

Zofia Puff<sup>1</sup>, Ryszard Salaciński<sup>2</sup>, Barbara Lipowska<sup>3</sup>, Jerzy Witek<sup>3</sup>, Anna Kocoń<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny; <sup>2</sup>Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, <sup>3</sup>ICiMB Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach; <sup>4</sup>IUNG-PIB Puławy

## OCENA PRZYDATNOŚCI CERAMIZOWANYCH AGROSPIEKÓW NAWAZOWYCH DO ZASILANIA GLEB\*

### Wstęp

Cechą rozwiniętej gospodarki rolnej jest intensywne i racjonalne nawożenie, obejmujące nie tylko optymalizację rodzaju i ilości dostarczanych do gleby składników pokarmowych, lecz również składników korygujących lub utrzymujących właściwą strukturę gleby. Dotyczy to wytworzenia lub utrzymania właściwego glebowego kolektora wodnego, co ma zasadnicze znaczenie dla retencji wody w profilu glebowym. Optymalny poziom wilgotności gleby jest nieodzownym czynnikiem dla uruchamiania dostarczanych składników pokarmowych w takiej ilości, która gwarantowałaby odpowiednią ich ilość dla przyswojenia przez rośliny, a jednocześnie zapobiegałaby przenoszeniu ich do wód gruntowych w wyniku zbyt szybkiej filtracji.

Problem ten ma istotne znaczenie w przypadku gleb lekkich, z dominującym udziałem piasku kwarcowego wśród składników mineralnych gleby. W wyniku szybkiej filtracji, w takich glebach składniki pokarmowe z nawozów są szybko wypłukiwane i tylko w ograniczonej ilości przyswajane przez rośliny, a zwiększanie ich ilości przez nawożenie ma niewielki wpływ na polepszenie warunków wegetacji.

W Polsce gleby piaskowe zajmują kilka milionów hektarów. Najczęściej są to jednocześnie gleby niedowapnowane i wykazujące niedobór magnezu. Równocześnie coraz bardziej powiększają się obszary, na których gleby zostały zdegradowane wskutek działalności przemysłowej lub przekształceń powierzchni w wyniku działalności inwestycyjnej. W takich przypadkach racjonalne jest stosowanie środków, które umożliwiają równoczesne wprowadzanie do gleby składników pokarmowych, niezbędnych dla wegetacji roślin, oraz składników mineralnych poprawiających jej strukturę.

Przedstawiony problem nie ma wyłącznie charakteru krajowego, lecz ma zasięg regionalny w wymiarze globalnym. Dlatego od szeregu lat wzrasta na świecie zainteresowanie nawozami uzyskiwanymi z niskoprzetworzonych surowców mineralnych z naturalną lub lekko modyfikowaną proporcją bioelementów, które są stosowane

\* Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego-rozwojowego nr R0801103/030310 finansowanego przez MNiSW.

w celu poprawy struktury gleb oraz bilansu zawartych w niej składników pokarmowych. Należą do nich m.in. nawozy w postaci szklistej, charakteryzujące się stopniowo postępującą rozpuszczalnością (vitreous controlled release fertilizers), zwane agroszkłami lub frytami nawozowymi. Są to zwykle szkła krzemianowo-fosforanowe zawierające w swoim składzie tlenki pierwiastków niezbędnych roślinom jako główne składniki pokarmowe (P, K, Ca, Mg) oraz dowolny zestaw tlenków pierwiastków stosowanych w uprawach jako mikroelementy (np. Mn, Cu, B, Zn, Fe). Na drodze powolnego reagowania z kwasami humusowymi stabilizują one poziom domineralizowania gleby niezbędnymi składnikami w dłuższym okresie czasu. Po wylugowaniu składników użytecznych pozostałość w postaci koloidalnej krzemionki nie stanowi dla gleby zagrożenia ekologicznego, a dodatkowo przyczynia się do poprawy struktury gleby, czyniąc ją bardziej porowatą. Zainteresowanie tego typu nawozami obserwuje się w Europie zachodniej, obu Amerykach oraz w południowej Afryce (1, 2).

Badania w kierunku opracowania technologii otrzymywania takich agroszkieł podjęte zostały również w Polsce (4, 5). Jednak produkcja agroszkieł wiąże się z koniecznością topienia zestawu surowcowego w temperaturze powyżej 1400°C. Z tego powodu, pomimo stwierdzonych korzystnych własności agrotechnicznych, technologia ich wytwarzania jest energochłonna, a tym samym kosztowna.

