

Franciszek MACIAK

Wartość rolnicza odpadów (SO_2 i NO_x) z odsiarczania spalin kotłowych z EC Kawęczyn

Abstract

The agricultural value of the waste (SO_2 and NO_x) from the gas of EPS Kawęczyn. Laboratory and agricultural test of the product (waste) consisting mainly of ammonium sulphate and nitrate obtained at the pilot plant EPS Kawęczyn were carried out. Five different wastes contained from 5,1 to 26,1 of total nitrogen, with 13 kind of plants in pot and field experiments were studied. Wastes used in that experiments were similar or better in effect to compared of mineral fertilizers $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and $(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$.

Key words: EPS wastes utilization, nitrogen fertilizers.

Wstęp

Energetyka cieplna polegająca na wykorzystywaniu energii pochodzącej ze spalania węgla dostarcza do atmosfery duże ilości pyłów i gazów. Spośród gazów w szczególności groźne dla środowiska przyrodniczego są tlenki siarki (SO_2) i azotu (NO_x). Usiłowania zatem w wielu krajach skierowane są na konstrukcję urządzeń (filtrów) do oczyszczania gazów spalinowych (Burghardt, Buzek 1994). Najczęściej przez odpowiedni system mokrych płuczek usuwany jest SO_2 ,

a katalitycznie redukowany NO_x (Mat. Instytut of Nuclear Chemistry and Technology). Uzyskane w procesie oczyszczania gazów spalinowych odpady, ze względu na znaczną zawartość w nich azotu, mogą stanowić cenny nawóz dla rolnictwa (Maciak, Duczyński 1992; Maciak 1995).

Celem badań było dokonanie oceny wartości rolniczej 5 odpadów (zawierających wysokie zawartości azotu ogólnego) z pilotującej stacji oczyszczania spalin EC Kawęczyn. Wartość rolniczą odpadów określono na podstawie analiz laboratoryjnych i doświadczeń wegetacyjnych (wazonowych i polowych) z 13 gatunkami roślin na 3 różnych glebach. Porównawczymi nawozami w doświadczeniach wegetacyjnych były: 34,5% -- saletra amonowa (NH_4NO_3) oraz 20,5% -- siarczan amonu [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$].

Materiał i metodyka badań

Materiał badawczy stanowiło 5 odpadów – 2 rodzaje A i C wyprodukowanych w EC Kawęczyn w roku 1989 oraz 3 rodzaje odpadów A₁, B₁ i C₁ wyprodukowanych w roku 1994 (tab.1). Porównaw-

TABELA 1. Analiza chemiczna odpadów z odsiarczania i odazotowania spalin kotłowych EC Kawęczyn

Rodzaj odpadów	Rok produkcji	Barwa	pH w H ₂ O	Formy azotu			Si	Ca
				N-NH ₄	N-NO ₃	N og		
(% s.m)								
A (z reaktora wysokoproc.) *	1989	biały (kryst.)	4,8	20,07	1,9	21,6	–	–
C (zapopielony niskoproc.)	1989	szary (sypki)	6,6	5,2	1,4	6,7	–	–
A ₁ (z reaktora wysokoproc.)	1994	biały (kryst.)	3,0	17,5	0,6	19,0	brak	0,34
B ₁ (zapopielony średnioproc.)	1994	szary (lekko zlep.)	4,4	10,03	0,3	11,2	32,4	0,59
C ₁ (zapopielony niskoproc.)	1994	szary (sypki)	6,9	4,9	0,4	5,1	34,8	0,85
Popiół E.C. Kawęczyn				9,3			27,7	2,1

* – wysoko-, średnio- i niskoprocetowe w stosunku do zawartości N ogólnego.

czym nawozem w doświadczeniach wegetacyjnych dla odpadów A i C oraz „A₁”, B₁ i C₁ były nawozy azotowe: 34,5% saletra amonowa (NH₄NO₃) oraz 20,5% siarczan amonu [(NH₄)₂SO₄].

