

NW

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
W BYDGOSZCZY

Rozprawy  
nr 80

JANUSZ HERMANN

AGROCHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI BORU  
WYŁUGOWANEGO Z POPIOŁÓW LOTNYCH  
WĘGLA KAMIENNEGO

31.5/9

Hermann, Janusz.  
Agrochemiczne właściwości

97.

BYDGOSZCZ - 1997

1911  
1912  
1913  
1914  
1915  
1916  
1917  
1918  
1919  
1920  
1921  
1922  
1923  
1924  
1925  
1926  
1927  
1928  
1929  
1930  
1931  
1932  
1933  
1934  
1935  
1936  
1937  
1938  
1939  
1940  
1941  
1942  
1943  
1944  
1945  
1946  
1947  
1948  
1949  
1950  
1951  
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958  
1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964  
1965  
1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025

631.5/.9

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
W BYDGOSZCZY

**Rozprawy**  
**nr 80**

JANUSZ HERMANN

AGROCHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI BORU  
WYŁUGOWANEGO Z POPIOŁÓW LÓTNYCH  
WĘGLA KAMIENNEGO

Biblioteka Główna ATR w Bydgoszczy



00000008708

BYDGOSZCZ - 1997

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
prof. dr hab. Ojcumiła Stefaniak

OPINIODAWCY

prof. dr hab. Hubert Gembarzewski  
prof. dr hab. Teofil Mazur

REDAKTOR NAUKOWY

prof. dr Wojciech Wiśniewski

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE

mgr Joanna Ekstowicz-Mąka, Zbigniew Gackowski



Wydano za zgodą Rektora  
Akademii Techniczno-Rolniczej  
w Bydgoszczy

80421

ISSN 0209-0597

WYDAWNICTWO UCZELNIANE  
AKADEMII TECHNICZNO-ROLNICZEJ W BYDGOSZCZY

---

Wyd. I. Nakład 150 egz. Ark. aut. 3,55. Ark. druk. 5,0. Papier druk. kl. III.  
Oddano do druku w marcu 1997 r. Druk ukończono w kwietniu 1997 r.  
Zakład Małej Poligrafii ATR, ul. ks. A. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz  
Zamówienie nr 23/97

97 D 53/23

## SPIS TREŚCI

1. WSTĘP I CEL PRACY .....	7
2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ.....	9
2.1. Ługowanie boru z popiołów lotnych .....	10
2.2. Charakterystyka badań polowych .....	12
2.3. Przebieg pogody .....	18
3. OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA .....	20
3.1. Wydajność ługowania boru z popiołów lotnych .....	24
3.1.1. Skład chemiczny preparatu borowego wylugowanego z popiołu .....	29
3.1.2. Właściwości fizykochemiczne .....	30
3.2. Wykorzystanie nawozowe preparatu borowego łącznie z wybranymi środkami ochrony roślin .....	34
3.3. Wyniki doświadczeń polowych .....	37
3.3.1. DOŚWIADCZENIE I. Plonowanie pszenicy ozimej i buraka cukrowego pod wpływem różnych dawek oraz sposobów nawożenia preparatem borowym, czteroboranem sodowym i Florovitem plus .....	37
3.3.2. DOŚWIADCZENIE II. Plonowanie dwóch odmian ziemniaka nawożonych preparatem borowym i Florovitem plus oraz sprawdzenie możliwości łącznego stosowania preparatu borowego z wybranymi środkami ochrony roślin .....	47
3.3.3. DOŚWIADCZENIE III. Plonowanie buraka cukrowego przy zastosowaniu preparatu borowego z wybranymi herbicydami i pestycydami .....	52
3.4. Ekonomiczna efektywność produkcji i stosowania preparatu borowego. ....	58
4. PODSUMOWANIE .....	62
5. WNIOSKI .....	67
LITERATURA .....	69
STRESZCZENIA .....	75



## Wykaz symboli i skrótów stosowanych w pracy

- pZR - popiół ze zbiornika retencyjnego  
pLS<sub>II</sub> - popiół z lejów zasypowych drugiego rzędu  
B<sub>t</sub> - bor ogółem  
B<sub>CW</sub> - bor rozpuszczalny w zimnej wodzie  
B<sub>HW</sub> - bor rozpuszczalny w gorącej wodzie  
f<sub>1</sub> - warunek ograniczający aktywność sumaryczną naturalnych pierwiastków promieniotwórczych K-40, Ra-226, Th-228

$$f_1 = 0,00027 S_K + 0,0027 S_{Ra} + 0,0043 S_{Th} \leq 1$$

S<sub>K</sub>, S<sub>Ra</sub> i S<sub>Th</sub> - są wartościami stężeń tych pierwiastków

- f<sub>2</sub> - warunek ograniczający stężenie Ra-226 w materiale budowlanym ze względu na emanację radu ze ścian budynku

$$f_2 = S_{Ra} \leq 185 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$$

- E<sub>CW</sub> - ekstrakcja zimną wodą 293 K  
E<sub>HW</sub> - ekstrakcja gorącą wodą 363 K  
C<sub>V</sub> - stężenie objętościowe popiołów lotnych w pompowanej mieszaninie  
B<sub>1,2,3</sub> - poziom nawożenia borem  
MTN - masa tysiąca nasion  
ni - nieistotne  
E<sub>pn</sub> - przeciętna efektywność nawożenia  
E - wskaźnik kosztu jednostkowego

Nomenklatura związków chemicznych uwzględnia nazewnictwo stosowane w pracach agronomicznych. Według Komisji Nomenklaturowej PTChem, kierującego się wytycznymi UPAC, nazewnictwo podstawowych związków chemicznych używanych w pracy przedstawia się następująco:

- Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O - tetraboran sodu-woda (1/10)  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - kwas siarkowy (VI)  
HNO<sub>3</sub> - kwas azotowy (V)  
HCl - kwas chlorowodorowy  
H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> - kwas o-borowy





# 1. WSTĘP I CEL PRACY

Zainteresowanie rolnictwa borem znajdującym się w popiołach lotnych wiązało się do tej pory ze spotykanym toksycznym oddziaływaniem tego pierwiastka na rośliny, po zastosowaniu ich do nawożenia, bądź kondycjonowania gleb [1,3,10,12,19,22,25,28,30,35,36,40,46,50,55,58,79,86,91].

Bor występuje w popiołach powstałych ze spalania węgla wszystkich znanych zagłębi węglowych, przy czym ilości w jakich jest w nich nagromadzony, są bardzo różne. W popiołach z polskich węgla kamiennych zawartość boru waha się od 30 do 978 mg·kg<sup>-1</sup>, czeskich do 10000 mg·kg<sup>-1</sup>, amerykańskich do 22000 mg·kg<sup>-1</sup>, norweskich 1000-20000 mg·kg<sup>-1</sup>, angielskich 3100 mg·kg<sup>-1</sup> [45]. Najwyższą zawartość boru zanotowano w popiołach pochodzących ze spalania węgla wydobywanych w Nowej Zelandii do 86000 mg·kg<sup>-1</sup> [44,45].

W Polsce, najwyższą zawartość boru stwierdzono w popiołach powstałych z węgla kamiennego kopalni Czeladź - 978 mg·kg<sup>-1</sup> (we frakcjach wzbogaconych węgla nawet do 2027 mg·kg<sup>-1</sup> boru w popiele) [45].

Badania popiołów z węgla czeskich [45] wykazały, że w wyniku liagenezy, metamorfozy i stopniowej redystrybucji bor znalazł się w grupie mikroelementów związanych z organiczną substancją węglową. Istnieje zgodny pogląd, że pierwotnym źródłem nagromadzenia boru były organizmy roślinne, z których powstał węgiel. W złożach węglowych następowała akumulacja boru poprzez wymianę składników z otoczeniem na drodze cyrkulacji wód bogatych w składniki mineralne. Niektóre z nich były adsorbowane lub krystalizowały na rozwiniętej powierzchni substancji węglowej [45].

Cennych informacji na temat form występowania boru w węglach dostarczyły badania Roga i współautorów [70]. Analizując pochodzenie boru w organicznej substancji węglowej, zauważył on istnienie trwałych połączeń boru ze związkami fenolowymi. Większość boru wyseparowanego z węgla występowała w połączeniach kompleksowych z węglowodorami nasyconymi i nienasyconymi. Spostrzeżenie to jest zgodne z poglądem określającym formy występowania boru w roślinach. Kwas borowy reaguje z alkoholami, węglowodanami lub oksykwasami, tworząc wiązania typu estrowego. Kompleksy boroorganiczne powstają z szeregiem związków znanych jako składniki komórek roślinnych gromadząc się w ich ściankach [45]. W wyniku spalania węgla powstałego z materii roślinnej, bor wchodzący w jego skład ulega głębokiej transformacji. Po przejściu przez fazę wysokotemperaturowej mineralizacji, bor tworzy z tlenem aniony złożone [BO<sub>3</sub>]<sup>-3</sup>, [BO<sub>4</sub>]<sup>-5</sup> i [B(O,OH)<sub>4</sub>], które wykazują podobieństwo do anionów krzemotlenowych [SiO<sub>4</sub>]<sup>-4</sup> i fosforanowych [PO<sub>4</sub>]<sup>-3</sup> [6]. W wyniku ługowania popiołów wodą i następnie jej odparowania, dochodzi do krystalizacji boranów tych kationów, które są w roztworze ługującym najpospolitsze, a więc Na<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> i Mg<sup>+2</sup> z utworzeniem ewaporatów boranowych. Mogą one stać się źródłem boru dla przemysłu ceramicznego, hutniczego, włókienniczego, kosmetycznego, a także dla rolnictwa [42].

Ze względu na konieczność uwzględniania zasad ochrony środowiska i ograniczenia emisji różnych związków uwalnianych w procesach spalania węgla [20], coraz częściej siłownie energetyczne przetwarzają swoje odpady na surowce mineralne. Przy-

kładów, zwłaszcza w zakresie produkcji koncentratów metali rzadkich, można podać wiele [39]. Stosunkowo niska zawartość tych pierwiastków w popiołach [17] wymusza konieczność wzbogacania ich zawartości na drodze, m.in. wymiany jonowej, sorpcji, ekstrakcji lub ługowania. Metody te pozwalają na uzyskanie koncentratów, które z kolei przerabia się na drodze chemicznej, uzyskując sole lub metale [6,39,92].

Badania zanieczyszczenia środowiska borem w okolicach siłowni energetycznych spalających węgiel kamienny [21,33] wykazały, iż średniej wielkości zakład emituje do atmosfery około 10 ton tego pierwiastka rocznie, a około 20 ton pozostaje w popiołach lotnych odprowadzanych na składowisko. Ocenia się, że rocznie w Polsce powstaje w ten sposób około 1550 ton boru, tj. ilość blisko dwukrotnie przewyższająca zapotrzebowanie rolnictwa na ten pierwiastek [92].

Gleb o niskiej zawartości boru jest w kraju 40%, o średniej 41% i o wysokiej 18%. Największy jest udział gleb ubogich w bor w województwach: białkopodlaskim 68%, radomskim 68%, piotrkowskim 67%, siedleckim 60%, w sieradzkim i łódzkim po 59%. Z kolei największy udział gleb zasobnych w bor stwierdzono w województwach: elbląskim 35%, katowickim 33% i wrocławskim 30% [14].

Wśród materiałów wykorzystywanych jako źródło boru dla roślin wymienia się [15]:

- kwas borowy zawierający 17% boru, łatwo przyswajalnego przez rośliny. Jest on jednak drogi i dlatego można go stosować tylko w przypadku ostrego niedoboru boru;
- boraks zawierający 11% boru. Jest związkami boru najczęściej dodawanym do nawozów mikroelementowych;
- siarczan boromagnezowy - odpad powstający przy produkcji kwasu borowego. Zawiera bor w postaci kwasu borowego oraz siarczan magnezu;
- surowe mielone borany - rudy boranowe;
- szkliska mikronawozowe, wyprodukowane w oparciu o technologię opracowaną przez Instytut Nawozów Sztucznych w Puławach. Zawierają ok. 2,7% B oraz żelazo, miedź, mangan, cynk i molibden.

Znaczenie praktyczne związków boru jest związane z ich zasobnością w pierwiastek bor i z podatnością przechodzenia do roztworu [34]. Wykorzystywane mogą być te, które rozpuszczają się w wodzie, zwłaszcza zimnej.

Celem niniejszej pracy było zbadanie agrochemicznych właściwości związków boru uzyskanych z popiołów po węglu kamiennym i określenie ich przydatności do nawożenia roślin uprawnych.

W oparciu o opracowaną własną metodę ługowania, selektywnej wymiany jonowej i krystalizacji, wyseparowano z popiołów preparat borowy. Określono jego właściwości fizykochemiczne, skład chemiczny i mineralogiczny. Zakres pracy obejmował również możliwości nawozowego wykorzystania preparatu borowego i ocenę działania plonotwórczego w polowych doświadczeniach wegetacyjnych. Sprawdzone przydatność preparatu borowego do sporządzania mieszanin z wybranymi pestycydami i herbicydami oraz różne techniki nawożenia: dolistnego i doglebowego.

Rozwiązanie techniczne produkcji preparatu borowego poddano szacunkowi kosztów jednostkowych. Obliczono również przeciętną efektywność nawożenia, czyli transformację nakładu czystego składnika preparatu borowego, w przyrost plonu ponad poziom uzyskany bez nawożenia borem.

## 2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Przedmiotem badań rozpoczętych w 1982 roku były popioły lotne z siłowni energetycznej EC II Bydgoszcz spalającej węgiel kamienny z kopalni Jankowice, Wesoła, Nowy Wirek, Powstańców Śląskich. Próbkę pobierano ze zbiornika retencyjnego, gromadzącego popioły zawierające jego wszystkie frakcje oraz z lejów zasypowych drugiego rzędu, w których znajdowały się popioły o zwiększonym udziale frakcji najdrobniejszych.

Ze względu na spalanie różnych gatunków węgla, jak też występowanie niejednakowych warunków spalania - co dawało różne jakościowo popioły - próby pobrano w dziesięciu terminach w odstępach jednytgodniowych i starannie wymieszano w bębnie polietylenowym. W rezultacie otrzymano dwie reprezentatywne partie popiołów, które oznaczono następującymi symbolami:

pZR - popiół ze zbiornika retencyjnego,

pLS<sub>II</sub> - popiół z lejów zasypowych drugiego rzędu.

Oznaczono w nich:

- skład ziarnowy popiołów na sitach wg PN-78/B-06714;
- masę właściwą metodą piknometryczną przy użyciu alkoholu izobutylowego;
- powierzchnię właściwą wg Blaine'a zgodnie z PN-80/C-04300;
- odczyn pH w H<sub>2</sub>O i w 1M KCl oznaczono elektrometrycznie.

Ogólną zawartość glinu, żelaza, manganu, magnezu, miedzi, cynku, niklu, ołowiu, chromu, kobaltu i kadmu oznaczono w popiołach metodą adsorpcji atomowej przy użyciu spektrometru firmy Perkin-Elmer model 430, wg metodyki opracowanej w Zakładzie Technologii Zagospodarowania Odpadów Elektrownianych (Katowice). Zawartość wapnia, sodu i potasu oznaczono metodą spektroskopii emisyjnej za pomocą aparatu FLAPHO.

Zawartość krzemionki oznaczono metodą spektrofotometryczną w postaci błękitu krzemomolibdenowego wg PN-77/G-04523. Bor ogółem (B<sub>t</sub>) oznaczono stapiając popiół z węglanem sodowym, a następnie oddzielając borany przez destylację z parą wodną [89]. Oznaczono również związki boru rozpuszczalnego w zimnej wodzie (B<sub>CW</sub>) i gorącej wodzie o temperaturze 363 K, (B<sub>HW</sub>) metodą spektrometryczną z zastosowaniem 1',1'-diantrymidu (1,1-bis antrachinonyloaminy), w stężonym kwasie siarkowym. Pomiar przeprowadzono w temperaturze 293 K, przy długości fali 620 nm [51]. Badanie radioaktywności naturalnej przeprowadzono za pomocą trójkanałowego analizatora naturalnych zanieczyszczeń AZAR-82 produkcji ZZUJ "Polon", metodą porównawczą, polegającą na analizie częstości zliczeń promieniowania gamma, rejestrowanych w trzech kanałach pomiarowych dla: badanej próbki i trzech objętościowych wzorców promieniotwórczych - potasowego, radowego i torowego, zastosowano współczynnik samoabsorpcji:  $\exp [0,0829 \cdot (M_p - M_w)] = 0,90$  i atest wzorców: K-40/017/CLOR, Ra-226/017/CLOR, Th-228/017/CLOR.

## 2.1. Ługowanie boru z popiołów lotnych

W badaniach zmierzających do uzyskania preparatu borowego z popiołów zastosowano dwa typy ekstrakcji [59]. Pierwszy, sposobem ciągłym polegającym na przemywaniu popiołu roztworem w obiegu zamkniętym, drugi w aparacie Soxhleta. W obu sposobach ekstrakcentem była woda, w związku z czym w dalszej części pracy utożsamia się pojęcie ekstrakcji z ługowaniem [2]. W pierwszym sposobie ługowania naważka popiołu wynosiła 10 g, objętość roztworu ługującego 500 cm<sup>3</sup> (woda redestylowana), czas ekstrakcji wynosił 15, 60, 300 i 600 minut. Temperatura wody wynosiła podczas ekstrakcji zimnej ( $E_{CW}$ ) 293 K, przy ekstrakcji gorącą wodą ( $E_{HW}$ ) 363 K.

W drugim sposobie ekstrakcji, w aparacie Soxhleta popiół ługowany był w sposób ciągły świeżą wodą destylowaną. Naważkę popiołu, objętość wody oraz czas ługowania zachowano identycznie jak w sposobie pierwszym.

Do ekstrakcji popiół podzielono na trzy grupy:

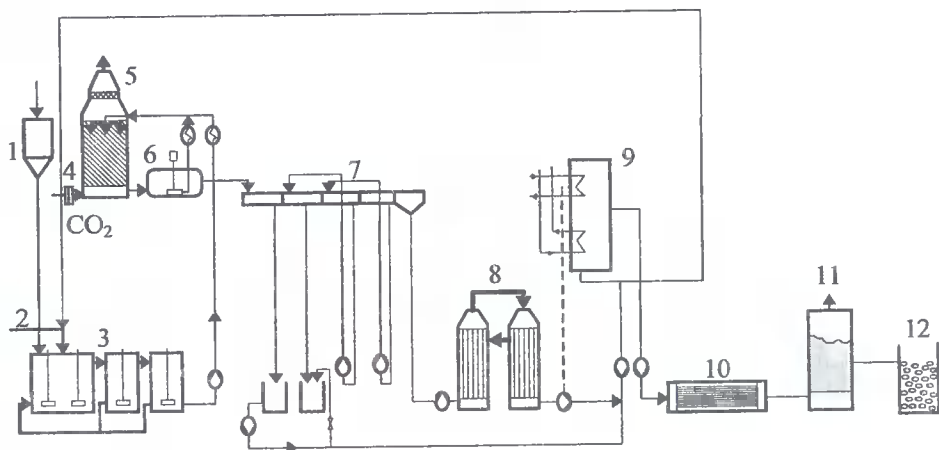
- I - popiół niefrakcjonowany pod względem składu ziarnowego;
- II - popiół zawierający frakcje ziaren do 0,088 mm;
- III - popiół zawierający frakcje ziarn poniżej 0,088 mm.

Badając wpływ odczynu i zawartości wapnia na wydajność ługowania boru z popiołów lotnych posłużono się metodą określoną przez Hollisa [36]. Odczyn roztworu ługującego sprowadzono do żądanych wartości za pomocą 1 M HCl.

W badaniach przeprowadzonych w skali ćwierćtechnicznej zastosowano urządzenie ekstrakcyjne własnej konstrukcji o działaniu ciągłym (rys. 1), składającym się z baterii ekstraktorów o pojemności 25 kg popiołu każdy. Cechą charakterystyczną pracy tego urządzenia było to, że każda pojedyncza bateria ekstrakcyjna działała okresowo, natomiast zestaw jako całość pracował w sposób ciągły. Ekstraktory napełniono popiołem pochodzącym z leja zasypowego drugiego rzędu (pLZ<sub>II</sub>). Czas ekstrakcji wynosił 60 minut w temperaturze 363 K. Przebieg procesu był następujący: popiół z leja zasypowego poprzez dozownik wagowy przechodził do baterii ekstraktorów (3). Woda ługująca dozowana była przewodem (2). Ekstrakt kierowany był do karbonizatora (6) i po nasyceniu dwutlenkiem węgla podlegał dekantacji. Dalej kierowany był do stacji filtrów i kolumny jonitowej (8) wypełnionej jonitem Amberlit XE 243. Po specyficznej, częściowej demineralizacji roztwór przepływał do destylatora (9), z którego po odparowaniu części wody kierowany był do krystalizatora (10). Wydzielany preparat borowy poddawano suszeniu (11), w temperaturze 333 K, otrzymując produkt w postaci grysiku.

Skład chemiczny otrzymanego w ten sposób preparatu borowego oznaczono następującymi metodami:

- kationy Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> i Na<sup>+</sup> metodami atomowej spektroskopii absorpcyjnej i spektrometrii emisyjnej za pomocą aparatu Varian Spektra System Report AA 300/400 (INRA Station d'Hydrobiologie Lacustre/ Francja) [65];
- siarczany metodą wagową w postaci BaSO<sub>4</sub>;
- fosforany - spektrofotometrycznie;
- węglany i aniony wodorotlenowe - acydymetrycznie i metodą Wardera [89];
- bor oznaczono spektrofotometrycznie z zastosowaniem 1',1'-diantrymidu (1,1-bis antrachinyloaminy), w stężonym kwasie siarkowym. Pomiary przeprowadzono w temperaturze 293 K, przy długości fali 620 nm [51].



Rys. 1. Schemat instalacji do otrzymywania boru z popiołów lotnych:

1 - dozownik wagowy, 2 - rurociąg doprowadzający wodę, 3 - bateria ekstraktorów, 4 - sprężarka CO<sub>2</sub>, 5 - karbonizator, 6 - dekanter, 7 - stacja filtrów, 8 - kolumny jonitowe, 9 - destylator, 10 - krystalizator, 11 - suszarka, 12 - zbiornik preparatu

Fig. 1. Diagram of installation for boron preparation from fly ashes:

1 - weight feeder, 2 - water pipeline, 3 - extractor battery, 4 - CO<sub>2</sub> compressor, 5 - carbonator, 6 - decanter, 7 - waterworks, 8 - ionite columns, 9 - distiller, 10 - crystallizer, 11 - dryer, 12 - product tank

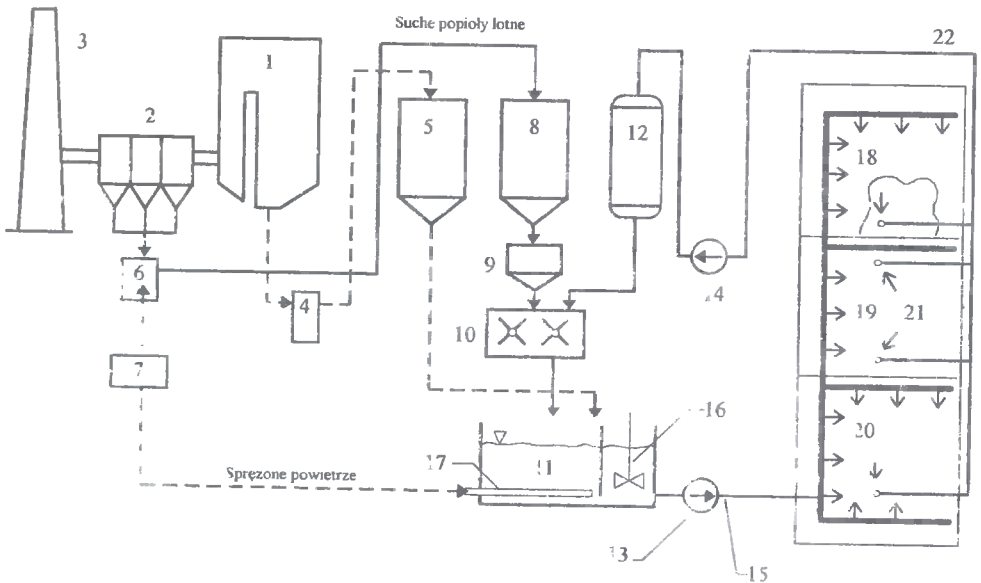
Poszukując sposobu uproszczenia ekstrakcji i wyeliminowania baterii ekstraktorów, zwrócono uwagę na powstające w systemie transportu hydraulicznego i składowania mokrego popiołów wody nadosadowe. Stwierdzono, że stężenia poszczególnych jonów w tych wodach są rezultatem heterogenicznej równowagi pomiędzy fazą stałą a roztworem [77,78]. Osiągane stężenia objętościowe fazy stałej w strumieniu kierowanym na składowisko wynoszą 0,01-0,025. Odpowiadało to proporcji wagowej: 1 kg popiołu na 15 do 40 kg wody [71]. Schemat instalacji do wytwarzania zawiesiny popiołów lotnych w wodzie i transportu hydraulicznego na składowisko przedstawiono na rys. 2.

