę oraz te same dawki nawozowe jak w doświadczeniu III i IV. Tylko w niektórych kombinacjach (rys. 5) dawka azotu uległa zwiększeniu; zamiast stosowanej na początku wegetacji dawki w ilości 200 kg/ha wysiano 400 kg/ha. Dawki potasu i fosforu wynosiły po 200 kg/ha.



Rys. 5. Plon w q/ha rzepy *a*, brukwi *b*, buraka pastewnego *c* i gorczycy *d* z doświadczeń polowych na składowisku popiołu w Koninie

1 — N_2PK + mikroelementy, *2* — NPK + mikroelementy + siarka, *3* — N_2PK + mikroelementy + siarka, *4* — NPK + mikroelementy, *5* — NPK + mikroelementy + węgiel brunatny, *6* — NPK + mikroelementy + węgiel brunatny, *7* — NPK + mikroelementy, *8* — N_2PK + mikroelementy, *9* — NPK + mikroelementy + siarka, *10* — N_2PK + mikroelementy + siarka, *11* — NPK + + mikroelementy + węgiel brunatny, *12* — N_2PK + mikroelementy, *13* — N_2PK + mikroelementy + siarka, *14* — NPK + mikroelementy + siarka, *15* — NPK + mikroelementy, *16* — NPK + + mikroelementy + węgiel brunatny, *17* — N_2PK + mikroelementy + siarka, *18* — N_2PK + mikroelementy, *19* — NPK + mikroelementy + siarka, *20* — NPK + mikroelementy

Turnip *a*, swedes *b*, fodder beets *c* and mustard *d* yields (in q/ha) in field experiments on dump at Konin

1 — N_2PK + trace elements, *2* — NPK + trace elements + sulphur, *3* — N_2PK + trace elements + + sulphur, *4* — NPK + trace elements, *5* — NPK + trace elements + brown coal, *6* — NPK + + trace elements + brown coal, *7* — NPK + trace elements, *8* — N_2PK + trace elements, *9* — NPK + trace elements + sulphur, *10* — N_2PK + trace elements + sulphur, *11* — NPK + trace elements + brown coal, *12* — N_2PK + trace elements, *13* — N_2PK + trace elements + sulphur, *14* — NPK + trace elements + sulphur, *15* — NPK + trace elements, *16* — NPK + trace elements + brown coal, *17* — N_2PK + trace elements + sulphur, *18* — N_2PK + trace elements, *19* — NPK + trace elements + sulphur, *20* — NPK + trace elements

POPIÓŁ ELEKTROWNI ADAMÓW (pH — 9,1), SIEKIERKI (pH — 9,2), SKAWINA (pH — 8,7)

Doświadczenia wegetacyjne nad ustaleniem dawek nawozowych pod kupkówkę na popiele elektrowni Adamów, Siekierki i Skawina prowadzono w latach 1971—1973 (rys. 2b, c, d).

Sposób wykonania, jak i dawki nawozów były identyczne jak w doświadczeniu z kupkówką na popiele elektrowni Konin. Porównawczą kom-

binacją dla doświadczeń wazonowych była gleba mineralna (piasek gliniasty lekki). Jednorazowo część popiołów (rys. 3b, c, d) zaszczepiono wyciągiem wodnym z żyznej gleby ogrodowej w celu pobudzenia działalności mikroorganizmów glebowych.

W celu porównania plonów z doświadczeń wegetacyjnych (wazonowych i polowych) przeprowadzono analizę wariancji według Snedecora dla $P=0,05$ i $P=0,01$. Zastosowano metodę kolejności miejsc, polegającą na rejestracji miejsc zajmowanych w kolejnych doświadczeniach przez daną kombinację, stosując za I miejsce 1 punkt, za II — 2 punkty itd. Kombinacja o najlepszym efekcie nawozowym posiadała najmniejszą ilość punktów.

WYNIKI BADAŃ

WZROST ROŚLIN NA POPIELE SKŁADOWISKA ELEKTROWNI KONIN

Pierwsze doświadczenie wazonowe założone w roku 1969 dało wstępną wskazówkę co do gatunków roślin odpornych na niekorzystne warunki, jakie tworzy składowisko popiołu, a równocześnie najbardziej przydatnych dla celów rekultywacji.

W wazonach wysiano długotrawłą mieszankę traw i motylkowych składającą się z 9 gatunków roślin, krótkotrwałą mieszankę traw i motylkowych złożoną z 6 gatunków oraz mieszankę traw, motylkowych i niektórych chwastów składającą się z 12 gatunków roślin (jak podano uprzednio). Równocześnie popiół potraktowano wysokimi dawkami nawozowymi, uwzględniając mikroelementy, a także zastosowano dodatek kwasu siarkowego, torfu i warstwę gleby mineralnej.

