

Badania nad zawartością manganu, miedzi i kobaltu w glebie oraz w roślinach lasu bukowego w Muszkowicach na Dolnym Śląsku

*Studies on the manganese, copper, and cobalt content in the soil and in the
vegetation of beech forest at Muszkowice, Lower Silesia*

J. SAROSIEK I K. WACHOWSKA

WSTĘP

Praca niniejsza jest częścią problemowych badań nad biocenozą lasu bukowego w Muszkowicach na Dolnym Śląsku (rezerwat przyrodniczy) zapoczątkowanych przez prof. dr S. Macko jeszcze w roku 1948. Szczegółowe prace, jakie od szeregu lat prowadzone są w tym rezerwacie przyrodniczym, mają na celu dokładne poznanie bioekologii zbiorowiska lasu bukowego. Obserwacje naukowe w tym zakresie prowadzą pracownicy Katedr Botanicznych i Zoologicznych Wrocławskiego Uniwersytetu. Podjęcie wszechstronnych badań przyrodniczych w lesie bukowym w Muszkowicach podkreśla znaczenie dla nauki rezerwatów przyrodniczych i wskazuje na właściwe ich wykorzystanie, do czego apelują St. Adama-czewski (1956) i S. Myczkowski (1956) na łamach „Kosmosu“.

Zainicjowanie kompleksowych badań przyrodniczych w lesie bukowym w Muszkowicach przez prof. dr S. Macko dało już pewne rezultaty. S. Macko (1954) opracował roślinność tego rezerwatu i warunki ekologiczne jej występowania. H. Krzemieniewska i L. Badura (1954a, 1954b) przeprowadzili badania nad mikroflorą lasu bukowego w Muszkowicach. Badania bakteriologiczne nad ściółką i glebą tego rezerwatu przeprowadziła J. Stabrowska (1956), a K. Wolniewicz-Czerwińska (1956) badania nad rodzajem *Streptomyces* ze ściółki tego lasu. Opublikowano również badania zoologiczne pracowników Instytutu Zoologicznego przeprowadzone w tym rezerwacie.

Celem niniejszej pracy było zbadanie zależności między zawartością manganu, miedzi i kobaltu w roślinach a ich zawartością w podłożu oraz zbadanie czynników ekologicznych gleby warunkujących tę zależność. W tym celu zanalizowano zawartość manganu, miedzi i kobaltu oraz nie-

których makroelementów w roślinach zielnych i drzewach na tle szczegółowej analizy warunków siedliskowych, co jest nowym aspektem w badaniach nad zawartością mikroelementów w glebie i w roślinach, a więc w zakresie chemicznej ekologii roślin. Jednym z założeń chemicznej ekologii roślin (J. Sarosiek 1955) jest przeprowadzanie badań nad zawartością mikroelementów w roślinach w ich naturalnym środowisku w różnych okresach wegetacji, między innymi i dlatego, że stan mikroelementów w glebie ulega ciągłym zmianom w zależności od pory roku. Zagadnieniu dynamiki zmian zawartości niektórych mikroelementów w układzie biogeocenotycznym, jaki stanowią rośliny zbiorowiska leśnego i gleba, poświęcono dotychczas niewiele uwagi. Nie przeprowadzano tego rodzaju systematycznych i szczegółowych badań w powiązaniu z analizą warunków siedliskowych. Niniejsza praca jest pierwszą tego rodzaju pracą naukową w Polsce, uwzględniającą założenia chemicznej ekologii roślin i przeprowadzoną w naturalnych warunkach. W dotychczasowych badaniach nad zawartością różnych mikroelementów w roślinach i glebach przeprowadzanych najczęściej pod kątem widzenia ich gospodarczego znaczenia niewiele uwagi poświęcono zagadnieniom ekologicznym. Brak analizy ekologicznej warunków siedliskowych stanowi bardzo ważną przeszkodę przy porównywaniu zawartości mikroelementów w roślinach i glebach podawanych w pracach różnych autorów. Bez szczegółowych badań uwzględniających założenia chemicznej ekologii roślin wnioski wysnuwane tylko na podstawie samych analiz chemicznych z natury rzeczy są bardzo ograniczone i nie przyczyniają się do dalszego rozwoju badań nad zawartością mikroelementów.

Prace terenowe przeprowadziliśmy w okresach wegetacyjnych lat 1954, 1955 i 1956. Prace laboratoryjne wykonaliśmy w Katedrze Ekologii i Geografii Roślin Uniwersytetu Wrocławskiego.

W tym miejscu składamy serdeczne podziękowanie za cenne rady i wskazówki oraz za pokierowanie tokiem naszej pracy panu prof. dr Stefanowi Macko, kierownikowi Katedry.

DOTYCHCZASOWE BADANIA

Literatura obejmująca badania mikroelementów w życiu roślin jest bardzo obszerna; w tym rozdziale omawiamy tylko te prace, które dotyczą zagadnienia zależności zawartości mikroelementów w glebie i w roślinach od warunków siedliskowych i zagadnienia zmian tych zawartości w okresie wegetacyjnym.

Mangan w glebie. W normalnych glebach zawartość manganu waha się w szerokich granicach, od 5 do 4000 mg/kg s.m. gleby (A. Ma k-

simow 1954), przy czym górne warstwy gleb zawierają więcej manganu niż dolne (A. Musierowicz 1956, E. K. Krugłowa 1956, P. A. Własiuk 1950). Badania E. Russela (1931) wykazały, że w glebach o odczynie kwaśnym ilość rozpuszczalnego manganu jest wystarczająca dla rozwoju roślin, w glebach o odczynie słabo kwaśnym lub obojętnym przyswajalność manganu mała, a w glebach o odczynie zasadowym przyswajalność manganu zwiększa się. Niedobór więc manganu występuje najczęściej w glebach o pH 6—7. Z badań P. A. Własiuka (1953, Maksimow 1954) nad zawartością dostępnego roślinom manganu w glebie wiemy, że najmniej manganu wymiennego zawierają gleby na wiosnę, przy czym ilość manganu w glebie stopniowo wzrasta do sierpnia, od października zaś następuje znaczny spadek zawartości wymiennego manganu. E. K. Krugłowa wykazała, że w środowisku wilgotnym i przy pH wyższym od 7 połączenia przyswajalnego przez rośliny manganu odtwarzają się. Lepsze przewietrzanie gleby powoduje wtórne przejście manganu w formy nieprzyswajalne. Snider (cyt. A. Maksimow 1949) i J. Piszczek (1951) piszą w swych pracach o istnieniu zależności między ilością manganu wymiennego w glebie a ilością w niej wymiennego wapnia. Według tych autorów wraz ze wzrostem zawartości w glebie wymiennego wapnia następuje zmniejszenie zawartości wymiennego manganu. Kamosuta i Okada (1956) podają, że w glebach bogatych w rozpuszczalne w wodzie związki potasu znajduje się więcej dostępnego roślinom manganu niż w glebach posiadających nadmiar dostępnego wapnia. M. Lohnis (1951) wykazała, że zwiększenie ilości magnezu w glebie obniża zawartość przyswajalnego manganu. Potwierdziły to prace E. W. Bolle-Jonesa (1955), w których autor wykazał, że zwiększenie zawartości wapnia w glebie obniżało zawartość manganu w roślinach, a zwiększenie potasu w glebie zwiększało w nich zawartość manganu. O. Kosegarten (1956) podaje, że zawartość wymiennego i lekko odtwarzającego się manganu w glebie może przechodzić w okresie wegetacji silne zmiany w związku ze zmianami pogody. Według tego autora zmiany te zależą również od wielkości pH, zawartości humusu i typu gleby.

Mangan w roślinach. Lundegardh (1937) podał, że zawartość manganu w roślinach, rosnących na glebach kwaśnych i bardzo zasadowych, jest wyższa aniżeli w roślinach rosnących na glebach o odczynie obojętnym albo słabo zasadowym. Według A. Maksimowa (1954) rośliny zielne, szczególnie trawy dziko rosnące, zawierają więcej manganu od roślin uprawnych i drzew. Badania nad zawartością manganu w szpilkach kilku gatunków drzew iglastych przeprowadzili A. P. Szerbakow i M. S. Turkowa (1956) w warunkach uprawowych. Autorzy ci dowodzą, że niesłuszne jest przekonanie o gromadzeniu się manganu w starych liściach.

Miedź w glebie i w roślinach. Według J. Siedleckiego (1947) warstwy górne gleb posiadają wyższą zawartość miedzi od warstw dolnych. Według J. Antipowa-Karatajewa (1947), A. Maksimowa i H. Okruszko (1950) gleby mineralne zawierają miedź w stanie łatwo wymiennym na ogół w takich ilościach, które zaspokajają potrzeby roślin. Natomiast w glebach zasobnych w próchnicę (ziemie czarne, czarnoziemy i torfy) daje się zauważyć w ogólności brak miedzi przyswajalnej. Dotychczas w literaturze brak jest systematycznych badań nad związkami miedzi w glebie. Według A. Maksimowa (1954) rośliny we wszystkich stadiach swego rozwoju potrzebują miedzi i zwykle cały jej zapas gromadzą do momentu zawiązania pączków kwiatowych. Zawartość miedzi w owsie w poszczególnych okresach rozwoju badań B. Rademacher (1936) i stwierdził, że w początkowym okresie rozwoju roślin miedź jest pobierana bardziej intensywnie, w późniejszych zaś okresach wegetacji, mimo dalszego przyrostu masy roślinnej, mniej intensywnie.

Kobalt w roślinie i glebie. Z badań D. P. Malugi (1949) wynika, że kobalt występuje we wszystkich glebach, przy czym gleby, których skałą macierzystą są dolomity albo inne skały o charakterze zasadowym, jak np. silnie zasadowe glino-krzemiany, posiadają wyższą zawartość kobaltu. Z licznych badań D. P. Malugi (1956) i J. W. Piejwe (1949) wynika, że każda warstwa profilu glebowego posiada zmienną zawartość kobaltu. A. Kabata (1955) przedstawiła zagadnienie sorpcji miedzi i kobaltu w glebie. Chemizmem kobaltu w glebie zajmował się między innymi R. Mitchell (A. Maksimow 1954), według którego największy stopień rozpuszczalności związków kobaltu jest przy pH gleby od 4 do 5. W miarę wzrostu pH gleby zmniejsza się przyswajalność kobaltu przez rośliny. Według P. Ekmana (1952) ilość pobranego przez rośliny kobaltu przy pH 4,1 do 4,9 jest prawie dziesięciokrotnie wyższa niż przy pH 7.

Z ciekawszych prac nad zawartością kobaltu w roślinach z zakresu ekologii roślin można wymienić pracę N. Karlssona i O. Svanberga (1952), w której autorzy potwierdzają spostrzeżenia Mitchella, że zawartość kobaltu w roślinach w dużym stopniu zależy od pH gleby. Wpływ niektórych makroelementów i mikroelementów na gromadzenie kobaltu w różnych roślinach paszowych badali K. Scharrer i N. Taubl (1954). Badacze ci stwierdzili, że w miarę wzrostu koncentracji kobaltu w glebie zawartość jego w roślinach wzrastała, lecz stopień nagromadzenia kobaltu był różny. Z badań tych autorów wynika, że potas i wapń przy niedostatku fosforu w podłożu hamowały pobieranie kobaltu, a bor i mangan stymulowały ten proces. Omówione powyżej dotych-

zagadnieniu dynamiki zmian zawartości mikroelementów w roślinach. Autorzy ci podają, że twierdzenie o gromadzeniu się manganu w starzejących się liściach jest niesłuszne, ponieważ mangan już od września odpływa ze starych igieł do młodych igieł, pędów i korzeni.

METODYKA BADAŃ

Badania zawartości mikroelementów i ich zmian w okresie wegetacyjnym w roślinach przeprowadzono w dwóch wyraźnie różniących się między sobą siedliskach ekologicznych zbiorowiska lasu bukowego w Muszkowicach, które zostało dokładnie opisane przez S. Macko (1954). W naszych badaniach przy wyborze siedlisk ekologicznych kierowaliśmy się przede wszystkim różnicą właściwości fizykochemicznych gleby. Zawartość mikroelementów zanalizowano w siedlisku I (zbocze grzędy) w 11 gatunkach roślin zielnych z asocjacji runa leśnego i w czterech gatunkach drzew. W siedlisku II (dolina strumienia) zanalizowaliśmy również zawartość mikroelementów w 11 gatunkach roślin zielnych i w trzech gatunkach drzew. Niektóre gatunki roślin zielnych i drzew występowały zarówno w siedlisku I, jak i w II, co udogodniło nam przeprowadzenie analizy porównawczej.