Zawartość substancji rozpuszczalnych w wodzie nadosadowej pobranej z instalacji hydraulicznego transportu popiołów na składowisko w EC Bydgoszcz II wynosiła 1,3 g·dm<sup>-3</sup>. Głównymi substancjami rozpuszczającymi się w tej wodzie były wodorotlenki i siarczany wapnia, magnezu, potasu i sodu. Stanowiły one ponad 98,4% ilości wszystkich składników ulegających wyługowaniu.

System transportu hydraulicznego odpowiadał wielokrotnej ekstrakcji i wykazywał w przybliżeniu podobną wydajność. Pozyskany z wód nadosadowych preparat borowy miał skład chemiczny zbliżony do preparatu uzyskanego podczas ekstrakcji sposobem ciągłym.

Identyfikację faz krystalicznych w wyługowanym preparacie borowym wykonano na podstawie badań rentgenograficznych aparatem dyfraktometrycznym typu HZG 4B (prędkość kątowna goniometru 2 /min., promieniowanie Cu<sub>α</sub>K, filtr Ni, napięcie i natężenie prądu lampy 40 kV, 30 mA). Interpretację dyfraktogramów przeprowadzono w oparciu o tablice metalurgiczne opracowane przez Mirkina [60] oraz Browna [8] i Wittinga [90], a także wykorzystując program XRAYAN [9].

Badania termiczne preparatu borowego (DTA, DTG i TG) wykonano derywatografem PC z Syst IBM systemu Paulik-Paulik Erdey, dla próbek 40 mg preparatu zmieszanego w proporcji 1:9 z  $Al_2O_3$  i ogrzewanych z szybkością  $3,0 \text{ min}^{-1}$ , w atmosferze powietrza.



Rys.2. Schemat instalacji do wytwarzania zawiesiny popiołów lotnych w wodzie [15] i transportu hydraulicznego na składowisko:

1 - komora kotła, 2 - elektrofiltry, 3 - komin, 4 - kruszarka, 5 - zbiornik żużla, 6 - pompa, 7 - sprężarka, 8 - zasobnik popiołów, 9 - dozownik wagowy, 10 - mieszarka, 11 - zbiornik retencyjny, 12 - zbiornik nadmiarowy, 13 - pompa bagrowa, 14 - pompa, 15 - rurociąg, 16 - mieszadło, 17 - rury barbotażowe, 18 - kwatera napelniana, 19 - kwatera odsączana, 20 - kwatera podwyższana, 21 - ujęcie wody nadosadowej, 22 - rurociąg wody nadosadowej

Fig. 2. Diagram of installation for obtaining fly ash suspension in water [49] and hydraulic transport disposal site:

1 - boiler chamber, 2 - electrofilters, 3 - chimney, 4 - crusher, 5 - slag tank, 6 - pump, 7 - compressor, 8 - ash container, 9 - weight feeder, 10 - mixer, 11 - retention tank, 12 - excess tank, 13 - dredging pump, 14 - pump, 15 - pipeline, 16 - stirrer, 17 - pipes, 18 - filling section, 19 - filtering section, 20 - elevated section, 21 - above-precipitation water intake, 22 - above-precipitation water pipeline

## 2.2. Charakterystyka badań polowych

W latach 1983-1989 przeprowadzono trzy doświadczenia polowe, których celem była ocena nawozowego działania preparatu borowego wylugowanego z popiołów lotnych w uprawie pszenicy ozimej, buraka cukrowego i ziemniaka na tle nawożenia czteroboranem sodowym i Florovitem plus. Sprawdzone również możliwość łącznego stosowania tego preparatu z wybranymi pestycydami. Posłużono się przy tym metodą opisaną przez Mrówczyńskiego i współautorów [61], określając fitotoksyczny wpływ mieszaniny na części nadziemne roślin w skali EWRC. Florovit wzbogacono dawką 4,86 g

kwasu borowego na  $\text{dm}^3$ , tak aby w  $1 \text{ dm}^3$  było łącznie 0,88 g B i określono go jako Florovit plus.

Doświadczenia założono w różnych warunkach siedliskowych, metodą losowanych bloków jako dwuczynnikowe w czterech powtórzeniach.

W zależności od zasobności gleb i wymagań roślin stosowano różne nawożenie podstawowe (tab. 1).

Zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych i odczyn gleb zestawiono w tabeli 2.

Mikroelementy rozpuszczalne oznaczono wg zaleceń IUNG w 1 molowym roztworze HCl. Dawki podstawowe boru i ilości składników dodatkowych wprowadzonych z określoną dawką preparatu borowego zestawiono w tabeli 3.

Wszystkie zabiegi wykonano zgodnie z wymaganiami nowoczesnej agrotechniki. Doświadczenie pierwsze założono w 1983 roku w Kościerzynie Wielkim (woj. piłskie) na glebie płowej o składzie granulometrycznym gliny lekkiej, kompleksie przydatności rolniczej pszennym dobrym. Czynnikiem pierwszym był rodzaj nawozu. Powierzchnia poletka wynosiła  $48 \text{ m}^2$ . Oceniono w nim plonowanie pszenicy ozimej 'Dana' i buraka cukrowego 'Polycama' pod wpływem dwóch dawek preparatu borowego, czteroboranu sodowego i Florovitu plus, zastosowanych dolistnie lub doglebowo. Po wschodach obsada pszenicy ozimej była zbliżona do obsady planowanej przed siewem, natomiast burak cukrowy wykazywał obsadę o 16% wyższą od zakładanej. W fazie 2-3 liści zastosowano przerywkę, sprowadzając obsadę buraków do planowanej.

Po zbiorze pszenicy oznaczono plon ziarna i słomy. Określono masę 1000 ziaren, zawartość białka i ogólną zawartość boru w ziarnie.

Po zbiorze buraków oznaczono plon świeżej i suchej masy korzeni i liści, zawartość cukru w korzeniach oraz zawartość boru i popiołu rozpuszczalnego.

Z rozdrobnionych buraków sacharozę wyługowano klasyczną metodą gorącej dygestii [18]. Zawartość cukru w burakach oznaczono polarymetrycznie. Bor w burakach oznaczono wg Jacksona [38]. Popiół rozpuszczalny oznaczono wg przepisu JCUMSA [18] metodą wagową.

Doświadczenie drugie założono w 1987 r. w RZD Mochelek (woj. bydgoskie) na glebie płowej o składzie granulometrycznym piasków gliniastych lekkich i mocnych, kompleksie przydatności rolniczej żytnim bardzo dobrym. Oceniono w nim plonowanie dwóch odmian ziemniaków 'Pola' i 'Sieglinde' pod wpływem nawożenia dolistnego preparatem borowym wyługowanym z popiołów i Florovitem plus. W doświadczeniu A czynnikiem pierwszym był rodzaj nawozu, czynnikiem drugim odmiany ziemniaka. W doświadczeniu B czynnikiem pierwszym był poziom nawożenia preparatem borowym wyługowanym z popiołów, czynnikiem drugim był rodzaj zastosowanych środków ochrony roślin. Sprawdzono możliwość łącznego stosowania tego preparatu z wybranymi zoocydami i fungicydami zgodnie z następującym zestawieniem.

Tabela 1. Dawki NPK i obornika  
Table 1. NPK and farmyard manure fertilization rates

Rośliny Plant species	Doświadczenie Experiment	Dawki nawozów w kg·ha <sup>-1</sup> czystego składnika Fertilization (kg·ha <sup>-1</sup> - pure component)				Obornik (t·ha <sup>-1</sup> ) Manure (t·ha <sup>-1</sup> )
		N		P	K	
		przed siewem before seeding	pogównie top-dressing			
Pszonica ozima 'Dana' Winter wheat cv. 'Dana'	I	20	60+40	45	110	-
Burak cukrowy 'Polycama' Sugar beet cv. 'Polycama'	I	40	40+40	70	160	30
Ziemiak 'Pola' i 'Sieglinde' Potato cv. 'Pola' and 'Sieglinde'	II	130	-	60	120	30
Burak cukrowy 'PN Mono I' Sugar beet cv. 'PN Mono I'	II	175	-	200	400	30



Tabela 2. Zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych i odczyn w glebach 0-20 cm  
 Table 2. The content of available forms of nutrients and pH of soil layer 0-20 cm

Składnik Component	Jednostka Unit	Doświadczenie - Experiment		
		I Kościeryżyn Wielki	II RZD Mochetek	III Kusowo
N-NO <sub>3</sub>	(mg 100g <sup>-1</sup> )	0,8-1,2	2,2-2,8	3,7-4,2
P	"	5,3-7,3	5,9-6,3	8,7-9,8
K	"	10,2-11,9	10,0-11,3	12,6-13,9
Mg	"	8,7-13,2	0,6-0,8	6,3-8,8
Ca	"	201,3-236,1	177,2-192,8	217,2-248,3
B	(mg·kg <sup>-1</sup> )	1,5-1,7	1,3-1,4	1,6-2,0
Cu	"	0,8-0,8	1,7-2,1	2,8-3,4
Zn	"	1,8-2,1	2,8-3,3	4,3-6,3
pH w 1 M KCl	pH	5,5-5,7	5,1-5,4	5,5-5,9

Tabela 3. Dawki podstawowe boru i ilości składników ubocznych w preparacie  
 Table 3. Basic rates of boron and amounts of by-components in the preparation

Roślina Plant species	Doświadczenie Experiment	Technika zastosowania Method	Dawka boru w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Boron ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	Składniki uboczne w preparacie w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ By-components ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )							
				Ca	K	Mg	Na	$\text{SO}_4$	$\text{CO}_3$	Cl	
Pszenvica ozima 'Dana' Winter wheat cv. 'Dana'	I A	doglebowo before seeding	I 1,50	12,0	3,5	0,8	3,9	16,0	14,6		
	I B	dolistnie	II 3,00	24,0	7,0	1,6	7,8	32,0	29,2		
		top-dressing	I 0,165	0,7	0,2	0,1	0,2	0,9	0,8	0,2	0,2
			II 0,330	1,4	0,4	0,2	0,4	1,8	1,6	0,4	0,4
Burak cukrowy 'Polycama'	I C	doglebowo	I 3,00	24,0	7,0	1,6	7,8	32,0	29,2		
		before seeding	II 6,00	48,0	14,0	3,2	15,6	64,0	58,4		
	I D	dolistnie	I 0,68	2,8	0,8	0,4	0,8	3,6	3,2	0,8	0,8
		top-dressing	II 1,36	5,6	1,6	0,8	1,6	7,2	6,4	1,6	1,6
Ziemniak 'Pola' i 'Sieglinde' Potato cv. 'Pola' and 'Sieglinde'	II A,B	dolistnie	I 0,082	0,3	0,1	0,05	0,1	0,5	0,4	0,1	0,1
		top-dressing	II 0,165	0,7	0,2	0,1	0,2	0,9	0,8	0,2	0,2
			III 0,330	1,4	0,8	0,2	0,4	1,8	1,6	0,4	0,4
Burak cukrowy 'PN Mono 1' Sugar beet cv. 'PN Mono 1'	III A,B	dolistnie	I 0,082	0,3	0,1	0,05	0,1	0,5	0,4	0,1	0,1
		top-dressing	II 0,165	0,7	0,2	0,1	0,2	0,9	0,8	0,2	0,2
			III 0,330	1,4	0,8	0,2	0,4	1,8	1,6	0,4	0,4

NAWOŻENIE DOLISTNE preparatem borowym. Dwukrotnie łącznie z zoocydami			
Dawka boru (B w kg·ha <sup>-1</sup> )			
0	B <sub>1</sub> =0,082	B <sub>2</sub> =0,165	B <sub>3</sub> =0,330
Owadofos-50	Owadofos-50	Owadofos-50	Owadofos-50
Pirimor 50 DP	Pirimor 50 DP	Pirimor 50 DP	Pirimor 50 DP
Enolofos 50	Enolofos 50	Enolofos 50	Enolofos 50

Dodatkowo zastosowano na wszystkich obiektach Dithane M-45,

NAWOŻENIE DOLISTNE preparatem borowym. Dwukrotnie łącznie z fungycydami			
Dawka boru (B w kg·ha <sup>-1</sup> )			
0	B <sub>1</sub> =0,0825	B <sub>2</sub> =0,165	B <sub>3</sub> =0,330
Dithane M-45	Dithane M-45	Dithane M-45	Dithane M-45
Polyram Combi	Polyram Combi	Polyram Combi	Polyram Combi
Miedzian 50	Miedzian 50	Miedzian 50	Miedzian 50

Dodatkowo zastosowano na wszystkich obiektach Enolofos.

Po wschodach obsada roślin była zbliżona do obsady planowanej przed sadzeniem. Po zbiorze ziemniaków oznaczono plon kłębów, zawartość i plon skrobi, zawartość i plon suchej masy oraz ogólną zawartość boru w suchej masie kłębów [40].

Doświadczenie trzecie założono w 1989 roku w Kusowie k. Bydgoszczy na glebie brunatnej właściwej o składzie granulometrycznym gliny lekkiej, kompleksie przydatności rolniczej pszennym wadliwym. Oceniano w nim plonowanie buraka cukrowego 'PN Mono 1' pod wpływem zróżnicowanych dawek preparatu borowego stosowanego dolistnie, łącznie z wybranymi herbicydami i zoocydami według następującego zestawienia.

A. NAWOŻENIE DOLISTNE preparatem borowym łącznie z herbicydami. Dwukrotnie: I - w pełni wschodów, II - przed zwraciem międzyrzędzi			
Dawka boru (B w kg·ha <sup>-1</sup> )			
0	B <sub>1</sub> =0,082	B <sub>2</sub> =0,165	B <sub>3</sub> =0,330
Betanal +Pyramin	Betanal +Pyramin	Betanal +Pyramin	Betanal +Pyramin
Betanal +Venzar	Betanal +Venzar	Betanal +Venzar	Betanal +Venzar
Betanal	Betanal	Betanal	Betanal

Dodatkowo zastosowano na wszystkich obiektach Owadofos 50.

B. NAWOŻENIE DOLISTNE preparatem borowym łącznie z zoocydami. Dwukrotnie: I - w pełni wschodów, II - przed zwraciem międzyrzędzi			
Dawka boru (B w kg·ha <sup>-1</sup> )			
0	B <sub>1</sub> =0,082	B <sub>2</sub> =0,165	B <sub>3</sub> =0,330
Owadofos 50	Owadofos 50	Owadofos 50	Owadofos 50
Pirimor 50 DP	Pirimor 50 DP	Pirimor 50 DP	Pirimor 50 DP
Enolofos 50	Enolofos 50	Enolofos 50	Enolofos 50

Dodatkowo zastosowano dwukrotnie Betanal + Pyramin.

Czynnikiem pierwszym doświadczenia był poziom nawożenia preparatem borowym, drugim rodzaj zastosowanych środków ochrony roślin.

Po zbiorze buraków oznaczono plon świeżej i suchej masy korzeni i liści, zawartość cukru w korzeniach, a także boru i popiołu rozpuszczalnego.

Obsada roślin po wschodach była wyższa od obsady planowanej o 23%. W fazie 2-3 liści zastosowano przerywkę, sprowadzając obsadę do planowanej.

Uzyskane wyniki poddano ocenie statystycznej za pomocą analizy wariancji. NIR obliczono z dokładnością  $P=95\%$ , a różnice dla średnich oszacowano wg testu  $q$  Tukey'a.

### 2.3. Przebieg pogody

W Kościerzynie Wielkim w 1983 roku w okresie od kwietnia do września suma opadów była niższa, a w 1984 roku zbliżona do średniej z wielolecia. Dotkliwie odczuwalny był brak opadów, zwłaszcza w miesiącu lipcu, sierpniu i wrześniu. Przebieg temperatur wiosną wpłynął hamująco na wegetację, ponieważ jeszcze pod koniec maja występowały przymrozki, a temperatury w maju i w czerwcu były niższe od średniej z wielolecia (tab.4).

W Mochelku warunki pogodowe w latach 1987-1988 były na ogół sprzyjające dla uzyskania wysokich plonów badanych roślin. Suma opadów z tego okresu była wyższa od średniej z wielolecia dla tego regionu. Jedynie w kwietniu i maju wystąpił brak opadów, który nie sprzyjał równomierności wschodów. W 1988 roku wystąpił dotkliwy brak opadów w okresie wegetacji ziemniaków. Ich suma była blisko połowę niższa od średniej opadów z wielolecia. Niedobór wystąpił zwłaszcza w maju, lipcu i wrześniu.

W 1987 roku temperatura powietrza była niższa, w 1988 równa średniej z wielolecia, a w 1989 roku wyższa od średniej. Dodatkowo przyczyniło się to do pogłębienia suszy glebowej i pogorszenia warunków wegetacji.

W Kusowie w okresie wegetacji w 1989 roku, podobnie jak w Mochelku, wystąpił dotkliwy brak opadów. Szczególnie małe opady wystąpiły w maju, czerwcu, lipcu i wrześniu i były one niewystarczające dla uzyskania zadowalających plonów. Przy niskich opadach i stosunkowo wysokiej temperaturze powietrza wzrost i rozwój roślin był ograniczony.

Tabela 4. Suma opadów i temperatura powietrza w rejonie badań  
 Table 4. Rainfall and air temperature in the region of studies

Lata Years	Miesiąc - Month									$\Sigma$	Miesiąc - Month									$\bar{x}$	
	IV			V			VI				VII			VIII			IX				
	Opady (mm) - Rainfalls (mm)										Temperatura (°C) - Temperature (°C)										
Kościerzyn Wielki																					
1983	47	63	69	67	40	52	338	8,1	12,9	14,0	17,1	18,3	13,0	13,9							
1984	31	69	85	81	15	97	378	7,6	13,8	14,7	16,5	18,9	12,2	14,0							
$\bar{x}$ 1973	30	61	77	94	66	42	370	7,0	14,1	16,8	18,2	18,1	13,7	14,7							
Mochelek																					
1987	44	31	80	56	77	79	367	7,3	11,5	15,1	17,0	15,0	12,8	13,1							
1988	12	5	82	100	49	54	302	7,2	14,8	16,8	18,5	17,3	14,1	14,8							
1989	19	9	45	22	43	9	147	8,5	13,9	16,4	19,3	17,9	14,8	15,1							
$\bar{x}$ 1979-1989	28	26	55	72	49	38	268	7,7	13,4	16,2	17,6	17,2	13,2	14,8							
Kusowo																					
1989	19	10	33	25	51	11	149	8,3	13,4	16,7	19,0	17,6	14,4	14,9							
$\bar{x}$ 1979-1989	28	37	52	70	47	38	272	7,0	13,0	16,3	17,2	17,5	13,8	14,1							

### 3. OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

Współczesny stan wiedzy o możliwościach wykorzystania popiołów lotnych w rolnictwie kształtuje się w Polsce od blisko pięćdziesięciu lat i nieustannie poddawany jest rewizji [10,26,30,31,32,41,46,50,72,75,86,93]. Szanse wykorzystania ich do zwiększenia produktywności gleb uprawnych nie są obecnie zbyt wielkie. Coraz wyraźniej dostrzegane są zagrożenia wynikające z wprowadzeniem wraz z popiołami do gleby nadmiernych ilości pierwiastków śladowych, balastowych, radionuklidów i toksycznych związków organicznych [2,12,17,26,29,35,41,42,46,50,64,68,69,73,74,75,86,93].

Zawartość w popiołach lotnych blisko osiemdziesięciu pierwiastków chemicznych sprawia, że są one interesującym obiektem naukowej penetracji. Znaczenia nabiera zwłaszcza możliwość odzyskania z nich pierwiastków śladowych. Wśród nich bor jest pierwiastkiem występującym w popiołach w stosunkowo znacznych ilościach, a metody jego pozyskania są względnie proste. Przewiduje się, iż w najbliższej przyszłości siłownie energetyczne staną się zakładami przemysłowymi, w których oprócz energii produkowane będą surowce mineralne: kwas siarkowy, gips, koncentraty metali, materiały budowlane, nawozy.

Skład jakościowy popiołów lotnych powstających w siłowniach energetycznych opalanych polskim węglem kamiennym w większości wypadków jest podobny. Różnice występują w składzie ilościowym oraz właściwościach fizycznych, uzależnionych przede wszystkim od rodzaju węgla oraz zastosowanej technologii spalania.

Cechy fizyczne popiołów z EC II Bydgoszcz zestawiono w tabeli 5, a skład chemiczny w tabeli 6.

Wyniki zawartości boru ogółem w popiołach oraz rozpuszczalnych form boru zestawiono w tabeli 7.

Ważnym kryterium ograniczającym gospodarcze wykorzystanie popiołu jest zawartość w nim pierwiastków grożących skażeniem. Wyniki stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w badanych popiołach zestawiono w tabeli 8.

Tabela 5. Cechy fizyczne popiołu z EC II Bydgoszcz  
 Table 5. Physical properties of fly ash from the EPP II Bydgoszcz

Określenie Description	Klasa ziarnowa w mm Grain class (mm)					Masa właściwa (g·cm <sup>-3</sup> ) Specific weight (g·cm <sup>-3</sup> )	Powierzchnia właściwa (cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ) Specific area (cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	Odczyn pH Reaction (pH)			
	>0,50	0,50-0,25	0,25-0,08	0,08-0,075	0,075-0,06			0,06-0,001	strata loss	H <sub>2</sub> O	KCl
	popiół pZR - fly ash pZR										
$\bar{x}$ frakcji w % $\bar{x}$ fraction (%)	17	20	20	24	3	15	1	2,23	2896	11,3	11,0
zakres - range	7-20	13-27	11-25	17-28	1-4	10-17		2,19-2,38	2679-3154	11,0-11,4	10,1-11,5
popiół pLS <sub>II</sub> - fly ash pLS <sub>II</sub>											
$\bar{x}$ frakcji w % $\bar{x}$ fraction (%)	2	4	3	8	2	79	2	2,41	3788	11,7	11,3
zakres - range	2-3	2-4	2-4	5-10	1-3	59-86		2,27-2,59	3461-3927	11,1-12,2	11,0-12,0

Tabela 6. Skład chemiczny popiołu z EC II Bydgoszcz

Table 6. Chemical composition of fly ash from the EPP II Bydgoszcz

Określenie Description	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Ca	Mg	K	Na
	w % s.m. (% d.m.)							
popiół pZR - fly ash pZR								
$\bar{x}$	42,2	23,3	7,9	0,1	5,1	1,3	2,5	0,4
zakres - range	39,3-44,6	19,7-25,8	6,3-9,1	0,07-0,11	4,2-5,8	0,9-1,5	2,1-2,8	0,3-0,5
popiół pLSII - fly ash pLSII								
$\bar{x}$	39,7	24,1	8,8	0,1	5,4	1,0	3,1	0,5
zakres - range	36,1-42,7	18,8-26,7	7,2-9,6	0,09-0,1	5,0-5,7	0,8-1,3	2,8-3,3	
popiół pZR - fly ash pZR								
w mg·kg <sup>-1</sup> s.m. - mg·kg <sup>-1</sup> d.m.								
$\bar{x}$	74	23	66	69	231	14		2
zakres - range	57-88	19-27	55-72	61-83	184-248	11-17		1-3
popiół pLSII - fly ash pLSII								
$\bar{x}$	87	52	41	92	184	6		4
zakres - range	61-95	43-61	33-50	83-97	139-212	4-8		3-5



Tabela 7. Zawartość boru ogółem, oraz jego rozpuszczalnych form w popiele z EC II Bydgoszcz

Table 7. Total boron and its soluble forms content in fly ash from the EPP II Bydgoszcz

Frakcja popiołu Fly ash fraction	Bor ogółem $B_t$ Total boron $B_t$	Bor rozpuszczalny w zimnej wodzie $B_{CW}$ Boron soluble in cold water $B_{CW}$	Bor rozpuszczalny w gorącej wodzie $B_{HW}$ Boron soluble in hot water $B_{HW}$
$mg \cdot kg^{-1}$			
popiół pZR - fly ash pZR			
I niefrakcjonowany I non-fractioned $\bar{x}$ zakres - range	97 92-101	7 6-8	80 72-86
II frakcja >0,008 mm Fraction II >0,008 mm $\bar{x}$ zakres - range	99 87-109	7 5-9	83 79-87
III frakcja <0,008 mm Fraction III <0,008 mm $\bar{x}$ zakres - range	107 92-115	11 9-13	88 81-90
$\bar{x} \sum$ frakcji I,II,III $\bar{x} \sum$ fraction I,II,III	101	8	84
popiół pLSII - fly ash pLSII			
I niefrakcjonowany I non-fractioned $\bar{x}$ zakres - range	103 92-113	9 7-12	86 74-95
II frakcja >0,008 mm Fraction II >0,008 mm $\bar{x}$ zakres - range	113 101-122	12 8-16	92 83-97
III frakcja <0,008 mm Fraction III <0,008 mm $\bar{x}$ zakres - range	120 113-126	13 9-15	97 88-104
$\bar{x} \sum$ frakcji I,II,III $\bar{x} \sum$ fraction I,II,III	112	11	92
$\bar{x}$	106	9	88

Tabela 8. Stężenie pierwiastków naturalnie promieniotwórczych w popiołach z EC II Bydgoszcz  
 Table 8. Concentration of elements naturally radioactive in fly ashes from the EPP II Bydgoszcz

Rodzaj próbki Sample	Stężenie w Bq·kg <sup>-1</sup> Concentration (Bq·kg <sup>-1</sup> )		
	K <sup>40</sup>	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>228</sup>
pZR	945,90 ± 170,26	132,95 ± 31,91	81,22 ± 15,49
pLS <sub>II</sub>	999,01 ± 199,80	155,70 ± 37,37	94,93 ± 18,99
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	
pZR	0,96 ± 0,30	132,95	
pLS <sub>II</sub>	1,10 ± 0,24	155,70	

### 3.1. Wydajność ługowania boru z popiołów lotnych

O ilości i rodzaju rozpuszczalnych związków boru zawartych w popiołach lotnych, powstających w wyniku spalania węgla kamiennego decyduje w pierwszej kolejności pochodzenie węgla, jego właściwości fizykochemiczne oraz warunki spalania.

