

ZAWARTOŚĆ MIKROELEMENTÓW W ROŚLINACH UPRAWIANYCH NA REKULTYWOWANYCH SKŁADOWISKACH POPIOŁU Z WĘGLA BRUNATNEGO I KAMIENNEGO

Elżbieta Biernacka

Instytut Przyrodniczych Podstaw Melioracji AR, Warszawa

Energetyka i hutnictwo opierając swój proces technologiczny głównie na węglu kamiennym i brunatnym pozostawiają w wyniku swej działalności uboczny produkt w postaci odpadów paleniskowych. Jednym ze sposobów przywrócenia gospodarce terenów zajętych przez hałdy popiołu jest ich rekultywacja rolnicza. Z dużym powodzeniem udało się wprowadzić na składowiska popiołu wiele gatunków roślin, a obecnie kontynuuje się prace rozszerzające ich asortyment.

Z punktu widzenia wartości użytkowej wyhodowanych roślin ważnym jest poznanie ich składu chemicznego. Szczególną uwagę zwrócono na mikroelementy, takie jak: bor, mangan, cynk, magnez, żelazo, gdyż ze względu na znaczną ich koncentrację w odpadach paleniskowych zachodziła obawa nadmiernego ich pobierania przez rośliny.

Liczne badania wykazały duże nagromadzenie mikroelementów w roślinach, dla których stężenia te nie zawsze są toksyczne, mogą jednak powodować groźne następstwa chorobowe u ludzi bądź zwierząt spożywających je.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Badaniami dotyczącymi zawartości mikroelementów objęto składowiska popiołu z węgla brunatnego elektrowni Konin, Adamów oraz składowiska popiołu z węgla kamiennego elektrowni Skawina, Siekierki, Jaworzno, Halemba, Blachownia, Ostrołęka i Stalowa Wola.

Analizie chemicznej poddano popioły, jak również rośliny na nich wyrosłe.

Ponadto na popiele z węgla kamiennego z elektrowni Siekierki założono mikropoletkowe doświadczenia w szklarni z następczą (po kupkówe

i nostryku) uprawą roślin warzywnych, zaś na hałdach w Koninie i Adamowie — doświadczenie wegetacyjne polowe. Na mikropoletkach o powierzchni 2 m² i miąższości 50 cm warstwy popiołu z elektrowni Siekierki zastosowano następujące kombinacje:

1. Gleba mineralna + NPK,
2. Popiół + warstwa 20 cm gleby mineralnej + NPK,
3. Popiół + warstwa torfu niskiego (100 t/ha) + NPK,
4. Popiół + NPK.

Glebę mineralną typu bielcowego (piasek słabo gliniasty) użyto jako kombinację porównawczą w stosunku do kombinacji popiołowych. Na powierzchnię mikropoletek zastosowano nawozy mineralne NPK po 200 kg/ha każdego ze składników.

Doświadczenia wegetacyjne polowe z uprawą mieszanki traw założono na składowiskach popiołu z węgla brunatnego w Koninie i Adamowie.

W Koninie zastosowano kombinacje:

1. 0,
2. NPK + mikroelementy (Cu, Mn, B, Mo, Zn, Fe),
3. NPK + mikroelementy + torf przejściowy,
4. NPK + mikroelementy + węgiel brunatny,
5. NPK + mikroelementy + siarka,
6. NPK + mikroelementy + siarka + torf.

W Adamowie był następujący układ kombinacji:

- 1 — NPK,
- 2 — NPK + torf wysoki.

Nawożenie mineralne NPK zastosowano po 200 kg/ha każdego ze składników. Mikroelementy: siarczan miedzi — 100 kg/ha, siarczan manganu — 100 kg/ha, boraks — 20 kg/ha, molibdenian amonu — 4 kg/ha, siarczan cynku — 5 kg/ha, chlorek żelaza — 23,4 kg/ha, torf — 100 t/ha, węgiel brunatny — 100 t/ha, siarka — 2 t/ha.

Analizy chemiczne wykonano w następujący sposób: a) Cu, Mn, Zn, Mg, Fe — oznaczono na spektrofotometrze absorpcji atomowej, b) B — kolorymetrycznie z kurkumina, c) CaO — metodą szczawianową, d) Al₂O₃ — z wyliczenia z sumy tlenków, a pH — potencjometrycznie przy użyciu elektrody szklanej.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Jak wynika z przedstawionych tabel 1 i 2, warzywa uprawiane na różnych kombinacjach pobrały zróżnicowane ilości mikroelementów, szczególnie wyraźne jest to w przypadku magnezu. Koncentracja magnezu w roślinach z kombinacji 4 (popiół + NPK) była największa, przewyższała kilkakrotnie jego zawartość w roślinach wyrosłych na glebie