W analizach laboratoryjnych przeprowadzonych dla oznaczenia intensywności wypłukiwania azotu w glebie oraz zachodzących w niej procesów nityfikacyjnych określono 2 formy azotu mineralnego (N-NH₄ i N-NO₃) w odpadzie A₁, B₁, C₁. W doświadczeniach tych użyto 2 rodzaje gleb: 1) glebę mada lekka, 2) glebę piaskową.

W badanych materiałach (odpady, gleby, rośliny) wykonano poszczególne analizy chemiczne: N ogólny oznaczono przez spalenie metodą Kjeldahla, N amonowy poprzez destylację z MgO – metodą Bremnera (1965), N azotanowy poprzez destylację metodą Bremnera (1965). Makroskładniki (Si, Mg, Na, K, P) oraz (S,

B, Al) oznaczono wg przyjętych metod w chemii rolnej. Metale ciężkie (Zn, Cu, Pb, Cr, Mn, Ni, Cd) w odpadach i materiale roślinnym oznaczono po hydrolizie w 20% HCl wg ASA.

Wartość nawozową odpadów oceniano na podstawie:

- analiz chemicznych odpadów,
- doświadczeń laboratoryjnych nad nityfikacją i wymywaniem azotu w glebie z wprowadzonych odpadów,
- doświadczeń wegetacyjnych (wazonowych i polowych) wraz z oceną wysokości plonów roślin nawożonych odpadami,
- składu chemicznego roślin nawożonych odpadami.

W doświadczeniach wegetacyjnych (wazonowych i polowych) zastosowano 13 azotolubnych roślin (warzywnych i polowych). Spośród roślin warzywnych były to: 1) szpinak, 2) burak czerwony, 3)

Mg	Fe	Na	K	P	S	Zn	Cu	Pb	Cr	B	Al
(% s.m)						(ppm)					
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,43	0,002	0,11	0,12	0,0	4,95	55	48,7	6,0	13,7	10,0	200
0,35	3,80	0,50	1,20	0,07	3,90	151,7	150,0	16,0	56,3	12,3	25 000
0,43	0,93	0,10	0,25	0,13	3,90	99,3	78,3	40,7	53,7	16,3	10 000
1,7	2,9	0,3	1,4	0,13	0,6	60,5	80,3	19,5	93,7	13,1	31 875

jarmuż, 4) kalarepa, 5) brukselka, 6) seler, 7) kapusta głowiasta, 8) cebula. Spośród roślin polowych : 9) owies, 10) kukurydza (koński ząb), 11) burak pastewny, 12) jęczmień, 13) rzepa ścierniskowa.

Doświadczenia wegetacyjne wazonowe i polowe przeprowadzono wg ogólnie przyjętych zasad stosowanych w doświadczalnictwie i chemii rolnej.

Wyniki badań

Analiza odpadów pod względem azotu

Analizę chemiczną odpadów (z odsiarczania i odazotowania spalin kotłowych EC Kawęczyn) zawiera tabela 1. Pod względem procentowej zawartości azotu ogólnego można wydzielić 3 grupy

odpadów: A, A₁ – jako wysokoprocentowe (21,6 i 19,0% N), B₁ – jako średnioprocentowe (11,2% N), oraz C, C₁ – jako nisko procentowe (6,7 i 5,1% N) nawozy azotowe.

Omawiane odpady z oczyszczania spalin zawierają głównie azot w formie amonowej. Zawartość azotu wynosi w nich od 4,9 do 20,7% (N-NH₄). Udział formy azotanowej w odpadach jest niewielki, wynosząc odpowiednio od 0,3 do 1,9% (N-NO₃). Ilość azotu amonowego w odpadach ulega także zmniejszeniu w miarę procentowego zmniejszania się w nich zawartości azotu ogólnego. Określone jako wysokoprocentowe (A, A₁) i średnioprocentowe (B₁) pod względem zawartości azotu odpady charakteryzują się białą barwą (formą krystaliczną), kwaśnym odczynem (pH 3,0 – 4,8) oraz dużą hygroskopijnością. Odpady C, C₁ charakteryzują się natomiast odczynem

prawie obojętnym (pH = 6,6 – 6,9), niską zawartością azotu ogólnego. Barwa tych odpadów jest szara, konsystencja sypka, podobna do popiołu elektrownianego.