Przekształcenia jakim podlega bor zawarty w węglu podczas spalania, prowadzą do powstania związków tlenowych rozpuszczalnych w wodzie [45,67].

W badaniach stwierdzono, że wydajność ługowania boru z popiołów lotnych zależała przede wszystkim od temperatury wody ługującej, odczynu, udziału w popiołach frakcji ziaren drobnych, sposobu ekstrakcji, a także jej czasu (tab. 9, 10, 11, 12).

Rozpuszczalne w zimnej wodzie związki boru stanowiły średnio od 4,52% do 7,08% boru ogółem uwalnianego podczas ługowania przeprowadzonego sposobem ciągłym. Więcej o 20% boru w tych warunkach uwalniało się z popiołów pobranych z leja zasypowego drugiego rzędu niż z popiołów pochodzących ze zbiornika retencyjnego (tab. 9, 10). Ta część rozpuszczalnego boru uznawana jest za potencjalne zagrożenie dla roślin, w przypadku zastosowania zbyt wysokich dawek popiołu na jednostkę powierzchni gleby [2,10,12,14,19,27,28,30,35,41,80,87].

Najwyższą wydajnością w sposobie ciągłym ługowania wodą o temperaturze 293 K odznaczała się III frakcja popiołów z leja zasypowego drugiego rzędu, o najwyższym udziale ziaren najdrobniejszych - 7,09% B ogółem. Rezultaty ługowania boru w różnych przedziałach czasowych wskazują, że występowało maksimum uwalniania boru w czasie 300 minut. Po tym okresie dochodziło prawdopodobnie do współstrącania jonów boranowych z solami zasadowymi i wodorotlenkami, zwłaszcza wapnia, sodu, potasu i magnezu.

Ługowanie popiołów lotnych wodą o temperaturze 363 K sposobem ciągłym (tab. 6) doprowadziło do uwalniania średnio dwunastokrotnie większej ilości boru niż ługowanie w temperaturze 293 K. Maksimum wydajności procesu wystąpiło w tym przypadku już po 60 minutach i malało wraz z wydłużaniem czasu ekstrakcji o 12-16%. Więcej boru uwalniało się z popiołów pochodzących z leja zasypowego drugiego rzędu (pLZ<sub>II</sub>) niż z popiołów ze zbiornika retencyjnego (pZR). Potwierdzono również zależność wydajności ługowania boru wraz ze zwiększaniem się udziału w popiołach frakcji najdrobniejszych.

Z trzeciej frakcji popiołu pZR (< 0,088 mm) uwolniło się średnio ok. 35% więcej boru niż z frakcji drugiej (> 0,088 mm). W stosunku do popiołu niefrakcjonowanego przewaga ta wynosiła ok. 6,5%.

Ługowanie popiołu w aparacie Soxhleta na zimno dawało znaczny wzrost wydajności boru w stosunku do ekstrakcji sposobem ciągłym (tab. 9, 10, 11). Wyższa ona była od wydajności uzyskanej podczas ekstrakcji boru sposobem ciągłym, gorącą wodą średnio o ok. 2,5 - 2,8%. Decydujące znaczenie odgrywała w tym wypadku wartość odczynu zbliżona do obojętnego.

W ekstrakcji metodą ciągłą, utrzymywał się przez cały czas ekstrakcji odczyn alkaliczny, co hamowało ługowalność i sprzyjało współstrącaniu boru z solami alkalicznymi i wodorotlenkami, jonów  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ . Przewagę sposobu ekstrakcji boru z popiołów w aparacie Soxhleta nad ekstrakcją sposobem ciągłym wykazali w swoich badaniach również Matusiewicz i Janowicz [59]. Wyjaśnili oni, iż w ekstrakcji sposobem ciągłym penetracja roztworu do głębiej zlokalizowanych w cząsteczce związków była utrudniona. Przyczyną była gorsza rozpuszczalność związków z powierzchni ziaren popiołu. Ług i popiół pozostawały w kontakcie w czasie trwania procesu i znajdowały się w równowadze. W ekstrakcji w aparacie Soxhleta popiół był wymywany roztworem zawierającym wylugowane związki tylko w ograniczonym zakresie [59].

O wpływie odczynu na wydajność ługowania informował eksperyment, w którym popiół lotny był neutralizowany rozcieńczonym kwasem solnym (tab. 12). Obniżenie odczynu z  $\text{pH} = 11,27$  do  $6,73$  sprzyjało przeszło trzynastokrotnemu wzrostowi wydajności ługowania boru. Obniżenie odczynu do  $\text{pH} = 4,17$  spowodowało blisko piętnastokrotne zwiększenie wydajności ługowania boru. Dalsze obniżanie odczynu do  $3,92$  nie powodowało już wzrostu wydajności. Godzinna ekstrakcja boru sposobem ciągłym, przy obniżonym do  $\text{pH}$  około  $4,2$  odczynie, spowodowała prawie całkowite uwolnienie boru zawartego w popiołach lotnych (tab.12).

Hollis [36] wykazał w swoich badaniach, iż przy  $\text{pH} = 9,0$  tylko 60% B ogółem jest usuwanego po trzech ekstrakcjach, natomiast przy  $\text{pH} = 6,0$  bor jest usuwany w 100% po drugiej ekstrakcji. Przy  $\text{pH} = 6$ , podczas pierwszej ekstrakcji usuwane było około 85% boru i 15% przy drugiej ekstrakcji. Hollis tłumaczył obniżenie wydajności ługowania boru przy wysokim odczynie współstrącaniem jego z węglanem wapniowym.

W badaniach potwierdzono również, że z drobniejszych cząsteczek popiołu wymywa się więcej boru niż z cząsteczek o większej średnicy. Według Matusiewicza i Janowicz [66], świadczy to o większej zawartości związków boru, łatwo rozpuszczalnych na powierzchni małych cząsteczek niż na powierzchni dużych ziaren.

W trakcie ługowania popiołów lotnych wodą rozważane mogą być między innymi następujące równania stechiometryczne anionów boranowych i kwasu borowego [88]:

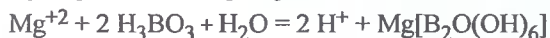
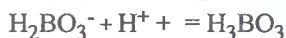
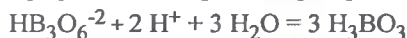


Tabela 9. Wydajność ługowania boru z popiołu pZR sposobem ciągłym (w % B ogółem)  
 Table 9. Efficiency of boron leaching from fly ash pZR by the continuous way (% B total)

Rodzaj próby Sample	Czas ługowania w min. Leaching time (min.)										$\bar{x}$
	Temperatura ługowania 293 K Leaching temperature 293 K					Temperatura ługowania 363 K Leaching temperature 363 K					
	15	60	300	600	$\bar{x}$	15	60	300	600	$\bar{x}$	
I niefrakcjonowana non-fractionated	5,81	6,05	6,32	4,97	5,79	77,24	80,43	72,16	68,31	74,54	
II frakcja >0,088 mm Fraction II >0,088 mm	3,97	4,21	4,30	3,29	3,94	54,11	55,25	48,72	47,52	51,40	
III frakcja <0,088 mm Fraction III <0,088 mm	6,17	6,39	6,67	5,31	6,13	81,21	84,92	75,31	77,21	79,66	
pZR $\bar{x}$	5,32	5,55	5,76	4,52	5,29	70,85	73,53	65,40	64,35	68,53	

Tabela 10. Wydajność ługowania boru z popiołu pLS<sub>II</sub> sposobem ciągłym (w % B ogółem)Table 10. Efficiency of boron leaching from fly ash pLS<sub>II</sub> by the continuous way (% B total)

Rodzaj próby Sample	Czas ługowania w min. Leaching time (min.)										$\bar{x}$
	Temperatura ługowania 293 K Leaching temperature 293 K					Temperatura ługowania 363 K Leaching temperature 363 K					
	15	60	300	600	$\bar{x}$	15	60	300	600	$\bar{x}$	
I niefrakcjonowana I non-fractionated	6,09	6,33	6,84	5,25	6,13	79,26	83,07	74,07	66,72	75,78	
II frakcja >0,088 mm Fraction II >0,088 mm	5,87	6,00	6,53	4,92	5,83	75,83	78,72	73,06	63,66	72,82	
III frakcja <0,088 mm Fraction III <0,088 mm	7,06	7,39	7,88	6,02	7,09	91,62	96,12	80,14	76,51	86,10	
pLSII $\bar{x}$	6,34	6,57	7,08	5,40	6,35	82,24	85,97	75,76	68,96	78,23	
$\bar{x}$ pZR+pLSII	5,83	6,06	6,42	4,96	5,82	76,54	79,75	70,58	66,65	73,38	

Tabela 11. Wydajność ługowania boru z popiołów lotnych w aparacie Soxhleeta (w % B ogółem)  
 Table 11. Efficiency of boron leaching from fly ashes in the Soxhlet apparatus (% B total)

Rodzaj próby i frakcji popiołów Sample and fly ash fraction	Czas ługowania w min. (temp. 293 K) Leaching time (min.) (293 K)				$\bar{x}$
	15'	60'	300'	600'	
pZR I niefrakcjonowana non-fractioned	62,82	87,48	89,28	59,42	74,75
II frakcja >0,088 mm Fraction II >0,008 mm	43,38	59,64	62,52	51,36	54,23
III frakcja <0,088 mm Fraction III <0,008 mm	66,33	96,24	97,84	67,44	81,96
pZR $\bar{x}$	57,51	81,12	83,21	59,41	70,31
pLS <sub>II</sub> I niefrakcjonowana non-fractioned	65,79	92,40	98,64	74,64	82,87
II frakcja >0,088 mm Fraction II >0,008 mm	62,28	85,92	91,56	60,84	75,15
III frakcja <0,088 mm Fraction III <0,008 mm	67,32	95,84	97,62	70,44	82,80
pLS <sub>II</sub> $\bar{x}$	65,13	91,39	95,94	68,64	80,28
pZR+pLS <sub>II</sub> $\bar{x}$	61,32	86,26	89,58	64,02	75,29

Tabela 12. Wydajność ługowania boru sposobem ciągłym w zależności od odczynu rozpuszczalnika i zawartości wapnia w roztworze ( $t = 293 \text{ K}$ ,  $c = 60'$ )

Table 12. Efficiency of boron leaching by the continuous way as dependent on the solvent reaction and calcium content in the solution

Rodzaj próby Sample	Odczyn pH Reaction pH	B w % B ogółem B in total boron (%)	Ca ( $\text{mg}\cdot\text{dm}^3$ )
pZR H <sub>2</sub> O	11,27	6,1	724
pZR 1 M HCl	6,73	83,7	876
pZR 1 M HCl	4,17	96,4	915
pLS <sub>II</sub> H <sub>2</sub> O	11,74	6,4	851
pLS <sub>II</sub> 1 M HCl	6,82	85,1	992
pLS <sub>II</sub> 1 M HCl	3,92	97,0	1101

Zestawione w tabeli 12 wydajności ługowania boru sposobem ciągłym w zależności od odczynu rozpuszczalności i zawartości wapnia w roztworze, jak również równania prawdopodobnych reakcji, świadczą o wpływie szeregu czynników natury fizykochemicznej i chemicznej na przebieg procesów sorpcji, desorpcji, współstrącania jonów boranowych i wapniowych w roztworze ługującym. Wysokiemu odczynowi towarzyszyła niska rozpuszczalność boru i odwrotnie, niskiemu odczynowi - wysoka zawartość rozpuszczalnych związków boru.

### 3.1.1. Skład chemiczny preparatu borowego wylugowanego z popiołów

W zależności od rodzaju popiołu lotnego, rozpuszczeniu w wodzie może ulec od 0,5 do 10% ich masy. Obok siarczanów, chlorków i węglanów, wapnia, potasu, sodu i magnezu, które stanowią 96 - 98% masy rozpuszczalnej, do roztworu wodnego przechodzą niewielkie ilości związków glinu, metakrzemianów oraz pierwiastków śladowych [52,53,54].

W większości eksperymentów poświęconych rozpuszczalności popiołów lotnych stwierdzono, że w zasadzie udział jakościowy poszczególnych pierwiastków w roztworze jest wielkością stałą. Różnice w składzie ilościowym zależą głównie od składu chemicznego popiołów, własności fizykochemicznych, składu ziarnowego, a także takich czynników jak temperatura i czas ługowania [53].

W tabeli 13 zestawiono skład chemiczny preparatu borowego uzyskanego w skali ćwierćtechnicznej oraz preparatu uzyskanego z wód nadosadowych poddanych procesowi zateżania boru. Cechą charakterystyczną zarówno preparatu borowego uzyskanego metodą ciągłą, jak i z wód nadosadowych była stosunkowo wysoka zawartość boru 1,1-1,8% B, wapnia 13,2-14,4% Ca, potasu 3,6-4,2% K, sodu 4,0-4,7% Na i magnezu 1,3-1,5% Mg. Skład ten jest korzystny pod względem możliwości użycia preparatu do wytwarzania wielokładnikowych nawozów mineralnych.

Pierwiastkiem, według którego obliczono wysokość dopuszczalnej dawki preparatu borowego na jednostkę powierzchni, był bor. W konwencjonalnym nawozie, salmagu z borem (saletrzak GM "B" 27,5% N wapniowo - magnezowy z borem) wytwarzanym w Zakładach Azotowych w Kędzierzynie, zawartość boru waha się od 0,05 do 0,2%, co stanowi wielokrotnie mniej boru niż w preparacie borowym wylugowanym z popiołów.

Preparat borowy uzyskany w skali ćwierćtechnicznej metodą ciągłą zawierał 39,0% B więcej niż preparat z wód nadosadowych. Więcej w nim było również potasu o 14,3%, sodu o 14,9%, węglanów o 42,6% i chlorków o 20,0%.

Zawartość metali ciężkich wyższa była w preparacie borowym uzyskanym z wód nadosadowych niż w preparacie borowym uzyskanym w skali ćwierćtechnicznej. Ilości ich jednak nie stanowiły ograniczenia w rolniczym wykorzystaniu preparatu.

### 3.1.2. Właściwości fizykochemiczne

Preparat borowy uzyskany metodą półciągłą w skali ćwierćtechnicznej był mieszaniną rozpuszczalnych w wodzie soli, głównie siarczanów, chlorków, węglanów i boranów wapnia, sodu, potasu, magnezu i innych pierwiastków [34]. Rozpuszczalność preparatu w wodzie wzrastała ze zwiększeniem temperatury: w temperaturze 278 K, w 100 g wody rozpuszczało się 2,8 g preparatu, w 303 K - 8,1 g i odpowiednio w 323 K - 12,6 g, 353 K - 37,9 g i 373 K - 54,9 g preparatu.

Z powyższych danych wynika, że krystalizacja mieszaniny soli przez ochłodzenie gorącego roztworu nasyconego, bez odparowania rozpuszczalnika była wydajna, gdyż w roztworze macierzystym pozostawała nieznaczna ilość soli.

Analizowano również aktywność pierwiastków promieniotwórczych potasu (K-40), radu (Ra-226) i toru (Th-228), w preparacie borowym wylugowanym z popiołów (tab. 14). Stwierdzono nieco niższe stężenie wymienionych wyżej radionuklidów niż w popiele lotnym (tab. 8) i nie występowały przeciwwskazania do zastosowania go w produkcji nawozu.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają sądzić, że wylugowany z popiołów preparat borowy, stosowany nawet wielokrotnie na to samo pole, nie spowoduje zauważalnego zwiększenia zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w glebach i roślinach [26].

Skład chemiczny i właściwości fizyczne okazały się niedostateczne dla zidentyfikowania występujących w preparacie borowym minerałów. W tym celu nieodzowne było zaangażowanie metod rentgenowskich i termicznej analizy różnicowej. Identyfikację podstawowych faz preparatu borowego wykonano na podstawie badań rentgenowskich (rys. 3) i termogravimetrycznych (rys. 4).

Wyniki tych badań określają, iż obok podstawowych faz, którymi były gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), magnezyt ( $\text{MgCO}_3$ ), nesquehonit ( $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), alun potasowo-glinowy [ $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ ], zidentyfikowano w preparacie borowym refleksy pochodzące od kalcytu ( $\text{CaCO}_3$ : 3,04, 2,50, 2,28, 2,09), metaborytu ( $\text{HBO}_2$ : 4,43, 2,82, 2,37), sassolinu ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ : 4,05, 3,17, 2,50, 2,03), a także boranów o niewyjaśnionej strukturze:  $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$  6,77, 3,34, 2,96, 2,21 (rys. 3A).

W refleksach pochodzących od badanego popiołu (rys. 3B) zidentyfikowano między innymi kwarc ( $\text{SiO}_2$ ), nifontowit ( $\text{CaB}_2\text{O}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ : 7,04, 5,43, 3,78, 3,01, 2,69, 2,40, 2,03) oraz borany o wzorze chemicznym  $\text{Mg}_2\text{FBO}_3$ : 3,66, 3,78, 3,01, 2,69, 2,53, 2,46, 2,40, 2,21 i  $\text{NaBO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 5,43, 2,69, 2,21.

W preparacie uzyskanym z wyciągu kwaśnego z popiołów (rys. 3C) zidentyfikowano refleksy pochodzące od canavesitu ( $\text{Mg}_2\text{CO}_3\text{HBO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ : 9,39, 2,71, 2,50), metaborytu ( $\text{HBO}_2$ : 4,43, 2,82, 2,37, 2,09) i boranów o wzorze chemicznym i nieustalonej strukturze:  $\text{Na}_2\text{B}_2\text{S}_5$ : 3,70, 3,43, 3,26, 2,71, 2,50,  $\text{CaB}_4\text{O}_7$ : 3,66, 3,43, 3,26, 3,05, 2,95,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{BO}_3)_2$ : 3,43, 2,95, 2,71.



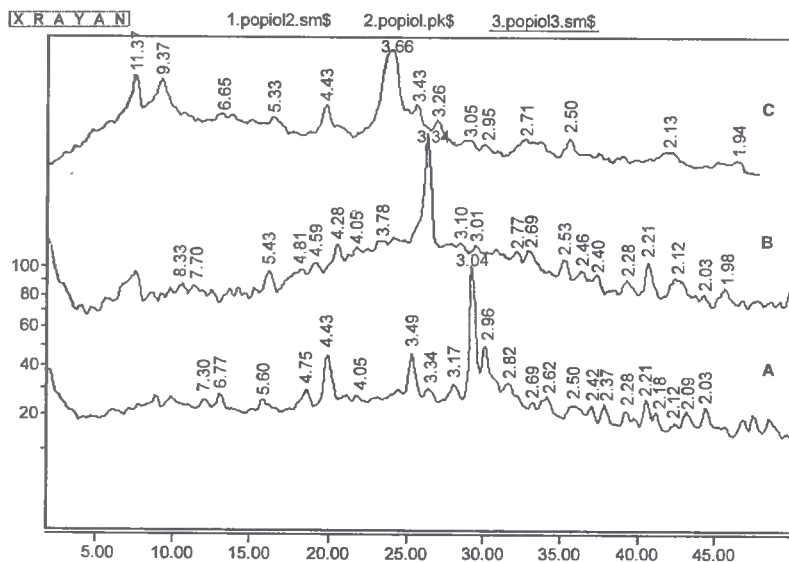
Tabela 13. Skład chemiczny preparatu borowego uzyskanego w skali ćwierćtechnicznej  
 Table 13. Chemical composition of boron preparation obtained in a quarter-technical scale

Określenie Description	B	Ca	K	Mg	Na	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl
$\bar{x}$	1,8	14,4	4,2	1,0	4,7	19,2	17,6	3,5
	Cd	Pb		Cr	Zn	Ni		Cu
	mg·kg <sup>-1</sup> s.m. - mg·kg <sup>-1</sup> d.m.							
$\bar{x}$	1	16		36	151	7		3
	Skład chemiczny preparatu borowego uzyskanego z wód nadosadowych transportu hydraulicznego popiołów							
	Chemical composition of boron preparation obtained in above-sediment water from hydraulic fly ash							
	B	Ca	K	Mg	Na	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl
	w % s.m. - % d.m.							
$\bar{x}$	1,1	13,2	3,6	1,3	4,0	22,6	10,1	2,8
	Cd	Pb		Cr	Zn	Ni		Cu
	mg·kg <sup>-1</sup> s.m. - mg·kg <sup>-1</sup> d.m.							
$\bar{x}$	1	18		52	194	19		19

Tabela 14. Stężenia pierwiastków naturalnie promieniotwórczych w preparacie borowym wylugowanym z popiołów lotnych

Table 14. Concentrations of elements naturally radioactive in boron preparation leached from fly ashes

Przedział Energetic interval	Zliczenia TLA Counting	Zliczenia wzorców Standard counting			Zliczenia próbki Sample counting
		K-40	Ra-226	Th-228	
K-40	660	11032			28034
Ra-226	138	10635	5743	505	10451
Th-228	58	3234	3320	1951	4047
Aktywności pierwiastków promieniotwórczych Activity of radioactive elements					
Potassium - Potasu K-40: (796,56 ± 181,10) [Bq/kg] Radium - Radu Ra-226: (119,67 ± 19,45) [Bq/kg] Thorium - Toru Th-228: (91,55 ± 17,23) [Bq/kg]					



Rys. 3. Dyfraktogramy:

A - preparat uzyskany na drodze ekstrakcji wodnej,

B - popiół lotny z EC II Bydgoszcz,

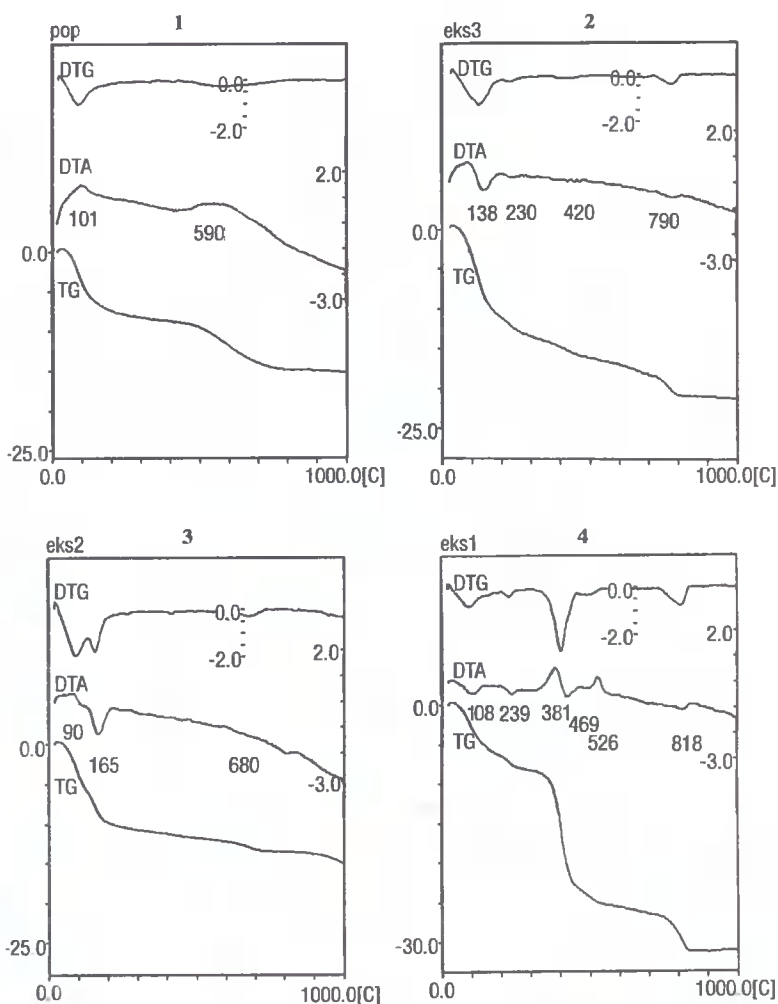
C - preparat uzyskany na drodze ekstrakcji 0,01 M kwasem azotowym

Fig. 3. Diffractograms of:

A - preparation obtained by water extraction

B - fly ash from the EPP II Bydgoszcz

C - preparation obtained by extraction with 0,01 M nitric acid



Rys. 4. Derywatogramy popiołu i mieszanin wyekstrahowanych z popiołów:  
 1 - popiół z EC II Bydgoszcz,  
 2 - preparat borowy otrzymany w wyniku ługowania popiołów wodą w baterii ekstraktorów,  
 3 - preparat borowy otrzymany z wód nadosadowych transportu hydraulicznego popiołów na składowisko,  
 4 - mieszanina związków otrzymana na drodze ekstrakcji popiołu 0,01 M kwasem solnym

Fig. 4. Derivatograms of fly ash:  
 1 - fly ash from the EPP II Bydgoszcz,  
 2 - boron preparation obtained by leaching of fly ash with water in extractor battery,  
 3 - boron preparation obtained from above-precipitation water of hydraulic transportation of fly ash to dumping ground,  
 4 - mixture of compounds obtained by extraction of fly with 0,01 M hydrochloric acid

Wyniki badań dyfraktometrycznych wykazały również znaczące różnice w składzie mineralogicznym popiołu i preparatu borowego otrzymanego w wyniku ługowania popiołu wodą oraz ekstrakcji 0,01 M kwasem azotowym. Zauważono, iż różnice wynikają nie tylko z uwolnienia składników rozpuszczalnych z matrycy popiołowej, ale również z kondensacji anionów boranowych w różnych proporcjach i tworzeniu ewaporatów różnych związków. Zawartość fazy węglanowej potwierdza zarówno analiza rentgenograficzna, jak i derywato-graficzna. Stwierdzić ją można także na derywatogramach (rys. 4) w postaci zaburzeń DTA, jak i DTG. Na podstawie przeprowadzonych badań derywato-graficznych można przeanalizować charakter faz amorficznych, szczególnie w aspekcie wiązania przez nie wody. Analizując straty masy towarzyszące wszystkim efektom egzotermicznym (nisko- i wysokotemperaturowym) rejestrowanym na krzywej DTA preparatu borowego otrzymanego w wyniku ługowania popiołów wodą w baterii ekstraktorów (rys. 4.2) oraz preparatu borowego otrzymanego z wód nadosadowych transportu hydraulicznego popiołów na składowisko (rys. 4.3) zaobserwowano znaczące przesunięcia w zakresie temperatur występowania efektów endo i egzotermicznych.