Rośliny do analiz chemicznych zbierano sześciokrotnie w ciągu okresu wegetacyjnego. Badania te powtórzono w następnym okresie wegetacyjnym. W badaniach zawartości mikroelementów w roślinach zielnych uwzględniano głównie dwa stadia rozwojowe: stadium przed kwitnieniem i stadium po kwitnieniu. U roślin zielnych zbadano zawartość mikroelementów w liściach, łodygach i korzeniach, ewentualnie w kłaczach, natomiast u drzew zawartość mikroelementów zbadano tylko w liściach. W celu zbadania zależności między zawartością badanych mikroelementów w roślinach a warunkami ekologicznymi, wraz z pobieraniem prób materiału roślinnego pobierano równocześnie także próbki gleby, w których poza oznaczeniem zawartości mikroelementów zbadano także właściwości fizykochemiczne, jak odczyn gleby, wilgotność, zawartość próchnicy, wapnia, potasu i magnezu.

Metody oznaczania pierwiastków w roślinach i w glebie

Do oznaczania wapnia, magnezu, miedzi i manganu rośliny spalano w piecu muflowym.

Wapń oznaczono według metody Pietiersburskiego (1947) strącając go z roztworu szczawianem amonowym. Do miareczkowania szczawianu wapniowego używano 0,05 n nadmanganianu potasu.

Magnez oznaczono metodą M. Struszyńskiego (1954) strąca-

jąc go z roztworu w postaci fosforanu amonowo-magnezowego, a następnie określając jego ilość sposobem objętościowym. Do miareczkowania używano 0,1 n NaOH w obecności oranżu metylowego.

Miedź oznaczono kolorymetrycznie metodą M. Struszyńskiego (1954), za pomocą reakcji z ditizonem posługując się fotometrem Pulfricha. Stosowano filtr nr S 47.

Mangan oznaczono kolorymetrycznie metodą nadsiarczanową Beli Horwatha (A. Maksimow 1954) posługując się fotometrem Pulfricha i stosując filtr nr L 3.

Potas oznaczono w wyciągach wodnych roślin używając fotometru płomieniowego.

Kobalt oznaczono w roślinach metodą J. Reifera (1952) stosując do reakcji kolorymetrycznej beta-nitrozo-alfa-naftol, przy czym materiał roślinny spalano na mokro. Przy oznaczaniu posługiwano się fotometrem Pulfricha.

Wapń, magnez i potas oznaczono w wyciągach glebowych 0,1 n HCl, a więc oznaczono formy wymienne tych pierwiastków w glebie. Przy oznaczaniu tych pierwiastków w glebie zastosowano te same metody jak przy oznaczaniu ich w roślinach.

Mangan w glebie oznaczono metodą nadsiarczanową podobnie jak w roślinach.

Kobalt w glebie oznaczono metodą J. W. Piejwe (1952) stosując do reakcji barwnej Nitrozo-R-sól. Przy oznaczaniu posługiwano się fotometrem Pulfricha.

Do wszystkich oznaczeń kolorymetrycznych uprzednio sporządzono krzywe kalibracyjne.

OPIS BADANYCH SIEDLISK

Ogólne opracowanie warunków siedliskowych znajdujemy w pracy S. Macko (1954), który podaje szczegółowo opracowane profile glebowe siedliska zbocza grzędy i siedliska doliny strumienia. Uzupełnienia w naszych obserwacjach dotyczą tylko badań nad zawartością pierwiastków i niektórych właściwości fizyko-chemicznych gleby.

Gleba, jak wszędzie w okolicy, lessowa, gliniasta, z nieznaczną domieszką drobnego piasku bez frakcji szkieletowej. Cały górny stok rezerwatu ma glebę kwaśną, przy czym najbardziej kwaśna gleba znajduje się u stóp wyższego stoku i biegnie wzdłuż niego wąskim pasem. Według S. Macko silne zakwaszenie gleby w tym miejscu pochodzi stąd, że tu właśnie gromadzi się ściółka z opadłych i splukiwanych z górnego stoku liści rozkładających się ciężko i powoli. Gleby z doliny strumienia, mimo

dość dużej zawartości CaCO_3 , posiadają odczyn obojętny lub słabo alkaliczny.

Na zboczu grzędy, po usunięciu liści, można było wyróżnić trzy warstwy gleby: I warstwa to gleba próchnicza, bogata w resztki roślinne niecałkowicie rozłożone, II warstwa to gleba próchnicza jednolita, bez resztek roślinnych, III warstwa — gleba o barwie żółtej, z bardzo małą zawartością próchnicy. Grubość każdej warstwy wahała się w granicach od 10 do 20 cm.

W dolinie strumienia brak suchych, nierozłożonych liści. Warstwa I gleby, złożona z liści częściowo rozłożonych, o grubości 6 do 10 cm. Warstwa II gleby to właściwa gleba próchnicza z małą zawartością resztek roślinnych, około 25 cm grubości. Warstwa III — gleba o jaśniejszej barwie i gliniastej konsystencji. Wszystkie warstwy w tym profilu zawierają grudki węglanu wapnia, czego nie stwierdziliśmy w glebie zbocza grzędy.

Gleby zbocza grzędy odznaczają się znacznie niższą wilgotnością w porównaniu z glebą w dolinie strumienia. W obu siedliskach zawartość procentowa wody obniża się wyraźnie wraz ze wzrostem głębokości. Z badań J. Stabrowskiej (1956) wynika, że w ciągu roku w badanych siedliskach są dość znaczne wahania zawartości wody w warstwach I i II profilu glebowego. W warstwie I: od 42,3% do 65,6% i w warstwie II od 22,4% do 54,6%. Wahania zawartości wody w warstwie III są znacznie niższe — od 10,1% do 29,9%.

Różnice wilgotności gleby warunkują częściowo nieznaczne różnice w temperaturze obu siedlisk. Stwierdzono (S. Macko 1954) wyższą temperaturę gleby od temperatury powietrza, co pochodzi prawdopodobnie stąd, że gleba jest zwykle dość dobrze nawilgocona, a ponieważ dzięki obecności dużej ilości wapnia jej porowatość jest znaczna, przeto dość silnie paruje. Drobne różnice między temperaturą gleby zbocza grzędy i doliny strumienia wynikają prawdopodobnie też stąd, że górny stok jaru jest prawie pozbawiony runa zielnego, zaś dolny stok jaru posiada bogate runo zielne, które utrudnia parowanie wody z gleby. Dzięki temu gleba na niższym stoku jaru jest cieplejsza i dłużej zatrzymuje ciepło. Ponieważ do dalszych rozważań konieczna jest znajomość zawartości substancji organicznej w badanych glebach, dlatego przytaczamy tu wyniki badań S. Macko (1954) i K. Wolniewicz-Czerwińskiej (1956). Najwięcej substancji organicznej zawierają warstwy pierwsze tak ze zbocza grzędy, jak i z doliny strumienia. Ściółka zbocza grzędy jednakże odznacza się wyższą zawartością substancji organicznej (średnio 8,31%) niż ściółka z doliny strumienia (średnio 5,21%). Znaczne różnice znajdujemy pod tym względem w obu siedliskach w warstwach trzecich gleby. W warstwie III w dolinie strumienia znaleziono średnio 8,7% substancji organicznej, a w warstwie III ze zbocza grzędy tylko 3,4%. Wspólną cechą

wszystkich warstw obu siedlisk, niezależnie od stanu rozkładu substancji organicznej (J. Stabrowska 1956), jest duża zawartość azotu białowego wynosząca średnio od 91,3⁰/₀ do 95,6⁰/₀ azotu całkowitego, co wskazuje na brak azotu łatwo przyswajalnego. Z badań tej autorki wynika również, że rozkład błonnika i kwasów huminowych jest intensywniejszy w dolinie strumienia niż na zboczu grzędy. Wskazuje to na szybszy proces mineralizacji substancji organicznej w dolinie strumienia.

Wyniki analiz własnych zawartości makro- i mikroelementów w badanych glebach obu siedlisk są zebrane w tabeli 1.

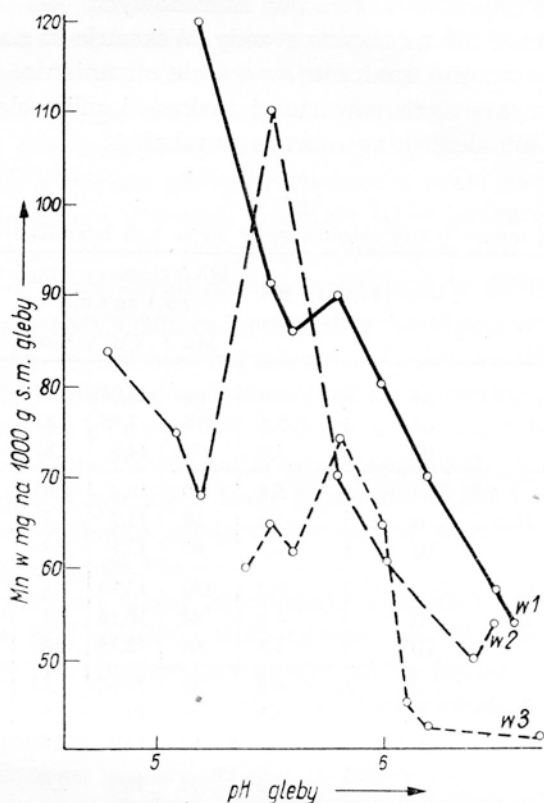
Tabela 1

Średnie zawartości mikro- i makroelementów w glebie lasu bukowego w Muszkowicach

Siedlisko i profil	War- stwa	Liczba prób	pH czynne	Mikroelementy w mg na 1 kg s.m.			Makroelementy w g na 1 kg s.m.		
				Mn	Cu	Co	Ca	Mg	K
Zbocze grzędy profil I	I	4	5,6	86	15,08	2,14	3,8	0,15	1,02
	II	4	5,5	110	7,85	2,87	3,2	0,18	1,0
	III	4	5,8	74	14,5	2,87	2,8	0,28	1,1
Zbocze grzędy profil II	I	5	5,8	90	18,4	2,03	3,0	0,1	1,0
	II	5	5,2	68	15,2	2,5	2,5	0,12	1,1
	III	5	6,0	65	13,1	2,7	1,8	0,27	1,3
Zbocze grzędy profil III	I	3	5,2	120	13,83	1,1	2,05	0,18	0,48
	II	3	4,8	84	16,16	1,7	1,8	0,21	0,50
	III	2	5,5	66	12,15	1,4	1,4	0,30	0,46
Zbocze grzędy profil IV	I	6	6,0	80	15,64	2,01	3,81	0,14	0,7
	II	6	5,8	70	14,1	2,5	3,1	0,20	0,82
	III	5	5,6	62	13,2	2,8	2,6	0,25	0,93
Zbocze grzędy profil V	I	3	5,5	91	16,8	2,0	3,7	0,25	0,85
	II	4	5,1	75	13,2	2,8	3,2	0,28	0,92
	III	4	5,4	60	12,5	2,5	2,0	0,30	1,12
Dolina strumienia profil VI	I	3	6,5	58	15,5	2,06	15,3	0,25	0,68
	II	4	6,5	54	12,15	3,52	10,4	0,31	0,68
	III	3	6,2	42	16,15	2,7	13,6	0,35	0,70
Dolina strumienia profil VII	I	4	6,2	70	33,00	2,3	7,6	0,29	0,54
	II	5	6,0	62	22,1	3,4	10,2	0,27	0,62
	III	2	6,1	45	15,5	2,1	6,3	0,32	0,56
Dolina strumienia profil VIII	I	3	6,6	54	19,66	3,06	16,1	0,25	0,67
	II	3	6,4	50	18,00	3,5	14,6	0,20	0,05
	III	3	6,7	41	16,5	2,5	12,1	0,33	0,70