Spośród wysianych roślin mieszanki długotrwałej i chwastów w ciągu pierwszego okresu wegetacyjnego utrzymała się kupkówka i częściowo nostrzyk biały, a z mieszanki krótkotrwałej tylko rajgras holenderski. Uzyskane łączne plony siana roślin za lata 1969—1973 (rys. 1) wskazują że nawożenie mineralne i dodatek masy organicznej mają istotne znaczenie w ich produkcji.

Spośród zabiegów agrotechnicznych zarówno dla wzrostu kupkówki, jak i rajgrasu holenderskiego najlepszy efekt, na tle nawożenia NPK z mikroelementami, spowodował dodatek do popiołu torfu, nieco gorsze działanie wywołało wprowadzenie 10-centymetrowej warstwy gleby mineralnej na powierzchnię popiołu. Dodatek kwasu siarkowego (H_2SO_4) nie spowodował istotnych różnic w plonach roślin w porównaniu do kombinacji popiołu nawożonego NPK i mikroelementami.

Przy nawożeniu popiołu tylko NPK z dodatkiem mikroelementów otrzymano stosunkowo najniższe plony roślin.

Plony siana kupkówki i rajgrasu w poszczególnych latach wskazują na stosunkowo mały wzrost roślin w pierwszych latach prowadzonego do-

świadczenia. Niemniej jednak od początku występował korzystny efekt działania dodatku torfu do nawożenia mineralnego.

Prowadzone w ciągu trzech lat doświadczenia wazonowe z kupkówką na popiele skadowiska elektrowni Konin (rys. 2a) potwierdzają dodatni wpływ torfu na plonowanie roślin. W doświadczeniu tym chodziło również o wyjaśnienie wpływu poszczególnych składników nawozowych w środowisku popiołowym. Jak wynika z przedstawionych danych (rys. 2a), momentem warunkującym plonowanie roślin na składowisku popiołu w Koninie jest pełne nawożenie mineralne NPK. Dodatek torfu do nawożenia mineralnego miał istotny wpływ na zwyżkę plonów kupkówki.

Popioły zawierają prawdopodobnie pełny zestaw mikroelementów, gdyż coroczny dodatek ich do nawożenia NPK spowodował wyraźną obniżkę plonów roślin na popiele (kombinacja 5). Charakterystyczną cechą badanego popiołu jest niezwykle wyraźna reakcja roślin na nawożenie fosforem. Plony roślin bez dodatku fosforu (mimo, że popioły zawierają znaczną ilość tego składnika) są bardzo nikłe.

W ciągu okresu badań z powodu głodu fosforowego nie uzyskiwano w szeregu przypadków drugiego bądź trzeciego pokosu kupkówki. Również, mimo że popiół zawierał także znaczne ilości potasu, nawożenie roślin tym składnikiem jest potrzebne. Obserwuje się nawet, choć stosunkowo niewielkie, obniżenie plonów kupkówki w przypadku nienawożenia potasem.

W porównaniu do nawożonej NPK gleby mineralnej (piasek gliniasty) popiół elektrowni Konin nawożony NPK nie wykazuje istotnych różnic pod względem wartości użytkowej. Natomiast w przypadku jednorazowego nawożenia popiołu dodatkowo torfem plony siana kupkówki są wyższe niż na glebie mineralnej.

Popioły zawierają znaczne ilości mikroelementów, ale mogą być one nieprzyswajalne dla roślin. Dlatego założono dwa doświadczenia polowe (A i B) z mieszanką traw i jedno z nostrzykiem białym bezpośrednio na składowisku popiołu elektrowni Konin, stosując przy zakładaniu doświadczenia poza nawożeniem NPK dodatek mikroelementów (Cu, Mn, B, Zn, Fe, Mo), siarkę, torf oraz węgiel brunatny. Spośród wysianej 7-gatunkowej mieszanki traw (skład podano uprzednio) po okresie wegetacyjnym w 95% dominowała kupkówka pospolita. W pierwszych dwóch latach doświadczeń wystąpiły istotne różnice w plonowaniu mieszanki traw między poszczególnymi kombinacjami. Najlepsze działanie na tle nawożenia NPK wywołał zastosowany na początku, obok dawki mikroelementów, dodatek torfu i siarki lub torfu i węgla brunatnego. W trzecim i czwartym roku doświadczeń różnice między wszystkimi kombinacjami się zacierały i mieściły się w granicach błędu doświadczalnego. Plony siana (2 pokosy) w trzecim i czwartym roku doświadczenia wahały się na poziomie ok. 100 q/ha, można więc uznać je za bardzo wysokie.

Najwyższe plony siana traw za 4-letni okres (rys. 3a) uzyskano stosując

kolejno przy zakładaniu doświadczeń mikroelementy, torf i siarkę, a następnie nawożąc corocznie dużymi dawkami NPK. Niższe działanie spowodował dodatek (bez siarki) torfu lub węgla brunatnego, najniższe efekty wywołał dodatek mikroelementów.