Autorzy prezentowanej pracy zaproponowali alternatywne rozwiązanie. Jest nim koncepcja otrzymywania nawozu o przedłużonym działaniu w postaci ceramizowanych kompozytów mineralnych, nazwanych agrospiekami. Metoda ich otrzymywania polega na przeprowadzeniu procesu spiekania odpowiednio skomponowanego i zgranulowanego zestawu surowcowego jedynie w temperaturze 700–800°C, zależnej od składu wyjściowego. Matrycę nośną agrospieków stanowią ropy, a nośnikami makro- i mikroelementów są wytypowane kopaliny towarzyszące oraz mineralne surowce odpadowe o odpowiednim składzie chemicznym i własnościach technologicznych. Takie kompozyty mineralne w koloidalnym środowisku kwasów humusowych gleby ulegają powolnej korozji związanej z rehydroksylacją, pierwotnie zdehydroksylowanych w wyniku procesu technologicznego, minerałów ilastych. Procesy te uwalniają stopniowo zawarte w granulach składniki biologicznie czynne, użyźniając glebę stabilnie i bez ryzyka zbyt szybkiego wymycia przez wody opadowe, co zdarza się w przypadku stosowania nawozów typu NPK. Jednocześnie następuje odbudowa struktury minerałów ilastych i tym samym zwiększenie ich udziału procentowego w grupie składników mineralnych gleby. W przypadku gleb lekkich proces ten jest szczególnie korzystny, gdyż poprzez zmniejszenie parowania i obniżenie filtracji w głąb profilu glebowego wpływa na dłuższą retencję wody.

Celem pracy było przedstawienie opracowanej metody otrzymywania agrospieków oraz określenie ich własności użytkowych na podstawie wyników doświadczeń wegetacyjnych przeprowadzonych w IUNG-PIB w Puławach.

### Metodyka badań

Na podstawie analizy dostępnych surowców mineralnych pod kątem ich przydatności do syntezy agrosieków, do przeprowadzenia badań wytypowano:

- ił i margiel – kopaliny ilaste stanowiące główną masę nawozu (szkielet granul);
- wapień i kredę jeziorną – wprowadzające do składu nawozu Ca;
- dolomit – nośnik Mg i Ca;
- pył dymnicowy powstający w zakładach energetycznych po spalaniu węgla brunatnego – nośnik makro- i mikroelementów, takich jak Mn, Cu, Zn.

Do zestawów surowcowych wprowadzono także:

- superfosfat wzbogacony, stosowany w rolnictwie skoncentrowany nawóz fosforowy (źródło P),
- szkło wodne potasowe, pełniące jednocześnie rolę spoiwa niezbędnego w procesie granulacji (źródło K).

Surowce zmielono do uziarnienia < 1 mm i sporządzono z nich odpowiednie mieszanki, które po dokładnym ujednorodnieniu zgranulowano na granulatorze talerzowym, stosując w roli spoiwa szkło wodne potasowe. Uzyskane w ten sposób granule o średnicy 1-5 mm wypalono w temperaturze 650-750°C. Warunki te zapewniły usunięcie wody strukturalnej oraz grup OH ze struktury minerałów ilastych (dehydroksylację) oraz częściowy rozkład węglanów magnezu i wapnia. Zachodzące podczas obróbki cieplnej zmiany strukturalne w minerałach składników wsadowych spowodowały podwyższenie względnej zawartości CaO, co zwiększyło odkwaszającą funkcję produktu. Dodatkowo podniosły one wytrzymałość mechaniczną granulatu w stopniu zabezpieczającym przed kruszeniem i pyleniem podczas przyszłej dystrybucji. Zmiany te miały charakter odwracalny, pozwalający na odbudowę ich struktury w koloidalnym środowisku kwasów humusowych gleby.

Opisaną metodą wykonano cztery rodzaje agrosieków różniących się wyjściowym składem surowcowym, a tym samym właściwościami fizykochemicznymi (tab. 1).