Z przedstawionych danych liczbowych (tab.1) wynika, że odpady A, A₁ zawierają odpowiednio 21,6 i 19,0% N ogólnego i podobne są do siarczanu amonowego (20,5% N), tj. nawozu stosowanego powszechnie w rolnictwie. Odpady te mogą być zatem w pełni wykorzystane do nawożenia roślin uprawnych.

Odpady B, C, C₁ można określić jako średnio bądź niskoprocentowe nawozy azotowe, około 1/2 do 2/3 słabsze w działaniu nawozowym od odpadów oznaczonych jako wysokoprocentowe A, i A₁.

Biorąc pod uwagę znaczną w odpadach zawartość azotu formy azotanowej, a także makroelementów (Ca, Mg, Na, K, P), odpady w takiej postaci mogą być wykorzystane w rolnictwie szczególnie w uprawie roślin ogrodniczych, jako szybko działające nawozy azotowe, wzbogacone dodatkowo w inne makroelementy.

Analiza odpadów pod względem makro- i mikroelementów

Badane odpady (tab.1) zawierają też znaczne ilości niektórych makroskładników, takich jak: Ca, K, Na i S oraz mikroelementów: Zn, Cu, B. Wymienione mikroelementy często są niezbędne dla wzrostu niektórych gatunków roślin. Szczególnie dotyczy to Cu i B, których deficyt w glebie może powodować choroby, szczególnie u roślin warzywnych.

Inne pierwiastki zawarte w odpadach, jak Pb i Cr, aczkolwiek toksyczne dla środowiska, lecz (ze względu na ich

niewielką zawartość w odpadach) nie stanowią one większego zagrożenia dla organizmów żywych, uwzględniając fakt, że pierwiastki te wprowadza się do środowiska glebowego w dużym rozcieńczeniu.

W tabeli 1 przedstawiono również skład chemiczny popiołu z EC Kawęczyn dla ustalenia stopnia przechodzenia pierwiastków chemicznych występujących w węglu do spalin stanowiących bazę do produkcji nawozów azotowych.

Z przedstawionych danych wynika, że wszystkie pierwiastki znajdujące się w popiele występują również w analizowanych odpadach spalinowych zawierających azot. Istnieją jednak wyraźne różnice w zawartościach poszczególnych pierwiastków chemicznych znajdujących się w popiele EC Kawęczyn i w odpadach spalinowych. Analizując zatem pierwiastki znajdujące się w poszczególnych odpadach (A₁, B₁, C₁), można zauważyć wyraźne różnice ilościowe dotyczące zawartości takich pierwiastków, jak: Ca, K, Zn, Cu, Pb, co może być związane z technologią produkcji oczyszczania spalin.

Procesy nitryfikacji i wymywania form azotu z gleby nawożonej odpadami spalinowymi

Procesy nitryfikacji azotu i wymywania składników azotowych (NH₄ + NO₃) po wprowadzeniu odpadów spalinowych do gleby przedstawiono w tab. 2 i 3. Tabela 2 ilustruje przebieg tych procesów w madzie lekkiej, natomiast tabela 3 przedstawia przebieg ich w glebie piaskowej. Porównawczymi nawozami w tym do-

TABELA 2. Przebieg nityfikacji i wymywania form azotu w glebie (mada lekka – a) z dodatkiem różnych nawozów* w mg/100g gleby