Badania te wskazują, że obok wody związanej, krystalizacyjnej, obecna była także woda kapilarna międzywarstwowa. Derywatogramy preparatu borowego rejestrują wyraźne efekty endotermiczne z maksimum przebiegającym w temperaturze 138°C i 130°C, co może wskazywać na brak powiązań wody strukturalnej z krystalicznymi fazami mineralnymi [54].

### 3.2. Wykorzystanie nawozowe preparatu borowego łącznie z wybranymi środkami ochrony roślin

W ocenie łącznego zastosowania nawożenia dolistnego preparatem borowym wylugowanym z popiołów lotnych z wybranymi środkami ochrony roślin zwrócono uwagę na możliwość wywołania zmian fizycznych w wyniku ich zmieszania [31].

Stwierdzono jednak, że zmieszanie wybranych zoocydów, fungicydów i herbicydów z preparatem borowym nie wywołało zmian właściwości mieszaniny, mimo użycia preparatu w różnych stężeniach (tab. 15). Można w związku z tym wnioskować, że w mieszaninie nie występowały zmiany prowadzące do obniżenia specyficznych właściwości komponentów.

Określając tolerancję roślin na zastosowane łącznie z dolistnym nawożeniem środki ochrony roślin stwierdzono, że części nadziemne ziemniaka były nieco wrażliwsze na zastosowane zabiegi niż liście buraka cukrowego. Dawały się zauważyć przy łącznej aplikacji Pirimoru 50 DP z preparatem borowym, już przy stężeniu 0,23% bardzo lekkie symptomy działania fitotoksycznego (tab. 15). Przy tym samym stężeniu preparatu nie obserwowano żadnych zmian po wprowadzeniu Owadofosu 50 i Enolofosu 50. Wyższe od 0,23% stężenie preparatu borowego w mieszaninie wywoływało w połączeniu z każdym badanym zoocydem bardzo lekkie symptomy fitotoksycznego działania. Przejawiały się one bieleniem brzegów blaszek liściowych ziemniaka, co zostało określone jako lekkie objawy nadmiaru boru.

Po zastosowaniu Miedzianu 50 z preparatem borowym na ziemniaki, stwierdzono bardzo lekkie symptomy toksycznego działania. Liście buraka cukrowego nie wykazywały żadnej wrażliwości po zastosowaniu fungicydów, łącznie z preparatem borowym, od stężenia najniższego do najwyższego.

Tabela 15. Wpływ łącznego stosowania preparatu borowego ze środkami ochrony roślin na zmiany fizyczne mieszaniny oraz fitotoksyczność  
 Table 15. The effect of combined application of boron preparation with plant protection preparations on physical changes of the mixture and phytotoxicity

Środek Preparation	Dawka Rate	Wpływ na zmiany fizyczne Effect on physical changes			Fitotoksyczny wpływ na części nadziemne w skali EWRC*					
		Stężenie preparatu borowego w % Concentration of boron preparation (%)			Ziemniaki - Potato		Buraki - Sugar beet			
		0,23	0,46	0,92	0,23	0,46	0,92	0,23	0,46	0,92
Pirimor 50 DP	0,5 kg·ha <sup>-1</sup>	bez zmian			2	2	2	1	1	1
Owadofos 50	0,9 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>	no changes			1	1-2	2	1	1	1
Enolofos 50	2,0 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>				1	2	2	1	1	1
Polyran Combi	1,8 kg·ha <sup>-1</sup>	bez zmian			1	1	2	1	1	1
Dithane-45	3,0 kg·ha <sup>-1</sup>	no changes			1	1	2	1	1	1
Miedzian 50	5,0 kg·ha <sup>-1</sup>				1	1-2	2	1	1	1

\* Skala EWRC 1 - brak jakichkolwiek śladów fitotoksyczności działania

2 - bardzo lekkie symptomy fitotoksycznego działania

3 - lekkie symptomy fitotoksycznego działania

EWRC scale 1 - no trace of phytotoxicological action

2 - very small effects of phytotoxicological action

3 - small effects of phytotoxicological action

Tabela 16. Wpływ łącznego stosowania preparatu borowego z herbicydami na zmiany fizyczne mieszaniny oraz fitotoksyczność  
 Table 16. The effect of combined application of boron preparation with plant protection preparations on physical changes of the mixture and phytotoxicity

Herbicydy Herbicides	Dawka Rate	Wpływ na zmiany fizyczne Effect on physical changes			Fitotoksyczny wpływ na części nadziemne w skali EWRC* Phytotoxic effect on aerial parts, EWRC scale		
		Stężenie preparatu borowego w % - Concentration of boron preparation (%)			Buraki - Sugar beet		
		0,23	0,46	0,92	0,23	0,46	0,92
Betanal + Pyramin	5,0 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> 2,5 kg·ha <sup>-1</sup>	nie obserwowano dodatkowej koa- gulacji, strącania osadów ani też gazowania mie- szanin	brak zmian no changes	brak zmian no changes	2	2	2
Betanal + Venzar	5,0 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> 0,6 kg·ha <sup>-1</sup>	no additional co- agulation, preci- pitation and ga- sification of the mixture	brak zmian no changes	brak zmian no changes	2	2	2
Betanal	5,0 dm <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup>		brak zmian no changes	brak zmian no changes	2	2	2

\*Skala EWRC:

- 1 - brak jakichkolwiek śladów fitotoksyczności działania
- 2 - bardzo lekkie symptomy fitotoksycznego działania
- 3 - lekkie symptomy fitotoksycznego działania

EWRC scale:

- 1 - no trace of phytotoxicological action
- 2 - very small effects of phytotoxicological action
- 3 - small effects of phytotoxicological action

Fitotoksyczne objawy wystąpiły natomiast na liściach buraka przy łącznym zastosowaniu herbicydów z preparatem borowym (tab. 16), niezależnie od rodzaju herbicydu i zastosowanego stężenia preparatu. We wszystkich przypadkach wystąpiły bardzo lekkie symptomy fitotoksycznego działania.

Eksperyment wykazał przydatność uzyskanego preparatu nawozowego do łącznego stosowania ze środkami ochrony roślin.

### 3.3. Wyniki doświadczeń polowych

#### 3.3.1. DOŚWIADCZENIE I

##### **Plonowanie pszenicy ozimej i buraka cukrowego pod wpływem różnych dawek oraz sposobów nawożenia preparatem borowym, czteroboranem sodowym i Florovitem plus**

Zaopatrzenie pszenicy ozimej i buraka cukrowego w bor stanowi jeden z wielu czynników komplementarnego nawożenia, jakkolwiek wymagania pokarmowe pszenicy w stosunku do boru należą do jednych z najmniejszych, a buraka cukrowego do największych spośród roślin uprawnych.

Plony ziarna pszenicy wahały się od 3,95 do 4,13 t·ha<sup>-1</sup> przy nawożeniu doglebowym i 4,07 do 4,16 t·ha<sup>-1</sup> przy nawożeniu dolistnym (tab. 17, 19). Poziom plonów ziarna odpowiadał w przybliżeniu średniej krajowej z lat, w których przeprowadzono badania.

Zastosowane w doglebowym nawożeniu pszenicy ozimej preparat borowy, czteroboran sodowy i Florovit plus wpłynęły w różnym stopniu na ilość i cechy jakościowe jej plonu oraz zawartość boru w ziarnie (tab. 17, 18). Preparat borowy i Florovit plus istotnie zwiększały plon ziarna pszenicy w porównaniu z czteroboranem sodowym. Wzrost nawożenia borem w postaci tych nawozów z 1,5 kg·ha<sup>-1</sup> do 3,0 kg·ha<sup>-1</sup> nie miał istotnego wpływu na plon ziarna pszenicy. Również na plon słomy pszenicy nie miały istotnego wpływu zarówno rodzaj nawozów, jak i ich dawki, chociaż zauważono, że przy nawożeniu czteroboranem sodowym plon słomy był najniższy.

Zawartość białka w ziarnie pszenicy była istotnie niższa przy nawożeniu pszenicy preparatem borowym w porównaniu z Florovitem plus. Przy zastosowaniu czteroboranu sodowego, zawartość białka była tylko nieco niższa niż na obiekcie nawożonym Florovitem plus.

Nawożenie czteroboranem sodowym istotnie zmniejszało MTN pszenicy w porównaniu z nawożeniem Florovitem plus. Pszenica odmiennie reagowała na wzrost dawki czteroboranu sodowego i Florovitu plus. Wzrost dawki boru zastosowanego w postaci czteroboranu sodowego z 1,5 kg·ha<sup>-1</sup> do 3,0 kg·ha<sup>-1</sup> istotnie zwiększał, a ta sama zmiana dawki w postaci Florovitu plus istotnie zmniejszała MTN.

Plon białka w ziarnie pszenicy był istotnie wyższy z obiektu nawożonego Florovitem plus w porównaniu z obiektami nawożonymi pozostałymi nawozami. Na zawartość białka w ziarnie, jak i na jego plon nie miał istotnego wpływu wzrost zastosowanej w nawożeniu dawki boru z 1,5 kg·ha<sup>-1</sup> do 3,0 kg·ha<sup>-1</sup>.

Różnicowanie plonu białka zależało w większym stopniu od plonu, niż od zawartości białka w nasionach, dlatego też te czynniki, które wpływały na plon nasion, kształtowały plon białka. Powszechnie przyjmuje się, że plon ziarna zależy od przebiegu wzrostu i rozwoju rośliny w całym okresie wegetacji, obsady roślin na jednostce powierzchni, stopnia krzewistości oraz liczby ziaren w kłosku i kłosie. Natomiast zabiegi stosowane w koń-

cowym okresie wegetacji, a więc już po ukształtowaniu się struktury plonu pojedynczej rośliny i architektury łanu, wpływały głównie na MTN. Potwierdziła się również w tym przypadku teza, iż plon ziarna traktowany jako złożony zespół różnych elementów jego struktury, modyfikowanej warunkami rozwoju roślin, charakteryzował się większą zmiennością niż MTN.

Tabela 17. Wpływ nawożenia dogiebowego pszenicy ozimej 'Dana' na plon i zawartość białka  
Table 17. The effect of soil amendment in the 'Dana' winter wheat cultivation on the yield and protein content

Rodzaj nawozu Fertilization	Dawka boru (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron dose (kg·ha <sup>-1</sup> )		$\bar{x}$	NIR dla LSD for	
	1,5	3,0		rodzaju nawozu (I) kind of fertilizer (I)	dawki nawozu (II) dose of fertilizer (II)
				współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Plon ziarna (t·ha <sup>-1</sup> ) - Grain yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	4,05	4,10	4,08	0,077	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	3,91	4,00	3,95		
Florovit plus	4,10	4,16	4,13		
$\bar{x}$	4,02	4,09	4,05	ni	
Plon słomy (t·ha <sup>-1</sup> ) - Straw yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	6,28	6,71	6,50	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	6,18	6,19	6,19		
Florovit plus	6,65	6,41	6,53		
$\bar{x}$	6,37	6,44	6,41	ni	
Zawartość białka w ziarnie (%) - Protein content in grain (%)					
Preparat borowy Boron preparation	12,2	12,3	12,3	0,24	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	12,5	12,6	12,5		
Florovit plus	12,5	12,6	12,6		
$\bar{x}$	12,4	12,5	12,5	ni	
MTN (g) - TGW (g)					
Preparat borowy Boron preparation	35,1	35,2	35,1	0,64	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	33,9	35,0	34,5		
Florovit plus	35,8	34,6	35,2		
$\bar{x}$	34,9	34,9	34,9	0,68	



Tabela 18. Wpływ nawożenia doglebowego i dolistnego pszenicy ozimej 'Dana' na zawartość boru w suchej masie ziarna

Table 18. The effect of soil amendment and top-dress fertilization in the 'Dana' winter wheat cultivation on the content of boron in grain dry matter (mg B·kg<sup>-1</sup>)

Rodzaj nawozu Fertilization	Dawka boru (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron dose		$\bar{x}$	NIR dla LSD for	
				rodzaju nawozu (I) kind of fertilizer (I)	dawki nawozu (II) dose of fertilizer (II)
				współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Nawożenie doglebowe - Soil fertilization					
	1,5	3,0			
Preparat borowy Boron preparation	3,17	3,90	3,53	0,688	0,205
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	2,90	4,07	3,48		
Florovit	2,30	2,87	2,58		
$\bar{x}$	2,79	3,61	3,20	ni	
Nawożenie dolistne - Top - dress fertilization					
	0,165	0,330			
Preparat borowy Boron preparation	4,03	4,23	4,13	0,459	0,264
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	4,30	4,50	4,40		
Florovit	2,47	3,53	3,00		
$\bar{x}$	3,60	4,09	3,84	0,506	

Preparat borowy i czteroboran sodowy wpływały istotnie na wzrost zawartości boru w ziarnie w porównaniu z Florovitem plus. Ze wzrostem dawki boru z 1,5 kg·ha<sup>-1</sup> do 3,0 kg·ha<sup>-1</sup> istotnie wzrastała zawartość boru w suchej masie ziarna pszenicy. Oertli [63] podaje, że w przypadku wystąpienia nadmiaru boru w roślinie, stan ten może być przewyższony przez nią za pomocą gutacji, jednak niekorzystny wpływ nadmiaru boru na przemiany cukrowców i proces budowy ściany komórkowej prowadzi do zmniejszenia plonu.

Ernst i Joose-van Damme [21] podają, że największą zawartość dostępnego roślinom boru osiągającą 14 mmol·kg<sup>-1</sup> stwierdzono w świeżych popiołach lotnych. Wystarczające dla pokrycia zapotrzebowania roślin jest stężenie 0,05 mmol B w dm<sup>3</sup> pożywki. Stężenia powyżej 0,1 mmol·kg<sup>-1</sup> powodowały uszkodzenia roślin. W przeprowadzonych badaniach nie obserwowano objawów nadmiaru boru dla pszenicy w zastosowanym nawożeniu, charakteryzujących się uszkodzeniem roślin.

Efekty produkcyjne dokarmiania pszenicy mieszankami mineralnymi o niskiej zawartości boru, nie powodującego uszkodzenia roślin przedstawiono też w krajowych badaniach [16,23,32,62].

Badane czynniki doświadczenia I działały na ogół niezależnie od siebie, z wyjątkiem ich współdziałania na MTN (w nawożeniu doglebowym) i zawartość boru w suchej masie ziarna (w nawożeniu dolistnym).

Z przeprowadzonych badań wynika, że w ramach stosowanych technik (nawożenie dolistne i doglebowe) wystąpiło mniejsze zróżnicowanie plonu ziarna pszenicy i innych wskaźników niż pomiędzy dawkami stosowanymi w tych sposobach nawożenia. Badane czynniki nie miały istotnego wpływu na wielkość plonu pszenicy.

Ignatowicz i Żmigrodzka [37] badały zawartość boru w ziarnie pszenicy na tle zawartości tego składnika w glebie. Średnia zawartość określona przez autorki wynosiła 1,72 mg B·kg<sup>-1</sup> ziarna pszenicy odmiany 'Grana'. Znacznie niższe wartości boru w ziarnie zbóż stwierdzili Szukalski, Szymczyk i Sikora [76] - 0,76 do 1,19 mg B·kg<sup>-1</sup>.

W badaniach własnych zawartość boru w suchej masie ziarna pszenicy odmiany 'Dana' była dużo wyższa i wynosiła w ziarnie pochodzącym z obiektów nawożonych doglebowo od 2,3 do 4,07 mg B·kg<sup>-1</sup>, natomiast skrajne zawartości boru w ziarnie pochodzącym z roślin nawożonych dolistnie mieściły się w granicach od 2,47 do 4,50 mg·kg<sup>-1</sup>.

W doświadczeniu z roślinami nawożonymi dolistnie, przy poziomach boru 0,165 kg·ha<sup>-1</sup> i 0,330 kg·ha<sup>-1</sup>, z preparatu borowego, czteroboranu sodowego i Florovitu plus zebrano podobny plon ziarna, słomy, MTN oraz zawartość białka (tab. 19). Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy rodzajami nawozów a ich dawką. Stwierdzono tylko, że zawartości wyżej wymienionych parametrów były regularnie wyższe przy nawożeniu Florovitem plus (z wyjątkiem MTN). Nieco gorsze wyniki uzyskano przy nawożeniu preparatem borowym i kolejno przy nawożeniu czteroboranem sodowym. Najwyższą MTN miała pszenica nawożona preparatem borowym, następnie w kolejności czteroboranem sodowym i Florovitem plus. Zawartość boru w suchej masie ziarna była istotnie wyższa przy nawożeniu pszenicy preparatem borowym i czteroboranem sodowym w porównaniu z obiektem nawożonym Florovitem plus. Poziom boru w ziarnie pszenicy nawożonej czteroboranem sodowym był wyższy niż w ziarnie pszenicy nawożonej preparatem borowym ale nieistotnie. Zwiększenie nawożenia borem z poziomu 0,165 kg·ha<sup>-1</sup> do 0,330 kg·ha<sup>-1</sup>, istotnie zwiększało zawartość boru w ziarnie. Przy nawożeniu Florovitem plus stwierdzono istotny wpływ wysokości dawki na zawartość boru w ziarnie.

Zastosowanie nawożenia dolistnego pszenicy ozimej spowodowało, że wartości badanych w doświadczeniu parametrów były tylko nieco wyższe niż przy nawożeniu doglebowym (tab. 17, 18, 19). Zarówno w nawożeniu dolistnym, jak i doglebowym najwyższe plony ziarna, słomy oraz zawartość białka uzyskano przy nawożeniu Florovitem plus. Nawożenie preparatem i czteroboranem sodowym, niezależnie od sposobu ich stosowania, zwiększało zawartość boru w ziarnie w porównaniu z Florovitem plus. Nawożenie preparatem borowym w porównaniu z czteroboranem sodowym, przy obu sposobach ich stosowania dawało tylko nieznacznie wyższe plony ziarna i słomy pszenicy tak, że można uznać działanie tych nawozów za równorzędne

Chociaż stosowane w nawożeniu doglebowym dawki boru wynosiły 1,5 kg i 3,0 kg·ha<sup>-1</sup>, a w nawożeniu dolistnym były wielokrotnie niższe: 0,165 kg i 0,330 kg·ha<sup>-1</sup>, to ich wpływ na ilość i jakość plonu pszenicy ozimej był bardzo podobny. Domniemanie, że istnieje możliwość zwiększenia plonowania wraz ze wzrostem dawki boru, nie zostało w badaniach po-

twierdzone. Niższy poziom nawożenia umożliwił uzyskanie w badanych warunkach agrotechnicznych maksymalnego plonu pszenicy.

Tabela 19. Wpływ nawożenia dolistnego pszenicy ozimej 'Dana' na plony, zawartość białka oraz MTN

Table 19. The effect of top-dress fertilization of the 'Dana' winter wheat on the yield, protein content and TGW

Rodzaj nawozu Fertilization	Dawka boru (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron dose (kg·ha <sup>-1</sup> )		$\bar{x}$	NIR dla LSD for	
	0,165	0,330		rodzaju nawozu (I) kind of fertilizer (I)	dawki nawozu (II) dose of fertilizer (II)
				współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Plon ziarna (t·ha <sup>-1</sup> ) - Grain yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	4,07	4,16	4,12	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	4,05	4,08	4,07		
Florovit plus	4,15	4,16	4,16		
$\bar{x}$	4,09	4,13	4,11	ni	
Plon słomy (t·ha <sup>-1</sup> ) - Straw yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	6,47	6,53	6,50	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	6,43	6,49	6,46		
Florovit plus	6,72	6,38	6,56		
$\bar{x}$	6,54	6,47	6,50	ni	
Zawartość białka w ziarnie (%) - Protein content in grain (%)					
Preparat borowy Boron preparation	12,4	12,6	12,5	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	12,4	12,4	12,4		
Florovit plus	12,5	12,7	12,6		
$\bar{x}$	12,4	12,6	12,5	ni	
MTN (g) - TGW (g)					
Preparat borowy Boron preparation	35,8	36,3	36,1	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	35,9	36,2	36,0		
Florovit plus	35,9	35,0	35,5		
$\bar{x}$	35,9	35,8	35,9	ni	

Przeciętny w wieloletnim plon korzeni buraka cukrowego uprawianego bez dodatkowego nawożenia borem wynosił  $40,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Zagadnienie wpływu nawożenia borem na plon i jakość buraka cukrowego znajduje odzwierciedlenie w licznych badaniach [9,16,23,24,35,43,48,48,56]. Na glebach o odczynie obojętnym i ubogich w przyswajalny bor, oraz przy zastosowaniu wysokich dawek NPK, dawka boru od  $2,0$  do  $4,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  działa stymulująco na plon korzeni.

Preparat borowy stosowany doglebowo, istotnie zwiększał plon świeżej masy korzeni buraka cukrowego w porównaniu z nawożeniem czteroboranem sodowym i Florovitem plus (tab. 20). Zarówno stosowany nawóz Florovit plus, jak i czteroboran sodowy oraz preparat borowy przy zwiększeniu dawki boru z  $3,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , powodowały istotny wzrost plonu świeżej masy korzeni. Nawożenie preparatem borowym i Florovitem plus istotnie zwiększało również plon suchej masy korzeni w porównaniu do buraków z obiektu nawożonego czteroboranem sodowym. Wzrost dawki boru z  $3,0 \text{ kg}$  do  $6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  istotnie zwiększał plon suchej masy korzeni buraka cukrowego.

Wpływ nawożenia doglebowego buraka cukrowego 'Polycama' preparatem borowym, czteroboranem sodowym i Florovitem plus na zawartość popiołu rozpuszczalnego i cukru był nieistotny (tab. 21).

Stosowane nawozy zarówno w niższej, jak i wyższej dawce nie różnicowały istotnie zawartości cukru w korzeniach buraka. Rodzaj nawozu nie miał wpływu na plon cukru, jednak wzrost dawki boru, niezależnie od rodzaju nawozu z  $3,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , powodował istotny wzrost plonu cukru. W korzeniach buraka cukrowego nawożonego preparatem borowym i czteroboranem sodowym, zawartość boru była istotnie wyższa niż w korzeniach buraka nawożonego Florovitem plus, ale zwiększenie wnoszonej w nawozach dawki boru z  $3,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  nie miało istotnego wpływu na zawartość boru w korzeniach.

Stosowane w badaniach: preparat borowy, czteroboran sodowy i Florovit plus jak również wysokość ich dawek wpływały podobnie na zawartość popiołu rozpuszczalnego oznaczonego w korzeniach buraka i nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy czynnikami doświadczenia.

Plon świeżej masy liści buraka był istotnie wyższy na obiektach nawożonych preparatem borowym i czteroboranem sodowym, niż nawożonych Florovitem plus, tylko w przypadku zwiększenia dawki boru z  $3,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Plon świeżej masy korzeni buraka cukrowego istotnie zwiększył się przy dolistnym nawożeniu preparatem borowym i czteroboranem sodowym, w porównaniu z obiektami nawożonymi Florovitem plus (tab. 22, 23).

Plon suchej masy korzeni buraka też był istotnie wyższy, ale różnice udowodnione statystycznie były pomiędzy obiektem nawożonym preparatem borowym a Florovitem plus. Zwiększenie dawki boru z  $0,68 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $1,36 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  nie miało istotnego wpływu na plon świeżej i suchej masy korzeni buraka cukrowego. Zawartość cukru w korzeniach ze wszystkich obiektów była praktycznie taka sama, niezależnie od rodzaju i dawki nawozu.