Przydatność uzyskanych agrosieków do celów agrotechnicznych sprawdzono na podstawie doświadczeń wegetacyjnych (wazonowych) przeprowadzonych w sezonie: lipiec 2008/maj 2009 r. przez Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia IUNG-PIB w Puławach. Objęły one uprawę czterech gatunków roślin o zróżnicowanych wymaganiach pokarmowych i uprawowych, tj.:

- 1) gorczycę białą – plon główny (zbiór jesień 2008 r.);
- 2) gorczycę/rzepak ozimy – gorczycę (zbiór jesień 2008 r.) i rzepak na zieloną masę (zbiór wiosna 2009 r.);
- 3) kukurydzę – plon główny (zbiór jesień 2008 r.);
- 4) koniczynę czerwoną – zbiór I pokosu jesień 2008 r., a II wiosna 2009 r.

Do badań użyto gleby lekkiej, kwaśnej, o składzie granulometrycznym piasku luźnego.

Tabela 1

## Podstawowe właściwości fizykochemiczne próbnych partii agrosieków

Właściwości	Oznaczenie agrosieków			
	A1	A2	A3	A4
Skład surowcowy:				
ił	+	–	+	+
margiel	–	+	–	–
kreda jeziorna	+	+	–	+
wapień	–	–	+	–
dolomit	+	+	+	+
pył dymnicowy	–	–	–	+
superfosfat	+	+	+	+
szkło wodne potasowe	+	+	+	+
Skład chemiczny (%):				
CaO	25,81	37,89	25,76	19,88
MgO	6,99	5,43	6,42	3,62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,46	3,68	3,52	3,60
K <sub>2</sub> O	2,54	1,78	1,93	1,80
Na <sub>2</sub> O	0,17	0,11	0,16	0,18
SiO <sub>2</sub>	36,86	19,64	32,8	45,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,76	1,77	4,28	6,69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,46	0,80	2,34	2,84
straty prażenia	15,32	28,77	19,3	10,67
Zawartość pierwiastków śladowych (mg · kg <sup>-1</sup> ):				
Cd	1,81	1,82	1,87	2,77
Cr	52,9	25,8	46,9	71,5
Cu	24,6	13,99	24,8	36,4
Mn	388	501	311	351
Ni	29,9	27,2	28,8	41,4
Pb	19,1	14,2	20,0	24,1
Hg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
pH w H <sub>2</sub> O	11,3	11,0	11,0	10,5
Ciężar nasypowy (g · cm <sup>-3</sup> )	0,75	0,86	0,93	0,84
Wytrzymałość na uderzenie (%)	97,6	96,1	99,7	99,6

Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).

W uprawach pojemnikowych wymienionych roślin porównano skuteczność działania otrzymanych czterech rodzajów agrosieków z obiektami kontrolnymi bez nawożenia oraz nawożonymi nawozami mineralnymi. Dawki nawozów odpowiadały procentowym zawartościom Ca, Mg, P i K w poszczególnych agrosiekach.

Ponieważ głównym składnikiem pokarmowym badanych agrosieków był wapń, dlatego ich dawki ustalono na podstawie obowiązujących zaleceń nawozowych dotyczących wapnowania gleb i obliczono według procentowej zawartości CaO w agrosiekach oraz oznaczonej kwasowości hydrolitycznej gleby użytej w doświadczeniu (tab. 2). Dla każdego testowanego agrosieku przyjęto dwie podstawowe dawki nawożenia, obliczone według kwasowości hydrolitycznej gleby: 0,5 (Hh) – dla I poziomu nawożenia oraz 1,0 (Hh) dla II poziomu, wynoszące odpowiednio 0,35 g i 0,70 g CaO

Tabela 2

## Właściwości chemiczne gleby

pH <sub>KCl</sub>	Hh (mmol · g <sup>-1</sup> )	Próchnica (%)	Zawartość mg · kg <sup>-1</sup> gleby						
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg*	Cu*	Fe*	Mn*	Zn*
4,42	0,027	0,66	50,0	9,0	2,0	0,53	360	31,7	1,98

\* forma przyswajalna dla roślin  
Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).

na 1 kg gleby. Przedstawione w dalszej części pracy wyniki badań dotyczą II poziomu nawożenia.