Okres inku- bacji i wymy- wania N (tygo- dnie)	Zastosowane nawozy do gleby								
	„0”			saletra amonowa (NH ₄ NO ₃)			siarczan amonu [(NH ₄) ₂ SO ₄]		
	N-NH ₄	N-NO ₃	NH ₄ + NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	NH ₄ + NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	NH ₄ + NO ₃
2	0,08	0,13	0,21	73,6	71,4	145,0	202,4	5,0	207,4
4	0,02	0,16	0,18	25,1	26,7	51,8	14,0	2,5	16,5
6	0,10	0,30	0,40	26,8	20,3	56,5	32,7	3,9	36,6
8	0,14	0,33	0,47	20,3	22,7	43,0	35,1	2,7	37,8
10	0,07	0,21	0,28	15,0	19,9	34,0	28,9	1,8	30,7
12	0,08	0,26	0,34	11,2	14,1	25,3	24,4	1,2	25,6
14	0,09	0,25	0,34	9,1	9,5	18,6	21,6	1,5	23,1
16	0,12	0,29	0,41	10,1	10,1	18,2	15,7	3,4	19,1
Razem	0,70	1,93	2,63	189,2	204,1	393,3	374,8	22,0	396,8
Okres inku- bacji i wymy- wania N (tygo- dnie)	odpad A ₁			odpad B ₁			odpad C ₁		
2	302,1	41,4	343,5	307,3	15,5	322,8	233,8	14,1	247,9
4	17,7	3,8	21,5	23,9	2,5	26,4	27,6	2,4	30,0
6	3,9	3,1	7,0	5,8	3,6	9,4	11,4	7,3	18,7
8	1,6	3,0	4,6	2,5	4,1	6,6	2,3	3,7	6,0
10	1,1	4,0	5,1	2,7	5,4	8,1	1,2	2,8	4,0
12	0,9	3,0	3,9	1,1	1,8	2,9	1,8	2,9	4,7
14	0,9	2,0	2,9	0,8	1,9	2,7	2,0	1,7	3,7
16	1,0	1,8	2,8	0,9	1,8	2,7	0,9	1,3	2,2
Razem	329,2	62,1	391,3	395,0	36,6	392,6	281,0	36,2	317,4

* w doświadczeniu zastosowano 390,6 mg N/100g gleb w formie różnych nawozów; NIR_{0,05} – 17 (dla N-NH₄) w mg/100g gleby; NIR_{0,05} – 1,4 (dla N-NO₃) w mg/100 g gleby

świadczaniu były: saletra amonowa (NH₄NO₃) oraz siarczan amonu [(NH₄)₂SO₄]

Z przedstawionych danych (tab. 2 i 3) wynika, że wyprodukowane odpady pod względem zachodzących procesów nityfikacyjnych i wymywania form azotu w

glebie w niewielkim stopniu różnią się od konwencjonalnych nawozów azotowych stosowanych w rolnictwie, a nawet wykazują od nich większą wartość nawozową ze względu na zmniejszoną intensywność wypłukiwania ich z gleby. Wyraźnie mniejsze wypłukiwanie azotu z gleby od

TABELA 3. Przebieg nitryfikacji i wymywania form azotu w glebie (gleba piaskowa – b) z dodatkiem różnych nawozów* w mg/100g gleby

Okres inkubacji i wymywania N (tygodnie)	Zastosowane nawozy do gleby								
	„0”			saletra amonowa (NH ₄ NO ₃)			siarczan amonu [(NH ₄) ₂ SO ₄]		
	N-NH ₄	N-NO ₃	NH ₄ ⁺ NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	NH ₄ ⁺ NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	NH ₄ ⁺ NO ₃
2	0,05	1,37	1,42	168,1	177,4*	345,6*	315,3	5,3	320,7
4	0,04	0,31	0,35	5,4	6,0	11,4	6,7	5,3	12,0
6	0,11	0,46	0,57	4,1	9,0	13,1	2,7	7,8	10,5
8	0,13	0,18	0,31	2,4	5,1	7,5	1,6	4,0	5,6
10	0,08	0,12	0,20	1,4	3,9	5,4	1,1	2,5	3,5
12	0,10	0,10	0,20	1,6	2,4	4,0	1,4	1,4	2,8
14	0,22	0,15	0,37	1,8	1,8	3,7	1,3	1,2	2,5
16	0,07	0,16	0,23	1,3	1,3	2,5	1,6	2,0	3,6
Razem	0,80	2,85	3,65	186,1	206,9	395,0	331,7	29,5	361,2