Z badań własnych nad zawartością makroelementów (Ca, Mg, K) w glebach obu siedlisk lasu bukowego w Muszkowicach wynikają dość znaczne różnice między glebą siedliska zbocza grzędy a glebą siedliska doliny stru-

mienia w zawartości zbadanych pierwiastków. Gleby zbocza grzędy odznaczają się brakiem węglanu wapnia, natomiast gleby z doliny strumienia, zwłaszcza w warstwie III, odznaczają się dość dużą jego zawartością, co potwierdzają badania S. Macko (1954). Ogólna zawartość



Wykres I. Zależność zawartości przyswajalnego manganu w trzech warstwach gleby w lesie bukowym w Muszkowicach od kwasowości (pH) gleby

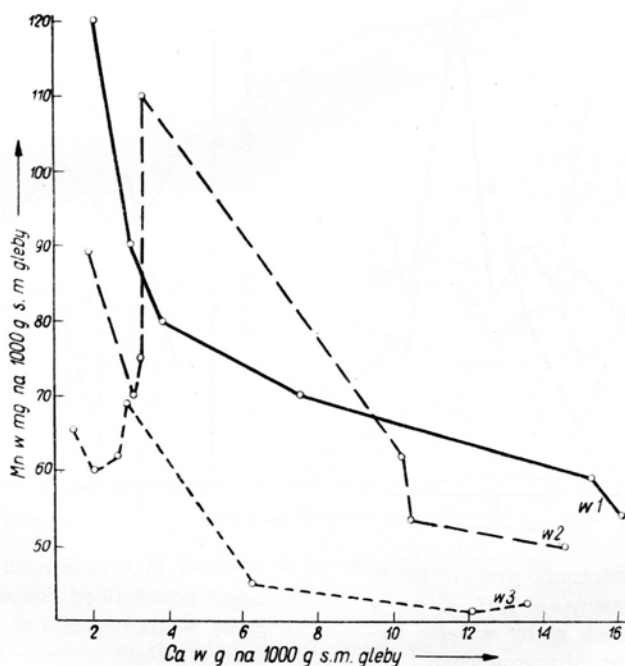
wapnia w glebach zbocza grzędy waha się w granicach od 1,4 do 3,8 g/kg s.m. gleby, przy czym większa ilość wapnia występuje w warstwie próchnicznej (I), co wskazuje na pochodzenie wapnia w tej warstwie z rozkładu szczątków organicznych. Gleby doliny strumienia posiadają znacznie wyższą zawartość wapnia (7,6 do 16,2 g/kg s.m. gleby). Wapń w tej glebie występuje głównie w formie węglanowej.

Z analiz glebowych nad zawartością magnezu wynika, że gleby z doliny strumienia w porównaniu z glebą zbocza grzędy odznaczają się nieco wyższą zawartością magnezu dostępnego roślinom. Zawartość magnezu w glebie zbocza grzędy waha się w granicach od 0,10 do 0,30 g/kg s.m. gleby, a w glebach doliny strumienia w granicach od 0,20 do 0,35 g/kg s.m.

gleby. Należy zaznaczyć, że zawartość magnezu wzrasta wraz z głębokością zalegania warstw glebowych.

Zawartość potasu w glebach zbocza grzędy jest wyższa w porównaniu z jego zawartością w glebach doliny strumienia. Zawartość potasu w glebie zbocza grzędy waha się w granicach od 0,46 do 1,3 g/kg s.m. gleby, a w glebach doliny strumienia od 0,54 do 0,70 g/kg s.m. gleby.

Analizy zawartości manganu w glebach badanych siedlisk wskazują na wyższe zawartości manganu w glebie zbocza grzędy w porównaniu z glebami doliny strumienia. Zawartość dostępnego roślinom manganu w glebach zbocza grzędy waha się w granicach od 60—120 mg/kg s.m. gleby, a w glebach z doliny strumienia od 41—70 mg/kg s.m. gleby. W obu siedliskach rozmieszczenie manganu w warstwach profilu glebowego wska-



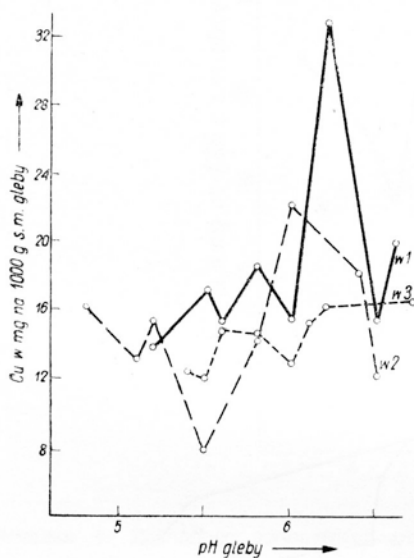
Wykres II. Zależność zawartości przyswajalnego manganu od ilości zawartego w glebie wymiennego wapnia w trzech warstwach gleby w lesie bukowym w Muszkowicach

w1 — warstwa 1, w2 — warstwa 2, w3 — warstwa 3

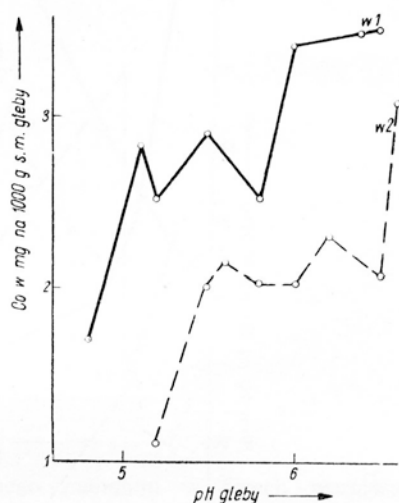
zuje na stopniowe zmniejszanie się tego mikroelementu w glebie wraz z głębokością zalegania warstw. Różnice w zawartości manganu między poziomem próchniczym a poziomem eluwalnym są szczególnie duże w glebie zbocza grzędy. Między ilością dostępnego roślinom manganu a od-

czynem gleby istnieje ścisła zależność, którą ilustruje wykres I (s. 108). Ze wzrostem pH gleby ilość dostępnego dla roślin manganu maleje. Najniższe zawartości manganu w glebie lasu bukowego w Muszkowicach zanotowano przy pH 6,8, a najwyższą przy pH 5,2.

Na wykresie II przedstawiono zależność między zawartością czynnego manganu w glebie a zawartością w niej czynnego wapnia. Wzrost zawartości czynnego wapnia obniża zawartość dostępnego roślinom manganu w glebie. Na podstawie przeprowadzonych analiz chemicznych możemy stwierdzić, że ilość dostępnego roślinom manganu w glebach lasu bukowego w Muszkowicach jest wystarczająca dla potrzeb roślin. Analiza zawartości przyswajalnej przez rośliny miedzi w glebach badanych siedlisk wskazuje na wyższe zawartości tego mikroelementu w glebie doliny stru-



Wykres III. Zależność przyswajalnej miedzi od kwasowości (pH) gleby w trzech warstwach gleby w lesie bukowym w Muszkowicach
w1 — warstwa 1, w2 — warstwa 2; w3 — warstwa 3

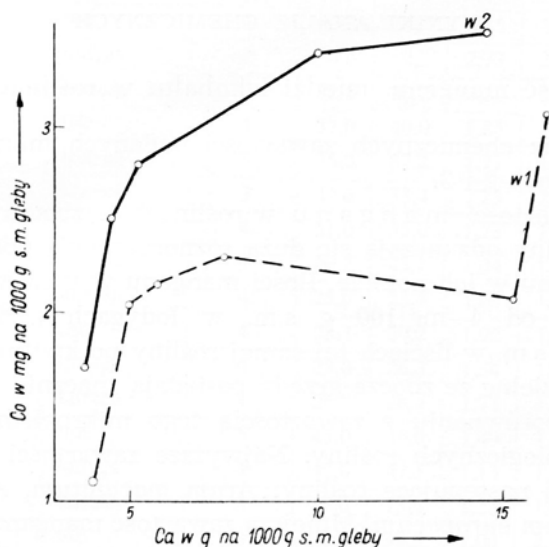


Wykres IV. Zależność przyswajalnego kobaltu od kwasowości (pH) gleby w pierwszej i w drugiej warstwie gleby w lesie bukowym w Muszkowicach
w1 — warstwa 1, w2 — warstwa 2

mienia, w porównaniu z jego zawartością w glebie zbocza grzędy. Zawartość przyswajalnej miedzi w glebie zbocza grzędy waha się w granicach od 7,85 do 18,4 mg/kg s.m. gleby, a w glebie doliny strumienia od 12,1 do 33,0 mg/kg s.m. gleby. Z przedstawionych wyników analiz zawartości miedzi w glebach obu siedlisk (tab. 1) nie można uchwycić wyraźnej prawidłowości w rozmieszczeniu tego mikroelementu w warstwach profilu glebowego. Na uwagę zasługuje fakt mniejszej nieco ilości miedzi w war-

stwie iluwialnej w glebie ze zbocza grzędy. Zależność między zawartością dostępną roślinom miedzi w glebie a kwasowością jej przedstawia wykres III. Zależność ta najwyraźniej zaznacza się w warstwie I profilu glebowego. Stwierdziliśmy wzrost zawartości dostępnej roślinom miedzi w glebie w zakresie od 5 do 6 pH.

Analizy chemiczne wykazały wyższe zawartości dostępnego roślinom kobaltu w glebach z doliny strumienia w porównaniu z zawartością tego mikroelementu w glebach ze zbocza grzędy. Zawartość kobaltu w glebie z doliny strumienia waha się w granicach od 2,06 do 3,52 mg/kg s.m. gleby, a w glebie ze zbocza grzędy od 1,10 do 2,87 mg/kg s.m. gleby. Porównując zawartość kobaltu w warstwach drugich profilu glebowego z obu siedlisk można stwierdzić znaczne różnice. Wyższą zdecydowanie zawartość ko-



Wykres V. Zmiany w zawartości dostępnego roślinom kobaltu w pierwszej i drugiej warstwie gleby w lesie bukowym w Muszkowicach w zależności od ilości wymiennego wapnia w glebie

baltu posiada warstwa II gleby z siedliska doliny strumienia. Zależność między zawartością dostępnego roślinom kobaltu w glebie a jej kwasowością przedstawiono na wykresie IV. Wyższym wartościom pH odpowiadają wyższe wartości dostępnego roślinom kobaltu w glebie. W zakresie od 5 do 6,6 pH zanotowano trzykrotny wzrost ilości przyswajalnego kobaltu w glebie. Zależność między zawartością dostępnego roślinom kobaltu w glebie a zawartością w niej wymiennego wapnia przedstawia wykres V. Wyższym wartościom wymiennego wapnia w podłożu odpowiadają wyższe wartości kobaltu.

W zakres pojęcia siedliska wchodzi również układ roślinności, który omówimy tu bardzo ogólnikowo. Stosunki fitosocjologiczne rezerwatu są szczegółowo omówione w pracy S. M a c k o (1954). Roślinność siedliska zbocza grzędy bardzo różni się od układu roślinności w siedlisku doliny strumienia, co pozostaje w prostym związku z różnicą warunków siedliskowych omówioną w tym rozdziale. Siedlisko zbocza grzędy odznacza się bardzo skąpym runem leśnym, co wynika między innymi i ze słabego prześwietlenia dna lasu. Bujnie natomiast rozwija się roślinność zielna w dolinie strumienia, gdzie ma znacznie lepsze warunki wilgotnościowe gleby i prześwietlenia. Różnice w składzie gatunkowym między obu siedliskami są dość znaczne.

WYNIKI ANALIZ CHEMICZNYCH

I. Zawartość manganu, miedzi i kobaltu w roślinach zielnych

Wyniki analiz chemicznych zawartości badanych mikroelementów są zebrane w tabelach 2 i 3.