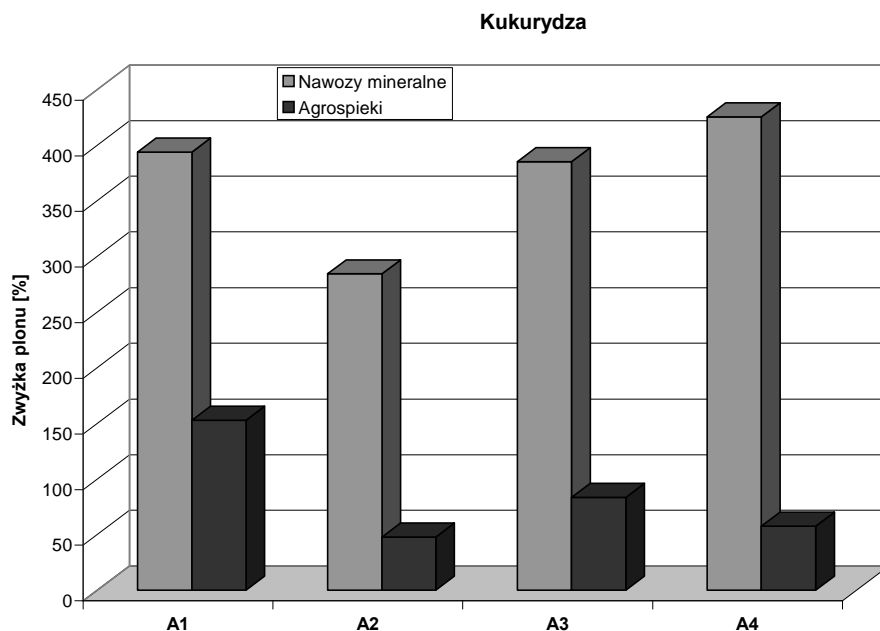
Skuteczność działania nawozowego agrospeków porównano z obiektami kontrolnymi (bez nawożenia) oraz nawożonymi nawozami mineralnymi. Nawozy te wprowadzono do gleby w dawkach wynikających ze składu chemicznego poszczególnych agrospeków: CaO w postaci czystego do analiz (cz.d.a.) CaCO<sub>3</sub>, a składniki pokarmowe: Mg, P i K w formie odpowiednich nawozów mineralnych. Mikroelementy podano w jednakowych, standardowych ilościach, w postaci pożywki zawierającej Fe<sub>3</sub>(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, MnSO<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O, CuSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, CoCl<sub>2</sub> oraz (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O. Ponieważ agrospeki nie zawierają w swoim składzie azotu – podstawowego składnika plonotwórczego – był on podawany (w formie NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> cz.d.a.) we wszystkich obiektach, łącznie z kontrolą, w ilościach zależnych od potrzeb roślin i stanowił tło. Z nawożenia azotem wyłączono uprawę koniczyny czerwonej.

W ramach przeprowadzonych badań określono:

- plon suchej masy roślin po zbiorze (część nadziemna wraz z korzeniami);
- w zebranych roślinach: zawartość makroelementów: N, P, K, Mg i Ca oraz wybranych mikroelementów: Fe, Mn, Zn i Cu;
- w glebie po zbiorach roślin: pH w KCl, kwasowość hydrolityczną (Hh), zawartości P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O oraz przyswajalnych dla roślin form Mg, Fe, Mn, Zn i Cu, a także po zbiorze II pokosu koniczyny czerwonej zawartość próchnicy oznaczaną metodą Turina.

### Omówienie wyników

Działanie nawozowe testowanych czterech rodzajów agrospeków określono na podstawie wielkości uzyskanych plonów uprawianych roślin. Obliczona, w odniesieniu do obiektów kontrolnych bez nawożenia, zwyżka plonów dowodzi, że wszystkie agrospeki wykazują działanie nawozowe, przy czym najlepiej plonowały rośliny w obiektach nawożonych agrospekiem A1, następnie A4 i A3, a najniższe plony otrzymano z obiektów nawożonych agrospekiem o symbolu A2 (rys. 1-3). Stwierdzono także, że testowane agrospeki wykazują słabsze działanie w porównaniu z nawożeniem mineralnym, jednak ich efekt nawozowy utrzymuje się dłużej (rys. 2 i 3).



Rys. 1. Zwyżka plonu suchej masy kukurydzy w odniesieniu do obiektu kontrolnego (bez nawożenia)

Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).