Okres inkubacji i wymywania N (tygodnie)	odpad A ₁			odpad B ₁			odpad C ₁		
2	352,5	40,8	393,2	351,0	10,7	361,7	230,5	14,7	245,2
4	14,6	1,5	16,1	14,4	1,1	15,5	15,4	5,3	20,7
6	2,9	0,8	3,7	2,5	0,9	3,4	4,8	4,9	9,7
8	1,5	2,4	3,9	2,6	1,7	4,3	2,2	5,1	7,2
10	1,7	6,3	8,0	1,7	7,4	9,1	1,4	2,8	4,2
12	1,3	2,2	3,5	0,5	1,9	2,4	1,6	2,5	4,1
14	0,9	1,1	2,0	1,2	1,6	2,8	1,5	1,7	3,2
16	1,0	1,0	2,0	1,4	1,5	2,9	1,2	1,9	3,1
Razem	376,4	56,1	432,5	375,3	26,8	402,1	258,6	38,9	297,5

* w doświadczeniu zastosowano 390,6 mg N/100g gleby w formie różnych nawozów; NIR_{0,05} –17 mg/100g gleby (dla N-NH₄): NIR_{0,05} – 1,4 mg/100g gleby (dla N-NO₃)

pozostałych odpadów (A₁ i B₁), a także od porównanych nawozów azotowych (NH₄NO₃ i (NH₄)₂SO₄ wykazał odpad C₁. Odpad ten zatem można traktować jako wolno działający nawóz azotowy, znacznie lepiej sorbowany przez glebę niż pozostałe nawozy.

Plony roślin

W badaniach nad plonowaniem roślin nawożonych różnymi odpadami azotowymi z EC Kawęczyn uwzględniono 5 rodzajów odpadów spalinowych (A, C oraz A₁, B₁, C₁). Ponadto 3 rodzaje gleb: małą lekką (Ursynów), małą lekką (Wilanów), glebę piaskową (Zastów) z upra-

wą na nich 13 gatunków roślin. Porównawczymi (kontrolnymi) nawozami w ocenie wysokości plonowania poszczególnych gatunków roślin w stosunku do odpadów spalinowych były nawozy azotowe (mineralne) powszechnie stosowane w uprawach rolniczych (siarczan amonu i azotan amonu). Nawozy azotowe pod rośliny stosowano w równoważnej dawce zawartości azotu (N) znajdującego się w odpadach spalinowych. Zbiorcze wyniki plonów roślin z doświadczeń wazonowych i polowych przedstawiają tabele 4 i 5.

Z przedstawionych danych liczbowych wymienionych tabel wynika, że plony roślin pochodzących zarówno z doświadczeń wazonowych, jak i doświadczeń polowych nie wykazują wyraźnych różnic, wskazujących na gorsze działanie nawozowe odpadów z oczyszczania gazów spalinowych niż porównywanych z nimi nawozów azotowych (siarczanu amonu i azotanu amonu).

Przeciwnie, w wielu przypadkach (tab. 4 i 5) wyższe działanie nawozowe wykazały użyte odpady. Również pod względem jakości (składu chemicznego) otrzymane plony roślin nie różnią się w większym stopniu między sobą nawożonych odpadami i nawozami mineralnymi. Ilustruje to tabela 6, zawierająca skład chemiczny roślin pod względem makro- i mikroelementów.

Podsumowanie i wnioski

W przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych i wegetacyjnych (wazonowych i polowych) nad możliwością wykorzystania odpadów z odsiarczania spalin kotłowych jako nawozów azoto-

wych szczegółowej ocenie chemicznej pod względem zawartości form azotu mineralnego (N og., N-NH₄, N-NO₃) poddano 5 rodzajów odpadów: 2 rodzaje (A, C) pochodziły z produkcji EC Kawęczyn z 1989 roku, 3 rodzaje (A₁, B₁, C₁) pochodziły z EC Kawęczyn z 1993 roku. Poza formami azotowymi, w 3 rodzajach odpadów spalinowych (A₁, B₁, C₁) oraz w popiele EC Kawęczyn dodatkowo określono zawartość innych pierwiastków makro- i mikroelementów.