Dodatnie działanie torfu i węgla brunatnego widoczne jest także przy uprawie nostrzyku białego, który wywiera również pozytywny wpływ glebotwórczy w procesie rekultywacji składowisk. Łączny plon siana nostrzyku białego za okres 2 lat wynosi 108,3 q/ha dla kombinacji z dodatkiem torfu i 99,6 q/ha z dodatkiem torfu i siarki. Tylko nieco niższe plony siana nostrzyku uzyskano przy zastosowaniu obok nawożenia NPK dodatku węgla brunatnego (rys. 3b).

Zarówno trawy, jak i nostrzyk biały w ciągu kilkuletniego okresu doświadczeń nawożone były corocznie wysokimi dawkami nawozowymi (NPK), które w sumie wynosiły: N — 300 kg/ha, P_2O_5 — 300 kg/ha, K_2O — 300 kg/ha. W czwartym roku doświadczenia na polu A z trawami zastosowano dawki NPK w ilościach jak wyżej, na polu B zaś dawki o połowę mniejsze.

Z analizy plonów siana traw z obu pól za rok 1973 (rys. 4) wynika, że wysokie dawki nawożeniowe (NPK) konieczne są pod rośliny na składowisku popiołu elektrowni Konin, nawet w dalszych latach ich uprawy. Ze zmniejszeniem bowiem nawożenia mineralnego plony roślin uległy obniżeniu prawie o 30%. W doświadczeniu tym uwidacznia się istotność różnic w plonach w zależności zarówno od wielkości dawki nawozowej, jak i dodatku masy organicznej.

Na składowisku popiołu elektrowni Konin przeprowadzono również doświadczenia polowe nad możliwością uprawy innych roślin poza trawami i nostrzykiem białym. Próby z uprawą jęczmienia jarego i słonecznika nie powiodły się, rośliny te pomimo intensywnego nawożenia wyginęły nie wydając plonów. Natomiast doświadczenia nad możliwością uprawy takich roślin, jak rzepak, rzepa, brukiew, burak pastewny i gorczyca oraz kostrzewa czerwona, pszenica i rzepik [11] dały pozytywne rezultaty (rys. 5a, b, c, d).

Spośród wymienionych roślin szczególnie dobry wzrost wykazała rzepa i gorczyca. Plony rzepy wyniosły ponad 250 q/ha, plony nasion gorczycy około 9 q/ha.

Przy uprawie rzepy najlepsze działanie nawozowe spowodowała zwiększona dawka nawożenia azotowego oraz siarki, najsłabsze — dodatek węgla brunatnego, natomiast przy uprawie brukwi, buraka pastewnego i gorczycy najlepiej działał dodatek węgla brunatnego. Siarka wykazała w szeregu przypadków dodatni efekt również przy uprawie buraka pastewnego i gorczycy, natomiast spowodowała nieznaczne obniżenie plonów brukwi.

Przeprowadzone trzyletnie doświadczenia wazonowe z kupkówką na popiołach składowisk elektrowni Adamów, Siekierki i Skawina wykazały

możliwość uprawy roślin także na innych składowiskach popiołu (rys. 2a, b, c, d). Równocześnie badania te wskazały na potrzebę stosowania w tych warunkach pod rośliny wysokich dawek nawozowych nie tylko w początkowych, ale również w dalszych latach. Z doświadczeń tych wynika jednak, że na niektórych składowiskach (Konin, Adamów) można ograniczyć dawki potasu, jak również nie stosować mikroelementów. Natomiast konieczne jest nawożenie popiołów wysokimi dawkami fosforu i azotu. Deficyt fosforu w popiołach z poszczególnych składowisk można częściowo zniwelować dodatkiem torfu.

W porównaniu do gleby mineralnej nawożonej NPK wyższe plony kupkówki uzyskano na popiele nawożonym NPK elektrowni Konin, a tylko nieco niższe niż na glebie mineralnej — na popiele elektrowni Adamów i Siekierki (rys. 2a, b, c). W okresie trzech lat (rys. 2a, b, c, d), biorąc pod uwagę wszystkie pokosy przy jednakowym nawożeniu, najwyższe plony siana kupkówki uzyskano kolejno na popiele elektrowni Konin, Siekierki, Adamów i Skawina. We wszystkich latach prowadzonych doświadczeń dodatek torfu wyraźnie zwiększał plony siana (rys. 1, 2, 3, 4).