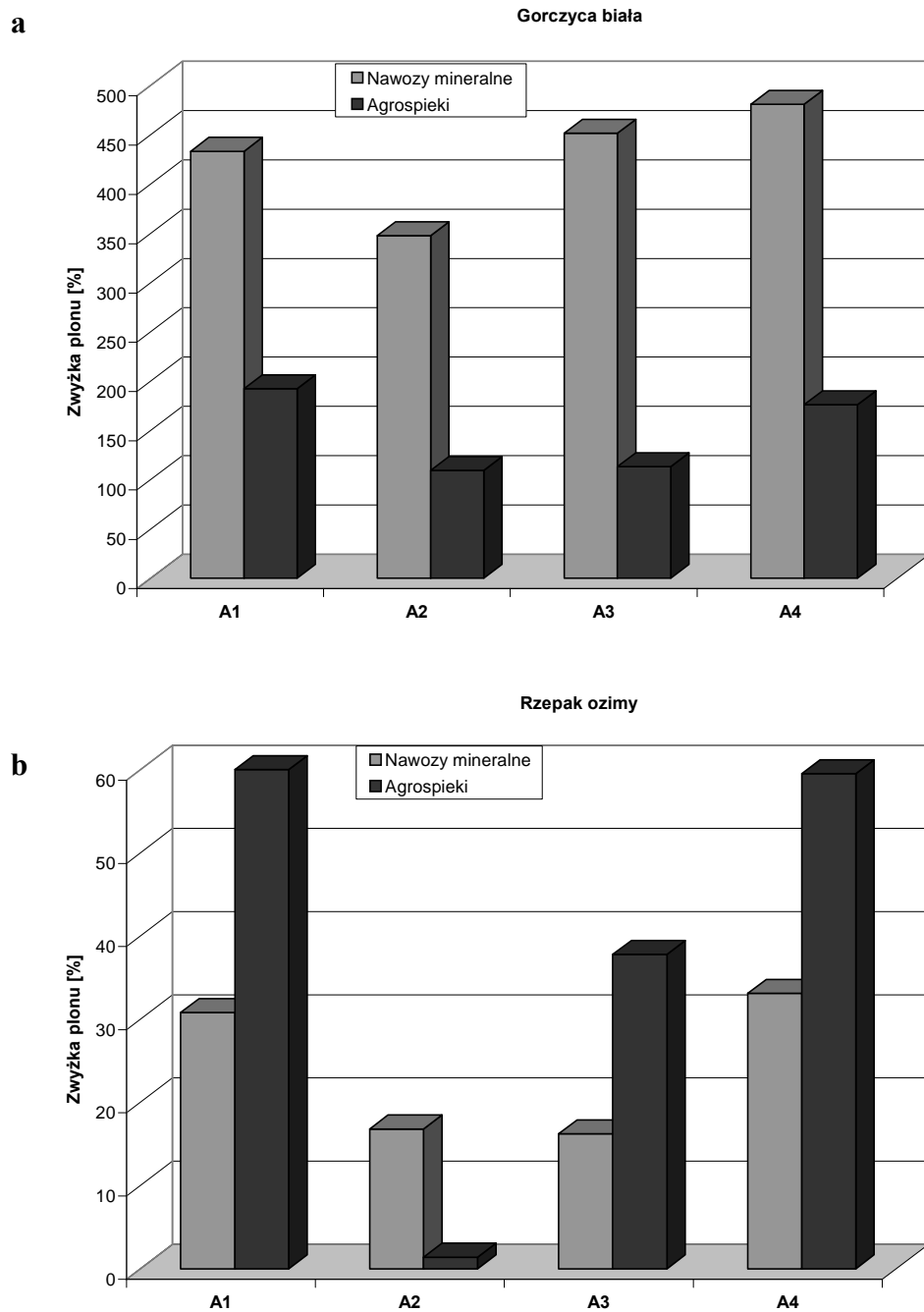
Zawartość makro- i mikrośladników oznaczona w zebranych roślinach była zróżnicowana i zależała od rodzaju zastosowanego nawożenia i gatunku rośliny; w tabelach 3 i 4 podano przykładowo wyniki uzyskane dla plonu gorczyicy białej i kukurydzy. Na ogół rośliny nawożone testowanymi agrosiepkami zawierały wyższe ilości analizowanych pierwiastków niż przy nawożeniu mineralnym. Jednak porównując uzyskane wartości, należy brać pod uwagę fakt, że zależą one istotnie od wielkości plonu powietrznie suchej masy rośliny. Uwagę zwracają niskie zawartości fosforu i potasu