Tabela 1

Zawartość mikroelementów w (ppm) w suchej masie warzyw uprawianych na mikropoletkach

Kombinacja	Buraki ćwikłowe (korzeń)				Rzodkiewka (korzeń)				Kapusta biała głowiasta				Kalafior (korzeń)				Selery (korzeń)				Kalarepa											
	Mg	Zn	Mn	Cu	Fe	B	Mg	Zn	Mn	Cu	Fe	B	Mg	Zn	Mn	Cu	Fe	B	Mg	Zn	Mn	Cu	B	Mg	Zn	Mn	Cu	B				
1. Gleba mineral- na + NPK	250	132	270	7,2	406	20	810	64	83	3,0	103	25	1800	33	32	1,9	44	2500	24	29	6,0	33	976	26	18	2,3	19	400	30	20	9,3	32
2. Popiół + war- stwa gleby mineralnej (20 cm) + + NPK	1290	126	98	10,1	489	26	920	50	29	2,6	135	36	2600	38	18	2,8	45	4500	28	16	4,6	36	992	30	14	2,0	52	4600	34	15	8,6	37
3. Popiół + torf niski (100 t/ha) + NPK	1325	78	40	8,3	540	28	1170	102	34	2,8	84	33	2960	35	16	2,6	44	6750	32	19	5,2	35	1010	32	13	1,7	48	4750	33	17	9,0	35
4. Popiół + NPK	3500	59	34	10,3	630	29	1920	60	22	2,9	80	35	3250	31	16	2,4	45	5250	36	18	3,1	37	1008	34	13	2,1	56	4770	35	15	9,1	36

Tabela 2

Zawartość mikroelementów w świeżej masie pomidorów uprawianych na mikropoletkach

Kombinacja	Pomidory (owoce)				
	Mg	Zn	Mn	Cu	Fe
1. Gleba mineralna + +NPK	650	1,3	2,6	0,36	26
2. Popiół + warstwa gleby mineralnej (20 cm) + +NPK	1108	1,5	1,2	0,26	3,0
3. Popiół + torf niski (100 t/ha) +NPK	1300	1,4	0,7	0,22	3,1
4. Popiół + NPK	1325	1,7	0,6	0,31	3,4

mineralnej (kombinacja 1). Największe ilości magnezu zawierały buraki ćwikłowe — 3500 ppm, tj. czterokrotnie więcej w porównaniu z ilością tego składnika w burakach z gleby mineralnej. Zwiększone pobieranie magnezu w stosunku do porównawczej kombinacji z glebą mineralną zaznaczyło się we wszystkich uprawianych warzywach również w kombinacjach 2 i 3 (popiół + gleba mineralna i popiół + torf).

Należy zaznaczyć, że ilości tego pierwiastka nie są nadmierne, lecz znajdują się w granicach normy dla roślin dobrze odżywionych [8].

Bardziej intensywne pobieranie magnezu przez rośliny z kombinacji 2, 3 i 4 można tłumaczyć większą zasobnością popiołu w ten pierwiastek (tab. 6) w zestawieniu z glebą mineralną, a także łatwiejszą jego dostępnością, związaną z wysokim pH siedliska, wiadomo bowiem, że w odczynie zasadowym magnez znajduje się w formach rozpuszczalnych.

Duże ilości magnezu znajduje się także w sianie traw uprawianych w doświadczeniach polowych na składowiskach popiołu elektrowni Konin i Adamów (tab. 3).

Zawartość cynku w warzywach pochodzących z różnych kombinacji nie była bardzo zróżnicowana (tab. 1 i 2). Jest to prawdopodobnie spowodowane tym, że rośliny warzywne mają małe zapotrzebowanie na ten pierwiastek i, jak wykazały prace Bertranda i Bensona (cyt. Maksimow [5]), pobierają go w przedziałach ilościowych charakterystycznych dla danego rodzaju.

Ilość cynku pobrana przez trawy jest bardziej zróżnicowana w zależności od kombinacji (tab. 3). Większe jego ilości określono w sianie z kombinacji 4 i 5 (NPK + mikroelementy + siarka i NPK + mikroelementy + siarka + torf), pozostałe zaś kombinacje posiadały zbliżoną do siebie ilość cynku.