Ocenię pod względem wartości nawozowej poddano 5 ww. rodzajów odpadów spalinowych, z uprawą 13 gatunków roślin azotolubnych (warzywnych i polowych). Wartość nawozową odpadów porównywano z wartością nawozową saletry amonowej (NH₄NO₃) oraz siarczanu amonu [(NH₄)₂SO₄]. Szczegółowej analizie pod względem azotu oraz makro- i mikroelementów poddano rośliny. Przeprowadzono również doświadczenia inkubacyjne nad intensywnością nitryfikacji azotu w odpadach spalinowych (A₁, B₁, C₁) oraz nad wymywaniem azotu z gleby.

1. Analizowane odpady (A, C, A₁, B₁, C₁) zawierały (%): azotu ogólnego – A-21,6; C-6,7; A₁-19,6; B₁-11,2; C₁-5,1; azotu amonowego – A-20,7; C-5,2; A₁-17,5; B₁-10,3; C₁-4,9; azotu azotanowego – A-1,9; C-1,4; A₁-4,6; B₁-0,3; C₁-0,4. Wysokoprocentowe (pod względem zawartości azotu) odpady (A, A₁) posiadały barwę białą, krystaliczną, charakteryzowały się wysoką hydroskopijnością. Odpady (C, B₁, C₁) posiadały barwę szarą (barwa popiołu), były sypkie (pyłące), odczyn (pH) wahał się w nich od pH 3,0 (A₁) do 6,9 (C₁).

TABELA 4. Plony roślin nawożonych różnymi formami azotu (g/wazon z.m.)

Gleba	Nawożenie	Szpinak	Burak czerwony (korzenie)	Jarmuż	Kalarepa	Cebula	Kapusta brukselka	Kapusta głowiasta	Seler (korzeń)	Owies (ziarno)
Mada lekka	PK + NH ₄ NO ₃	44,7	47,5	57,8						
Wilanów	PK + N A (21,6%N)	42,7	69,7	69,7						
	PK + N C (6,7% N)	46,7	43,9	51,0						
NIR _{0,05} g/w		1,8	5,3	6,2						
	„O”		66,2	70,0						
Mada lekka	PK + NH ₄ NO ₃		191,5	115,0						
Ursynów	PK+(NH ₄) ₂ SO ₄		162,8	111,0						
	PK+N A ₁ (19% N)		197,8	99,0						
	PK+N B ₁ (11% N)		178,2	107,0						
	PK+N C ₁ (5,1% N)		153,8	68,0						
NIR _{0,05} g/w			80,3	14,8						
	„O”		65,0	71,9						
Gleba piaskowa	PK+NH ₄ NO ₃		227,0	303,7						
Zastów	PK+(NH ₄) ₂ SO ₄		254,0	423,6						
	PK+N A ₁ (19% N)		291,0	359,7						
	PK+N B ₁ (11% N)		269,0	344,5						
	„O”		68,0	67,6						
Mada lekka	PK+NH ₄ NO ₃		313,0	339,2						
Wilanów	PK+(NH ₄) ₂ SO ₄		284,0	461,2						
	PK+N A ₁ (19% N)		293,0	381,7						
	PK + B ₁ (11% N)		282,0	383,6						
NIR _{0,05} g/w w zależności od gleby (p 10 – 19)			17,6	29,6						
NIR _{0,05} g/w w zależności od nawożenia			27,8	46,7						

TABELA 5. Plony roślin nawożonych różnymi formami azotu (doświadczenie polowe)