Tabela 3

Zawartość makro- i mikrośladników w powietrznie suchej masie gorczyicy białej

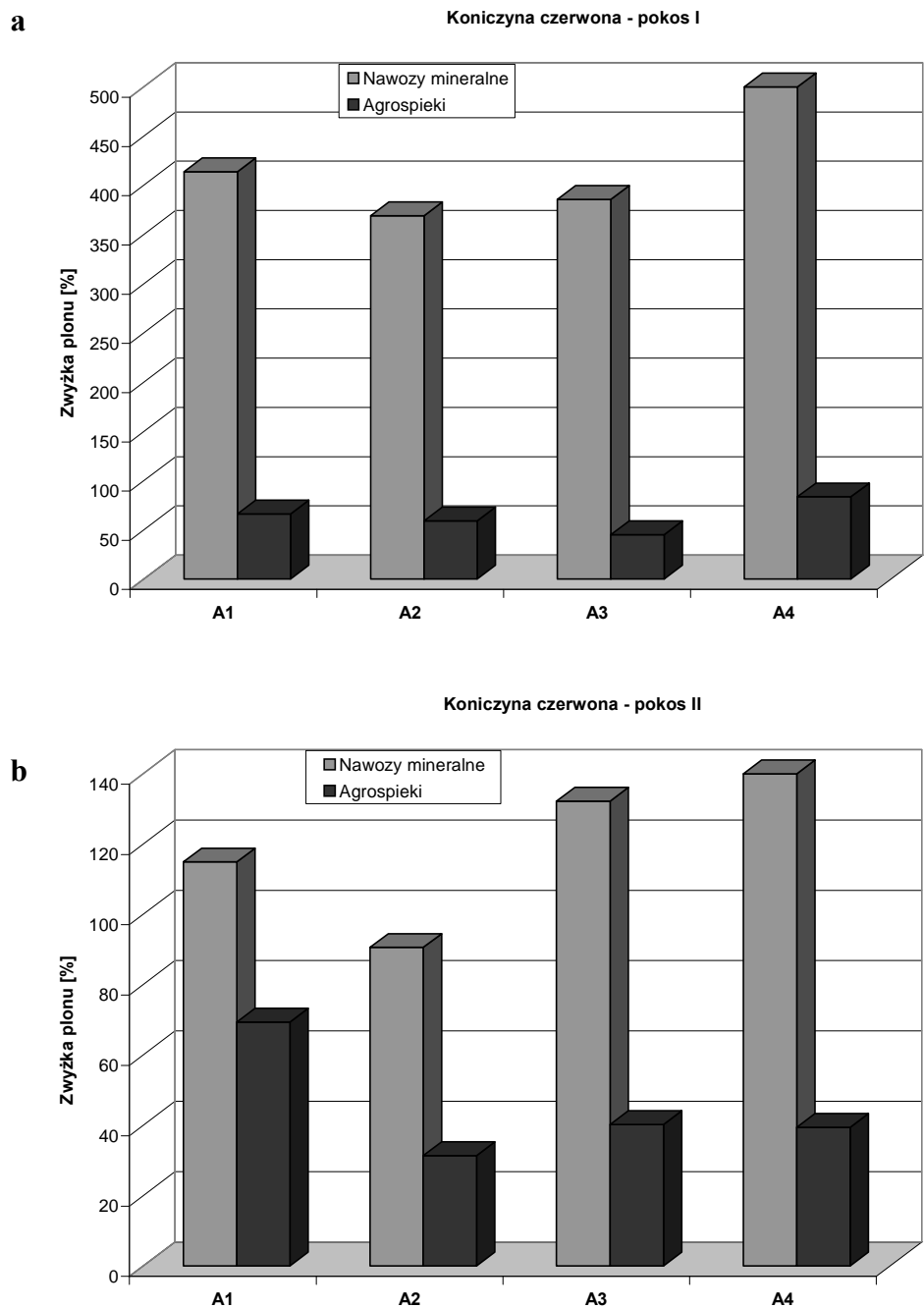
Obiekt*	Makroskładniki (% p.s.m.)					Mikroskładniki (mg·kg <sup>-1</sup> p.s.m.)			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Kontrola	6,23	0,27	0,83	4,02	0,72	17,19	1843	521,0	839,0
M1	2,68	0,29	1,67	3,14	0,62	11,9	1731	184,6	141,9
A1	3,96	0,26	1,46	3,49	0,83	13,25	2202	264,0	293,0
M4	2,77	0,30	1,51	2,41	0,51	11,54	1649	146,8	169,8
A4	4,41	0,26	1,20	3,35	0,63	12,52	1949	344,0	441,0