Porównując koncentrację cynku w sianie z hałd w Koninie i Adamo-

Tabela 3

Zawartość mikroelementów (ppm) w sianie mieszanki traw z doświadczeń polowych na składowiskach popiołu elektrowni Konin i Adamów

Kombinacja	I pokos				II pokos			
	Mg	Cu	Zn	Mn	Mg	Cu	Zn	Mn
Elektrownia Konin — A*								
1. NPK + mikroelementy	1850	6,3	64	50	1580	5,8	57	49
2. NPK + mikroelementy + torf	1920	6,1	75	50	1360	5,6	80	51
3. NPK + mikroelementy + węgiel	2120	5,0	120	60	1850	5,1	110	5,6
4. NPK + mikroelementy + siarka	2080	9,1	90	95	1550	8,8	91	93
5. NPK + mikroelementy + siarka + torf	1690	6,0	100	90	1350	6,2	98	90
Elektrownia Konin — B**								
1. NPK + mikroelementy	1870	6,4	67	55	1430	5,7	65	57
2. NPK + mikroelementy + torf	1650	6,5	80	60	1290	8,0	79	55
3. NPK + mikroelementy + węgiel	2030	5,4	95	60	1600	4,8	102	58
4. NPK + mikroelementy + siarka	1510	6,3	70	90	1555	5,4	105	91
5. NPK + mikroelementy + siarka + torf	1100	4,5	90	70	1350	4,3	94	82

* A — dawki; I pokos NPK po 200 kg/ha każdego ze składników; II pokos NPK po 200 kg/ha każdego ze składników,

** B — dawki; I pokos NPK po 100 kg/ha każdego ze składników; II pokos NPK po 50 kg/ha każdego ze składników.

wie, widać ponad dwukrotnie większą jego ilość w sianie z Konina. To zróżnicowanie można tłumaczyć większą zasobnością w cynk popiołu z Konina (tab. 4). W roślinach samosiejkach pochodzących ze składowisk popiołu z węgla kamiennego znaleziono znacznie mniejsze ilości tego mikroelementu (tab. 5) — nie przekraczające 27 ppm.

Zawartość manganu w warzywach była uzależniona od kombinacji i była znacznie niższa we wszystkich warzywach wyrosłych na popiele w porównaniu z warzywami pochodzącymi z gleby mineralnej (tab. 1, 2).

Tabela 4

Skład chemiczny popiołu ze składowisk elektrowni Skawina, Siekierki, Adamów, Konin, Blachownia, Halemba, Łaziska, Jaworzno

Składowisko popiołu	Fe ₂ O ₃		CuO	MgO	R ₂ O ₃	AL ₂ O ₃	Mn	Zn	Na	Cu
	pH	‰ s.m.						ppm		
Skawina	8,7	2,75	5,93	2,32	5,06	1,85	900	300	400	60
Siekierki	9,2	5,80	3,61	1,63	7,31	1,42	500	100	300	59
Adamów	9,1	3,84	13,20	1,67	9,50	5,24	1900	105	406	18
Konin	11,2	1,58	30,92	6,01	12,08	10,49	1700	320	480	
Blachownia	—	—	—	—	—	—	260	95	—	03
Halemba	—	—	—	—	—	—	440	121	—	49
Łaziska	—	—	—	—	—	—	360	43	—	28
Jaworzno	—	—	—	—	—	—	310	98	—	16

Zjawisko to prawdopodobnie jest spowodowane małą ilością w popiele manganu rozpuszczalnego i wymiennego mimo znacznych ilości manganu ogólnego. Mała przyswajalność manganu przez rośliny wywołana jest zapewne obecnością dużej ilości wapnia wymiennego. Według Snidera [5] w takich warunkach rośliny mogą odczuwać brak manganu. Znikoma ilość manganu (od 3,8 do 14 ppm) w roślinach wyrosłych samorzutnie na składowiskach popiołu (tab. 5) zdaje się potwierdzać ten fakt. Na-

Tabela 5

Zawartość mikroelementów (ppm) w roślinach samosiejkach wyrosłych na składowiskach popiołu (1973 r.)

Składowisko popiołu	Roślina	Zn	Mn	Fe	Cu	B
Błachownia	rzodkiew świrzepa	25	14	346	3,3	55
Błachownia	komosa biała	27	5,9	310	6,0	98
Jaworzno	komosa biała	24	4,8	289	5,4	96

leży jednak zaznaczyć, że w przypadku omawianych warzyw ilość zgromadzonego w nich manganu nie odbiega od norm przeciętnych [8], jedynie zawartość manganu w sałacie wyrosłej na kombinacjach z popiołem (tab. 1) wydaje się zbyt niska [6]. Podobnie jak warzywa, tak i siano z doświadczenia polowego w Koninie posiada dostateczną ilość manganu (tab. 3).