Efekt działania na wzrost kupkówki nawożenia mineralnego oraz dodatku substancji organicznej, stosowanych na czterech różnych popiołach w wieloletnim okresie doświadczeń, przedstawia analiza wariancji wazonowego doświadczenia kombinowanego dwuczynnikowego (tab. 1 i 2). Czynnik A oznacza pochodzenie popiołu (4 rodzaje popiołów), czynnik B oznacza nawożenie (5 kombinacji nawozowych).

Błąd standardowy różnicy średnich arytmetycznych dla popiołów:

Tabela 1

Średnie dla kombinacji /rodzaj popiołu + nawożenie/ w g na wazon
Means for treatments /ash kind + fertilization/ in g per pot

Nawożenie Fertilization / Rodzaj popiołu Ash kind	NP	NK	NPK	NPK + torf NPK + peat	NPK + mikro-elementy NPK + trace elements	Średnia Mean
Popiół z Konina Ash from Konin	121,4	17,5	128,1	137,7	78,3	96,6
Popiół z Adamowa Ash from Adamów	61,3	32,5	95,5	110,4	67,2	73,4
Popiół z Siekierek Ash from Siekierki	88,7	80,9	97,3	112,4	92,6	94,4
Popiół ze Skawiny Ash from Skawina	36,0	13,7	47,8	98,3	27,9	44,7
Średnia Mean	76,9	36,2	92,2	114,7	66,5	77,3

Tabela 2

Analiza wariancji doświadczenia wazonowego z kupkówką
Analysis of variance of the pot experiment with cocksfoot

Zmienność Variability	Liczba stopni swobody Number of degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średni kwadrat /wariancja/ Mean square /variance/	F_{obl} F_{calc}	$F_{0,05}$	$F_{0,01}$
A - rodzaje popiołu A. Ash kinds	/a - 1/ = 4 - 1 = 3	38,804	11,601	701	2,77	4,16
B - nawożenie B. Fertilization	/b - 1/ = 5 - 1 = 4	54,860	13,715	829	2,54	3,69
AxB - interakcja AxB Interaction	/a - 1/ /b - 1/ = = 3 . 4 = 12	18,541	1,545	93	1,93	2,52
E - odchylenie losowe /błąd, nieścisłość/ E. Random deviations /error, inaccuracy/	/n - 1/ /ab - 1/= /4 - 1/ /4 x 5 - 1/= = 57	943	16,54			

$$S_{DA} = \sqrt{\frac{2 \cdot 16 \cdot 54}{4 \cdot 5}} = 1{,}29$$

$$t_{0,05} \cdot S_{DA} = 2{,}01 \cdot 1{,}29 = 2{,}59$$

$$t_{0,01} \cdot S_{DA} = 2{,}65 \cdot 1{,}29 = 3{,}42$$

Błąd standardowy różnicy średnich arytmetycznych dla nawożenia:

$$S_{DB} = \sqrt{\frac{2 \cdot 16 \cdot 54}{4 \cdot 4}} = 1{,}44$$

$$t_{0,05} \cdot S_{DB} = 2{,}01 \cdot 1{,}44 = 2{,}89$$

$$t_{0,01} \cdot S_{DB} = 2{,}65 \cdot 1{,}44 = 3{,}82$$

Błąd standardowy różnicy średnich arytmetycznych dla kombinacji A×B:

$$S_{DAB} = \sqrt{\frac{2 \cdot 16 \cdot 54}{4}} = 2.875$$

$$t_{0,05} \cdot S_{DAB} = 2{,}01 \cdot 2{,}875 = 5{,}78$$

$$t_{0,01} \cdot S_{DAB} = 2{,}65 \cdot 2{,}875 = 7{,}62$$

Jak wynika z tych danych, kolejność plonów na różnego rodzaju popiele niezależnie od nawożenia przedstawia się następująco:

I — popiół z elektrowni Konin,
II — popiół z elektrowni Siekierki,
III — popiół z elektrowni Adamów,
IV — popiół z elektrowni Skawina.

Wyniki doświadczeń z uprawą roślin na popio-
Kolejność miejsc kombinacji nawozowych w kierun-

Results of the experiments with cultivation of plants on
Succession of places of fertilization treatments in a

Roślina Plant	Pochodzenie popiołu /składowisko/ Ash origin	Rodzaj doświadczenia Experiment kind	Okres lat Period	N	NP	NK	NPK	N + torf N + peat	NP + torf NP + peat	NK+ torf NK+ peat
Kupkówka Cocksfoot	Adamów	wazonowe pot experiment	1971-73		III	V	II			
Kupkówka Cocksfoot	Siekierki		1971-73		II	III	II			
Kupkówka Cocksfoot	Skawina		1971-73		IV	VI	III			
Kupkówka Cocksfoot	Konin		1971-73	VI	II	VII	II	V	III	V
Mieszanka długotrwała /kupkówka/ Long-term mixture /cocksfoot/	Konin		1969-73							
Mieszanka krótkotrwała /rajgras holenderski/ Short-term mixture /Dutch ryegrass/	Konin		1969-73							
Mieszanka traw - pole A Grass mixture /field A/	Konin	polowe field experiment	1970-73							
Nostrzyk biały White melilot	Konin		1970-71							
Rzepa Turnip	Konin		1971							
Brukiew Swedes	Konin		1971							
Burak pastewny Fodder beets	Konin		1971							
Gorczyca Mustard	Konin		1971							
Średnia ilość punktów Mean number of points				6	2,8	5,3	2,5	5	3	5
Ostateczna kolejność kombinacji Final successive order of treatments				XII	VII	XI	V	X	IX	X