\* M<sub>1</sub> – nawożenie mineralne 1  
 A<sub>1</sub> – nawożenie agrosiepkami nr 1  
 M<sub>4</sub> – nawożenie mineralne nr 4  
 A<sub>4</sub> – nawożenie agrosiepkami nr 4  
 Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).



Rys. 2. Zwyżka plonu suchej masy gorzyczy białej w odniesieniu do obiektu kontrolnego (bez nawożenia): (a) gorzycza biała - przedplon, (b) rzepak - zielona masa

Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).



Rys. 3. Zwyżka plonu suchej masy koniczyny czerwonej w odniesieniu do obiektu kontrolnego (bez nawożenia): (a) pokos I (jesień) i (b) pokos II (wiosna)

Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).



Tabela 4

Zawartość makro- i mikrośladników w powietrznie suchej masie kukurydzy

Obiekt*	Makrośladniki (% p.s.m.)					Mikrośladniki (mg · kg <sup>-1</sup> p.s.m.)			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Kontrola	5,68	0,22	1,20	1,95	0,66	13,45	2070	569,0	353,0
M1	2,69	0,18	1,12	1,30	0,95	6,14	1476	181,6	144,5
A1	3,28	0,17	0,97	1,33	0,84	11,8	1365	267,4	216,4
M4	2,43	0,16	1,01	1,30	0,07	6,21	1108	153,5	582,8
A4	4,77	0,16	1,48	1,98	0,67	9,42	1921	519,0	476,0

\* objaśnienie jak w tab. 3

Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).

w badanych roślinach, szczególnie w kukurydzy, wynoszące dla P poniżej 0,2%, czyli poniżej wymaganej ilości, niezbędnej do prawidłowego rozwoju roślin. Powodem takiego stanu są zarówno niskie zawartości fosforu i potasu w glebie zastosowanej do badań, jak i w testowanych produktach.

Z wykonanych analiz gleby po zbiorach roślin wynika (tab. 5-7), że zastosowanie testowanych agrosieków wpłynęło na wzrost pH gleby oraz obniżenie jej kwasowości hydrolitycznej w stosunku do stanu na obiektach kontrolnych. Odkwaszające dzia-

Tabela 5

Właściwości gleby po zbiorze kukurydzy

Obiekt*	pH <sub>KCl</sub>	Hh (mmol·g <sup>-1</sup> )	Zawartość mg · kg <sup>-1</sup> gleby						
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Kontrola	4,39	0,025	42	<10	15	0,63	418	44,4	3,56
M1	6,48	0,010	79	10	35	0,68	442	51,4	4,51
A1	5,09	0,017	33	10	28	0,67	437	48,6	4,16
M4	6,30	0,013	103	<10	33	0,58	469	54,8	3,89
A4	4,74	0,021	44	<10	17	0,55	490	54,6	5,41

\* objaśnienia jak w tab. 3

Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).

Tabela 6

Właściwości gleby po zbiorze rzepaku ozimego

Obiekt*	pH <sub>KCl</sub>	Hh (mmol·g <sup>-1</sup> )	Zawartość mg · kg <sup>-1</sup> gleby						
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Kontrola	5,14	0,021	41	8,0	22	0,48	540	58,4	4,94
M1	6,97	0,012	69	8,0	53	0,55	541	61,6	7,29
A1	6,43	0,013	41	11	43	0,59	624	72,7	5,22
M4	7,08	0,011	93	11	48	0,54	529	59,6	5,57
A4	6,35	0,015	47	10	36	0,51	546	64,9	4,84

\* objaśnienia jak w tab. 3

Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).