Zdrowotność roślin nie tylko zależy od bezwzględnych ilości poszczególnych pierwiastków, lecz także od wzajemnego ich stosunku. I tak o równowadze oksydoredukcyjnej w roślinie decyduje stosunek Fe : Mn. Opierając się na stwierdzeniach Gerretseny [2], podającego korzystny dla roślin stosunek Fe : Mn = 1,5-2,5 : 1, z przeprowadzonych badań wynika, że stosunek Fe : Mn był zachwiany na niekorzyść manganu we wszystkich analizowanych roślinach, oprócz warzyw wyrosłych na kombinacji kontrolnej gleby mineralnej i sałaty wyrosłej na kombinacjach 2, 3, 4 (tab. 1). Sałata ta miała ponad dwukrotnie mniejszą ilość żelaza w porównaniu z wyrosłą na glebie mineralnej, a ponieważ równocześnie pobrała mniej manganu, to stosunek tych pierwiastków był w granicach normy. Rażący niedobór manganu w stosunku do żelaza jest widoczny w samosiejkach (tab. 5).

Pobieranie miedzi przez wszystkie będące przedmiotem badań rośliny jest prawidłowe w aspekcie żywieniowym. Nie obserwuje się wpływu popiołu na koncentrację tego mikroelementu.

Podobnie jak miedź, tak i bor znajduje się w warzywach w ilościach przeciętnie spotykanych w tych roślinach. Koncentracje boru w warzywach z różnych kombinacji różnią się niewiele. Jedynie w przypadku

selera widać zwiększone pobieranie boru na kombinacjach z popiołem (tab. 1).

Prawidłowa zawartość boru w warzywach nie może jednak doprowadzić do wniosku, że siedlisko odpadów paleniskowych z węgla kamiennego nie zagraża nadmiernemu pobieraniu przez rośliny tego pierwiastka, gdyż warzywa były uprawiane następczo po kupkówce i nostryku, zawierających nadmierne ilości B. Nie jest wiadome, czy uprawianie warzyw na popiele bez wstępnej jego rekultywacji nie spowodowałoby w nich zbyt dużej zawartości boru. Za toksycznością odpadów paleniskowych pod względem zawartości tego mikroelementu przemawia fakt nadmiernych jego ilości w roślinach samosiejkach (tab. 5) i w roślinach pochodzących z pól produkcyjnych różnych składowisk popiołu (tab. 6). Wydaje się, że w pierwszym okresie rekultywacji składowisk popiołu może istnieć obawa nadmiernej koncentracji tego pierwiastka w uprawianych roślinach.

Tabela 6

Zawartość mikroelementów (ppm) w roślinach uprawianych w 1973 r.
na składowiskach popiołu

Składowisko popiołu	Roślina	Zn	Mn	Fe	Cu	B
Skawina	pszenica	40	74	234	4,3	—
Skawina	łubin	102	116	550	8,3	—
Skawina	bobik	91	54	540	12,0	—
Błachownia	nostryk	26	28	276	5,3	110
Łaziska	nostryk	35	36	440	4,4	112
Halemba	gorczyca	53	32	480	3,3	68
Jaworzno	kostrzewa czerwona	98	31	630	1,8	70

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Na odpadach paleniskowych elektrowni Siekierki można uprawiać warzywa takie jak: pomidory, buraki ćwikłowe, rzodkiewka, kapusta, kalafiory, selery, kalarepa.

2. Skład chemiczny warzyw uprawianych następczo po trawach i nostryku nie budzi zastrzeżeń pod względem zawartości Zn, Cu, Mg, B.

3. Rośliny uprawiane na popiele wykazały zbyt niskie ilości manganu.

LITERATURA

1. Eiernacka E.: Badania nad przydatnością odpadów paleniskowych elektrowni Siekierki do uprawy roślin warzywnych. Roczn. Nauk rol., t. 100-A, 1974.
2. Gerretsen F. C.: Manganese deficiency of oats its relation to soil wactena. Ann. Bot., 1, 1937.

3. Maciak F., Liwski S., Biernacka E.: Skład chemiczny roślin ze składowisk popiołu po węglu brunatnym i kamiennym. Roczn. glebozn. (w druku).
4. Maciak F., Liwski S., Biernacka E.: Właściwości fizyko-chemiczne i biochemiczne składowisk popiołu z węgla brunatnego i kamiennego. Roczn. glebozn. t. XXV z. 3 1974.
5. Maksimow A.: *Mikroelementy i ich znaczenie w życiu organizmów*. PWRiL 1954.
6. Ruszkowska M.: Próba oznaczania przyswajalnego manganu w glebie za pomocą sałaty jako rośliny wskaźnikowej. Roczn. glebozn., t. 9, 1960.
7. Skawina T., Zubikowska-Skawinowa Z.: Zagadnienie toksyczności i neutralizacji na rekultywowanych zwałowiskach kopalni węgla brunatnego Turoszów. Węgiel brun., nr 2, 1964.
8. Souci—Fachman—Kraut: *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwert-Tabellen*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft MBM. Stuttgart 1962.