Biorąc pod uwagę istotność różnic (P=0,05=2,59 g/cm, P=0,01=3,42 g/wazon) między popiołem elektrowni Konin a elektrowni Siekierki różnice plonów są nieistotne (2,2 g na wazon). Pozostałe różnice są wysoko istotne (P=0,01). Kolejność plonów pod wpływem kombinacji nawozowych niezależnie od rodzaju popiołu przedstawia się następująco:

I — NPK+torf,

II — NPK,

Tabela 3

żach z elektrowni w zależności od nawożenia
ku malejącym pod względem ich wpływu na plony

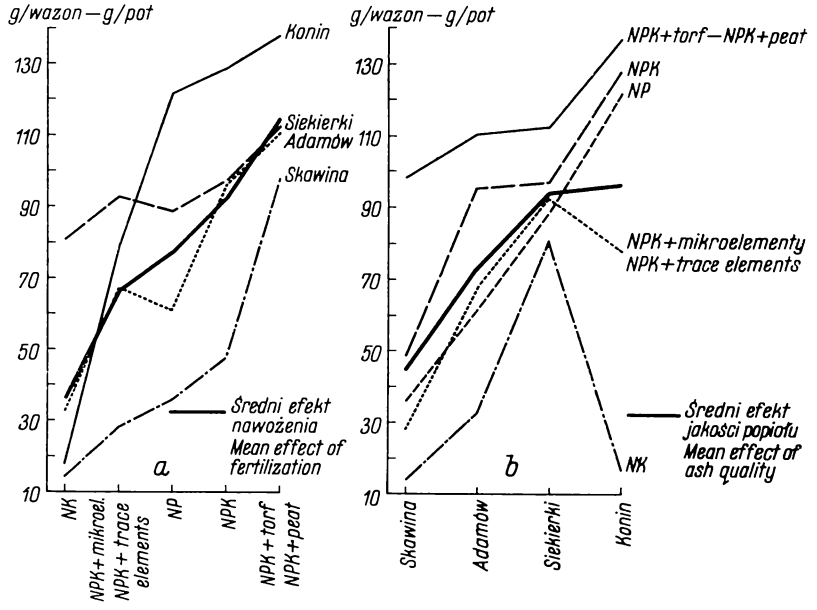
ashes from particular power plants depending on fertilization
decreasing order with regard to their effect on yields

NPK+ torf NPK+ peat	NPK + mikro-ele-menty NPK + trace ele-ments	N_2PK + mikro-ele-menty N_2PK+ trace ele-ments	NPK + wyciąg gle-bowy NPK + soil ex-tract	NPK + mikroelementy + torf + trace elements + peat	NPK + mikroelementy + siarka + trace elements + sulphur	NPK + mikroelementy + H_2SO_4 + trace elements + H_2SO_4	N_2PK + mikroelementy + siarka + N_2PK + trace elements + sulphur	NPK + mikroelementy + torf + siarka + NPK + trace elements + peat + sulphur	NPK + mikroelementy + węgiel brunatny + NPK + trace elements + brown coal	NPK + mikroelementy + gleba mineralna + NPK + trace elements + mineral soil
I	III		IV							
I	II		II							
I	V		II							
I	IV									
	IV			I		III				II
	IV			I		III				II
	IV			II	III			I	II	
	II			I	II			I	I	
	I	I			I		I		II	
	I	I			II		II		I	
	II	I			I		I		I	
	III	II			II		I		I	
1	2,9	1,3	2,7	1,3	1,8	3	1,3	1	1,3	2
I	VIII	II	VI	II	III	IX	II	I	II	IV

III — NP,
IV — NPK+mikroelementy,
V — NK.

Przy przedziale ufności wynoszącym $\varphi = 0{,}05 = 2{,}89$ g na wazon, $\varphi = 0{,}01 = 3{,}82$ g na wazon wszystkie różnice w plonie między kombinacjami nawozowymi są wysoce istotne ($\varphi = 0{,}01$).