Rodzaj gleby	Nawożenie	(t/ha)									
		Kukurydza		Burak pastewny		Jęczmień jary		Rzepa ścierniskowa			
		zielona masa	liście z.m.	korzeń z.m.	korzeń z.m.	ziarno p.s.m	słoma p.s.m	korzeń z.m.	liście z.m.		
Mada lekka (Ursynów)	„O”	66,7	41,0	94,0	2,62	2,52	27,5	5,7			
Mada lekka (Ursynów)	PK+NH ₄ NO ₃	75,8	43,5	114,5	4,63	4,70	42,7	10,2			
Mada lekka (Ursynów)	PK+N- (NH ₄) ₂ SO ₄	85,6	34,6	109,6	4,25	4,14	48,0	10,5			
Mada lekka (Ursynów)	PK+N A ₁ (krystal. 19 %)	89,3	31,3	105,5	4,57	4,60	42,5	9,5			
Mada lekka (Ursynów)	PK+N B ₁ (zapopiel. 11%)	81,5	33,3	110,6	3,742	4,22	35,5	7,0			
NIR _{0.05} (q/ha)		15,8	12,5	12,0	0,364	0,921	6,22	1,88			

p.s.m. – plon suchej masy

z.m. – zielona masa

TABELA 6. Skład chemiczny kukurydzy i buraka pastewnego

Nazwa kombinacji	N	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	P (%)	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr
	ppm											
ogólne												
% s.m												
Kukurydza - ziarno												
„0”	1,32	0,30	0,07	0,003	0,50	0,38	33,0	23,5	3,6	9,0	<0,6	<1,0
PK+N-NH ₄ NO ₃	1,68	0,23	0,10	0,003	0,44	0,40	57,0	38,0	6,0	11,0	<0,6	<1,0
PK+N-(NH ₄) ₂ SO ₄	1,61	0,19	0,09	0,003	0,40	0,40	27,0	29,0	5,4	6,0	<0,6	<1,0
PK+N A1	1,67	0,17	0,10	0,003	0,50	0,42	25,0	26,0	4,4	6,0	<0,6	<1,0
/krystal. 19%/												
PK+N B1	1,58	0,18	0,09	0,004	0,50	0,40	34,0	37,0	11,0	6,0	<0,6	<1,0
/zapopiel. 11%/												
Kukurydza - łodyga												
„0”	1,00	0,41	0,11	0,008	1,90	0,20	76,0	2,5	1,7	śl. < 6	1,0	<3,3
PK+N-NH ₄ NO ₃	0,84	0,40	0,09	0,01	1,70	0,21	65,0	9,7	11,2	śl. < 6	1,0	<3,3
PK+N-(NH ₄) ₂ SO ₄	0,99	0,62	0,12	0,01	2,40	0,23	107,0	15,5	4,2	śl. < 6	1,0	<3,3
PK+N A1	0,99	0,25	0,08	0,02	1,80	0,20	99,0	12,0	1,8	śl. < 6	1,0	<3,3
/krystal. 19%/												
PK+N B1	0,81	0,35	0,10	0,02	1,90	0,20	95,0	15,0	1,9	śl. < 6	1,0	<3,3
/zapopiel. 11%/												
Burak pastewny - korzeń												
„0”	0,79	0,19	0,10	0,07	2,5	0,2	101,0	41,0	3,94	111,0	1,0	1,0
PK+N-NH ₄ NO ₃	0,94	0,14	0,12	0,10	2,6	0,2	64,6	39,6	4,76	42,9	1,0	1,0
PK+N-(NH ₄) ₂ S ₄	0,60	0,11	0,08	0,06	2,1	0,2	75,2	30,9	3,40	62,1	1,0	1,0
PK+N A1	0,66	0,07	0,60	0,05	3,0	0,26	43,0	13,1	0,56	30,8	1,0	1,0
/krystal. 19%/												
PK+N B1	0,62	0,12	0,50	0,07	2,2	0,2	76,2	32,1	5,6	5,2	1,0	1,0
/zapopiel. 11%/												
Burak pastewny - liście												
„0”	2,07	1,04	0,65	0,70	3,8	0,24	244,0	68,0	4,28	2,4	1,0	1,0
PK+N-NH ₄ NO ₃	2,24	1,44	0,59	0,70	4,5	0,28	360,0	72,0	6,68	13,3	1,0	1,0
PK+N-(NH ₄) ₂ SO ₄	2,60	1,14	0,51	0,60	4,1	0,30	260,0	81,0	6,98	1,5	1,0	1,0
PK+N A1	2,64	1,24	0,83	0,70	4,1	0,31	221,0	41,0	7,82	2,0	1,0	1,0
/krystal. 19%/												
PK+N B1	2,60	1,93	0,83	0,70	3,0	0,28	254,0	60,0	8,40	16,3	1,0	1,0
/zapopiel. 11%/												