Preparat borowy i czteroboran sodowy istotnie zwiększały zawartość boru w korzeniach w porównaniu do obiektu nawożonego Florovitem plus. Zwiększenie dawki boru z  $0,68 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $1,36 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  nie powodowało udowodnionych statystycznie różnic w zawartości boru w korzeniach buraka cukrowego.

Tabela 20. Wpływ nawożenia doglebowego buraka cukrowego 'Polycama' na plon  
 Table 20. The effect of soil fertilization on the yield of the 'Polycama' sugar beet

Rodzaj nawozu Fertilization	Dawka boru (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron dose (kg·ha <sup>-1</sup> )		$\bar{x}$	NIR dla LSD for	
	3,0	6,0		rodzaju nawozu (I) kind of fertilizer (I)	dawki nawozu (II) dose of fertilizer (II)
				współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Plon świeżej masy korzeni (t·ha <sup>-1</sup> ) - Root fresh matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	39,4	41,2	40,3	0,82	0,48
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	38,0	40,8	39,4		
Florovit plus	39,2	40,2	39,7		
$\bar{x}$	38,9	40,7	39,8		
Plon suchej masy korzeni (t·ha <sup>-1</sup> ) - Root dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	9,53	9,80	9,67	0,185	0,038
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	9,10	9,70	6,40		
Florovit plus	9,50	9,73	9,62		
$\bar{x}$	9,38	9,74	9,56		
Plon świeżej masy liści (t·ha <sup>-1</sup> ) - Leaf fresh matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	32,7	34,2	33,5	0,73	0,56
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	33,5	33,7	33,6		
Florovit plus	32,3	32,6	32,4		
$\bar{x}$	32,8	33,5	33,2		
Plon suchej masy liści (t·ha <sup>-1</sup> ) - Leaf dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	5,23	5,40	5,32	0,128	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	5,30	5,33	5,32		
Florovit plus	5,17	5,23	5,20		
$\bar{x}$	5,23	5,32	5,28		

Tabela 21. Wpływ nawożenia doglebowego buraka cukrowego 'Polycama' na jakość plonu  
 Table 21. The effect of soil fertilization of the 'Polycama' sugar beet on the crop quality

Rodzaj nawozu Fertilization	Dawka boru (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron dose (kg·ha <sup>-1</sup> )		$\bar{x}$	NIR dla LSD for	
	3,0	6,0		rodzaju nawozu (I) kind of fertilizer (I)	dawki nawozu (II) dose of fertilizer (II)
				współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Zawartość boru w suchej masie (mg·kg <sup>-1</sup> ) - Boron content in dry matter (mg·kg <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	16,5	17,1	16,8	1,38	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	16,4	17,4	16,9		
Florovit plus	14,2	14,7	14,5		
$\bar{x}$	15,7	16,4	16,1		
Zawartość popiołu rozpuszczalnego (%) - Soluble ash content (%)					
Preparat borowy Boron preparation	0,498	0,528	0,513	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	0,472	0,511	0,492		
Florovit plus	0,505	0,542	0,524		
$\bar{x}$	0,492	0,527	0,510		
Zawartość cukru (%) - Sugar content (%)					
Preparat borowy Boron preparation	18,1	18,1	18,1	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	18,0	18,2	18,1		
Florovit plus	18,0	18,1	18,1		
$\bar{x}$	18,0	18,1	18,1		

Rodzaje i dawki nawozów, również nieistotnie różnicowały zawartość popiołu rozpuszczalnego w korzeniach buraka, oraz plon świeżej i suchej masy liści.

Przy dolistnym nawożeniu buraka cukrowego, wartości badanych w doświadczeniach parametrów były nieco wyższe niż przy nawożeniu doglebowym (tab. 21, 22, 23). Zarówno w nawożeniu dolistnym, jak i doglebowym, najwyższe plony świeżej i suchej masy korzeni oraz zawartość i plon cukru były zawsze wyższe na obiektach nawożonych preparatem borowym. Nieco niższe wartości wymienionych wyżej plonów były przy nawożeniu czteroboranem sodowym, a najniższe, kiedy stosowano Florovit plus. Natomiast pod wpływem nawożenia Florovitem plus zarówno stosowanym dolistnie, jak i doglebowo zawartość popiołu rozpuszczalnego w korzeniach buraka była największa.

Tabela 22. Wpływ nawożenia dolistnego buraka cukrowego 'Polycama' na plon

Table 22. The effect of top-dress fertilization on the yield of the 'Polycama' sugar beet

Rodzaj nawozu Fertilization	Dawka boru (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron dose (kg·ha <sup>-1</sup> )		$\bar{x}$	NIR dla LSD for	
	0,68	1,36		rodzaju nawozu (I) kind of fertilizer (I)	dawki nawozu (II) dose of fertilizer (II)
				współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Plon świeżej masy korzeni (t·ha <sup>-1</sup> ) - Root fresh matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	40,9	41,7	41,3	0,85	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	40,5	40,7	40,6		
Florovit plus	38,6	39,5	39,1		
$\bar{x}$	40,0	40,6	40,3		
Plon suchej masy korzeni (t·ha <sup>-1</sup> ) - Root dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	9,73	10,13	9,93	0,329	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	9,67	9,73	9,70		
Florovit plus	9,37	9,63	9,50		
$\bar{x}$	9,59	9,83	9,71		
Plon świeżej masy liści (t·ha <sup>-1</sup> ) - Leaf fresh matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	33,5	33,7	33,6	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	34,0	34,2	34,1		
Florovit plus	32,7	34,4	33,5		
$\bar{x}$	33,4	34,1	33,8		
Plon suchej masy liści (t·ha <sup>-1</sup> ) - Leaf dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	5,33	5,40	5,37	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	5,43	5,40	5,42		
Florovit plus	5,27	5,53	5,40		
$\bar{x}$	5,34	5,44	5,39		

Tabela 23. Wpływ nawożenia dolistnego buraka cukrowego 'Polycama' na jakość plonu  
 Table 23. The effect of top-dress fertilization of the 'Polycama' sugar beet on the crop quality

Rodzaj nawozu Fertilization	Dawka boru (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron dose (kg·ha <sup>-1</sup> )		$\bar{x}$	NIR dla LSD for	
	0,68	1,36		rodzaju nawozu (I) kind of fertilizer (I)	dawki nawozu (II) dose of fertilizer (II)
				współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Zawartość boru w suchej masie (mg·kg <sup>-1</sup> ) - Boron content in dry matter (mg·kg <sup>-1</sup> )					
Preparat borowy Boron preparation	17,7	18,2	18,0	0,492	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	17,7	18,4	18,1		
Florovit plus	15,3	15,7	15,5		
$\bar{x}$	16,9	17,5	17,2	ni	
Zawartość popiołu rozpuszczalnego (%) - Soluble ash content (%)					
Preparat borowy Boron preparation	0,631	0,681	0,656	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	0,626	0,696	0,661		
Florovit plus	0,642	0,720	0,681		
$\bar{x}$	0,633	0,699	0,666	ni	
Zawartość cukru (%) - Sugar content (%)					
Preparat borowy Boron preparation	18,2	18,2	18,2	ni	ni
Czteroboran sodowy Sodium tetraborate	18,3	18,1	18,2		
Florovit plus	18,1	18,1	18,1		
$\bar{x}$	18,2	18,1	18,2	ni	

Niezależnie od sposobu nawożenia preparat borowy i czteroboran sodowy działały podobnie na kształtowanie zawartości boru w korzeniach oraz plonu świeżej i suchej masy liści, a w porównaniu do Florovitu plus ich działanie zwiększało nieco plony liści.

Chociaż w nawożeniu dogłębowym buraka cukrowego dawki boru wynosiły 3,0 i 6,0 kg·ha<sup>-1</sup>, a w nawożeniu dolistnym były niższe (0,68 i 1,36 kg·ha<sup>-1</sup>), to ich wpływ na ilość i jakość plonu był zbliżony. Zwiększenie dawki boru z poziomu niższego do wyższego, w nawożeniu dogłębowym, niezależnie od rodzaju nawozu, powodowało wyraźną reakcję roślin (istotny wzrost plonu korzeni, liści i cukru). Natomiast w nawożeniu dolistnym takiego wpływu nie stwierdzono.



Efektywność doglebowego lub dolistnego dokarmiania buraka cukrowego borem zależy w znacznej mierze od stanu roślin uwarunkowanego zespołem czynników agrotechnicznych i meteorologicznych.

Szukalski i Sikora [76] stwierdzili, że zastosowany bor zarówno doglebowo, jak i z opryskiem był dobrze pobierany przez rośliny, na co wskazywał wzrost zawartości tego składnika zarówno w młodych roślinach, jak i w plonie końcowym. Dolistne dokarmianie może być traktowane jako zabieg stabilizujący plony oraz poprawiający ich jakość w przypadku roślin, które są prawidłowo nawożone doglebowo.

### 3.3.2. DOŚWIADCZENIE II

#### **Plonowanie dwóch odmian ziemniaka nawożonych preparatem borowym i Florovitem plus oraz sprawdzenie możliwości łącznego stosowania preparatu borowego z wybranymi środkami ochrony roślin**

Ziemniak należy do roślin o niewielkim zapotrzebowaniu na bor, jednak dopływ tego pierwiastka musi następować z zewnątrz przez cały okres wzrostu. Ilości boru, jakie zaspakajają potrzeby ziemniaka, są wypadkową szeregu czynników, w tym również odmianowych, nawozowych i klimatycznych.

W większości prac stwierdzano korzystny wpływ dolistnego dokarmiania mikroelementami stosowanego we wczesnych fazach wzrostu na wysokość i jakość plonu kłąbów ziemniaka [81,82,83,84,85].

W przeprowadzonych badaniach z ziemniakami 'Pola' i 'Sieglinde', plony w doświadczeniu A wahały się od 24,0 do 26,5 t·ha<sup>-1</sup> i były wyższe od średniej krajowej z tego okresu badań o 25 - 32%. Preparat borowy oraz Florovit plus wpływały na obie odmiany ziemniaka podobnie, ponieważ uzyskany plon kłąbów był zbliżony (tab. 24).

Nawożenie Florovitem plus w porównaniu z preparatem borowym istotnie zwiększało u badanych odmian ziemniaka zawartość skrobi i jej plon oraz zawartość i plon suchej masy. Wymienione wyżej parametry były istotnie wyższe dla odmiany 'Pola' niż dla odmiany 'Sieglinde'. Nawożenie preparatem borowym istotnie zwiększało zawartość boru w kłąbach obu odmian ziemniaka w porównaniu z Florovitem plus.

W tabelach 25 i 26 zestawiono dane informujące o reakcji ziemniaka na współdziałanie dawek preparatu borowego z zoocydami. Pod wpływem nawożenia preparatem borowym wartości badanych cech ziemniaka istotnie wzrastały, w stosunku do wartości tych cech z obiektu bez nawożenia, i to niezależnie od zastosowanego zoocydu.

Plony kłąbów ziemniaka były istotnie niższe z obiektów nie nawożonych borem, w porównaniu do roślin z obiektów nawożonych, ale dwu- i trzykrotne zwiększenie dawki preparatu zawierającego bor w stosunku do dawki podstawowej, nie dawało udowodnionej statystycznie wyżki plonu. Udowodniono natomiast statystycznie istotne współdziałanie Pirimoru 50 DP z nawożeniem preparatem borowym. Stosowanie Pirimoru 50 DP przy dawkach boru  $B_2 = 0,165 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  i  $B_3 = 0,330 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  w postaci preparatu borowego istotnie zwiększało plony bulw w stosunku do obiektu chronionego Enolofosem 50. W omawianym doświadczeniu plony ziemniaka wahały się od 26,8 t·ha<sup>-1</sup> do 28,5 t·ha<sup>-1</sup> i były wyższe od średniej krajowej z tego okresu o 32-36%.

Plony kłąbów ziemniaka były istotnie niższe z obiektów nie nawożonych borem, w porównaniu do roślin z obiektów nawożonych, ale dwu- i trzykrotne zwiększenie dawki preparatu zawierającego bor w stosunku do dawki podstawowej, nie dawało udowodnionej statystycznie wyżki plonu. Udowodniono natomiast statystycznie istotne

współdziałanie Pirimoru 50 DP z nawożeniem preparatem borowym. Stosowanie Pirimoru 50 DP przy dawkach boru  $B_2 = 0,165 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $B_3 = 0,330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  w postaci preparatu borowego istotnie zwiększało plony bulw w stosunku do obiektu chronionego Enolofosem 50. W omawianym doświadczeniu plony ziemniaka wahały się od  $26,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $28,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  i były wyższe od średniej krajowej z tego okresu o 32-36%.

Tabela 24. Wpływ nawożenia dolistnego dwóch odmian ziemniaka na ilość i jakość plonu  
Table 24. The effect of top dress fertilization of two potato varieties on the yield and crop quality

Rodzaj nawozu Fertilization	Odmiany - Varieties		$\bar{x}$	NIR dla - LSD for	
	'Pola'	'Sieglinde'		rodzaju nawozu (I) kind of fertilizer (I)	odmiany (II) variety (II)
				współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Plon kłębów ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) - Tuber yield ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )					
Preparat borowy Boron preparation	25,3	24,0	24,7		
Florovit plus	24,9	26,5	25,7	ni	ni
Zawartość skrobi (%) - Starch content (%)					
Preparat borowy Boron preparation	14,4	12,4	13,4		
Florovit plus	14,7	12,6	13,7	0,11	0,09
Zawartość suchej masy (%) - Dry matter content (%)					
Preparat borowy Boron preparation	20,5	17,7	19,1		
Florovit plus	21,0	18,1	19,5	0,10	0,09
Plon suchej masy ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) - Dry matter yield ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )					
Preparat borowy Boron preparation	5,18	4,25	4,71		
Florovit plus	5,75	4,78	5,26	0,159	0,120
Zawartość boru w suchej masie ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) - Boron content in dry matter ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )					
Preparat borowy Boron preparation	21,2	19,0	20,1		
Florovit plus	19,5	17,7	18,6	1,30	0,46

Nawożenie ziemniaka preparatem borowym istotnie zwiększało zawartość i plon skrobi, niezależnie od zastosowanej dawki boru, w stosunku do roślin obiektów bez nawożenia. Nie stwierdzono istotnego wpływu wzrostu dawek boru na zawartość skrobi i jej plon na obiektach nawożonych borem. Stosowane zoocydy nie różnicowały zawartości i plonu skrobi. Zawartość skrobi w kłębach przy zastosowanych zoocydach była identyczna.

Tabela 25. Reakcja ziemniaka 'Pola' na współdziałanie dawek preparatu borowego stosowanego dolistnie łącznie z zoocydami

Table 25. Reaction of the 'Pola' potato to top-dressing with boron preparation with zoocides

Poziom nawożenia borem (B) (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron fertilization (B) (kg·ha <sup>-1</sup> )	Zoocyd - Zoocide			$\bar{x}$	NIR dla - LSD for	
	Owadofos 50	Pirimor 50 DP	Enolofos 50		poziomu nawożenia (I) fertilization (I)	rodzaju zoocytu (II) zoocide (II)
					współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Plon kłąbów (t·ha <sup>-1</sup> ) - Tuber yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	26,6	26,8	27,2	26,8	0,57	ni
B <sub>1</sub>	27,7	27,9	27,7	27,8		
B <sub>2</sub>	28,4	28,5	27,7	28,2		
B <sub>3</sub>	27,8	28,2	27,4	27,8		
$\bar{x}$	27,6	27,8	27,5	27,6		
Plon skrobi (t·ha <sup>-1</sup> ) - Starch yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	3,75	3,80	3,82	3,79	0,073	ni
B <sub>1</sub>	3,98	4,03	4,00	4,00		
B <sub>2</sub>	4,10	4,05	4,00	4,05		
B <sub>3</sub>	4,00	4,08	4,00	4,03		
$\bar{x}$	3,96	3,99	3,96	3,97		
Plon suchej masy (t·ha <sup>-1</sup> ) - Dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	5,15	5,18	5,33	5,22	0,111	ni
B <sub>1</sub>	5,90	5,98	5,93	5,93		
B <sub>2</sub>	6,05	6,05	5,98	6,03		
B <sub>3</sub>	5,93	6,03	5,90	5,95		
$\bar{x}$	5,76	5,81	5,78	5,78		

Współdziałanie dawek preparatu borowego i zoocydów na zawartość i plon skrobi nie zostało statystycznie udowodnione.

Zawartość i plon suchej masy kłąbów były istotnie wyższe przy nawożeniu ziemniaków borem niż na obiekcie nie nawożonym, ale nie stwierdzono zróżnicowania badanych cech pod wpływem dawek preparatu borowego. Zastosowane w badaniach zoocydy nie różnicowały istotnie zawartości i plonu suchej masy kłąbów.

Istotnie niższą zawartość boru w kłąbach ziemniaka stwierdzono na obiektach bez nawożenia borem, w porównaniu do zawartości w kłąbach zbieranych z obiektów nawożonych tym pierwiastkiem.

Nie stwierdzono udowodnionych statystycznie różnic we wpływie porównywanych zoocydów na zawartość boru w kłąbach ziemniaka.

Tabela 26. Reakcja ziemniaka 'Pola' na współdziałanie dawek preparatu borowego stosowanego dolistnie łącznie z zoocydami

Table 26. Reaction of the 'Pola' potato to top-dressing with boron preparation with zoocides

Poziom nawożenia borem (B) (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron fertilization (B) (kg·ha <sup>-1</sup> )	Zoocyd - Zoocide			$\bar{x}$	NIR dla - LSD for	
	Owadofos 50	Pirimor 50 DP	Enolofos 50		poziomu na- wożenia (I) fertilization (I)	rodzaju zoocydu (II) zoocide (II)
					współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Zawartość skrobi (%) - Starch content (%)						
0	14,2	14,3	14,2	14,2		
B <sub>1</sub>	14,5	14,5	14,5	14,5	0,16	ni
B <sub>2</sub>	14,4	14,4	14,5	14,4		
B <sub>3</sub>	14,4	14,5	14,5	14,5		
$\bar{x}$	14,4	14,4	14,4	14,4	ni	
Zawartość suchej masy (%) - Dry matter content (%)						
0	19,4	19,4	19,5	19,5	0,21	ni
B <sub>1</sub>	21,4	21,4	21,5	21,4		
B <sub>2</sub>	21,4	21,4	21,5	21,4		
B <sub>3</sub>	21,4	21,4	21,4	21,4		
$\bar{x}$	20,9	20,9	21,0	21,0	ni	
Zawartość boru w suchej masie (mg·kg <sup>-1</sup> ) - Boron content in dry matter (mg·kg <sup>-1</sup> )						
0	18,2	18,2	18,6	18,3	0,62	ni
B <sub>1</sub>	21,8	21,2	21,7	21,5		
B <sub>2</sub>	22,2	21,6	22,4	22,1		
B <sub>3</sub>	22,8	22,6	22,7	22,7		
$\bar{x}$	21,2	20,9	21,3	21,1	ni	

Nawożenie borem miało istotny wpływ na wszystkie badane w eksperymencie cechy ziemniaka, niezależnie od rodzaju zastosowanego fungicydu.

W tabeli 27 zestawiono dane charakteryzujące reakcję badanych odmian ziemniaka na współdziałanie dawek preparatu borowego z fungicydami.

Na obiektach nawożonych borem stwierdzono istotnie wyższy plon kłąbów w porównaniu z obiektami bez nawożenia borem. Jednak stosowane w badaniach dawki preparatu borowego, jak i rodzaje fungicydów nie miały istotnego wpływu na różnicowanie plonu kłąbów.

Zawartość i plon skrobi w kłąbach ziemniaka były istotnie wyższe na obiektach nawożonych borem, w porównaniu do obiektów bez nawożenia. Ponadto dawka boru B<sub>3</sub> = 0,330 kg·ha<sup>-1</sup> zwiększała istotnie zawartość skrobi w kłąbach ziemniaka w stosunku do zawartości skrobi w kłąbach ziemniaka pochodzących z obiektów nawożonych niższymi dawkami boru: B<sub>1</sub> = 0,082 kg·ha<sup>-1</sup>.

Tabela 27. Reakcja ziemniaka 'Pola' na współdziałanie dawek preparatu borowego stosowanego dolistnie łącznie z fungycydami

Table 27. Reaction of the 'Pola' potato to top-dressing with boron preparation with fungicides

Poziom nawożenia borem (B) (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron fertilization (B) (kg·ha <sup>-1</sup> )	Fungicyd - Fungicide			$\bar{x}$	NIR dla - LSD for	
	Dithane M-45	Polyran Combi	Miedzian 50		poziomu nawożenia (I) fertilization (I)	rodzaju fungicydu (II) fungicide (II)
					współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Plon kłąbów (t·ha <sup>-1</sup> ) <sup>Δ</sup> Tuber yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	26,5	26,7	26,8	26,7	0,45	ni
B <sub>1</sub>	28,0	28,8	28,7	28,5		
B <sub>2</sub>	28,9	28,8	28,8	28,8		
B <sub>3</sub>	28,3	28,5	28,7	28,5		
$\bar{x}$	27,9	28,2	28,3	28,1	ni	
Zawartość skrobi (%) - Starch content (%)						
0	14,2	14,3	14,3	14,3	0,09	0,07
B <sub>1</sub>	14,3	14,4	14,5	14,4		
B <sub>2</sub>	14,4	14,4	14,5	14,4		
B <sub>3</sub>	14,4	14,4	14,6	14,5		
$\bar{x}$	14,3	14,4	14,4	14,4	ni	
Zawartość suchej masy (%) - Dry matter content (%)						
0	19,9	19,6	19,9	19,8	0,59	ni
B <sub>1</sub>	21,0	20,8	20,9	20,9		
B <sub>2</sub>	21,5	21,5	21,4	21,5		
B <sub>3</sub>	21,3	21,4	21,3	21,3		
$\bar{x}$	20,9	20,8	20,9	20,9	ni	
Zawartość boru w suchej masie (mg·kg <sup>-1</sup> ) - Boron content in dry matter (mg·kg <sup>-1</sup> )						
0	17,3	17,4	17,5	17,4	0,70	ni
B <sub>1</sub>	20,9	20,1	20,1	20,4		
B <sub>2</sub>	21,7	21,5	21,4	21,5		
B <sub>3</sub>	22,5	21,5	22,2	22,1		
$\bar{x}$	20,6	20,1	20,1	21,3	ni	

Pod wpływem Polyramu, Combi i Miedzianu 50, istotnie zwiększyła się zawartość skrobi w ziemniakach w porównaniu z fungicydem Dithane M-45. Natomiast plon skrobi, wyliczony z plonu kłąbów i zawartości skrobi, był istotnie wyższy tylko w przypadku zastosowania Miedzianu 50. Nie stwierdzono istotnego współdziałania między nawożeniem borem a wykorzystywanymi w ochronie ziemniaka rodzajami fungycydów.

Nawożenie ziemniaka każdą z dawek boru istotnie zwiększało zawartość oraz plon suchej masy w porównaniu z obiektem bez nawożenia. Ponadto nawożenie dawką boru

$B_2 = 0,165 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  istotnie zwiększało zawartość suchej masy ziemniaka w porównaniu do dawek boru  $B_1 = 0,082 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $B_3 = 0,330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wyższe dawki boru,  $B_2$  i  $B_3$ , zwiększały plon suchej masy także w stosunku do najniższej dawki boru,  $B_1$ .

Rodzaj fungicydu nie miał istotnego wpływu na zawartość i plon suchej masy. Nawożenie preparatem borowym istotnie zwiększało zawartość boru w kłączach ziemniaka w porównaniu do obiektu bez nawożenia. Wyższe dawki boru,  $B_2$  i  $B_3$ , zastosowane w postaci preparatu borowego, również istotnie zwiększały zawartość boru w ziemniakach z tych obiektów w porównaniu do roślin z poletek, na których zastosowano najniższą dawkę boru.

Wykorzystane w ochronie ziemniaka fungicydy nie różnicowały istotnie zawartości boru w kłączach. Wpływ badanych fungicydów na zawartość boru w kłączach ziemniaka był podobny i nie stwierdzono istotnych między nimi różnic. Ziemniak reagował istotnym wzrostem wartości wszystkich badanych parametrów na nawożenie nawet najniższą dawką boru,  $B_1 = 0,082 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , niezależnie od tego, czy bor stosowano łącznie z zoocydami, czy z fungicydami (tab. 25, 26, 27).

Rośliny chroniono przed szkodnikami stosując Owadofos 50 lub Pirimor 50 DP albo Enolofos 50, przy czym wymienione zoocydy charakteryzowały się zbliżonym poziomem skuteczności, gdyż ich wpływ na ilość i jakość plonu był podobny. Poza Pirimorem 50 DP, który istotnie zwiększał plony kłączów przy wyższym poziomie nawożenia borem ( $B_2$  i  $B_3$ ) w stosunku do Enolofosu 50, nie stwierdzono istotnego współdziałania dawki boru ze stosowanymi środkami ochrony roślin. Z fungicydów wyróżnić należy Polyrám Combi i Miedzian 50, gdyż przy ich stosowaniu zawartość i plon skrobi ziemniaka był istotnie wyższy niż przy użyciu Dithane M-45.