Współzależność czynników: rodzaj popiołu × nawożenie (A×B) wyraża



Rys. 6. Wpływ jakości (pochodzenia) popiołów i nawożenia na plon siana kupkówki z trzyletniego doświadczenia wazonowego (1971—1973)

Effect of ash quality (origin) and fertilization on cocksfoot hay yields in 3-year pot experiment (1971—1973)

niejednakową reakcję na nawożenie roślin rosnących na różnych popiołach. Na przykład plon uzyskany na popiele z elektrowni Siekierki w kombinacji NK jest bardzo podobny do plonu w kombinacji NP (80,9 g i 88,7 g), natomiast na pozostałych rodzajach popiołu plon z kombinacji NK jest 2—6-krotnie niższy niż w kombinacji NP (rys. 6). Wskazuje na to również przedział ufności (rys. 2). Wszystkie różnice plonów między parami, np. NP—NK, dla popiołu elektrowni Siekierki wynoszą 7,8 g na wazon, a dla elektrowni Skawina — 22,3 g na wazon. Z kolei te dwie wielkości różnią się o 14,5 g, czyli są większe od obliczonego przedziału ufności, który dla kombinacji A×B wynosi odpowiednio — 5,78 g i 7,62 g na wazon. W tabeli 3 przedstawiono działanie poszczególnych kombinacji nawozowych na plony roślin. Przy ustalaniu kolejności miejsc uwzględniono tylko istotność różnic między kombinacjami nawozowymi obliczonych statystycznie. Jak widać, wyraźny efekt działania nawozowego NPK na popiołach uwidacznia się szczególnie po zastosowaniu dodatku torfu lub węgla brunatnego.

Działanie samego nawożenia mineralnego (NPK) znajduje się dopiero na V miejscu według listy punktów i wynosi 2,5 punkta (tab. 4). Na pierwmiejscu (po 1 punkcie) znajdują się kombinacje nawozowe NPK+torf oraz NPK+mikroelementy+torf+siarka, na ostatnim XII miejscu (6,0 punktów) znajduje się kombinacja nawozowa z zastosowaniem tylko samego N. Zestawione liczby wskazują także na ujemne działanie niektó-

rych składników dodanych do nawożenia podstawowego NPK. Ujemny skutek na plony roślin wywołał dodatek mikroelementów oraz mikroelementów i H_2SO_4. Nieodzownym składnikiem nawozowym okazał się fosfor, a także potas. Niedobór ich w popiele w pewnej mierze niwelował dodatek torfu.

Tabela 4

Kolejność kombinacji nawozowych w doświadczeniach na popiołach wyrażona w pionach /w kierunku malejącym/

Succession of fertilization treatments in experiments on ashes, expressed in terms of yields /in a decreasing order/

Kolejność Succession	Kombinacja nawozowa Fertilization treatment	Liczba punktów Number of points
I	NPK + torf - NPK + peat	1,0
	NPK + mikroelementy + torf + siarka NPK + trace elements + peat + sulphur	1,0
II	N_2PK + mikroelementy + siarka N_2PK + trace elements + sulphur	1,3
	NPK + mikroelementy + węgiel brunatny NPK + trace elements + brown coal	1,3
	N_2PK + mikroelementy N_2PK + trace elements	1,3
	NPK + mikroelementy + torf NPK + trace elements + peat	1,3
III	NPK + mikroelementy + siarka NPK + trace elements + sulphur	1,8
IV	NPK + mikroelementy + gleba mineralna NPK + trace elements + mineral soil	2,0
V	NPK	2,5
VI	NPK + wyciąg glebowy /szczepionka mikroflory/ NPK + soil extract /microflora inoculation/	2,7
VII	NP	2,8
VIII	NPK + mikroelementy NPK + trace elements	2,9
IX	NP + torf - NP + peat	3,0
	NPK + mikroelementy + H_2SO_4 NPK + trace elements + H_2SO_4	3,0
X	NK + torf - NK + peat	5,0
	N + torf - N + peat	5,0
XI	NK	5,3
XII	N	6,0

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski.

1. Na składowiska popiołów w pierwszej fazie ich rekultywacji nadają się szczególnie: kupkówka pospolita, rajgras holenderski, kostrzewa czerwona i nostrzyk biały.

2. Doświadczenia wegetacyjne wykazały również możliwość uprawy

na składowiskach popiołu rzepaku, gorczycy, rzepy, buraka pastewnego i brukwi.

3. Istotnym i najważniejszym czynnikiem wpływającym na wzrost roślin na składowiskach popiołu zarówno w fazie początkowej rekultywacji, jak i w okresie późniejszym jest wysokie nawożenie azotowe i fosforowe roślin w ilościach około: 300 kg P_2O_5 i 300 kg N na 1 ha. Nawożenie potasowe może być ograniczone do mniejszych dawek, tj. do ok. 100—150 kg K_2O/ha.