Z analiz zawartości m a n g a n u w roślinach ze zbocza grzędy wynika, że zbadane rośliny odznaczają się dużą różnorodnością pod względem zawartości manganu w ich popiele. Ilości manganu w tych roślinach wahają się w granicy od 4 mg/100 g s.m. w lodygach (*Arum maculatum*) do 52 mg/100 g s.m. w liściach tej samej rośliny po kwitnieniu. Wszystkie badane rośliny zielne ze zbocza grzędy posiadają znacznie więcej manganu w liściach w porównaniu z zawartością tego mikroelementu w innych częściach morfologicznych rośliny. Najwyższe zawartości manganu w liściach posiadają następujące rośliny: *Arum maculatum*, *Aegopodium podagraria* i *Asarum europaeum*. Mniejszą zawartość manganu w liściach wykazują *Convallaria maialis*, *Mercurialis perennis*, *Ranunculus lanuginosus*. Zawartość manganu w lodygach badanych roślin jest mniejsza w porównaniu z zawartością tego mikroelementu w korzeniach i kłęczach, z wyjątkiem *Corydalis cava*, która odznacza się szczególnie dużą zawartością manganu w lodydze (50 mg/100 g s.m.) i *Asarum europaeum*, który zawartość manganu w lodydze jest zbliżona do zawartości tego mikroelementu w liściach tej rośliny. Z analiz zawartości manganu w korzeniach i kłęczach roślin zbocza grzędy wynika, że więcej manganu występuje w korzeniach i kłęczach u *Aegopodium podagraria* i *Asarum europaeum* (32—41 mg/100, s.m.).

Porównując zawartość manganu w roślinach zielnych ze zbocza grzędy przed kwitnieniem i po okresie kwitnienia należy stwierdzić, że wszystkie zbadane rośliny odznaczają się wyższą zawartością manganu po okresie kwitnienia zarówno w liściach, jak i w lodygach, kłęczach i korzeniach.

Tabela 2

Średnie zawartości manganu, miedzi i kobaltu w roślinach zielnych ze zbocza grzędy lasu bukowego w Muszkowicach

Nazwa rośliny	Część morfologiczna	Liczba analiz	Mikroelementy w mg/100 g s.m.					
			Mn		Cu		Co	
			a	b	a	b	a	b
<i>Aegopodium podagraria</i>	liść	3	33,0	41,0	2,36	1,66	0,0180	0,020
	łodyga	3	27,2	30,0	1,62	1,50	0,014	0,017
	korzeń	3	41,8	40,8	1,53	1,61	0,01	0,01
<i>Actaea spicata</i>	liść	3	33,0	36,0	2,50	2,12	0,021	0,023
	łodyga	3	12,0	12,0	0,97	0,84	0,018	0,021
	korzeń	3	25,0	27,0	3,67	3,3	0,015	0,013
<i>Arum maculatum</i>	liść	4	50,0	52,0	2,45	2,22	0,021	0,023
	łodyga	2	4,0	9,3	2,73	2,01	0,017	0,020
	korzeń	2	22,5	26,2	2,21	2,03	0,013	0,014
<i>Asarum europaeum</i>	liść	3	37,0	40,0	1,85	1,80	0,024	0,027
	łodyga	3	35,0	37,2	1,71	1,62	0,016	0,020
	korzeń	3	32,0	33,4	2,23	2,00	0,015	0,013
<i>Asperula odorata</i>	liść	4	31,0	33,0	1,73	1,65	0,022	0,028
	łodyga	4	20,2	23,1	1,34	1,43	0,020	0,021
	korzeń	4	25,0	28,4	1,63	1,56	0,016	0,018
<i>Convallaria maialis</i>	liść	4	28,3	30,2	1,92	1,71	0,025	0,026
	łodyga	4	23,0	26,3	1,34	1,18	0,023	0,025
	korzeń	4	26,6	28,4	1,73	1,70	0,019	0,021
<i>Corydalis cava</i>	liść	5	45,0	46,0	1,49	1,03	0,023	0,027
	łodyga	4	47,0	47,5	1,13	1,01	0,015	0,013
	korzeń	4	17,0	18,4	1,22	1,14	0,012	0,016
<i>Majanthemum bifolium</i>	liść	4	30,0	35,3	2,00	2,05	0,020	0,026
	łodyga	4	18,0	23,5	1,92	1,80	0,013	0,010
	korzeń	4	25,0	29,3	2,01	2,13	0,010	0,050
<i>Mercurialis perennis</i>	liść	3	25,0	41,0	2,28	2,20	0,021	0,024
	łodyga	3	18,0	43,0	2,12	2,20	0,011	0,012
	korzeń	4	22,0	33,0	1,00	1,24	0,010	0,015
<i>Polygonatum multiflorum</i>	liść	5	27,4	30,0	2,00	1,92	0,025	0,028
	łodyga	3	23,6	25,8	1,88	1,65	0,017	0,018
	korzeń	3	18,2	20,3	1,43	1,60	0,020	0,020
<i>Ranunculus lanuginosus</i>	liść	4	25,0	37,0	3,33	3,30	0,022	0,024
	łodyga	3	17,0	41,0	3,53	3,47	0,014	0,016
	korzeń	3	25,0	29,0	3,56	2,90	0,012	0,013

a przed kwitnieniem

b po kwitnieniu

Tabela 3

Średnie zawartości manganu, miedzi i kobaltu w roślinach zielnych z doliny strumienia lasu bukowego w Muszkowicach

Nazwa rośliny	Część morfologiczna	Liczba analiz	Mikroelementy w mg/100 g s.m.					
			Mn		Cu		Co	
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
<i>Aegopodium podagraria</i>	liść	5	21,0	25,0	3,30	2,37	0,014	0,017
	łodyga	5	16,0	20,0	2,40	2,08	0,010	0,011
	korzeń	5	28,0	29,0	2,42	2,30	0,011	0,012
<i>Actaea spicata</i>	liść	4	30,0	32,2	2,80	2,63	0,021	0,023
	łodyga	4	13,0	14,2	1,27	1,02	0,018	0,021
	korzeń	4	23,4	25,0	3,82	3,41	0,018	0,019
<i>Arum maculatum</i>	liść	4	32,0	35,1	2,72	2,50	0,019	0,022
	łodyga	4	6,3	8,0	2,93	2,41	0,016	0,020
	korzeń	4	18,3	25,0	2,51	2,40	0,015	0,018
<i>Asarum europaeum</i>	liść	5	44,2	45,3	2,12	2,25	0,023	0,025
	łodyga	5	42,0	43,2	2,0	2,11	0,020	0,014
	korzeń	5	35,0	35,4	2,38	2,20	0,016	0,018
<i>Asperula odorata</i>	liść	4	22,1	25,3	2,62	2,30	0,020	0,023
	łodyga	5	18,0	20,2	2,34	2,07	0,016	0,014
	korzeń	4	20,6	23,1	1,92	2,13	0,013	0,010
<i>Convallaria maialis</i>	liść	4	22,3	23,0	2,04	1,60	0,025	0,0025
	łodyga	4	19,0	19,6	1,62	1,50	0,020	0,021
	korzeń	4	20,2	21,5	2,10	2,0	0,018	0,019
<i>Corydalis cava</i>	liść	5	25,0	26,0	2,25	2,0	0,010	0,013
	łodyga	5	40,0	41,0	1,52	1,31	0,010	0,012
	korzeń	5	15,0	21,0	1,67	1,43	0,010	0,011
<i>Leucoium vernum</i>	liść	4	8,0	12,0	1,72	1,48	0,019	0,021
	łodyga	4	7,0	13,0	1,65	1,40	0,016	0,018
	korzeń	4	5,0	10,5	1,63	1,50	0,015	0,019
<i>Majanthemum bifolium</i>	liść	5	26,0	27,2	2,34	2,20	0,012	0,022
	łodyga	5	31,1	25,3	2,44	2,12	0,007	0,012
	korzeń	5	23,6	24,1	1,83	1,64	0,011	0,012
<i>Mercurialis perennis</i>	liść	5	20,3	32,0	2,53	2,48	0,019	0,023
	łodyga	5	12,1	27,5	2,32	2,35	0,012	0,010
	korzeń	5	18,0	24,5	1,10	1,32	0,006	0,011
<i>Polygonatum multiflorum</i>	liść	5	24,1	27,9	2,30	2,04	0,016	0,020
	łodyga	5	20,3	24,2	1,73	1,66	0,013	0,010
	korzeń	5	18,1	20,6	1,68	1,82	0,012	0,010

a przed kwitnieniem

b po kwitnieniu

Z wyników analiz zawartości manganu w roślinach zielnych z doliny strumienia (tab. 3) wynika, że i te rośliny wykazują dużą zmienność pod względem zawartości manganu. Ilość manganu w roślinach zielnych z doliny strumienia waha się w granicach od 5 mg/100g s.m. w korzeniach *Leucoium vernum* do 45 mg/100 g s.m. w liściach *Asarum europaeum* po kwitnieniu. Wszystkie zbadane rośliny zielne z doliny strumienia posiadają więcej manganu w liściach, w porównaniu z zawartością tego mikroelementu w innych częściach morfologicznych, podobnie jak rośliny ze zbocza grzędy. Najwyższą zawartość manganu w liściach, łodygach i korzeniach z roślin z doliny strumienia posiada *Asarum europaeum* (35—45 mg/100 g s.m.). Porównując zawartość manganu w roślinach zielnych z tego siedliska przed kwitnieniem i po kwitnieniu należy stwierdzić, że wszystkie rośliny bez wyjątku mają wyższą zawartość manganu po okresie kwitnienia zarówno w liściach, jak i kłęczach i korzeniach.

Z wyników analiz zawartości miedzi w roślinach obu siedlisk widać, że zawartość miedzi w porównaniu z zawartością w nich manganu wykazuje znacznie mniejsze ilościowe wahania. Zawartość miedzi w roślinach ze zbocza grzędy waha się w granicach od 1,0 mg/100 g s.m. w korzeniach *Mercurialis perennis* do 3,67 mg/100 g s.m. w korzeniach *Actaea spicata*. Wszystkie zbadane rośliny zielne ze zbocza grzędy posiadają mniejszą zawartość miedzi w porównaniu z roślinami z doliny strumienia. Najwyższą zawartość miedzi z roślin zbocza grzędy ma *Ranunculus lanuginosus* (2,9—3,56 mg/100 g s.m.). Najmniejszą zawartość miedzi z tego siedliska wykazuje *Corydalis cava* (1,01—1,49 mg/100 g s.m.). Wszystkie rośliny wykazują niższe zawartości miedzi w łodygach w porównaniu z jej zawartością w liściach i korzeniach. Porównując wyniki analiz zawartości miedzi w roślinach zielnych w tym siedlisku przed kwitnieniem i po kwitnieniu można stwierdzić, że wszystkie zbadane rośliny odznaczają się mniejszą zawartością miedzi po przekwitnieniu.

Z wyników analiz zawartości miedzi w roślinach zielnych z doliny strumienia (tab. 3) widać, że zawartość tego mikroelementu jest w nich wyższa aniżeli w roślinach z siedliska zbocza grzędy. Zawartość miedzi w badanych roślinach z doliny strumienia waha się w granicach 1,1 mg/100 g s.m. w korzeniach *Mercurialis perennis* do 3,82 mg/100 g s.m. w korzeniach *Actaea spicata*. Wyższą zawartość miedzi w tym siedlisku stwierdzono w korzeniu u *Actaea spicata* (3,82 mg/g s.m.) przed kwitnieniem tej rośliny oraz w liściach *Aegopodium podagraria* i *Asperula odorata* (3,0—3,3 mg/100 g s.m.). Najmniejszą zawartość miedzi w tym siedlisku stwierdziliśmy u *Leucoium vernum* (1,47—1,7 mg/100 g s.m.). Porównując zawartość miedzi w roślinach ze zbocza grzędy z zawartością jej w roślinach z doliny strumienia wynika, że rośliny siedliska doliny strumienia

wykazują mniejsze wahania w zawartości tego mikroelementu aniżeli rośliny ze zbocza grzędy.