Przy łącznym stosowaniu preparatu borowego z zoocydami i fungicydami stwierdzono istotny wzrost zawartości boru w ziemniaku, porównując obiekty nawożone dawką boru  $B_1$  i  $B_3$ . Przy zastosowaniu preparatu borowego z fungicydami więcej zmian w badanych parametrach ziemniaka powodował wzrost dawki boru zastosowanego wraz z preparatem borowym. Przy dawce boru  $B_2$  stwierdzono istotnie wyższą zawartość suchej masy, przy dawce  $B_3$  istotnie wyższą zawartość skrobi, a przy dawce boru  $B_2$  i  $B_3$  stwierdzono istotnie wyższy plon suchej masy i zawartości boru w stosunku do najniższej dawki boru,  $B_1$ .

Badane w doświadczeniu cechy ziemniaka, a zwłaszcza zawartość skrobi jako cecha odmianowa, w małym stopniu podlegała zmianom. Jednak pod wpływem czynników agrotechnicznych, a przede wszystkim nawożenia mineralnego, ulega modyfikacji w pewnym zakresie zawartość białka, skrobi, suchej masy i innych cech [81,82,85].

### 3.3.3. DOŚWIADCZENIE III

#### Plonowanie buraka cukrowego przy zastosowaniu preparatu borowego z wybranymi herbicydami i pestycydami

Plony buraka cukrowego wahały się od  $47,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $51,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w doświadczeniu A z nawożeniem dolistnym preparatem borowym łącznie z herbicydami (tab. 28, 29) i od  $46,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $48,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w doświadczeniu B z nawożeniem dolistnym preparatem borowym łącznie z zoocydami (tab. 30, 31). Na zastosowane nawożenie preparatem borowym, burak cukrowy chroniony herbicydami zareagował istotnym wzrostem wartości wszystkich badanych cech w porównaniu do wartości tych cech z obiektu bez nawożenia preparatem borowym.

Tabela 28. Reakcja buraka cukrowego 'PN Mono 1' na współdziałanie dawek preparatu borowego stosowanego dolistnie łącznie z herbicydami

Table 28. Reaction of the 'PN Mono 1' sugar beet to top-dressing with boron preparation and herbicides

Poziom nawożenia borem (B) (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron fertilization (B) (kg·ha <sup>-1</sup> )	Herbicyd Herbicide			$\bar{x}$	NIR dla - LSD for	
	Betanal + Piramin	Betanal + Venzar	Betanal		poziomu nawożenia (I) fertilization (I)	rodzaju herbicydu (II) herbicide (II)
					współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Plon świeżej masy korzeni (t·ha <sup>-1</sup> ) - Root fresh matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	47,9	47,1	47,6	47,5	0,68	ni
B <sub>1</sub>	48,9	49,4	48,6	49,0		
B <sub>2</sub>	49,8	50,5	50,2	50,2		
B <sub>3</sub>	50,3	51,7	51,7	51,2		
$\bar{x}$	49,2	49,6	49,5	49,5		
Plon suchej masy korzeni (t·ha <sup>-1</sup> ) - Root dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	10,7	10,1	10,5	10,4	0,54	ni
B <sub>1</sub>	11,6	12,3	12,1	12,0		
B <sub>2</sub>	12,0	12,2	11,9	12,0		
B <sub>3</sub>	12,2	12,5	12,6	12,4		
$\bar{x}$	11,6	11,8	11,7	11,7		
Plon świeżej masy liści (t·ha <sup>-1</sup> ) - Leaf fresh matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	56,9	56,2	56,7	56,6	1,20	ni
B <sub>1</sub>	58,8	59,6	59,1	59,2		
B <sub>2</sub>	59,4	60,1	59,0	59,5		
B <sub>3</sub>	59,4	60,6	61,3	60,4		
$\bar{x}$	58,6	59,1	59,0	58,9		
Plon suchej masy liści (t·ha <sup>-1</sup> ) - Leaf dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	5,68	5,45	5,53	5,55	0,349	ni
B <sub>1</sub>	6,03	6,28	6,35	6,22		
B <sub>2</sub>	6,50	6,40	6,25	6,38		
B <sub>3</sub>	6,18	6,53	6,20	6,30		
$\bar{x}$	6,09	6,16	6,08	6,11		

Tabela 29. Reakcja buraka cukrowego 'PN Mono 1' na współdziałanie dawek preparatu borowego stosowanego dolistnie, łącznie z herbicydami

Table 29. Reaction of the 'PN Mono 1' sugar beet to top-dressing with boron preparation with herbicides

Poziom nawożenia borem (B) (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron fertilization (B) (kg·ha <sup>-1</sup> )	Herbicyd - Herbicide				NIR dla - LSD for	
	Betanal + Piramin	Betanal + Venzar	Betanal	$\bar{x}$	poziomu nawożenia (I) fertilization (I)	rodzaju herbicydu (II) herbicide (II)
					współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Zawartość boru w suchej masie (mg·kg <sup>-1</sup> ) - Boron content in dry matter (mg·kg <sup>-1</sup> )						
0	14,5	14,5	14,4	14,5	0,76	ni
B <sub>1</sub>	16,3	15,7	16,3	16,1		
B <sub>2</sub>	16,6	16,8	16,8	16,7		
B <sub>3</sub>	16,7	17,2	16,8	16,9		
$\bar{x}$	16,0	16,1	16,1	16,0		
Zawartość popiołu rozpuszczalnego (%) - Soluble ash content (%)						
0	0,646	0,646	0,646	0,646	0,0035	ni
B <sub>1</sub>	0,652	0,650	0,653	0,651		
B <sub>2</sub>	0,661	0,659	0,663	0,661		
B <sub>3</sub>	0,661	0,666	0,667	0,665		
$\bar{x}$	0,655	0,655	0,657	0,656		
Zawartość cukru (%) - Sugar content (%)						
0	16,5	16,4	16,5	16,5	0,20	ni
B <sub>1</sub>	16,8	16,8	17,0	16,9		
B <sub>2</sub>	17,0	17,0	17,0	17,0		
B <sub>3</sub>	17,1	17,3	17,1	17,2		
$\bar{x}$	16,9	16,9	16,9	16,9		

Wpływ poziomu nawożenia borem przy łącznym stosowaniu herbicydów był zróżnicowany i zależał od badanej cechy. Plon świeżej masy korzeni buraka cukrowego był istotnie wyższy przy nawożeniu borem, a wzrost dawki boru w postaci preparatu borowego z B<sub>1</sub>= 0,082 kg·ha<sup>-1</sup> do B<sub>2</sub>= 0,165 kg·ha<sup>-1</sup> i z B<sub>2</sub>= 0,165 kg·ha<sup>-1</sup> do B<sub>3</sub>= 0,330 kg·ha<sup>-1</sup> prowadził do udowodnionego statystycznie wzrostu plonu korzeni. W plonie suchej masy korzeni statystycznie był potwierdzony wzrost plonu na obiektach nawożonych borem, w stosunku do obiektu bez nawożenia tym pierwiastkiem. Natomiast wzrost dawki preparatu borowego nie miał istotnego wpływu na plon suchej masy korzeni.

Wpływ porównywanych w badaniach herbicydów na plon świeżej i suchej masy korzeni buraka można uznać za równorzędny. Zawartość i plon cukru buraka cukrowego były istotnie wyższe pod wpływem nawożenia borem, a na zwiększenie dawki boru z poziomu B<sub>1</sub> do B<sub>2</sub> i z B<sub>2</sub> do B<sub>3</sub> rośliny reagowały istotnym wzrostem zawartości cukru i plonu.



Użyte w doświadczeniu herbicydy wpływały jednakowo na zawartość cukru w korzeniach buraka cukrowego. Natomiast plon cukru przy stosowaniu Betanal lub jego mieszanki z Venzarem był istotnie wyższy niż przy mieszance Betanal z Piraminem. Nawożenie borem w dawce  $B_2 = 0,165 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $B_3 = 0,330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i stosowanie herbicydów Betanal + Venzar, a przy dawce  $B_3 = 0,330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  tylko samego Betanal, istotnie zwiększało plon cukru w stosunku do wartości plonu cukru przy tych dawkach boru na obiekcie odchwaszczanym mieszanką herbicydów Betanal z Piraminem.

Zawartość boru w korzeniach buraka była istotnie wyższa, gdy łącznie z herbicydami użyto preparatu borowego niż w korzeniach pochodzących z obiektów bez nawożenia borem.

Wzrost dawki boru w preparacie borowym z  $B_1 = 0,082 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $B_2 = 0,165 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i z  $B_2$  do  $B_3 = 0,330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  zwiększyło stężenie boru w korzeniach, ale nieistotnie.

Istotne różnice w zawartości boru wystąpiły w korzeniach buraka cukrowego pochodzących z obiektów nawożonych najniższą i najwyższą dawką boru.

Zawartość popiołu rozpuszczalnego w korzeniach buraka uprawianego na obiektach nawożonych borem była istotnie wyższa niż w korzeniach pochodzących z poletek bez nawożenia.

Zawartość popiołu rozpuszczalnego w korzeniach buraka istotnie wzrastała przy podwyższaniu dawek preparatu borowego z poziomu niższego do wyższego.

Plon świeżej i suchej masy liści istotnie wzrastał przy nawożeniu buraka preparatem borowym. Stwierdzono również istotną różnicę w świeżej masie liści między obiektami z najniższą i najwyższą dawką preparatu borowego.

Rodzaj herbicydów stosowanych w uprawie buraka nie różnicował istotnie zawartości boru i popiołu rozpuszczalnego w korzeniach buraka, jak i plonu świeżej i suchej masy liści.

Nawożenie borem, niezależnie od stosowanego zoocydu, istotnie zwiększało wartość wszystkich badanych parametrów buraka cukrowego, w stosunku do buraków pochodzących z obiektów bez nawożenia borem (tab. 30, 31).

Plon świeżej masy korzeni buraka nawożonego preparatem borowym, niezależnie od jego dawki, był istotnie wyższy w porównaniu z masą korzeni buraka pochodzącego z obiektu bez nawożenia borem. Wzrastające dawki preparatu borowego tylko nieznacznie i nieistotnie zwiększały plon świeżej masy korzeni. Nawożenie preparatem borowym istotnie zwiększało plon suchej masy korzeni buraka w stosunku do korzeni pochodzących z obiektu bez nawożenia.

Zastosowanie najwyższej dawki boru  $B_3 = 0,330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  istotnie zwiększało też plon korzeni w stosunku do plonu korzeni pochodzącego z obiektu nawożonego najniższą dawką boru  $B_1 = 0,082 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , natomiast rodzaj stosowanego zoocydu nie zmieniał poziomu plonu świeżej i suchej masy buraka cukrowego.

Zawartość cukru i plon cukru były istotnie wyższe w burakach nawożonych borem w stosunku do buraków z obiektu bez nawożenia tym pierwiastkiem. Wzrost nawozowej dawki preparatu borowego tylko nieznacznie i nieistotnie wpływał na zawartość i plon cukru.

Niezależnie od stosowanych zoocydów zawartość i plon cukru w korzeniach buraka zmieniały się nieznacznie i nieistotnie.

Zawartość boru w korzeniach buraka cukrowego była istotnie wyższa na obiektach nawożonych borem niż na obiekcie bez nawożenia. Korzenie buraka zawierały istotnie mniej boru przy najniższej dawce preparatu borowego  $B_1$  niż nawożone dawkami wyższymi,  $B_2$  i  $B_3$ .

Zawartość popiołu rozpuszczalnego w korzeniach buraka cukrowego nawożonych borem była istotnie wyższa niż w korzeniach z obiektów bez nawożenia.

Tabela 30. Reakcja buraka cukrowego 'PN Mono 1' na współdziałanie dawek preparatu boro-owego stosowanego dolistnie łącznie z zoocydami

Table 30. Reaction of the 'PN Mono 1' sugar beet to top-dressing with boron preparation with zoocides

Poziom nawożenia borem (B) (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron fertilization (B) (kg·ha <sup>-1</sup> )	Zoocyd - Zoocide			$\bar{x}$	NIR dla - LSD for	
	Owadofos	Pirimor	Enolofos		poziomu nawożenia (I) fertilization (I)	rodzaju zoocydu (II) zoocide (II)
					współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Plon świeżej masy korzeni (t·ha <sup>-1</sup> ) - Root fresh matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	46,9	46,8	46,9	46,9	0,60	ni
B <sub>1</sub>	47,7	47,6	47,9	47,7		
B <sub>2</sub>	47,6	48,1	48,3	48,0		
B <sub>3</sub>	48,0	48,1	48,2	48,1		
$\bar{x}$	47,6	47,6	47,8	47,7	ni	
Plon suchej masy korzeni (t·ha <sup>-1</sup> ) - Root dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	9,7	9,8	10,0	9,8	0,60	ni
B <sub>1</sub>	10,6	10,5	10,8	10,6		
B <sub>2</sub>	10,6	11,0	11,4	11,0		
B <sub>3</sub>	11,2	11,1	11,2	11,2		
$\bar{x}$	10,6	10,6	10,8	10,6	ni	
Plon świeżej masy liści (t·ha <sup>-1</sup> ) - Leaf fresh matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	54,4	54,6	54,3	54,4	0,75	ni
B <sub>1</sub>	56,6	57,2	57,2	57,0		
B <sub>2</sub>	58,1	57,8	57,7	57,9		
B <sub>3</sub>	58,1	58,4	58,1	58,2		
$\bar{x}$	56,8	57,0	56,8	56,9	ni	
Plon suchej masy liści (t·ha <sup>-1</sup> ) - Leaf dry matter yield (t·ha <sup>-1</sup> )						
0	5,43	5,60	5,45	5,49	0,258	ni
B <sub>1</sub>	5,90	5,93	6,00	5,94		
B <sub>2</sub>	6,35	6,08	6,18	6,20		
B <sub>3</sub>	6,35	6,48	6,20	6,34		
$\bar{x}$	6,01	6,02	5,96	5,99	ni	

Tabela 31. Reakcja buraka cukrowego 'PN Mono 1' na współdziałanie dawek preparatu borowego stosowanego dolistnie łącznie z zoocydami

Table 31. Reaction of the 'PN Mono 1' sugar beet to top-dressing with boron preparation with zoocides

Poziom nawożenia borem (B) (kg·ha <sup>-1</sup> ) Boron fertilization (B) (kg·ha <sup>-1</sup> )	Zoocyd - Zoocide			$\bar{x}$	NIR dla - LSD for	
	Owadofos	Pirimor	Enolofos		poziomu nawożenia (I) fertilization (I)	rodzaju zoocytu (II) zoocide (II)
					współdziałania (I) w (II) interaction of (I) and (II)	
Zawartość boru w suchej masie (mg·kg <sup>-1</sup> ) - Boron content in dry matter (mg·kg <sup>-1</sup> )						
0	14,2	14,3	14,3	14,3	0,35	ni
B <sub>1</sub>	15,5	15,5	15,6	15,5		
B <sub>2</sub>	16,2	16,2	16,1	16,2		
B <sub>3</sub>	16,6	17,1	17,1	16,9		
$\bar{x}$	15,6	15,8	15,8	15,7		
Zawartość popiołu rozpuszczalnego (%) - Soluble ash content (%)						
0	0,646	0,645	0,647	0,646	0,0034	ni
B <sub>1</sub>	0,651	0,650	0,655	0,652		
B <sub>2</sub>	0,661	0,661	0,660	0,660		
B <sub>3</sub>	0,664	0,666	0,669	0,666		
$\bar{x}$	0,656	0,655	0,658	0,656		
Zawartość cukru (%) - Sugar content (%)						
0	15,5	15,4	15,6	15,5	0,40	ni
B <sub>1</sub>	16,2	16,0	16,3	16,1		
B <sub>2</sub>	16,1	16,3	16,5	16,3		
B <sub>3</sub>	16,5	16,4	16,3	16,4		
$\bar{x}$	16,1	16,0	16,2	16,1		

Przy wzroście dawki boru wprowadzanego z preparatem borowym z poziomu B<sub>1</sub> do B<sub>2</sub> istotnie zwiększała się zawartość popiołu rozpuszczalnego.

Plon świeżej i suchej masy liści buraków był istotnie wyższy na obiektach nawożonych borem w porównaniu do plonu z obiektów bez nawożenia borem. Jednocześnie plony liści buraka nawożonego najniższą dawką preparatu borowego B<sub>1</sub> były też istotnie niższe niż z obiektów nawożonych wyższymi dawkami boru B<sub>2</sub> i B<sub>3</sub>.

Wartości oznaczonych parametrów buraka cukrowego przy zastosowaniu w ochronie tej rośliny trzech porównywanych zoocydów były bardzo zbliżone. Różnice nie były udowodnione statystycznie. Nie stwierdzono również istotnego współdziałania dawek preparatu borowego i porównywanych zoocydów.

Burak cukrowy reagował istotnym wzrostem wartości wszystkich badanych parametrów na nawożenie nawet najniższą dawką boru B<sub>1</sub> = 0,082 kg·ha<sup>-1</sup> i to niezależnie czy stosowano bor łącznie z herbicydami, czy zoocydami (tab. 28, 29, 30, 31).

Wzrost dawki boru przy stosowaniu łącznym z herbicydami powodował istotny wzrost plonu świeżej masy korzeni buraka, ale przy stosowaniu z zoocydami takich zależności nie stwierdzono. Po zwiększeniu dawek boru z poziomu  $B_1$  do  $B_2$  i z  $B_2$  do  $B_3$  istotnie zwiększała się zawartość popiołu rozpuszczalnego zarówno przy zastosowaniu preparatu borowego z herbicydami, jak i z zoocydami. Wzrastała też zawartość boru w korzeniach buraka cukrowego, ale tylko przy współdziałaniu z zoocydami.

Plon korzeni, ich jakość i plon liści buraka cukrowego był nieznacznie wyższy przy współdziałaniu dawek boru z herbicydami niż na doświadczeniu ze współdziałaniem boru z zoocydami.

### 3.4. Ekonomiczna efektywność produkcji i stosowania preparatu borowego

Rozwiązanie techniczne objęto szacunkiem kosztów jednostkowych, jakie niesie za sobą zrealizowanie zamierzenia produkcji preparatu borowego z popiołów lotnych. Przeróbka odpadów powstających w wyniku spalania węgla w siłowni energetycznej, dla pozyskania boru, związana jest z poprawieniem czystości wód gruntowych, powierzchniowych i innych czynników wpływających na środowisko. Aspekty te nie wchodzą w zakres oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia, ale ich rozpoznanie mogłoby stanowić dodatkowe argumenty przy podejmowaniu decyzji. Przedsięwzięcie odzysku boru z popiołów spełnia kryterium zgodności z polityką ekologiczną państwa. Na podstawie programu wykonawczego, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej zakłada finansowanie zadań ograniczających ilości wytworzonych i składowanych odpadów przemysłowych oraz unieszkodliwianie odpadów toksycznych. Priorytetem są również objęte prace likwidujące zanieczyszczenie u źródła, ich wytwarzanie i składowanie.

Ocenę celowości podjęcia inwestycji, stanowiącą podstawę wyboru najkorzystniejszego wariantu inwestycyjnego, umożliwiają uproszczone metody szacunku efektywności ekonomicznej. Zaletą ich jest możliwość stosowania w warunkach braku na danym etapie prac projektowych dostatecznego zakresu informacji dotyczących nakładów inwestycyjnych, kosztów eksploatacji i efektów użytkowych.

Rozważono dwa warianty budowy instalacji do wytwarzania preparatu borowego metodą uproszczoną przy wykorzystaniu formuły wskaźnika kosztu jednostkowego, przyjmując:

	Wariant I	Wariant II
	preparat borowy uzyskany metodą ekstrakcji ciągłej z popiołów	preparat borowy uzyskany z wód nadosadowych
1. Efekt użytkowy inwestycji w kg boru-rok <sup>-1</sup>	10 000	10 000
2. Nakłady inwestycyjne J w zł	51 320	26 400
3. Roczne koszty eksploatacyjne nie uwzględniające amortyzacji Ka - w zł	4 250	6 500
4. Stopa amortyzacji w %	3,5	3,5

Wskaźnik kosztu jednostkowego wyrobu preparatu borowego obliczono na podstawie wzoru [13]:

$$E = [J \cdot (r + S) + Ka]/P,$$

gdzie:

- E - koszt jednostkowy;
- J - nakłady inwestycyjne;
- r - stopa oprocentowania;
- S - stopa amortyzacji;
- Ka - roczne koszty eksploatacji, nie uwzględniające amortyzacji, w zł;
- P - efekt użytkowy inwestycji, czyli ilość rocznej produkcji w kg B.

Wariant I charakteryzuje się w porównaniu z wariantem II, wyższymi nakładami inwestycyjnymi, ale niższymi kosztami eksploatacji.

Wyniki obliczeń wskaźników kosztu jednostkowego przy wykorzystaniu stopy procentowej w wysokości 20 % przedstawiają się następująco:

Wariant I

$$E = [51320 \cdot (0,2 + 0,035) + 4250]/10000 = 1,631 \text{ zł} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Wariant II

$$E = [26400 \cdot (0,2 + 0,035) + 6500]/10000 = 1,270 \text{ zł} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że niższy koszt jednostkowy i wyższą efektywność wykazuje wariant II, który charakteryzuje się niższymi nakładami inwestycyjnymi, ale równocześnie wyższymi kosztami operacyjnymi i eksploatacyjnymi.

Wskaźnik kosztu jednostkowego wariantu II stanowi 77,87% tego samego wskaźnika dla wariantu I, czyli jest od niego niższy o 22,13%.

Odrębnym zagadnieniem jest efektywność nawożenia, czyli stopień transformacji nakładu czystego składnika preparatu borowego, w przyrost plonu ponad poziom uzyskiwany bez nawożenia borem. Odniesienie całego przyrostu plonu do stosowanej dawki boru określono jako przeciętną efektywność nawożenia [Epn]. Zależność tę obliczono stosując następujący wzór:

$$Epn = (Pdn - P)/dn,$$

gdzie:

- Pdn - plon uzyskany przy zastosowaniu określonej dawki boru;
- P - plon uzyskany bez nawożenia borem;
- dn - dawka boru.

Wyniki przeciętnej efektywności nawożenia obliczono dla ziemiaka 'Pola' przy współdziałaniu trzech dawek preparatu borowego, stosowanego dolistnie z zoocydami lub fungycydami, oraz dla buraka cukrowego 'PN Mono 1', przy zastosowaniu łącznym preparatu borowego z herbicydami lub zoocydami (rys. 5).

Zastosowane nawożenie dolistne preparatem borowym, zarówno w uprawie ziemiaka, jak i buraka cukrowego, decydowało w dużej mierze o wielkości plonu świeżej masy kłębów ziemiaka, jak i korzeni oraz liści buraka cukrowego. O istotnym znacze-

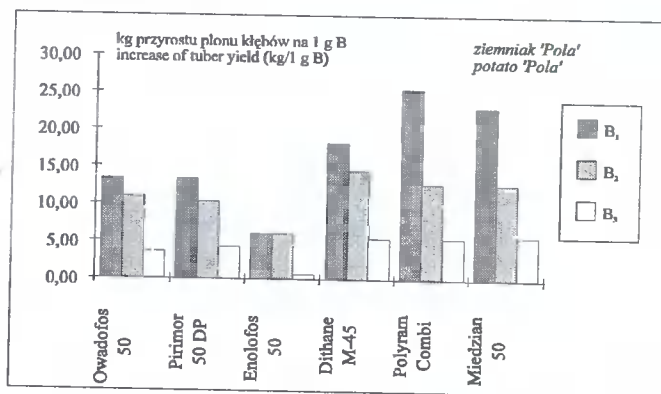
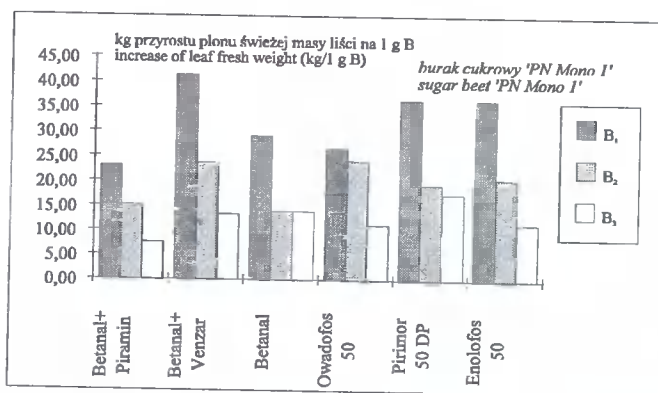
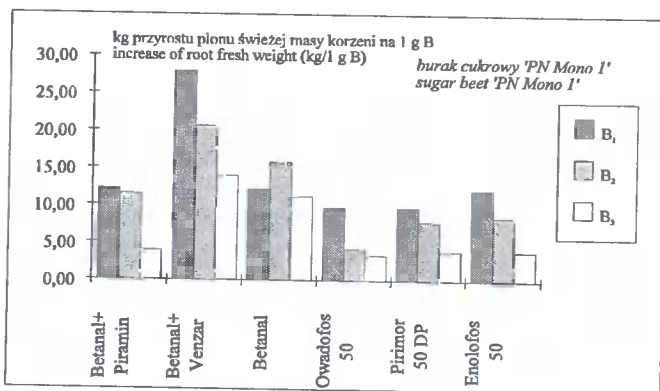
niu tego nawożenia świadczy przedstawiona na rysunku 5 przeciętna efektywność nawożenia. Transformacja nakładu preparatu borowego w przyrost plonu ponad poziom używany bez nawożenia borem okazała się najwyższa przy zastosowaniu najniższych dawek boru ( $B_1$ ). Dawka wyższa ( $B_2$ ) spowodowała przyrost plonu bulw ziemniaka, przy zastosowaniu zoocydów, niższy od dawki boru  $B_1$  o 17,62%, a zastosowanie boru w dawce najwyższej ( $B_3$ ) było aż o 74,00% mniej efektywne od oddziaływania dawki najniższej boru  $B_1$ .