4. Z uwagi na wysoką alkaliczność popiołów nawozy należy stosować w dwóch lub trzech dawkach oraz w odpowiednich formach (azot w formie azotanowej).

5. Na wielkość plonów roślin na składowiskach popiołów bardzo istotny wpływ wywiera dodatek torfu a nawet węgla brunatnego. Również korzystny wpływ w wielu przypadkach spowodował dodatek siarki.

6. Terminy i technika stosowania nawożenia mineralnego pod rośliny na składowiskach popiołu nie różnią się w sposób zasadniczy od przyjętych w uprawach polowych i użytkowaniu pastwiskowym.

7. Wysokość plonów roślin na popiołach (niezależnie od ich rodzaju) zależała od nawożenia i kształtowała się następująco: I — NPK+torf, II — NPK, III — NP, IV — NPK+mikroelementy, V — NK.

8. Pod względem produktywności (niezależnie od nawożenia) najlepsze właściwości wykazują popioły: I — elektrowni Konin, II — elektrowni Siekierki. III — elektrowni Adamów, IV — elektrowni Skawina.

LITERATURA

[1] Holiday R., Hodgson D. R., Townsend W. N., Wood J. W.: Plant growth on „Fly ash". Nature 181, 1958, 1079—1080.

[2] Holiday H., Townsend W. N., Hodgson D. R.: Plant growth on „Fly ash". Nature 176, 1955, 983—984.

[3] Jones L. H.: Aluminium uptake and toxicity in plants. Plant and Soil 13, 1961, 297—310.

[4] Kick H., Grosse-Brauckmann E.: Vegetationsversuche über den Einfluss von Braun- und Stein-Kohlenflugasche auf das Wachstum von Pflanzen. Landwirtschaft. Forschung 14, 1961, 229—238.

[5] Knickmann E.: Versuche mit Flugasche. Zeitsch. für Pflanzenern. Düng. Bodenk. 50, 1950, 289—296.

[6] Knickmann E.: Versuche über die Landwirtschaftliche und forstliche Vertbarkeit einiger industrieller Abfallstoffe. Beiträge zur Agrawissenschaft, Landbuch Verlag Hannover II, 1948, 20—34.

[7] Kozel J. K.: K otazce znecisteni ovzdusi na Trutnovsku. Vedecke Prace 7, 1965, 137—156.

[8] Kozel J. K., Maly V.: Negativni vliv slozist popielku. Ochrana Ovzdusi 1, 1973, 3—2.

[9] Lenz K.: Einige Versuche über die Möglichkeit der Vervendung von Braunkohlenflugaschen als Kalkdüngenmittel. Kühn Arch. 64, 1951, 99—106.

[10] Maciak F., Liwski S., Biernacka E.: Właściwości fizykochemiczne i biochemiczne składowisk popiołu po węglu brunatnym i kamiennym. Rocz. glebozn. (w druku).
[11] Maciak F., Liwski S. i in.: Sprawozdania z badań nad rekultywacją składowisk popiołu po węglu brunatnym i kamiennym za lata 1969, 1970, 1971, 1972, 1973. Maszynopisy — Centralne Biuro Studiów i Projektów Wodnych Melioracji, Warszawa.
[12] Maly V. a kolektiv: Moznosti pouziti odpadu z elektoren a teplaren. Vedecke Prace Vyskumnego Ustavni Melioraci MZVZ, Praha 1967.
[13] Maly V.: K otacce zemedelske rekultivace slozist elektroren. Vedecke Prace Vyskumnego Ustavni Melioraci v Praze, 1963. Ustav Vedeckotechnickych Informaci MZVZ, Praha 1969.
[14] Morley Davies W.: Bringing back the Acres. Pulverized fuel ash. Agriculture 2, 1964, 84—87.
[15] Pikatowa G. M.: Wykorzystanie roślinności wieloletniej dla celów rekultywacyjnych. Biul. Zakł. Badań GOP PAN. Materiały sympozyjne nr 5, 1965.
[16] Rees W. I., Sidrak G. H.: Plant growth on „Fly ash". Nature 1955, 176—342.
[17] Reinhold J.: Düngungsversuche mit Flugasche. Zeitschr. für Pflanzener. Düng. Bodenk. 49, 1950, 111—116.
[18] Skopkova M.: Prukopnicke rostliny pro rekultivaci ploch devastovanych terbou uhli. Vedecke Prace nr 7, 1965.
[19] Sziłowa J. J.: Umacnianie za pomocą roślinności grobli osadników szlamowych. Zakład Badań Naukowych GOP PAN w Zabrzu. Biul. nr 5, Katowice 1965.
[20] Tarczewskij W. W., Hamidulina M. W.: Opyt oblesienija promyszlennych otwałow. Los. Cos. 12, 1966, 28—30.
[21] Tarczewskij W. W.: Ozielenienije zołnych otwałow tepłowych elektrostancji Urala. Trudy moskowskogo obszczestwa ispytatielej prirody 19, 1966, 281—288.
[22] Tarczewskij W. W.: Biologiczeskije mietody konserwacji zołootwałow tiepłowych elektrostancyj Urała. Sbornik naucznych robot katiedry botaniki, Moskwa 1966.