Z analiz zawartości kobaltu w roślinach ze zbocza grzędy (tab. 2) i z doliny strumienia (tab. 3) wynika, że zawartość kobaltu w roślinach jest znacznie niższa od pozostałych dwóch mikroelementów. Zawartość kobaltu w roślinach ze zbocza grzędy waha się w granicach od 0,1 mg/100 g s.m. w korzeniach *Aegopodium podagraria* do 0,05 mg/100g s.m. w korzeniach *Majanthemum bifolium*. Wszystkie rośliny w tym siedlisku posiadały wyższą zawartość kobaltu w liściach w porównaniu z zawartością tego mikroelementu w pozostałych częściach organizmu, z wyjątkiem *Majanthemum bifolium*, u której najwięcej kobaltu występuje w korzeniach po kwitnieniu. Najwyższą zawartość kobaltu w tym siedlisku mają w liściach dwa gatunki: *Asarum europaeum* i *Polygonatum multiflorum* (0,027—0,028 mg/100 g s.m.). Z porównania wyników analiz zawartości kobaltu w roślinach zbocza grzędy przed kwitnieniem i po kwitnieniu wynika, że zawartość kobaltu w roślinach po kwitnieniu na ogół wzrasta we wszystkich częściach organizmu roślinnego.

Zawartość kobaltu w roślinach z doliny strumienia waha się w granicach od 0,006 mg/100 g s.m. w korzeniach *Mercurialis perennis* przed okresem kwitnienia do 0,025 mg/100 g s.m. w liściach *Convallaria maialis*. Wszystkie rośliny w tym siedlisku posiadają nieco wyższą zawartość kobaltu w liściach w porównaniu z zawartością tego mikroelementu w pędach, kłaczach i korzeniach. Z porównania zawartości kobaltu w roślinach z doliny strumienia przed kwitnieniem i w okresie po kwitnieniu wynika, że zawartość kobaltu w liściach roślin w okresie po kwitnieniu wzrasta.

Z porównania zawartości kobaltu w roślinach ze zbocza grzędy z zawartością kobaltu w roślinach z doliny strumienia widać, że rośliny ze zbocza grzędy posiadają ogólnie wyższe zawartości kobaltu. Wyraźnie to się zaznacza, kiedy porównamy zawartość kobaltu w roślinach tego samego gatunku występującego w obu siedliskach lasu bukowego.

II. Zawartość manganu, miedzi i kobaltu w liściach drzew

Zawartość manganu, miedzi i kobaltu zanalizowano w liściach następujących drzew: w siedlisku zbocza grzędy u *Quercus sessilis*, *Fagus silvatica*, *Pinus silvestris* i u *Picea excelsa*, a w siedlisku doliny strumienia u tych samych drzew, poza *Pinus silvestris*.

Wyniki analiz podano w tabelach 4, 5, 6, 7. Z wyników analiz zawartości manganu w liściach drzew ze zbocza grzędy widać, że i drzewa wykazują dużą zmienność pod względem zawartości tego mikroelementu w popiele. Zawartość manganu w liściach badanych drzew waha się w gra-

Tabela 4

Dynamika zawartości badanych mikro- i makroelementów w szpilkach *Pinus silvestris* w okresie wegetacyjnym

Miesiąc	Liczba prób	Mikroelementy w mg/100 g s.m.			Makroelementy w mg/1 g s.m.		
		Mn	Cu	Co	Ca	Mg	K
.Muszkowice — zbocze grzędy (Siedlisko I)							
Maj	6	142	1,05	0,0015	6,1	2,7	3,8
Czerwiec	6	120	0,78	0,0016	2,0	1,0	6,0
Lipiec	6	125	0,79	0,0019	2,2	1,2	5,8
Sierpień	6	137	0,86	0,0017	3,6	1,8	5,1
Wrzesień	6	145	0,92	0,0012	4,2	1,92	4,6
Październik	6	150	0,95	0,0013	4,5	1,9	4,2

nicach od 83 mg/100 g s.m. w liściach dębu w maju do 208 mg/100 g s.m. w liściach buka w październiku. Najwięcej manganu w popiele liści z drzew siedliska I stwierdzono u buka, mianowicie 125 do 208 mg/100 g s.m. W siedlisku doliny strumienia zawartość manganu w liściach badanych drzew jest mniejsza w porównaniu z zawartością tego mikroelementu w liściach drzew zbocza grzędy. Zawartość manganu w liściach drzew w tym siedlisku waha się w granicach od 33 mg/100 g s.m. w liściach buka i dębu w maju do 142 mg/100 g s.m. w liściach buka w październiku.

Tabela 5

Dynamika zawartości badanych mikro- i makroelementów w szpilkach *Picea excelsa* w okresie wegetacyjnym

Miesiąc	Liczba prób	Mikroelementy w mg/100 g s.m.			Makroelementy w mg/1 g s.m.		
		Mn	Cu	Co	Ca	Mg	K
Muszkowice — zbocze grzędy (Siedlisko I)							
Maj	5	150	1,05	0,0013	8,5	4,23	4,5
Czerwiec	5	102	0,98	0,0020	3,0	2,06	8,4
Lipiec	5	109	0,90	0,0023	3,1	2,43	10,0
Sierpień	5	128	0,85	0,0021	3,6	2,90	7,4
Wrzesień	5	136	0,79	0,0020	5,1	3,00	7,1
Październik	5	142	0,82	0,0015	5,3	3,08	5,6

Muszkowice — dolina strumienia (Siedlisko II)

Maj	4	125	1,36	0,00	15,8	4,0	5,0
Czerwiec	5	96	1,15	0,0015	2,2	1,6	8,1
Lipiec	4	100	1,02	0,002	2,6	1,95	9,3
Sierpień	5	102	0,91	0,002	4,9	2,6	8,0
Wrzesień	5	108	0,95	0,0017	6,3	2,7	6,2
Październik	5	110	0,94	0,0015	7,5	2,76	5,0

Najwyższą zawartość manganu w tym siedlisku posiada buk wykazujący średnią z okresu wegetacji, wynoszącą 106,8 mg/100 g s.m. Średnie zawartości badanych mikroelementów dla okresu wegetacyjnego w liściach badanych drzew obu siedlisk przedstawia tabela 8.

Zawartość miedzi w liściach badanych drzew siedliska zbocza grzędy waha się w granicach od 0,78 mg/100 b s.m. w igłach sosny do 1,56 mg/100 gs.m. w liściach dębu. W tym siedlisku najwięcej miedzi w liściach stwierdzono u dębu, mianowicie średnio 1,37 mg/100 g s.m., przy czym można zaznaczyć, że drzewa liściaste w tym siedlisku mają wyższą zawartość miedzi w liściach od drzew szpilkowych. Zawartość miedzi w liściach drzew z doliny strumienia waha się w granicach od 0,91 mg/100 g s.m. w igłach świerka do 2,73 mg/100 g s.m. w liściach dębu. Porównując zawartość miedzi w liściach drzew z obu siedlisk można stwierdzić, że drzewa, tak jak i rośliny zielne, w siedlisku doliny strumienia mają wyższą zawartość tego mikroelementu w popiele. W siedlisku doliny strumienia najwyższą zawartość miedzi wykazuje dąb, średnio 2,16 mg/100 g s.m.

Tabela 6

Dynamika zawartości badanych mikro- i makroelementów w liściach *Fagus silvatica* w okresie wegetacyjnym

Miesiąc	Liczba prób	Mikroelementy w mg/100 g s.m.			Makroelementy w mg/1 g s.m.		
		Mn	Cu	Co	Ca	Mg	K
Muszkowice — zbocze grzędy (Siedlisko I)							
Maj	6	125	1,28	0,0013	4,2	2,0	12,5
Czerwiec	4	147	1,0	0,0014	7,7	1,86	12,1
Lipiec	7	160	0,91	0,0015	9,2	1,6	9,2
Sierpień	4	182	1,0	0,0013	9,3	1,96	,0
Wrzesień	5	194	1,25	0,0012	9,6	2,0	8,8
Październik	6	208	1,21	0,0012	10,2	2,2	8,6
Muszkowice — dolina strumienia (Siedlisko II)							
Maj	5	33	1,42	0,0010	7,8	1,83	12,4
Czerwiec	5	51	1,27	0,0012	8,4	2,15	10,8
Lipiec	5	62	0,96	0,0014	9,0	3,65	9,4
Sierpień	5	98	1,28	0,0012	9,4	3,11	9,2
Wrzesień	5	125	1,56	0,0011	9,6	3,2	8,9
Październik	5	142	1,54	0,0010	10,2	3,2	8,8

Zawartość kobaltu w liściach badanych drzew ze zbocza grzędy waha się w granicach od 0,001 mg/100 g s.m. w liściach dębu do 0,0023 mg/100 g s.m. w igłach świerka. W tym siedlisku najwyższą zawartość kobaltu posiadają igły świerka, mianowicie średnio 0,0019 mg/100 g

Tabela 7

Dynamika zawartości badanych mikro- i makroelementów w liściach *Quercus sessilis* w okresie wegetacyjnym

Miesiąc	Liczba prób	Mikroelementy w mg/100 g s.m.			Makroelementy w mg/1 g s.m.		
		Mn	Cu	Co	Ca	Mg	K
Muszkowice — zbocze grzędy (Siedlisko I)							
Maj	6	83	1,56	0,0014	2,0	1,2	16,7
Czerwiec	6	96	1,45	0,0018	3,67	1,33	13,8
Lipiec	6	108	1,23	0,0020	5,3	1,68	11,2
Sierpień	6	144	1,28	0,0016	6,8	1,80	10,4
Wrzesień	6	172	1,35	0,0011	7,9	2,10	7,9
Październik	6	190	1,32	0,0010	8,5	2,13	6,8
Muszkowice — dolina strumienia (Siedlisko II)							
Maj	4	33	2,73	0,0007	2,1	2,00	20,3
Czerwiec	4	45	2,40	0,0009	7,8	1,80	18,2
Lipiec	4	50	1,86	0,0010	10,1	1,82	13,6
Sierpień	4	61	1,92	0,0009	10,2	2,2	11,4
Wrzesień	4	74	2,05	0,0009	10,0	3,0	8,2
Październik	4	76	2,01	0,0007	10,2	3,4	7,6

s.m., a najniższą średnią zawartość z okresu wegetacyjnego posiada buk, mianowicie 0,0013 mg/100 g s.m. Ogólnie można stwierdzić, że w szpilkach drzew iglastych występuje nieco wyższa zawartość kobaltu aniżeli w liściach drzew liściastych. Zawartość kobaltu w liściach badanych drzew z siedliska doliny strumienia waha się w granicach od 0,0007 mg/100 g s.m. w liściach dębu do 0,002 mg/100 g s.m. w igłach świerka. W tym siedlisku zaznacza się wyraźnie niższa zawartość kobaltu w liściach badanych drzew w porównaniu z zawartością tego mikroelementu w liściach drzew ze zbocza grzędy.

Tabela 8

Średnie zawartości Mn, Cu i Co w liściach drzew z okresu wegetacji w mg/100 g s.m.

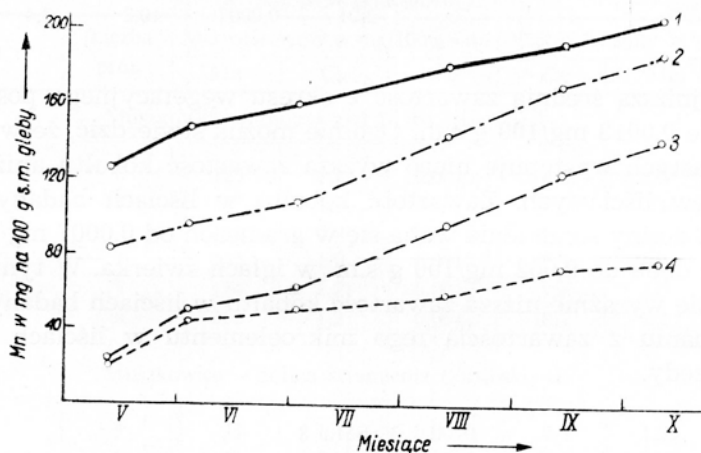
Nazwa drzewa	Siedlisko I			Siedlisko II		
	Mn	Cu	Co	Mn	Cu	Co
<i>Picea excelsa</i>	127,83	0,916	0,0019	106,8	1,06	0,0016
<i>Pinus silvestris</i>	136,5	0,9	0,0015	—	—	—
<i>Fagus silvatica</i>	169,3	1,11	0,0013	85,17	1,370	0,0012
<i>Quercus sessilis</i>	132,2	1,37	0,0015	56,5	2,16	0,0009

Z otrzymanych przez nas wyników wyraźnie widać, że rośliny zielne w siedlisku lasu bukowego w Muszkowicach zawierały znacznie mniej manganu od drzew. Zawartość manganu w roślinach zielnych z obu siedlisk waha się w granicach od 5 do 50 mg/100 g s.m., a w liściach drzew od 33 do 208 mg/100 g s.m. Natomiast miedzi stwierdzono więcej w roślinach zielnych aniżeli w liściach drzew. Zawartość miedzi w roślinach zielnych z obu siedlisk waha się od 0,97 do 3,8 mg/100 g s.m., a w liściach drzew od 0,6 do 2,73 mg/100 g s.m. Zawartość kobaltu w roślinach zielnych obu siedlisk waha się w granicach od 0,007 do 0,05 mg/100 g s.m., a w liściach drzew od 0,0007 do 0,0023 mg/100 g s.m. Wielkości te wskazują na znacznie wyższą zawartość kobaltu w roślinach zielnych.