Przy łącznym zastosowaniu preparatu borowego z fungicydami średnia efektywność nawożenia była również związana z wysokością dawki nawozu. Dawka boru  $B_2$  spowodowała niższą o 39,90% efektywność nawożenia od dawki  $B_1$ , a dawka boru  $B_3$ , aż o 75,08% niższą w stosunku do dawki boru  $B_1$ .

Analizując przyrost plonu świeżej masy korzeni buraka cukrowego oraz świeżej masy liści stwierdzono również podobne zależności, jak w nawożeniu ziemniaka. Najniższa dawka boru ( $B_1$ ) zastosowana dolistnie spowodowała we wszystkich rodzajach użytych środków ochrony roślin, najwyższą przeciętną efektywność nawożenia. Dawka boru  $B_2$ , była o 8,10%, a dawka  $B_3$ , o 44,18% mniej efektywna w przyroście plonu świeżej masy korzeni buraka od dawki boru  $B_1$ . W przypadku plonu świeżej masy liści, dawka boru  $B_2$  dała niższą o 43,50%, a dawka boru  $B_3$  o 62,70% niższą efektywność nawożenia od zastosowanej najniższej dawki boru  $B_1$ . Można uznać, że nawożenie borem w zastosowanych dawkach przyniosło dochód, przy czym najbardziej opłacalne były najniższe dawki boru.

Zastosowanie nawożenia dolistnego preparatem łącznie z środkami ochrony roślin, stworzyło możliwości pełnej mechanizacji wszystkich operacji technologicznych, co istotnie wpływa na zmniejszanie nakładów i kosztów w procesie technologicznym nawożenia.

Plonotwórcze działanie boru w uprawie zarówno ziemniaka, jak i buraka cukrowego stwierdzili w swoich badaniach liczni autorzy [4,7,43,47,57,76,81,83,84,85]. Prezentowane wyniki badań wykazały największą efektywność nawożenia przy zastosowaniu najniższej dawki boru. Sugeruje to, że plon ograniczał mały niedobór tego pierwiastka w glebie, możliwy do usunięcia poprzez dolistne nawożenie roślin.



Rys. 5. Przeciętna efektywność nawożenia dolistnego ziemniaka i buraka cukrowego preparatem borowym, łącznie ze środkami ochrony roślin

Fig. 5. Average effectiveness of potato and sugar beet fertilization with boron preparation, plant protection preparations included

## 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania właściwości chemiczno-rolniczych preparatu borowego wykazały, że popioły lotne powstające w siłowniach energetycznych spalających węgiel kamienny są realnym źródłem boru nawozowego dla rolnictwa. Za pomocą stosunkowo prostych metod ługowania, wymiany jonowej i krystalizacji uzyskano z popiołów preparat zawierający w składzie chemicznym m. in. 1,1-1,8% B, 13,2-14,4% Ca, 3,6-4,2% K, 4,0-4,7% Na i 1,3-1,5% Mg.

W badaniach ługowania boru z popiołów po węglu kamiennym pochodzących z siłowni energetycznej EC II Bydgoszcz stwierdzono, że wydajność tego procesu zależała przede wszystkim od temperatury wody ługującej, odczynu, udziału w popiołach frakcji ziaren najdrobniejszych, sposobu ekstrakcji, a także czasu jej trwania. Rozpuszczalne w zimnej wodzie związki boru stanowiły średnio od 4,52 do 7,08% boru ogółem, uwalnianego podczas ługowania przeprowadzonego sposobem ciągłym. Więcej o 20% boru w tych samych warunkach uwalniano z popiołów wyselekcjonowanych pod kątem zwiększonego udziału frakcji najdrobniejszych.

Ługowanie popiołów wodą gorącą o temperaturze 363 K, sposobem ciągłym, doprowadziło do uwolnienia średnio dwunastokrotnie większej ilości boru niż ługowanie wodą zimną o temperaturze 293 K. Maksimum wydajności procesu wystąpiło w 60 minucie, przy temperaturze 363 K, malało wraz z wydłużaniem czasu ekstrakcji o 12-16%. Potwierdzono również zależność wydajności ługowania boru, wraz ze zwiększeniem się udziału w popiołach frakcji najdrobniejszej. W stosunku do popiołu niefrakcjonowanego przewaga ta wyniosła 6,5% B.

W ekstrakcji metodą ciągłą utrzymywał się przez cały czas trwania ekstrakcji odczyn alkaliczny, co hamowało proces ługowania i sprzyjało współstrącaniu boru z solami alkalicznymi i wodorotlenkami jonów boranowych.

O wpływie odczynu na wydajność ługowania boru informował eksperyment, w którym popiół był neutralizowany rozcieńczonym kwasem solnym. Obniżenie odczynu z pH 11,27 do 6,73 sprzyjało przeszło trzynastokrotnemu wzrostowi wydajności ługowania boru. Obniżenie odczynu do pH = 4,17 blisko piętnastokrotnie zwiększało wydajność ługowania boru. Dalsze obniżenie odczynu, do pH = 3,92, nie powodowało już przyrostu wydajności ługowania boru. Godzinna ekstrakcja boru sposobem ciągłym, przy obniżonym do pH = 4,20 odczynie, spowodowała prawie całkowite uwolnienie boru zawartego w popiołach lotnych (97% B<sub>l</sub>).

Rozpuszczalność preparatu borowego w wodzie wzrastała ze zwiększeniem temperatury: w temperaturze 278 K, w 100 g wody rozpuściło się 2,8 g preparatu, w 303 K - 8,7 g i odpowiednio, w 323 K - 12,6 g, w 353 K - 37,9 g i w 373 K - 54,9 g preparatu. Z powyższych danych wynika, że krystalizacja mieszaniny soli przez ochłodzenie gorącego nasyconego roztworu bez odparowania rozpuszczalnika była wydajna, gdyż w roztworze macierzystym pozostawała nieznaczna ilość soli.



Zawartość metali ciężkich oraz pierwiastków promieniotwórczych K-40, R-226, Th-228 w preparacie borowym była minimalna i nie stanowiła przeciwwskazań do zastosowania go w produkcji nawozu. Wyniki przeprowadzonych badań dowodzą, że wylugowany z popiołów preparat, stosowany nawet wielokrotnie na to samo pole, nie spowoduje zwiększenia zawartości metali ciężkich i naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, ponad tło geochemiczne.

Identyfikacja krystalicznych faz preparatu borowego, wykonana na podstawie badań rentgenowskich i termogravimetrycznych wykazała, że obok podstawowych minerałów, którymi były: gips, magnezyt, nesquehonit, alun potasowo-glinowy, zidentyfikowano w preparacie borowym refleksy pochodzące od kalcytu, mataborytu, sassolinu, a także boranów o niewyjaśnionej strukturze, co wynika nie tylko z uwolnienia składników rozpuszczalnych z matrycy popiołowej, ale również z kondensacji anionów boranowych w różnych proporcjach i tworzeniu ewaporatów różnych związków.

Popioły lotne mogą być efektywniej wykorzystane jako źródło boru poprzez selektywny ich odbiór z określonych sekcji elektrofiltrów. Prowadzi to do otrzymania frakcji popiołów o określonych właściwościach fizykochemicznych i zwiększonym udziale związków boru.

W ocenie technicznych sposobów nawożenia preparatem borowym sprawdzono możliwość jego łącznego stosowania z wybranymi środkami ochrony roślin, zwracając uwagę na ewentualne zmiany właściwości fizycznych, wywołane zmieszaniem preparatu z roztworami zoocydów, fungicydów i herbicydów. W żadnym z badanych zakresów stężeń nie obserwowano zmian prowadzących do obniżenia specyficznych właściwości komponentów. Określając tolerancję roślin na zastosowane łącznie z dolistnym nawożeniem preparatem borowym środki ochrony roślin stwierdzono, że części nadziemne ziemniaka były nieco wrażliwsze na zastosowane zabiegi niż liście buraka cukrowego. Dawały się zauważyć przy łącznej aplikacji Pirimoru 50 DP z preparatem borowym, już przy stężeniu 0,23%, bardzo lekkie symptomy działania fitotoksycznego. Przy tym samym stężeniu preparatu nie obserwowano żadnych zmian po wprowadzeniu Owadofosu 50 i Enolofosu 50. Wyższe od 0,23% stężenie preparatu borowego w mieszaninie wywoływało, w połączeniu z każdym badanym zoocydem, bardzo lekkie objawy fitotoksycznego działania. Przejawiały się one bieleniem brzegów blaszek liściowych ziemniaka, co zostało określone jako lekkie objawy nadmiaru boru. Ocena działania środków ochrony roślin na liście buraka cukrowego wypadła pomyślnie. Nie obserwowano jakichkolwiek śladów ujemnego działania.

Po zastosowaniu Miedzianu 50 z preparatem borowym na ziemniaki stwierdzono bardzo lekkie toksyczne działanie mieszaniny. Liście buraka cukrowego nie wykazywały żadnej wrażliwości po zastosowaniu fungicydów, łącznie z preparatem borowym, od stężenia najniższego do najwyższego. Fitotoksyczne objawy wystąpiły natomiast na liściach buraka, przy łącznym zastosowaniu herbicydów z preparatem borowym, niezależnie od rodzaju herbicydu i zastosowanego stężenia preparatu. We wszystkich przypadkach wystąpiły bardzo lekkie objawy fitotoksycznego działania.

Eksperyment wykazał przydatność uzyskanego z popiołów preparatu nawozowego do łącznego stosowania ze środkami ochrony roślin. Zachowana została skuteczność łączonych środków ochrony roślin i efektywność dokarmiania dolistnego.

Zastosowane w doglebowym nawożeniu pszenicy ozimej preparat borowy, czteroboran sodowy i Florovit plus wpłynęły w różnym stopniu na ilość i cechy jakościowe jej

plonu. Preparat borowy i Florovit plus istotnie zwiększały plon ziarna pszenicy w porównaniu z czteroboranem sodowym. Wzrost dawki boru z  $1,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $3,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  nie miał istotnego wpływu na plon ziarna pszenicy. Również na plon słomy pszenicy nie miały istotnego wpływu rodzaj nawozów, jak i ich dawki, chociaż zauważono, że przy nawożeniu czteroboranem sodowym plon słomy był najniższy. Czteroboran sodowy istotnie zmniejszał MTN pszenicy w porównaniu z Florovitem plus. Pszenica odmiennie reagowała na wzrost dawki czteroboranu sodowego i Florovitu plus. Wzrost dawki boru w postaci czteroboranu sodowego z  $1,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $3,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , istotnie zwiększał, a ta sama zmiana dawki w postaci Florovitu plus istotnie zmniejszała MTN.

Zawartość białka w ziarnie pszenicy była istotnie niższa przy nawożeniu pszenicy preparatem borowym w porównaniu z Florovitem plus. Przy zastosowaniu czteroboranu sodowego, zawartość białka była tylko nieco niższa niż na obiekcie nawożonym Florovitem plus. Różnicowanie plonu białka zależało w większym stopniu od plonu nasion, niż od zawartości białka w nasionach, dlatego też te czynniki, które wpływały na plon nasion kształtowały plon białka.

W przeprowadzonych badaniach nie obserwowano objawów nadmiaru boru dla pszenicy w zastosowanym nawożeniu.

W doświadczeniu z nawożeniem dolistnym, przy poziomach boru  $0,165 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $0,330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , z preparatu borowego, czteroboranu sodowego i Florovitu plus zebrano podobny plon ziarna, słomy i białka. MTN oraz zawartość białka też były zbliżone. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy rodzajami nawozów a ich dawką. Stwierdzono tylko, że zawartości wyżej wymienionych parametrów były regularnie wyższe przy nawożeniu Florovitem plus (z wyjątkiem MTN). Nieco gorsze wyniki uzyskano przy nawożeniu preparatem borowym i kolejno przy nawożeniu czteroboranem sodowym. Najwyższą MTN miała pszenica nawożona preparatem borowym, następnie w kolejności czteroboranem sodowym i Florovitem plus.

Przy dolistnym nawożeniu pszenicy ozimej, wartości badanych w doświadczeniu parametrów były tylko nieco wyższe przy nawożeniu doglebowym. Zarówno w nawożeniu dolistnym, jak i doglebowym, najwyższe plony ziarna, słomy oraz zawartości i plon białka uzyskano przy nawożeniu Florovitem plus. Nawożenie preparatem borowym i czteroboranem sodowym, niezależnie od sposobu ich stosowania, zwiększało zawartość boru w ziarnie w porównaniu z Florovitem plus. Nawożenie preparatem borowym w porównaniu z czteroboranem sodowym, przy obu sposobach ich stosowania dawało tak bardzo nieznacznie wyższe plony ziarna, słomy i białka pszenicy, że można uznać działanie tych nawozów za równorzędne.

Domniemanie, że istnieje możliwość zwiększenia plonowania wraz ze wzrostem dawki nawozu, nie zostało w badaniach potwierdzone. Już najniższy poziom nawożenia borem umożliwił uzyskanie w tych warunkach agrotechnicznych maksymalnego plonu pszenicy. Badane czynniki działały na ogół niezależnie od siebie, z wyjątkiem współdziałania na MTN (w nawożeniu doglebowym) i zawartości boru w suchej masie ziarna (w nawożeniu dolistnym).

Z przeprowadzonych badań wynika, że w ramach stosowanych technik nawożenia wystąpiło mniejsze zróżnicowanie plonu ziarna pszenicy i innych wskaźników niż pomiędzy dawkami stosowanymi w tych sposobach nawożenia. Badane czynniki nie miały istotnego wpływu na wielkość plonu pszenicy.

Preparat borowy stosowany doglebowo, istotnie zwiększał plon świeżej masy korzeni buraka cukrowego w porównaniu z nawożeniem czteroboranem sodowym i Florovitem plus. Zarówno stosowany nawóz Florovit plus, jak i czteroboran sodowy, oraz preparat borowy przy zwiększeniu dawki boru z  $3,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  powodowały istotny wzrost plonu świeżej masy korzeni. Nawożenie preparatem borowym i Florovitem plus istotnie zwiększało również plon suchej masy korzeni w porównaniu do obiektu nawożonego czteroboranem sodowym. Wzrost dawki boru z  $3,0$  do  $6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  istotnie zwiększał plon suchej masy korzeni buraka cukrowego. Stosowane nawozy zarówno w niższej, jak i w wyższej dawce nie różnicowały istotnie zawartości cukru w korzeniach buraka. Rodzaj nawozu nie miał wpływu na plon cukru, jednak wzrost dawki boru, niezależnie od rodzaju nawozu, powodował istotny wzrost plonu cukru. W korzeniach buraka cukrowego nawożonego preparatem borowym i czteroboranem sodowym zawartość boru była istotnie wyższa niż w korzeniach buraka nawożonego Florovitem plus, ale zwiększenie wnoszonej dawki boru nie miało istotnego wpływu na jego zawartość w korzeniach.

Plon świeżej masy liści buraka cukrowego był istotnie wyższy na obiektach nawożonych preparatem borowym i czteroboranem sodowym niż nawożonych Florovitem plus. Jednak tylko plon świeżej masy był istotnie wyższy w przypadku zwiększenia dawki boru z  $3,0$  do  $6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Plon świeżej masy korzeni buraka cukrowego istotnie zwiększył się przy dolistnym nawożeniu preparatem borowym i czteroboranem sodowym w porównaniu z obiektami nawożonymi Florovitem plus. Podwojenie dawki boru nie miało istotnego wpływu na plon świeżej i suchej masy korzeni buraka cukrowego. Zawartość cukru w korzeniach ze wszystkich obiektów była praktycznie taka sama, niezależnie od rodzaju i dawki nawozu.

Preparat borowy i czteroboran sodowy istotnie zwiększyły zawartość boru w korzeniach w porównaniu do obiektu nawożonego Florovitem plus. Zwiększenie dawki boru nie powodowało udowodnionych statystycznie różnic w zawartości boru w korzeniach buraka cukrowego. Również nieistotnie zróżnicowane przez rodzaje nawozów, jak i ich dawki były takie parametry, jak zawartość popiołu rozpuszczalnego w korzeniach buraka, oraz plon świeżej i suchej masy liści.

Przy dolistnym nawożeniu buraka cukrowego wartości badanych w doświadczeniach parametrów były nieco wyższe niż przy nawożeniu doglebowym. Zarówno w nawożeniu dolistnym, jak i doglebowym najwyższe plony świeżej i suchej masy korzeni oraz zawartość i plon cukru były zawsze wyższe na obiektach nawożonych preparatem borowym.

W nawożeniu dolistnym buraka cukrowego dawki boru były wielokrotnie niższe niż w nawożeniu doglebowym, jednak ich wpływ na ilość i jakość plonu był zbliżony. Zwiększanie dawki boru z poziomu niższego do wyższego w nawożeniu doglebowym, niezależnie od rodzaju nawozu, powodowało wyraźną reakcję roślin (istotny wzrost plonu korzeni, liści i cukru). Natomiast w nawożeniu dolistnym takiego wpływu nie stwierdzono.

W ocenie plonowania dwóch odmian ziemniaka pod wpływem nawożenia preparatem borowym i Florovitem plus stwierdzono, że nawożenie Florovitem plus zwiększyło u badanych odmian ziemniaka zawartość skrobi i jej plon, oraz zawartość i plon suchej masy. Wymienione parametry były istotnie wyższe dla odmiany 'Pola' niż odmiany 'Sieglinde'. Nawożenie preparatem borowym istotnie zwiększało zawartość boru w kłączach obu odmian, w porównaniu z Florovitem plus.

Plony kłębów ziemniaka były istotnie niższe bez nawożenia borem, w porównaniu do plonów obiektów borem nawożonych. Dawka wyższa preparatu w stosunku do dawki najniższej nie dawała udowodnionej statystycznie wyżki plonu.

Nie stwierdzono udowodnionych statystycznie różnic we wpływie porównywanych zoocydów na zawartość i plon skrobi. Nie różnicowały one istotnie zawartości i plonu suchej masy kłębów, ani zawartości boru w kłębach ziemniaka.

Nawożenie borem miało istotny wpływ na wszystkie badane w eksperymencie cechy ziemniaka, niezależnie od zastosowanego fungicydu. Nie stwierdzono istotnego współdziałania między nawożeniem borem a wykorzystywanymi w ochronie ziemniaka rodzajami fungycydów. Ziemniak reagował istotnym wzrostem wartości wszystkich badanych parametrów na nawożenie nawet najniższą dawką boru, niezależnie od tego, czy bor stosowano łącznie z zoocydami czy z fungicydami.

W ocenie plonowania buraka cukrowego pod wpływem łącznego stosowania preparatu borowego z wybranymi agrochemikaliami stwierdzono, że wpływ porównywanych w badaniach herbicydów na plon świeżej i suchej masy korzeni buraka można uznać za równorzędny.

Na zastosowane nawożenia preparatem borowym burak cukrowy zareagował istotnym wzrostem wartości wszystkich badanych parametrów. Wpływ poziomu nawożenia borem był zróżnicowany i zależał od badanej cechy.

Nawożenie borem, niezależnie od stosowanego zoocydu, istotnie zwiększało wartości wszystkich badanych parametrów buraka cukrowego, w stosunku do buraków pochodzących z obiektów bez nawożenia borem.

Zawartość i plon cukru były istotnie wyższe w burakach nawożonych borem w stosunku do buraków z obiektów bez nawożenia tym pierwiastkiem. Wzrost dawki nawozowej preparatu borowego na kolejnych obiektach tylko nieznacznie i nieistotnie wpływał na zawartość i plon cukru w burakach.

Niezależnie od stosowanych zoocydów, zawartość i plon cukru w korzeniach buraka zmieniały się nieznacznie i nieistotnie.

Burak cukrowy reagował istotnym wzrostem wartości wszystkich badanych parametrów na nawożenie nawet najniższą dawką boru, niezależnie czy stosowano bor łącznie z herbicydami, czy z fungicydami.

Wzrost dawki boru przy stosowaniu łącznym z herbicydami powodował istotny wzrost plonu świeżej masy korzeni buraka, ale przy stosowaniu z zoocydami takich zależności nie stwierdzono.

Wartości oznaczonych parametrów buraka cukrowego przy zastosowaniu w ochronie trzech porównywanych zoocydów były bardzo zbliżone. Nie stwierdzono istotnego współdziałania dawek preparatu borowego i porównywanych zoocydów.

Przeprowadzone badania wykazały korzystne właściwości chemiczno-rolnicze związków boru wyługowanych z popiołów po węglu kamiennym oraz ich przydatność do nawożenia pszenicy, ziemniaka i buraka cukrowego.

## 5. WNIOSKI

Problematykę właściwości agrochemicznych boru wylugowanego z popiołów lotnych oceniono w wielokierunkowych badaniach, z których można sformułować następujące wnioski:

1. W wyniku zastosowania ługowania, selektywnej wymiany jonowej i krystalizacji uzyskano z popiołów lotnych preparat borowy o składzie chemicznym i właściwościach fizykochemicznych przydatnych do produkcji nawozów borowych, zwłaszcza wieloskładnikowych.

2. Wydajność ługowania związków boru z popiołów zależała przede wszystkim od temperatury wody ługującej, odczynu, udziału w popiołach frakcji ziaren najdrobniejszych, sposobu przeprowadzania ekstrakcji oraz jej czasu.

3. Pozyskany z wód nadosadowych transportu hydraulicznego popiołów na składowisko preparat borowy miał skład chemiczny zbliżony do preparatu uzyskanego podczas ługowania sposobem ciągłym. System transportu hydraulicznego popiołów spełnia w przybliżeniu zadanie wielokrotnej ekstrakcji metodą ciągłą.

4. Wylugowany z popiołów lotnych preparat borowy był mieszaniną rozpuszczalnych w wodzie soli, głównie siarczanów, chlorków, węglanów i boranów wapnia, sodu, potasu i magnezu. Wysokiemu odczynowi towarzyszyła niska rozpuszczalność związków boru i odwrotnie - niskiemu odczynowi, wysoka rozpuszczalność związków boru. Obecność w preparacie borowym metali ciężkich i pierwiastków promieniotwórczych była znikoma i nie stanowiła ograniczenia w jego rolniczym, nawozowym wykorzystaniu.

5. Wśród minerałów występujących w preparacie borowym zidentyfikowano gips, magnezyt, nesquchonit, ałun potasowy, kalcyt, mataboryt, sassolin, a także stwierdzono w nim obecność refleksów pochodzących od boranów o niewyjaśnionej strukturze. Znaczenie nawozowe tych boranów związane było bardziej z ich podatnością na rozpuszczanie w wodzie niż z zasobnością w popiołach.

6. Ocena zastosowania nawożenia dolistnego preparatem borowym łącznie z wybranymi środkami ochrony roślin wypadła pomyślnie. Zmieszanie wybranych zoocydów, fungicydów i herbicydów z preparatem borowym w różnych stężeniach nie wywoływało zmian właściwości komponentów prowadzących do obniżenia ich specyficznych właściwości.

7. Preparat borowy, czteroboran sodowy i Florovit plus zastosowane w dogłębowym nawożeniu pszenicy ozimej wpłynęły w różnym stopniu na ilość i cechy jakościowe jej plonu. Preparat borowy i Florovit plus istotnie zwiększały plon ziarna w porównaniu z czteroboranem sodowym. Podwojenie dawki boru nie miało istotnego wpływu na plon ziarna. Niższy poziom nawożenia borem umożliwił w warunkach agrotechnicznych doświadczenia uzyskanie maksymalnego plonu.

W nawożeniu dolistnym pszenicy nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy rodzajami nawozów a ich dawką. Stwierdzono natomiast, że plon ziarna, słomy, białka oraz zawartość białka były regularnie wyższe przy nawożeniu Florovitem plus. Nieco gorsze

wyniki uzyskano przy nawożeniu preparatem borowym i kolejno czteroboranem sodowym. Nawożenie preparatem borowym pszenicy, w porównaniu z nawożeniem czteroboranem sodowym, przy obu sposobach ich stosowania można uznać za równoważne.

8. Nawożenie dolistne i doglebowe buraka cukrowego preparatem borowym, czteroboranem sodowym i Florovitem plus dawało zbliżone ilości i cechy jakościowe plonu. Zwiększenie dawki boru w nawożeniu doglebowym, niezależnie od rodzaju nawozu, powodowało wyraźną reakcję roślin. Natomiast w nawożeniu dolistnym takiego wpływu nie stwierdzono.

9. Nawożenie Florovitem plus badanych odmian ziemniaka powodowało, w porównaniu z preparatem borowym, istotne zwiększenie zawartości skrobi i jej plonu oraz zawartości i plonu suchej masy. Parametry te były istotnie wyższe dla odmiany 'Poła' niż dla odmiany 'Sieglinde'.