Tabela 7

Właściwości gleby po zbiorze II pokosu koniczyny czerwonej

Objekt*	pH <sub>KCl</sub>	Hh (mmol·g <sup>-1</sup> )	Próchnica (%)	Zawartość mg · kg <sup>-1</sup> gleby						
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Kontrola	4,64	0,026	0,80	44	7,0	9	0,53	538	55,5	3,70
M1	6,26	0,015	0,77	55	8,0	15	0,52	549	64,3	5,00
A1	5,39	0,020	0,90	48	13	11	0,54	512	58,4	3,28
M4	6,10	0,017	0,74	79	11	11	0,62	576	66,7	3,34
A4	5,40	0,021	0,85	50	9,0	11	0,51	585	69,8	5,28

\* objaśnienia jak w tab. 3

Źródło: Lipowska i in., 2009 (3).

łanie agrospeków ujawniło się lepiej po dłuższym czasie ich działania (tab. 6). Zaobserwowano również niewielki wzrost zawartości próchnicy w badanej glebie (tab. 7).

### Podsumowanie

Celem badań było opracowanie składu i metody otrzymywania formy mineralnego nawozu ceramizowanego w postaci agrospeków oraz określenie ich właściwości fizykochemicznych i przetestowanie w warunkach polowych ich przydatności dla celów agrotechnicznych oraz poprawy struktury gleby, a także bilansu składników pokarmowych. Zgodnie z przedstawionymi założeniami nawozy te powinny wzbogacać glebę w biopierwiastki stabilnie i długoterminowo, ulegając przy tym powolnemu rozkładowi oraz podwyższać pH gleb.

Na podstawie badań eksperymentalnych stwierdzono, że funkcje dotyczące stabilnego domineralizowania gleby niezbędnymi bioskładnikami, a także modyfikowania wartości pH zostały spełnione przez otrzymane agrospeki, w szczególności te, wykonane z zestawów surowcowych A1 i A4 (tab. 1). Z badań vegetacyjnych z udziałem uzyskanych agrospeków wynika, że wykazują one dodatnie działanie nawozowe oraz poprawiają właściwości gleby. Analizy gleby po zbiorach uprawianych roślin dowodzą, że zastosowanie testowanych agrospeków wpłynęło na wzrost pH gleby oraz obniżenie jej kwasowości hydrolitycznej w stosunku do stanu na obiektach kontrolnych, a odkwaszające działanie agrospeków ujawniło się lepiej po dłuższym czasie ich działania.

Granulacja jako sposób formowania surowców, będących składnikami badanych mieszanek, spełniła swoją rolę, gdyż powierzchnia granul umożliwia przenikanie wody w ich głąb, a tym samym umożliwia skuteczne ługowanie wodą i powolne uwalnianie bioelementów z agrospeków. Forma granulatu i odpowiednie wymiary granul umożliwiają jego wysiewanie do gleby przy użyciu siewników rolniczych.

Ważną właściwością tych produktów jest to, iż uwalnianie do środowiska glebowego zawartych w agrospekach makro- i mikroelementów odbywa się stopniowo, w ciągu dłuższego czasu, co pozwala korygować ich bilans w glebie, nawet w ciągu kilku lat, poprawiając jej strukturę i odczyn.

Należy podkreślić, że wykorzystane w eksperymencie surowce są w całości pochodzenia krajowego, a koszt ich pozyskania ogranicza się jedynie do nakładów na ich reeksplorację z istniejących składowisk, natomiast samo przetwórstwo obejmuje jedynie obróbkę termiczną w stosunkowo niskiej temperaturze, bez stosowania procesów chemicznych.

### Literatura

1. Drake C. F.: Vitreous controlled release fertilizers composition. UK Patent GB 1512637.
2. Knott P.: Glasses – agricultural applications. *Glastech. Ber.*, 1989, **62**: 29-34.
3. Lipowska B., Witek J., Puff Z., Sałaciński R.: Proces ceramizacji kompozytów mineralnych przeznaczonych do celów agrotechnicznych. Sprawozdanie z realizacji projektu badawczo-rozwojowego nr R0801103/030310. ICiMB Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach, 2009.
4. Stoch L., Stoch Z., Wacławska I.: Krzemianowe szkło nawozowe. Patent PL 185229 B1.
5. Wacławska I. i in.: Szkła nawozowe dla upraw ogrodniczych. *Mat. Ceram.*, 2005, **1**: 6-12.

Adres do korespondencji:

*dr inż. Barbara Lipowska*  
*Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych*  
*Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach*  
*ul. Toszecka 99*  
*44-100 Gliwice*  
*tel.: (32) 270 19 55*  
e-mail: lipowska@imo.gliwice.pl