III. Dynamika zmian zawartości badanych pierwiastków w okresie wegetacyjnym

A) W liściach drzew:

Dynamikę zmian zawartości badanych mikroelementów w roślinach w okresie wegetacyjnym przedstawiają wykresy graficzne, sporządzone na podstawie wyników zebranych w tabelach 4—7. Wyniki analiz chemicz-



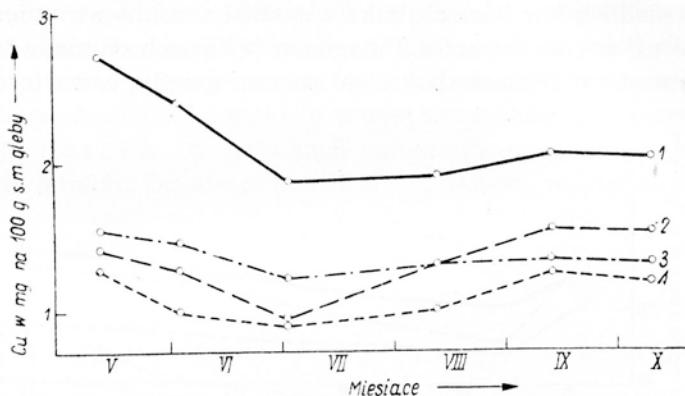
Wykres VI. Zmiany w zawartości manganu w liściach dębu i buka w ciągu okresu wegetacyjnego w obu siedliskach lasu bukowego w Muszkowicach

1 — buk z siedliska zbocza grzędy, 2 — dąb z siedliska zbocza grzędy,
3 — buk z siedliska doliny strumienia, 4 — dąb z siedliska doliny strumienia

nych opracowano statystycznie, metodą doświadczeń kombinowanych. Różnice między kombinacjami są udowodnione. Zbadany przedział ufności nie zawsze jednak wykazuje istotne różnicowania dla poszczególnych

miesiący i stanowisk, ze względu na to, że średnie wartości dla poszczególnych kombinacji mało różnią się między sobą (niektóre są powtarzalne w różnych miesiącach). Istotność zróżnicowania przyjmujemy na podstawie analizy zmienności i testu „F” Snedecora. Test Snedecora wykazuje, że zróżnicowanie dla kombinacji miesięcy, stanowisk i współdziałania miesięcy i stanowisk jest rzeczywiste.

Mamy zatem rzeczywiste różnice w zawartości badanych pierwiastków w roślinach w różnych punktach okresu wegetacyjnego. Na wstępie tego



Wykres VII. Zmiany w zawartości miedzi w liściach dębu i buka w ciągu okresu wegetacyjnego w obu siedliskach lasu bukowego w Muszkowicach

1 — dąb z siedliska doliny strumienia; 2 — buk z siedliska doliny strumienia; 3 — dąb z siedliska zbocza grzędy; 4 — buk z siedliska zbocza grzędy

zagadnienia można zaznaczyć, że różnica w przebiegu krzywych zawartości badanych pierwiastków u drzew liściastych i u drzew szpilkowych jest wyraźnie widoczna.

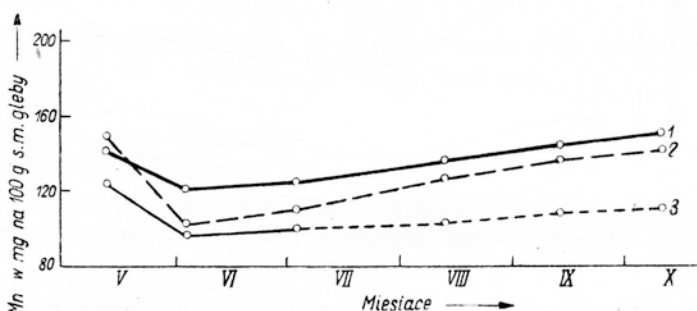
U drzew liściastych (*Fagus silvatica*, *Quercus sessilis*) w obu siedliskach zawartość manganu w liściach wzrasta wraz z przebiegiem okresu wegetacji (Wykres VI). Od maja do października zawartość manganu w liściach tych drzew wzrosła przeszło dwukrotnie.

Zawartość miedzi w liściach buka i dębu (wykres VII) zmienia się w okresie wegetacji w mniejszym stoniu i nieco inaczej w porównaniu ze zmianami zawartości manganu u tych drzew. Znamiennym wydaje się fakt spadku zawartości miedzi w liściach, w ciągu czerwca i lipca, u wyżej wymienionych drzew z obu siedlisk. Natomiast w ciągu sierpnia i września następuje wzrost zawartości miedzi w liściach tych drzew. Wartość miedzi w liściach tych drzew zanotowana w październiku jest bliska ilości podanej z miesiąca września. Można więc przyjąć, że niższą zawartość miedzi w liściach mają drzewa w ciągu lata.

Mimo bardzo małych ilości kobaltu w liściach badanych drzew daje się zauważyć niewielki wzrost tego mikroelementu od maja do lipca. Od sierpnia do października zawartość kobaltu w liściach drzew zmniejsza się.

Przebieg zmian zawartości wapnia w liściach drzew jest podobny do przebiegu krzywej zawartości manganu w okresie wegetacyjnym, a więc w ciągu tego okresu odbywa się stały wzrost zawartości wapnia.

Magnez ulega małym wahaniom w okresie wegetacji. W liściach dębu z obu siedlisk i w liściach buka z siedliska doliny strumienia stwierdzono powolny wzrost zawartości magnezu w liściach od maja do października, natomiast w liściach buka ze zbocza grzędy zawartość magnezu



Wykres VIII. Zmiany w zawartości manganu w igłach sosny i świerka w ciągu okresu wegetacyjnego w lesie bukowym w Muszkowicach

1 — sosna z siedliska zbocza grzędy, 2 — świerk z siedliska zbocza grzędy, 3 — świerk z siedliska doliny strumienia

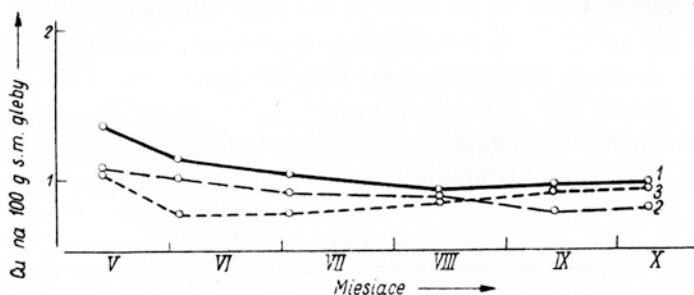
utrzymuje się prawie na tym samym poziomie przez cały okres wegetacji. Zawartość potasu w liściach tych drzew malała stopniowo od maja do października.

Inaczej nieco przebiegają zmiany zawartości badanych pierwiastków w okresie wegetacyjnym drzew szpilkowych. (Wykres VIII i IX). Najwyższą zawartość manganu i miedzi stwierdzono w szpilkach sosny i świerka w maju. Najniższą zawartość manganu w szpilkach tych drzew zanotowano w czerwcu. Od tego miesiąca następuje ciągły i powolny wzrost zawartości manganu w szpilkach. Największą różnicę w zawartości manganu w szpilkach, występującą w okresie między miesiącem majem a czerwcem, zanotowano w szpilkach sosny. Różnica ta wynosi 48 mg/100 g s.m. Wyraźne różnice w zawartości miedzi w liściach drzew szpilkowych zaznaczyły się jedynie w okresie między miesiącem majem a czerwcem. W pozostałych miesiącach zawartość miedzi w szpilkach drzew iglastych wydale się statyczną.

Zawartość kobaltu w szpilkach drzew iglastych ulega również zmianom w ciągu okresu wegetacyjnego. Najwyższą zawartość kobaltu w szpilkach stwierdzono w lipcu i w sierpniu. Wyraźnie zaznacza się wzrost zawartości kobaltu w szpilkach od wczesnej wiosny do lata; od sierpnia zanotowano spadek zawartości tego mikroelementu.

Zawartość wapnia i magnezu w okresie wegetacyjnym w szpilkach badanych drzew iglastych zachowuje się podobnie jak u drzew liściastych. Najwyższą zawartość tych pierwiastków w szpilkach wiosną należy tłumaczyć prawdopodobnie udziałem szpilek z poprzedniego roku. W czerwcu, kiedy bardzo wybitnie dominuje udział młodych szpilek, stwierdziliśmy znaczny spadek zawartości wapnia i magnezu, a następnie od lipca aż do października stopniowy wzrost zawartości tych pierwiastków.

Najmniej potasu w szpilkach zanotowano w maju, najwięcej w miesiącach letnich. Od sierpnia zawartość potasu w szpilkach maleje.



Wykres IX. Zmiany w zawartości miedzi w igłach sosny i świerka w ciągu okresu wegetacyjnego w lesie bukowym w Muszkowicach

1 — sosna z siedliska zbocza grzędy, 2 — świerk z siedliska zbocza grzędy, 3 — świerk z siedliska doliny strumienia

Różnice między przebiegiem zmian zawartości badanych pierwiastków w okresie wegetacyjnym u drzew liściastych i u drzew szpilkowych wynikają prawdopodobnie z właściwości rozwojowych tych roślin.

B) W roślinach zielnych

Rośliny zielne również wykazują zmiany w zawartości badanych pierwiastków w okresie wegetacyjnym. Z uwagi na fakt, że rośliny zielne runa lasu bukowego mają bardzo krótki okres wegetacji, dokonano analiz chemicznych zawartości pierwiastków tylko w dwóch stadiach ich rozwoju, a mianowicie przed okresem kwitnienia i po przekwitnieniu. Na tej podstawie również można mówić o istnieniu zmian zawartości pierwiastków w roślinach zielnych w okresie ich rozwoju. Wszystkie rośliny zielne obu siedlisk wykazują zwiększone zawartości manganu po przekwitnieniu. Największy wzrost zawartości manganu zanotowano w liściach u *Mer-*

curialis perennis w obu siedliskach. Podobnie do manganu zachowuje się kobalt. Największy wzrost kobaltu w ciągu swego rozwoju wykazał gatunek *Mayanthemum bifolium* w obu siedliskach. Większość roślin z obu siedlisk lasu bukowego wykazała niższą zawartość miedzi po przekwitnieniu. Największą różnicę zanotowano w liściach *Aegopodium podagraria* również w obu siedliskach.

Opracowanie statystyczne wyników analiz zawartości mikroelementów w liściach badanych drzew

Wyniki analiz chemicznych opracowano statystycznie metodą doświadczeń kombinowanych przy współczynniku ufności 0,05. Różnice między kombinacjami są udowodnione. Zbadany przedział ufności nie zawsze jednak wykazuje istotne zróżnicowanie dla poszczególnych miesięcy i stanowisk, ze względu na to, że średnie wartości dla poszczególnych kombinacji mało się różnią i są powtarzalne w różnych miesiącach, zależnie od stanowiska. Istotne zróżnicowanie przyjmujemy na podstawie analizy zmienności i testu „F” *Snedecora*.

Test *Snedecora* wykazuje, że zróżnicowanie dla kombinacji, miesięcy, i stanowisk, oraz współdziałania miesięcy i stanowisk, jest istotne.