Ф. МАЦИАК, С. ЛИВСКИ, М. ПРОНЬЧУК

ОЗЕЛЕНЕНИЕ (ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЕ ОСВОЁНИЁ) ОТВАЛОВ ТОПОЧНЫХ ОТБРОСОВ (ЗОЛ) БУРОГО И КАМЕННОГО УГЛЯ

ЧАСТЬ 1-Я. РОСТ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗОЛЬНЫХ ОТВАЛАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ И УДОБРЕНИЯ

Институт природных основ мелиорации, Сельскохозяйственная академия в Варшаве

Резюме

Среди постиндустраильных бросовых земель видное место занимают площади отвалов золы, которые образуются в результате удаления золы из электрофильтров, а также шлаков из тепловых электростанций, отапливаемых бурым и каменным углем. Эти отвалы нередко прикрывают плодородную землю, вызывая при том запыленность и загрязнение природной среды, создавая этим нелегкую для рещения проблему в экономике страны и жизни населения.

Для исследования возможности освоения зольных отвалов были проведены нескольколетние вегетациооные опыты и лабораторные испытания. Цель исследований состаяла в уточнении соответственных видов растений, надлежащих агротехнических мероприятий и состава удобрений, благоприятствующих земледельческому использованию и защите перед пылением зольных отвалов бурого и каменного угля из электростанции Конин, Адамов, Секерки и Скавина.

В проведенных исследованиях были получены следующие результаты. В первом периоде освоения зольных отвалов особенно пригодны такие растения как: ежа сборная, рапс английский и донник белый. Можно тоже возделывать горчицу, рапс, репу, кормовую свеклу и брюкву. Существенным и самым важным фактором влияющим на рост растений на зольных отвалах так в начальном, как и в дальнейших периодах их освоения является внесение азотных и фосфорных удобрений в количестве около 300 кг P_2O_5 на га и 300 кг N на га. Калийное удобрение может быть ограничено до меньших доз, т.е. до около 100 кг K_2O на га.

На величину урожая растений на зольных отвалах очень существенное влияние оказывает добавка торфа и бурого угля. Положительное влияние в многих случаях показала прибавка серы. Внесение микроэлементов не имело положительного влияния на величину урожая, оно неоднократно вызывало даже падение урожая.

Золы из отдельных отвалов различались в отношении продуктивности.

F. MACIAK, S. LIWSKI, J. PROŃCZUK

AGRICULTURAL RECULTIVATION OF FURNACE WASTE (ASH) DUMPS FROM BROWN AND HARD COAL

PART I. VEGETATION GROWTH ON ASH DUMPS DEPENDING ON AGRONOMIC MEASURES AND FERTILIZATION

Department of Natural Basis of Land Reclamation,
Agricultural University of Warsaw

Summary

That are the areas of ash dumps forming in consequence of disposal of ash from electrofilters and of slag from thermal electric power plants using brown and hard coal, which occupy due to their specificity an important position among post-industrial wastelands. These dumps occupy often very fertile agricultural areas, contaminating the natural environment and creating thus a serious problem in economy of the country and in life of its inhabitants.

To recognize possibilities of agricultural management of the ash dumps, several-year vegetation and laboratory experiments were carried out. The aim of the investigations was to determine suitable species of plants and appropriate agronomic measures and fertilization for agricultural utilization of the dumps and protection of the landscape against dusting of ash dumps from brown and hard coal from the Konin, Adamów, Siekierki and Skawina power plants.

It has been proved as follows: At the first stage of experiments such plants have been regarded as most suitable for recultivation of ash dumps, as cocksfoot, Dutch ryegrass and white melilot. Also mustard, rape, turnip, fodder beets and

swedes can be cultivated there. A significant and most important factor affecting the plant growth on ash dumps, both at an initial recultivation stage and in later periods, is an abundant nitrogen and phosphorus fertilization in the rates of about 300 kg P_2O_5 and 300 kg N per hectare. The potassium fertilization can be limited to lower rates, i.e. to about 100 kg K_2O per hectare.

The magnitude of yields on the ash dumps was quite significantly affected by an addition of peat and brown coal. Of advantage was in a number of cases an addition of sulphur. Trace elements added did not exert any positive effect on yields of plants and in many cases they resulted even in their decrease.

Ashes of particular dumps differred with regard to their production capacities.

prof. dr Franciszek Maciak
Instytut Przyrodniczych Podstaw
Melioracji AR
Warszawa, ul. Nowoursynowska 166