W ocenie możliwości łącznego stosowania nawozowego preparatu borowego z wybranymi agrochemikaliami stwierdzono, że pod wpływem nawożenia preparatem borowym, wartości badanych cech ziemniaka istotnie wzrastały w stosunku do wartości tych cech ziemniaka z obiektów bez nawożenia. Ziemniak reagował na nawożenie nawet najniższą dawką boru, istotnym wzrostem wartości wszystkich badanych cech, niezależnie od tego, czy bor stosowano łącznie z zoocydami czy z fungicydami.

10. W plonowaniu buraka cukrowego pod wpływem łącznego stosowania preparatu borowego z wybranymi środkami ochrony roślin stwierdzono istotny wzrost wszystkich badanych parametrów buraka, w porównaniu do wartości tych parametrów w burakach pochodzących z obiektów nie nawożonych preparatem borowym. Wpływ poziomu nawożenia był zróżnicowany i zależał od badanej cechy.

11. Największą efektywność nawożenia uzyskano przy zastosowaniu najniższej dawki boru. Sugeruje to, że plon ograniczał mały niedobór tego pierwiastka, możliwy do usunięcia poprzez dolistne nawożenie związkami boru.

## LITERATURA

- [1] Aitken R.L., Bell L.C., 1984: Plant uptake and phytotoxicity of boron in Australian. *Plant and soil* 84, 245-257.
- [2] Aksielrud G.A., Łysiański W.M., 1978: Ekstrakcja w układzie ciało stałe-ciecz. WNT, Warszawa, 275.
- [3] Andriano D.C., Woodford T.A., Ciravolo T.G., 1978: Growth and elemental composition of corn and bean seedlings as influenced by soil application of coal ash. *J. Environ. Qual.* 7/3, 416 - 421.
- [4] Benedycka Z., Krauze A., Bowszys T., 1986: Następczy wpływ nawożenia borem. *Acta Acad. Agricul. Tech. Olst., Agricult.*, 43, 52-56.
- [5] Bolewski A., 1975: *Mineralogia szczegółowa*. Wyd. Geolog., Warszawa, 522.
- [6] Bolewski A. (praca zbiorowa), 1979: Bar - Ba, Bor - B, Fluor - F, Stront - Sr. Surowce mineralne świata. Wyd. Geolog., Warszawa, 155-196.
- [7] Bowszys T., Krauze A., 1995: Działanie nawozowe boru w uprawie buraka cukrowego. *Acta Acad. Agricul. Tech. Olst., Agricult.*, 61, 85-91.
- [8] Brown G., 1961: The x-ray identification and crystal structures of clay minerals. The Mineralogical Society, London, 131.
- [9] Byszewski W., Kalinowska-Zdun M., 1974: Wpływ dokarmiania dolistnego na plon i wartość technologiczną buraka cukrowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 143, 121-134.
- [10] Ciećko Z., Nowak G., 1984: Reakcja kukurydzy, owsa i rzepaku na wzrastające dawki popiołu z węgla kamiennego. *Roczn. Glebozn.* XXXV, 3-4, 51-61.
- [11] Chhipa B.R., Lal P., 1989: Effect of soil boron on yield attributes and nutrient uptake by different varieties of wheat. *Polish Journal Soil Science*, XXII/2, 85-89.
- [12] Collier G.F., Greenwood D.J., 1977: The influence of solution concentration of aluminium, arsenic, boron and copper on root growth in relation to the phytotoxicity of pulverised fuel ash. *J. Sci. Food Agric.* 28, 145-151.
- [13] Chotkowski J., 1995: Kalkulacje kosztów produkcji roślinnej i zwierzęcej. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa, 7-76.
- [14] Czuba R., Gembarzewski H., Dębowski M., Klonowska Z., Mleczek E., 1985: Zawartość rozpuszczalnych form mikrośladników w glebach Polski. Synteza wyników badań wykonanych przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze w latach 1965-1983. IUNG, Puławy.
- [15] Czuba R., 1987: Tendencje rozwojowe w produkcji i stosowaniu nawozów mikroelementowych. VI Sympozjum Mikroelementowe 9-10.9.1987 Wrocław, 8-9.
- [16] Czuba R., 1988: Efekty produkcyjne dolistnego dokarmiania roztworem mocznika i mikroelementami zbóż, rzepaku i buraka cukrowego. Dolistne dokarmianie i ochrona roślin w świetle badań i doświadczeń praktyki rolniczej. IUNG, Puławy, 24-33.

- [17] Davison R.L., Natusch D.F.S., Wallace J.R., 1974: Trace elements in fly ash. *Environ. Sci. and Technol.*, 8/13, 23-39.
- [18] Dobrzycki J., 1978: *Analiza chemiczna w cukrownictwie*. WNT, Warszawa.
- [19] Elseewi A.A., Grimm S.R., Page A.L., Straughan J. , 1981: Boron enrichment of plants and soil treated with coal ash. *J. Plant Nutr.*, 3, 409-429.
- [20] Eriksson J., Bergholm J., Kvist K., 1981: Injury to vegetation caused by industrial emissions of boron compounds. *Silva Fennica*, 15, 4, 459-464.
- [21] Ernst W., Joosse-van Damme E., 1983: *Umweltbelastung durch Mineralstoffe Biologische Effekte*. VEB Gustaw Fischer Verlag, Jena.
- [22] Ernst W.H.O., Joosse-van Damme E.N.G., 1989: *Zanieczyszczenie środowiska substancjami mineralnymi*. PWRiL, Warszawa, 319.
- [23] Faber A., Fotyma M., 1988: Skuteczność działania wieloskładnikowych nawozów płynnych typu Wuxal. *Dolistne dokarmianie i ochrona roślin w świetle badań i doświadczeń praktyki rolniczej*. IUNG, Puławy, 155-169.
- [24] Faber A., Kęsik K., Winiarski A., 1988: Ocena skuteczności krajowych wieloskładnikowych nawozów dolistnych w doświadczeniach wazonowych i polowych. *Dolistne dokarmianie i ochrona roślin w świetle badań i doświadczeń praktyki rolniczej*. IUNG, Puławy, 170-179.
- [25] Furr A.K., Parkinson T.F., Gutenmann W.H., Pakkala I.S., Lisk D.J., 1978: Elemental content of vegetables, grains, and forages field-grown on fly ash amended soil. *J. Agric. Food Chem.*, 26, 2, 357-359.
- [26] Grzybowska D., Gajek F., Suplińska M., 1983: Przydatność rolnicza popiołu z węgla brunatnego. III. Wpływ popiołu na zawartość naturalnych pierwiastków radioaktywnych w glebie i w roślinach. *Pamiętnik Puławski - Prace IUNG*, 79, 159-167.
- [27] Gupta U.C., Macleod J.A., 1981: Plant and soil boron as influenced by soil, pH and calcium sources on podzol soils. *Soil Sci.*, 131/1, 20-25.
- [28] Gupta U.C., Jame Y.W., Campbell C.A., Leyshon A.J., Nicholaichuk W., 1985: Boron toxicity and deficiency: A review. *Can. J. Soil Sci.*, 65, 3, 382-409.
- [29] Gutenmann W.H., Pakkala I.S., Churey D.J., Kelly W.C., Lisk D.J., 1979: Arsenic, boron, molybdenum and selenium in successive cuttings of forage crops field grown on fly ash amended soil. *J. Agric. Food Chem.*, 27, 1393-1395.
- [30] Hermann J., 1989: Uwalnianie się boru z krzemianowych popiołów lotnych po wnie-sieniu ich do gleby. *Prace Komisji Naukowych PTG Nr 113. Możliwości rolniczego wykorzystania popiołu z węgla kamiennego i brunatnego*. 90-95.
- [31] Hermann J., 1992: Bor z popiołów lotnych i możliwości jego nawozowego wyko-rzyśtania z wybranymi agrochemikaliami. *Mat. VII Sympozjum "Mikroelementy w rolnictwie"*, Wrocław, 118-122.
- [32] Hermann J., 1993: Reakcja pszenicy ozimej i buraka cukrowego na dolistne dokar-mianie borem oraz składnikami mineralnymi wyekstrahowanymi z popiołów elek-trownianych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Biologicznych XXIX*, BTN, Byd-goszcz, 67-73.
- [33] Hermann J., 1994: Zanieczyszczenia środowiska borem w okolicach siłowni energe-tycznej spalającej węgiel kamienny. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 414, 105-120.



- [34] Hermann J., 1996: Popiół lotny źródłem boru dla roślin. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 434, 193 - 198.
- [35] Holliday R., Hodgson D.R., Townsend N.W., Wood J.W., 1958: Plant growth on "Fly ash". Nature, 181, 1079-1800.
- [36] Hollis J.F., Keren R., Gal M., 1988: Boron release and sorption by fly ash as affected by and particle size. J. Environ. Qual., 17, 2, 181-184.
- [37] Ignatowicz J., Żmigrodzka T., 1983: Zawartość mikroelementów w ziarnie zbóż na tle zawartości tych pierwiastków w glebie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 242, 177-181.
- [38] Jackson E., 1986: The analysis of agricultural materials. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London.
- [39] Jeżowska-Trzebiatowska B., Kopacz S., Mikulski T., 1990: Występowanie i technologia pierwiastków rzadkich. PWN, Warszawa, 388.
- [40] Kabata-Pendias A., Pendias H., 1979: Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym. Wyd. Geolog., Warszawa, 145.
- [41] Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Wiącek K., 1987: Wpływ popiołów z węgla kamiennego na gleby i rośliny. Arch. Ochr. Środ., 1-2, 97-104.
- [42] Kalav L., 1969: Popilky a možnost jejich využití. Prace. Praha.
- [43] Kalinowska-Zdun M., 1976: Wpływ dokarmiania dolistnego na dynamikę narastania masy i skład chemiczny roślin buraków cukrowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 184, 23-38.
- [44] Kear D., Ross J.B., 1961: Boron in New Zealand coal ashes. NZ. J. Sci., 4, 360-380.
- [45] Koniecznyński J., 1970: Badania nad występowaniem boru w węglach kamiennych. Prace Głównego Instytutu Górnicztwa, Komunikat 482, 1-26.
- [46] Koter M., Czapla J., Nowak G., 1982: Działanie wysokich dawek popiołu z węgla kamiennego na plonowanie i skład chemiczny kukurydzy i gryki. Zesz. Nauk. ART w Olsztynie 229, Rolnictwo 33, 159-166.
- [47] Krauze A., Domska D., 1988: Potrzeby nawożenia borem i miedzią buraków cukrowych w warunkach dolistnego dokarmiania azotem. Dolistne dokarmianie i ochrona roślin w świetle badań i doświadczeń praktyki rolniczej. IUNG, Puławy, 34-40.
- [48] Kubacka-Szmidtgal M., 1976: Dolistne dokarmianie buraków cukrowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 184, 17-22.
- [49] Kucowski J., Laudyn D., Przedkwas M., 1987: Energetyka a ochrona środowiska. WNT, Warszawa, 369.
- [50] Lekan Sz., Kacperk K., 1987: Rolnicza przydatność odpadów paleniskowych z elektrowni "Kozienice" w świetle doświadczeń polowych. Rolnicza przydatność odpadów przemysłowych i komunalnych. Synteza badań 1979-1985. IUNG, Puławy, 105-136.
- [51] Lityński T., Jurkowska H., Gorlach E., 1976: Analiza chemiczno-rolnicza. PWN, Warszawa, 329.
- [52] Lo T.C., Baird M.H., Hanson C., 1983: Handbook of Solvent Extraction. Wiley - Interscience, New York. 183.

- [53] Łączny J.M., 1979: Rozpuszczalność popiołów lotnych w wodzie. *Energetyka* XXXIII, 12, 485-486.
- [54] Łączny M.J., 1983: Model emisji zanieczyszczeń ze składowisk odpadów energetycznych do wód podziemnych. IKŚ, Warszawa-Katowice, 179.
- [55] Łączny M.J., 1983: Równowagowe stężenia jonów fosforanowych w wodnych roztworach popiołów lotnych. *Arch. Ochr. Środ.*, 3-4, 83-93.
- [56] Majewski F., Janiszewska Z., 1966: Wpływ wilgotności gleby i wapnowania na pobieranie boru przez rośliny. *Roczn. Nauk Roln., Ser. A*, 90, 4, 533-549.
- [57] Malicki L., Podstawka E., 1989: Wybrane aspekty nawożenia buraków cukrowych w świetle doświadczeń na średnich i ciężkich glebach Lubelszczyzny. *Post. Nauk Roln.*, 2, 63-75.
- [58] Martens D.C., 1971: Availability of plant nutrients in fly ash. *Compost Sci.*, Nov.-Dec. 15-18.
- [59] Matusiewicz H., Janowicz K., 1983: Fyzykochemiczna charakterystyka popiołów lotnych węgla brunatnych elektrowni "Konin" z III stopnia elektrofiltrów i badania nad ich ługowaniem. *Arch. Ochr. Środ.*, 3-4, 59-81.
- [60] Mirkin W.A., 1961: *Sprawocznik po rentgenostrukturum analizu palikristelu*. Moskwa, 72.
- [61] Mrówczyński M., Sikora M., Kempczyńska B., 1988: Wyniki badań nad możliwością łącznego stosowania nawozów do dolistnego dokarmiania rzepaku z insektycydami. Dolistne dokarmianie i ochrona roślin w świetle badań i doświadczeń praktyki rolniczej. IUNG, Puławy, 202-210.
- [62] Nawrocki S., 1991: Produkcyjność pszenicy w warunkach stosowania różnej agrotechniki. IUNG, Puławy.
- [63] Oertli J.J., 1962: Loss of boron from plants through guttation. *Soil Sci.*, 94, 214-219.
- [64] Pacyna J.M., 1980: Elektrownie węglowe jako źródło skażenia środowiska metalami i radionuklidami. *Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej* Nr 47, Monografie 17.
- [65] Pinta M., 1977: *Absorpcyjna spektrometria atomowa. Zastosowanie w analizie chemicznej*. PWN, Warszawa.
- [66] Plank C.O., Martens D.C., 1973: A melioration of soils with fly ash. *J. Soil. Water Conserv.*, 28, 4, 177-179.
- [67] Plank C.O., Martens D.C., 1974: Boron availability as influenced by application of fly ash to soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38, 974-977.
- [68] Rafter T.A., 1945: Boron and strontium in New Zealand Coal Ashes. *Nature, London*, 155, 332.
- [69] Rees W.J., Sidrak G.H., 1956: Plant nutrition on fly-ash. *Plant and Soil* VIII, 2, 141-146.
- [70] Roga B., Ihnatowicz A., Węcłewska M., Ihnatowicz M., 1958: Badania nad zawartością boru w polskich węglach. *Prace Głównego Instytutu Górniczego, seria B*, 12, 3-7.

- [71] Rokita J., 1987: Nowy system hydraulicznego odprowadzania odpadów paleniskowych na składowisko. *Energetyka*, 2, 52-54.
- [72] Roszyk J., Nowosielski O., 1989: Zawartość składników mineralnych w ekstraktach dokonanych różnymi kwasami z popiołów węgla brunatnego. *Prace Komisji Naukowych PTG Nr 13. Możliwości rolniczego wykorzystania popiołów z węgla kamiennego i brunatnego*. 96-102.
- [73] Roy W.R., Griffin R.A., Dickerson D.R., Schuller R.M., 1984: Illinois Basin Coal Fly Ashes. 1. Chemical characterization and solubility. *Environ. Sci. Technol.*, 18, 734-739.
- [74] Roy W.R., Griffin R.A., 1984: Illinois Basin Coal Fly Ashes. 2. Equilibria relationships and qualitative. *Environ. Sci. Technol.*, 18, 739-742.
- [75] Starski B., 1977: Wyniki badań nad możliwością zastosowania popiołów po węglu brunatnym i kamiennym w rolnictwie i leśnictwie. *Post. Nauk Roln.*, 4, 131-150.
- [76] Szukalski H., Sikora H., 1983: Następczy wpływ nawożenia mikroelementami na ich zawartość w glebie i roślinach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 242, 183-198.
- [77] Tanji K.K., 1969: A computer analysis on the leaching of boron from stratified soil columns. *Soil Sci.*, 110, 1, 44-51.
- [78] Talbot R.W., Anderson M.A., Andren A.W., 1978: Qualitative model of heterogenous equilibria in fly ash pond. *Environ. Sci. Technol.*, 12, 9.
- [79] Taylor E.M., Schuman G.E., 1988: Fly ash and lime amendment of acidic coal soil to aid revegetation. *J. Environ. Qual.*, 17, 1, 120-124.
- [80] Termann G.L., 1987: Fly ash as a source of nutrients. *Biuletin Y-129 National Fertilizer Development Center, Alabama*, 2-7.
- [81] Trzecki S., Strasburger M., 1961: Wstępne badania nad wpływem dolistnego dokarmiania roztworami mikroelementów na plon, skrobiowość i wartość konsumpcyjną ziemniaków odmiany Dar. *Roczn. Nauk Roln., Ser. A*, 84, 2.
- [82] Trzecki S., Kibial J., 1974: Dolistne dokarmianie ziemniaków w połączeniu z zabiegami ochrony roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 143, 93-100.
- [83] Trzecki S., Strasburger M., 1974: Wstępne badania nad wpływem dolistnego dokarmiania roztworami mikroelementów na plon, skrobiowość i wartość konsumpcyjną ziemniaków odmiany Dar. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 149, 101-111.
- [84] Trzecki S., 1974: Doglebowe i dolistne dokarmianie ziemniaków odmiany Dar. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 143, 113-119.
- [85] Trzecki S., 1976: Wpływ dolistnego dokarmiania łączonego ze środkami ochrony roślin na plon i skrobiowość ziemniaków. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 184, 39-48.
- [86] Tuchołka Z., Wojtkowska R., 1977: Działanie nawożenia popiołami z węgla brunatnych i kamiennych na glebę i rośliny. *Zjazd Jubileuszowy PTGleń, Poznań*, 2, 191-208.
- [87] Wallace A., Romney E.M., Alexander G.K., 1977: Some effects of fly ash (from coal burning) on bush bean plants grown in solution culture. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 8 (9), 713-718.

- [88] Warren C.J., Evans L.J., Sheard R.W., 1993: Release of some trace elements from sluiced fly ash on acidic soils with particular reference to born. *Waste Manag. Res.*, 11, 3-15.
- [89] Williams J.W., 1985: *Oznaczanie anionów*. PWN, Warszawa, 770.
- [90] Witting L.D., 1964: X-ray diffraction techniques for minerals identification and mineralogical composition. [W:] Black C.A., *Methods of soil analysis*. Madison, WI, 671-696.
- [91] Wolski T., Gliški J., 1985: Odpady przemysłowe i ich przetwarzanie na sole techniczne oraz preparaty do nawożenia gleb i żywienia zwierząt. *Probl. Agrofiz. PAN*, 49.
- [92] Wolski T., 1989: Wykorzystanie odpadów przemysłowych i komunalnych w produkcji rolniczej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 380, 67-85.
- [93] Zięba St., 1979: *Przydatność rolnicza popiołów z węgla brunatnego*. IUNG, Puławy (praca habilitacyjna).

# AGROCHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI BORU WYŁUGOWANEGO Z POPIOŁÓW LOTNYCH WĘGLA KAMIENNEGO

## Streszczenie

W wyniku zastosowania ługowania, selektywnej wymiany jonowej i krystalizacji uzyskano z popiołów lotnych preparat borowy zawierający w składzie chemicznym między innymi: 1,1-1,8% B, 13,2-14,4% Ca, 3,6-4,2% K, 4,0-4,7% Na i 1,3-1,5% Mg. Stanowił on mieszaninę rozpuszczalnych w wodzie soli, głównie siarczanów, chlorków, węglanów i boranów wapnia, sodu, potasu i magnezu.

Wydajność ługowania związków boru zależała przede wszystkim od temperatury wody ługującej, odczynu, udziału w popiołach frakcji ziaren najdrobniejszych, sposobu przeprowadzenia ługowania oraz jego czasu.

Wśród minerałów występujących w preparacie borowym zidentyfikowano gips, magnezyt, nesquehonit, ałun potasowy, kalcyt, metaboryt, sassolin, a także stwierdzono w nim obecność refleksów pochodzących od boranów o niewyjaśnionej strukturze. Znaczenie nawozowe tych boranów związane było bardziej z ich podatnością na rozpuszczanie w wodzie niż z zasobnością w popiołach. Obecność w preparacie borowym metali ciężkich i pierwiastków promieniotwórczych była znikoma i nie stanowiła ograniczenia w jego rolniczym i nawozowym wykorzystaniu.

Ocena zastosowania nawożenia dolistnego preparatem borowym, łącznie z wybranymi środkami ochrony roślin wypadła pomyślnie. Zachowana została skuteczność środków ochrony roślin i efektywność dokarmiania dolistnego.

Preparat borowy i zastosowane porównawczo czteroboran sodowy i Florovit plus w dogłębowym nawożeniu pszenicy ozimej wpłynęły w różnym stopniu na ilość i cechy jakościowe jej plonu. Preparat borowy i Florovit plus istotnie zwiększały plon ziarna w porównaniu z czteroboranem sodowym. Podwojenie dawki boru nie miało istotnego wpływu na plon ziarna. Niższy poziom nawożenia borem uniemożliwił w warunkach agrotechnicznych doświadczenia uzyskanie maksymalnego plonu.

W nawożeniu dolistnym pszenicy nie stwierdzono istotnych różnic w plonowaniu ziarna, słomy, zawartości białka i MTN, pomiędzy rodzajami zastosowanych nawozów a ich dawką.

Nawożenie dolistne i dogłębowe buraka cukrowego dawało zbliżone ilości i parametry jakościowe plonu. Zwiększenie dawki boru w nawożeniu dogłębowym, niezależnie od rodzaju nawozu, powodowało wyraźną reakcję roślin. Natomiast w nawożeniu dolistnym takiego wpływu nie stwierdzono.

Nawożenie Florovitem plus badanych odmian ziemniaka powodowało w porównaniu z preparatem borowym istotne zwiększenie zawartości skrobi i jej plon, oraz zawartość i plon suchej masy. Parametry te były istotnie wyższe dla odmiany 'Pola' niż dla odmiany 'Sieglinde'. Ziemniak reagował na nawożenie nawet najniższą dawką boru istotnym wzrostem wartości wszystkich badanych parametrów i to niezależnie od tego, czy bor stosowano łącznie z zoocydami czy z fungicydami.

Największą efektywność nawożenia uzyskano przy zastosowaniu najniższej dawki boru. Sugeruje to, że plon był ograniczony przez mały niedobór tego pierwiastka, możliwy do usunięcia poprzez dolistne nawożenie związkami boru wyługowanymi z popiołów lotnych.



## AGROCHEMICAL PROPERTIES OF BORON LEACHED FROM COAL FLY ASHES

### Summary

In the result of the use of leaching, selective ion exchange and crystallization, a boron preparation containing, among other components: 1,1-1,8%B, 13,2-14,4% Ca, 3,6-4,2% K, 4,0-4,7% Na and 1,3-1,5% Mg, was obtained from fly ashes. It was a mixture of salts soluble in water, mainly sulphates, chlorides, carbonates and borates of calcium, sodium, potassium and magnesium.

The yield of leaching depended first of all on the temperature of leaching water, pH, the boron content in fly ash, a fraction of most fine grains, the way of leaching and its time.

Gypsum, magnesite, nesquehonite, potash alum, calcite, metaborite, sassoline were identified among the minerals occurring in the preparation. Moreover, reflexes coming from borates of unknown structure were recorded. The fertilization significance of those borates was based more on their liability to solubilization in water than on their concentration in fly ashes. The presence of heavy metals and radionuclides in the preparation was negligible and it did not limit its agricultural fertilization usefulness.

Evaluation of the application of top-dressing performed with this preparation, together with chosen agrochemicals was positive. Effectiveness of plant protection preparations as well as that of top-dress alimentation were not affected.

The boron preparation and the control sodium tetraborate and Florovit used for soil fertilization of winter wheat affected its yield and quality of the crop in a varied way. The boron preparation and Florovit significantly increased the grain yield in comparison with sodium tetraborate. Doubling the amount of boron did not have any substantial effect of the grain yield. Lower rates of fertilization with boron, under the agrotechnical conditions of the experiment, allowed to obtain the highest yield.

In the result of top-dressing of wheat no significant differences were found between the kind of fertilizer and its rate.

Top-dressing and soil fertilization used in the cultivation of sugar beet resulted in similar yields and qualitative features of the crop. An increase of the amount of boron in case of soil fertilization caused a significant reaction of the plants, independently from the kind of fertilizer, while no such effect was noted in case of top-dressing.

In comparison with the boron preparation, fertilization of the potato varieties studied with Florovit caused a considerable increase of the starch content and its yield, as well as the content and the yield of dry matter. Those parameters were significantly higher for the 'Pola' variety in comparison with 'Sieglinde'. The potato reacted even to the lowest amount of the boron fertilizer with a significant increase of all the parameters studied, independently from the boron combination with zoocides or with fungicides.

The highest efficiency of fertilization was noted for the lowest amount of boron. This allow to speculate that the yield was limited by a small deficiency of boron, possible to deal with by of top-dressing with boron compounds leached from fly ashes.







**Biblioteka Główna ATR  
w Bydgoszczy**

80421