Średnie zawartości Mn w liściach buka

Miesiące Stanowiska	V	VI	VII	VIII	IX	X	Średnie dla stanowisk
zbocze grzędy	125	147	160	182	194	208	169
dolina strumienia	33	50	62	98	125	142	84
średnie dla miesięcy	79	98	111	140	160	175	

S_d kombinacji = 4,13 przedział ufności = 8,26

S_d miesięcy = 2,92 przedział ufności = 5,84

S_d stanowisk = 1,685 przedział ufności = 3,37

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test <i>Snedecora</i>
miesiąc	5	70499	14099,8	F**
stanowisk	1	108800	108800	F**
współdziałania miesięcy i stanowisk	5	3812	762,4	F**
nieściśło ci	48	2046	42,6	
ogólna	59	185157		

Średnie zawartości Cu w liściach buka

Miesiące Stanowiska	V	VI	VII	VIII	IX	X	Średnie dla stanowisk
zbocze grzędy	1,28	1,00	0,91	1,00	1,25	1,21	1,11
dolina strumienia	1,42	1,27	0,96	1,28	1,56	1,54	1,34
średnie dla miesięcy	1,35	1,14	0,94	1,14	1,41	1,38	
S_d kombinacji	= 0,0214		przedział ufności = 0,0427				
S_d miesięcy	= 0,2591		przedział ufności = 0,5182				
S_d stanowisk	= 0,2299		przedział ufności = 0,4598				

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
miesiący	5	1,6793	0,33586	F**
stanowisk	1	0,7928	0,7928	F**
współdziałania miesięcy i stanowisk	5	0,1712	0,03424	F**
nieścisłości (interakcje dla błędu)	48	0,0548	0,00114	
ogólna	59	2,6981		

Średnie zawartości Cu w liściach dębu

Miesiące Stanowiska	V	VI	VII	VIII	IX	X	Średnie dla stanowisk
zbocze	1,56	1,45	1,23	1,28	1,35	1,32	1,37
dolina strumienia	2,73	2,40	1,86	1,92	2,05	2,01	2,16
średnie dla miesięcy	2,15	1,93	1,55	1,60	1,70	1,67	
S_d kombinacji	= 0,7844		przedział ufności = 0,0228				
S_d miesięcy	= 0,3036		przedział ufności = 0,6072				
S_d stanowisk	= 0,01127		przedział ufności = 1,5688				

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
miesiący	5	2,7652	0,5530	F**
stanowisk	1	11,0714	11,0714	F**
współdziałania miesięcy i stanowisk	5	1,0606	0,2121	F**
nieścisłości	60	0,0456	0,00076	
ogólna	71	14,9428		

Średnie zawartości Mn w liściach dębu

Miesiące Stanowiska	V	VI	VII	VIII	IX	X	Średnie dla stanowisk
zbocze grzędy	83	96	108	144	172	190	132,2
dolina strumienia	33	45	50	61	74	76	56,5
średnie dla miesięcy	58	70,5	79	102,5	123	133	
S_d kombinacji	= 1,23 przedział ufności = 2,46						
S_d miesięcy	= 42,27 przedział ufności = 84,54						
S_d stanowisk	= 75,7 przedział ufności = 151,4						

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
miesiący	5	53590,3	10718,1	F**
stanowisk	1	103058	103058	F**
współdziałania miesięcy i stanowisk	5	11295,7	2259,1	F**
nieścisłości	60	275	4,583	
ogólna	71	168219		

Średnie zawartości Cu w igłach świerka

Miesiące Stanowiska	V	VI	VII	VIII	IX	X	
zbocze grzędy	1,05	0,98	0,90	0,85	0,79	0,82	0,90
dolina strumienia	1,36	1,15	1,02	0,91	0,95	0,94	1,06
średnie dla miesięcy	1,21	1,07	0,96	0,88	0,87	0,88	
S_d kombinacji	= 0,0151 przedział ufności = 0,0302						
S_d miesięcy	= 0,190 przedział ufności = 0,38						
S_d stanowisk	= 0,498 przedział ufności = 0,996						

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
miesiący	5	0,9028	0,15056	F**
stanowisk	1	0,3715	0,3715	F**
współdziałania miesięcy i stanowisk	5	0,0860	0,0172	F**
nieścisłości	48	0,0274	0,00057	
ogólna	59	1,3877		

Średnie zawartości Mn w igłach świerka

Miesiące Stanowiska	V	VI	VII	V	IX	X	Średnie dla stanowisk
zbocze grzędy	105	102	109	128	136	142	126
dolina strumienia	125	96	100	102	108	110	107
średnie dla miesięcy	138	99	105	115	122	126	
S_d kombinacji	= 1,568 przedział ufności = 3,136						
S_d miesięcy	= 20,099 przedział ufności = 40,19						
S_d stanowisk	= 21,52 przedział ufności = 43,04						

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
miesiące	5	10098,3	2019,7	F**
stanowisk	1	6948,3	6948,3	F**
współdziałania miesięcy i stanowisk	5	1117,7	223,5	F**
nieścisłości	48	293,0	6,105	
ogólna	59	18457,3		

Średnie zawartości Mn w igłach sosny

Miesiące	V	VI	VII	VIII	IX	X
	142	120	125	137	145	150
S_d = 1,726	przedział ufności = 3,52					

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
kombinacji	5	4137	827,4	F**
nieścisłości	30	268	8,93	
ogólna	35	4405		

Średnie zawartości Cu w igłach sosny

Miesiące	V	VI	VII	VIII	IX	X
	1, 5	0,78	0,79	0,86	0,92	0,95
$S_d = 0,01333$ przedział ufności = 0,027						

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
kombinacji	5	0,3285	0,06557	F**
nieścisłości	30	0,0160	0,00 533	
ogólna	35	0,3445		

Średnie zawartości Co w liściach buka

Miesiące	V	VI	VII	VIII	IX	X	Średnia dla stanowisk
Stanowiska							
zbocze grzędy	0,0013	0,0014	0,0015	0,0013	0,0012	0,0012	0,0013
dolina strumienia	0,0010	0,0012	0,0014	0,0012	0 0011	0,0010	0,0011
średnie dla miesięcy	0,00115	0,0013	0,0014	0,0012	0,0011	0,0010	
S_d kombinacji	= 0,0000245		przedział ufności = 0,0000490				
S_d miesięcy	= 0,000180		przedział ufności = 0,000360				
S_d stanowisk	= 0,000157		przedział ufności = 0,000314				

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
miesiący	5	0,00000081	0,000000162	F**
stanowisk	1	0,00000037	0,000000370	F**
współdziałania miesięcy i stanowisk	5	0,00000009	0,0 0000018	—
nieścisłości	48	0,00000073	0,000000015	
ogólna	59	0,00000200		

Średnie zawartości Co w liściach dębu

Miesiące Stanowisko	V	VI	VII	VIII	IX	X	Średnie dla stanowisk
zbocze grzędy	0,0014	0,0018	0,0018	0,0016	0,0011	0,0010	0,0015
dolina strumienia	0,0007	0,0009	0,0010	0,0009	0,0009	0,0006	0,0008
średnie dla miesięcy	0,0010	0,0014	0,0015	0,0012	0,0010	0,0008	
S_d kombinacji	= 0,0000141 przedział ufności = 0,0000282						
S_d miesięcy	= 0,000361 przedział ufności = 0,000721						
S_d stanowisk	= 0,000632 przedział ufności = 0,001264						

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
miesiący	5	0,00000264	0,00000053	F**
stanowisk	1	0,00000481	0,00000481	F**
współdziałania miesięcy i stanowisk	5	0,00000099	0,00000020	F**
nieczistości	36	0,00000015	0,00000004	
ogólna	47	0,00000859		

Średnie zawartości Co w szpilkach świerka

Miesiące Stanowiska	V	VI	VII	VIII	IX	X	Średnie dla stanowisk
zbocze grzędy	0,0013	0,0020	0,0023	0,0021	0,0020	0,0015	0,00185
dolina strumienia	0,0010	0,0015	0,0020	0,0020	0,0019	0,0015	0,0016
średnie dla miesięcy	0,0011	0,0018	0,00215	0,0010	0,0018	0,0015	
S_d kombinacji	= 0,0000693 przedział ufności = 0,0001386						
S_d miesięcy	= 0,000529 przedział ufności = 0,001058						
S_d stanowisk	= 0,000250 przedział ufności = 0,000500						

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
miesiący	5	0,00000700	0,000001400	F**
stanowisk	1	0,00000093	0,000000930	F**
współdziałania miesięcy i stanowisk	5	0,00000043	0,000000086	F**
nieczistości	48	0,00000058	0,000000012	
ogólna	59	0,00000894		

Średnie zawartości Co w igłach sosny

Miesiące Stanowisko	V	VI	VII	VIII	IX	X
zbocze grzędy	0,0015	0,0016	0,0019	0,0017	0,0012	0,0013

$S_d = 0,0000412$ przedział ufności = 0,0000814

Analiza zmienności

Zmienność	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów	Średnie kwadratów	Test Snedecora
miesiące	5	0,00000213	0,000000426	F**
nieścistości	30	0,00000014	0,000000005	
ogólna	35	0,00000227		

DYSKUSJA

I. Mangan, miedź i kobalt w glebie

Wyniki analiz zawartości manganu dostępnego roślinom wykazały wyższą zawartość tego mikroelementu w glebie siedliska zbocza grzędy, mimo że należałoby się spodziewać jego wyższej zawartości w glebie z siedliska doliny strumienia z uwagi na intensywniejszy proces rozkładu substancji organicznej, co podaje w swojej pracy A. Musierowicz (1956). Fakt niższej zawartości dostępnego roślinom manganu w glebie siedliska doliny strumienia można wytłumaczyć dość dużą zawartością wapnia, który zdaniem Snidera, Skindera i Piszczka (1951) zmniejsza w glebie ilość przyswajalnego manganu. Tę zależność ilustruje podany wykres sporządzony na podstawie własnych wyników z przeprowadzonych analiz chemicznych. Ilość dostępnego manganu w glebie wiąże się również z jej odczynem. Odczyn gleby z siedliska doliny strumienia wynosi pH 6—7. Według E. Russela (1931) przy takim pH ilość przyswajalnego manganu w glebie jest z reguły mała. Zależność między zawartością przyswajalnego manganu w glebie lasu bukowego w Muszkowicach a jej kwasowością (pH) ilustruje wykres I (str. 108) sporządzony na podstawie własnych wyników analiz chemicznych. Według naszych danych wyższej zawartości dostępnego potasu w glebie ze zbocza grzędy odpowiada wyższa zawartość dostępnego roślinom manganu, co potwierdza dane Kamósuta i Okada (1955). Natomiast gleba z siedliska doliny strumienia zawiera wyższą zawartość magnezu w porównaniu z glebą siedliska zbocza grzędy. Według M. Lohnis (1951)

magnez obniża w glebie zawartość przyswajalnego manganu. W tym zagadnieniu nie można pominąć znaczenia tak ważnego czynnika siedliskowego, jakim jest wilgotność gleby. Jak podano wyżej, gleba z doliny strumienia odznacza się znacznie większą wilgotnością w porównaniu z glebą siedliska zbocza grzędy. Można więc przypuszczać, że dość duża wilgotność gleby umożliwia odtwarzanie się przyswajalnego roślinom manganu przy słabych warunkach przewietrzenia, jednakże zgodnie z badaniami E. K. Krugłowej (1956) odczyn gleby winien być w takim przypadku wyższy od $\text{pH} = 7$. W naszym zaś przypadku odczyn gleby waha się w granicach pH 6 do 7, a warunki przewietrzania w glebie doliny strumienia są dość dobre z uwagi na dość znaczną zawartość węglanu wapnia.