2. Analizowane pod względem składu chemicznego odpady (A_1 , B_1 , C_1) charakteryzowały się znaczną zawartością w swej masie innych (poza azotem) pierwiastków – makro- i mikroelementów, które znajdowano również w popiele EC Kawęczyn. Z analizy składu chemicznego roślin (nawożonych odpadami) wynika, że domieszka w badanych odpadach innych poza azotem pierwiastków chemicznych nie stanowi zagrożenia dla środowiska glebowego, w przypadku użycia tych odpadów jako nawozów. Przeciwnie, szereg składników chemicznych, jak np. Ca, Mg, K, P, S, a także Cu, B mogą zwiększyć wartość nawozową odpadów.

3. Występująca w odpadach forma azotu amonowego wolno i stopniowo ulega w glebie nityfikacji. Obydwie formy azotu ($N-NH_4$ i $N-NO_3$) znajdujące się w odpadach, są łatwo rozpuszczalne w wodzie, a zatem dostępne dla roślin. Azot zawarty w odpadach spalinowych ulega podobnym przemianom w glebie jak azot z porównywanych nawozach azotowych (NH_4NO_3 i $(NH_4)_2SO_4$).

4. Oceniając wartość nawozową w doświadczeniach wegetacyjnych 5 omawianych rodzajów odpadów (A , C , A_1 , B_1 , C_1), w stosunku do działania kontrolnego azotanu amonu i siarczanu amonu, można stwierdzić, że wartość nawozowa analizowanych odpadów nie odbiegała, a często (dla niektórych roślin) była wyższa od wartości nawozowej powszechnie stosowanych obydwóch nawozów azotowych. Zarówno odpady z oczyszczania spalin, jak i nawozy azotowe były stosowane pod 13 gatunków roślin (burak ćwikłowy, szpinak, jarmuż, kalarepa, brukselka, kapusta głowiasta, seler,

owies, kukurydza, burak pastewny, jęczmień jary, rzepa ścierniskowa) w tych samych ilościach i warunkach doświadczenia.

5. Uzyskane plony roślin w warunkach doświadczeń wazonowych i polowych oraz nie budzące obaw ze względu na jakość rośliny wskazują na wysoką wartość nawozową (pod względem azotu) odpadów z oczyszczania spalin. Odpady w działaniu nawozowym nie ustępują powszechnie stosowanym nawozom azotowym, stosowanym w rolnictwie, a w niektórych przypadkach mogą dać nawet lepsze efekty.

Literatura

- BREMNER J.M. 1965: *Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and microbiological properties*. Amer. Soc. of Agr.Inc.Mad.Wisconcs USA.
- BURGHARDT A., BUCZEK J. 1994: *Ograniczenie emisji szkodliwych gazów*. PAN, Nauka 3.
- MACIAK F., DUCZYŃSKI P. 1992: *Ocena wartości produkcyjnej nawozów azotowych uzyskanych w czasie spalania węgla kamiennego*. Mat.konf.nauk. Ochrona i kształtowanie środowiska rolniczego. Wydż. Mel. i Inż. Środ. SGGW.
- MACIAK F. 1995 : *Wykorzystanie odpadów z odsiarczania spalin kotłowych jako nawozów azotowych*. Kat. Rekult. Środ. Przyrod. EC Kawęczyn (maszynopis)
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIATKO Z. 1991: *Metodyka analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Katalog, Warszawa.
- Pilot plant for electron beam removal of SO_2 and NO_x from flue gas at EPS Kawęczyn. Mater. Instyt. of Nuclear Chem. and Technol. Warszawa 1989.

Adres autora

F. Maciak
Katedra Rekultywacji Środowiska
Przyrodniczego SGGW
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166