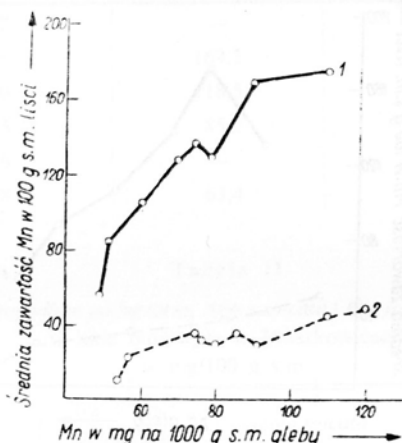
Z przedstawionych wyników analizy zawartości w glebie dostępnej roślinom miedzi obu siedlisk lasu bukowego w Muszkowicach nie można na podstawie naszych danych potwierdzić spostrzeżeń J. Siedleckiego (1947) o występowaniu mniejszych ilości miedzi w warstwach dolnych profilu glebowego. Być może, rozprzestrzenienie miedzi w profilu glebowym lasu bukowego w Muszkowicach jest wynikiem specyficznego układu warunków, a więc przede wszystkim istniejącego procesu erozyjnego na zboczu grzędy i degradacji górnej warstwy próchnicznej gleby w dolinie strumienia. Większa zawartość dostępnej roślinom miedzi w glebie doliny strumienia, w porównaniu z jej zawartością w glebie zbocza grzędy, jest, być może, wynikiem intensywniejszego procesu mineralizacji substancji organicznej w siedlisku doliny strumienia, co wykazała w swych badaniach bakteriologicznych J. Stabrowska (1956). Z przeprowadzonych przez nas analiz chemicznych wynika, że istnieje zależność między zawartością dostępnej miedzi w glebie a jej kwasowością (wykres III). W lesie bukowym w Muszkowicach najwyższe wartości dostępnej roślinom miedzi posiada gleba o odczynie słabo kwaśnym. Stwierdzona wyższa zawartość kobaltu przyswajalnego w glebie z siedliska doliny strumienia, w porównaniu z jego zawartością w glebie z siedliska zbocza grzędy, pozostaje w prostym związku z wyższą zawartością w glebie węglanu wapnia (wykres V), którego duże ilości znajdują się zwłaszcza w trzeciej warstwie profilu glebowego. Jest to zgodne z poglądem D. P. Malugi (1946), który pisze, że gleby pozostające w związku ze skałami silnie zasadowymi odznaczają się wyższą zawartością kobaltu. Jednakże i przez nas podana ilość kobaltu, nawet w glebie z doliny strumienia, nie jest duża, co można wytłumaczyć — powołując się na wyniki badań Mitchella (A. Maksimow 1954) — tym, że rozpuszczalność związków kobaltu w glebie już od pH 5 wzwyż znacznie się zmniejsza. Zależność między zawartością przyswajalnego kobaltu w glebie lasu bukowego w Muszkowicach a kwasowością gleby przedstawia wykres IV. Różnica w zawartości kobaltu w glebie siedliska

zbocza grzędy i glebie siedliska doliny strumienia wyraźnie jest widoczna w warstwach drugich profilu glebowego. Prawdopodobnie ta różnica wynika z różnicy w zawartości frakcji gliniastej w warstwie drugiej w glebie tych siedlisk, bo jak wynika z badań A. Hilla z tą właśnie frakcją jest głównie związane występowanie kobaltu w każdej glebie. Na podstawie wyników naszych analiz nie możemy powiedzieć, że zawartość w glebie przyswajalnego magnezu i potasu wpływa w jakikolwiek sposób na zawartość dostępnego roślinom w glebie kobaltu. Być może, wyższa zawartość dostępnego roślinom kobaltu w glebie z siedliska doliny strumienia pozostaje w związku z wyższą wilgotnością tej gleby. Wiosną właśnie, kiedy dno jaru zalewane jest silnie wodami strumienia, w glebie tego siedliska stwierdzono najwyższą zawartość dostępnego roślinom kobaltu w ciągu całego okresu wegetacyjnego, a mianowicie 4,7 mg/kg s.m. gleby (wartość średnia). Jesienią (miesiąc wrzesień bardzo suchy w tych okolicach) wartość dostępnego dla roślin kobaltu w tej glebie jest znacznie niższa, a jej średnia wynosi 2,9 mg/kg s.m. gleby.

2. Wpływ warunków siedliskowych na zawartość manganu, miedzi i kobaltu w roślinach

Ogólnie panuje pogląd w chemicznej ekologii roślin, że zawartość mikroelementów w roślinie nie zależy od ich zawartości w podłożu (A. P. Winogradow 1952). Pogląd ten jest oparty na podstawie obserwacji, że nie wszystkie rośliny na podłożu o większej koncentracji jakiegos mikroelementu wykazują w swych tkankach wyższą jego zawartość od średniej. Również według J. Wehrmanna (1955) związek między zawartością manganu w glebie a zawartością manganu w roślinie nie istnieje. Ten pogląd wydaje się słuszny, jeżeli bada się związek między zawartością manganu w roślinie a zawartością całkowitą (ogólną) tego mikroelementu w glebie, a więc nie tylko ilość jego dostępną roślinie, ale i ilość w formie nieprzyswajalnej. Taki właśnie związek badał J. Wehrmann. W naszych badaniach wzięliśmy pod uwagę tylko mangan w formie dostępnej roślinom, a więc przez nie przyswajalnej. Wyniki naszych analiz chemicznych pozwalają nam stwierdzić, że istnieje związek zależności między zawartością manganu w roślinach a zawartością tego mikroelementu w glebie w formie przyswajalnej dla roślin. Zależność ta została przedstawiona na wykresie graficznym (str. 133) zarówno dla roślin zielnych, jak i drzew z obu badanych siedlisk ekologicznych. Z wykresu tego można odczytać, że wyższym wartościom przyswajalnego manganu w glebie odpowiadają wyższe wartości manganu w roślinach. Na tabeli 9 wykazaliśmy stopień nagromadzenia w badanych roślinach manganu, miedzi

i kobaltu, przy określonych ilościach tych mikroelementów w formie przyswajalnej w glebie obu siedlisk lasu bukowego w Muszkowicach. Dane umieszczone na tej tabeli wykazują, że rośliny siedliska zbocza grzędy, którego gleba zawiera większe ilości dostępnego roślinom manganu, posiadają wyższy stopień nagromadzenia tego pierwiastka w swych tkankach.



Wykres X. Zależność zawartości manganu w roślinach zielnych i w liściach drzew od ilości czynnego manganu w glebie w lesie bukowym w Muszkowicach
1 — rośliny zielne, 2 — drzewa

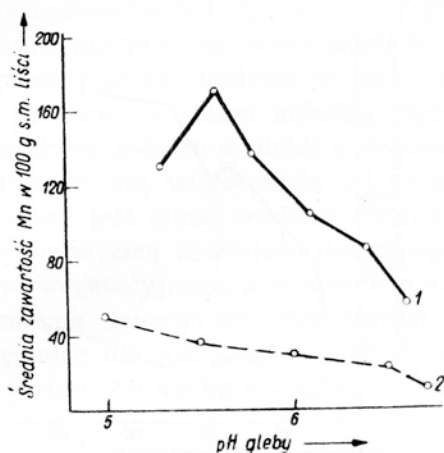
Jak wiadomo z badań E. Russela (1931) i J. Erkama (1950), kwasowość gleby warunkuje w niej ilość dostępnego manganu, a ponieważ, jak wykazaliśmy, pomiędzy zawartością manganu w roślinie a ilością przyswajalnego manganu w glebie istnieje bezpośrednia zależność, przeto

Tabela 9

Ilość nagromadzonych mikroelementów (mangan, miedź i kobalt) w roślinach, a ich zawartość w formie przyswajalnej w glebie obu siedlisk lasu bukowego w Muszkowicach w mg/1 kg s.m.

Mikro-elementy	Siedlisko	W glebie	W liściach drzew	W liściach roślin zielnych
Mn	zbocze grzędy	60—120	830—2080	250—500
	dolina strumienia	41—70	330—1420	80—453
Cu	zbocze grzędy	7,85—18,4	7,8—15,6	10,3—33,0
	dolina strumienia	12,5—33,0	9,4—27,3	14,0—33,0
Co	zbocze grzędy	1,1—2,87	0,000—0,023	0,18—0,28
	dolina strumienia	2,06—3,5	0,009—0,020	0,10—0,25

odczyn gleby jest czynnikiem najważniejszym, pośrednio wpływającym na stopień nagromadzenia manganu w roślinach. Zależność między zawartością manganu w roślinach a kwasowością gleby lasu bukowego w Muszkowicach przedstawia wykres XI. Z tego wykresu widać, że ro-



Wykres XI. Zależność zawartości manganu w roślinach zielnych w liściach drzew od kwasowości (pH) gleby w lesie bukowym w Muszkowicach

śliny zielne w lesie bukowym w Muszkowicach posiadają najwyższą zawartość manganu przy pH 5, a drzewa przy pH 5,6. W granicach odczynu obojętnego gleby badane rośliny wykazały najniższą zawartość manganu, co jest zgodne z wyrażonym poglądem E. Russela (1931). Różnice w kwasowości gleby, między siedliskiem zbocza grzędy a siedliskiem doliny strumienia, są przyczyną dość znacznych różnic w nagromadzeniu manganu nawet w tkankach roślin tych samych gatunków występujących w obu siedliskach. Szczególnie duże różnice w zawartości manganu zaznaczyły się w liściach *Fagus silvatica* i *Quercus sessilis* (Tab. 10).

Tabela 11 podaje natomiast różnice w nagromadzeniu manganu u roślin zielnych przy różnym pH gleby w lesie bukowym w Muszkowicach. Nasze analizy przeprowadzone na roślinach w ich naturalnym siedlisku, gdzie przebieg procesów glebowych nie jest zakłócony działalnością uprawową człowieka, potwierdzają wyniki doświadczeń J. Wehrmanna (1955), że ilość nagromadzonego manganu w tkankach roślin, przy zakwaszeniu gleby pH 6, jest stosunkowo wyrównana. Ponieważ mangan w glebie występuje w formie utlenionej, jest on tym lepiej przez rośliny przyswajalny, im więcej występuje w glebie czynników utleniających, a stąd wniosek, że procesy redukcji w glebie przebiegają tym prędzej,

Tabela 10

Zawartość manganu w liściach *Fagus sylvatica* i *Quercus sessilis* przy różnym pH gleby
w lesie bukowym w Muszkowicach
w mg/100 g s.m.

pH	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Quercus sessilis</i>
5,2	—	132,2
5,5	169,3	110,2
6,0	118,5	76,8
6,5	85,2	—
6,6	—	56,5
6,8	63,4	42,9

Tabela 11

Zawartość manganu u *Aegopodium podagraria*, *Actea spicata* i *Corydalis cava* przy różnym pH gleby
w lesie bukowym w Muszkowicach
w mg/100 g s.m.

pH	<i>Aegopodium podagraria</i>	<i>Actea spicata</i>	<i>Corydalis cava</i>
5,0	50,6	—	46,4
5,2	41,0	—	46,0
5,5	34,3	36,7	38,7
6,2	25,3	30,0	29,1
6,5	25,0	21,2	26,2

im wyższa jest wartość pH i im wyższa jest zawartość łatwo utleniających się organicznych substancji (w lesie w Muszkowicach w siedlisku zbocza grzędy). Dlatego kwasowość gleby jest najważniejszym czynnikiem warunkującym stopień nagromadzenia manganu w roślinie, przede wszystkim w tych glebach, gdzie ilość ogólnego manganu jest normalna. Przy bardzo niskich zawartościach manganu w glebie czynnik ten może być zupełnie nieistotny, bo jak stwierdziliśmy w lesie bukowym w Muszkowicach, przede wszystkim istnieje bezpośrednia zależność między zawartością dostępnego w glebie manganu a stopniem nagromadzenia w roślinie tego pierwiastka. Niższym znacznie wartościom ogólnego manganu w glebie z natury rzeczy muszą odpowiadać niższe wartości manganu w formie przyswajalnej przy pH const.

Z przedstawionych w niniejszej pracy danych analitycznych wynika, że istnieje zależność między nagromadzeniem miedzi w roślinach a zawartością tego mikroelementu w glebie (tab. 9). Rośliny rosnące na glebie o wyższej zawartości miedzi w formie przyswajalnej w lesie bukowym w Muszkowicach (siedlisko doliny strumienia) wykazały większy stopień

nagromadzenia w swych tkankach tego pierwiastka. W tym wypadku wyniki nasze są zgodne z wynikami J. Wehrmanna. Tak jak i J. Wehrmann mieliśmy do czynienia z analizami chemicznymi wielu gatunków roślin, które pod względem zawartości miedzi, jako składnika popielnego, zachowują bardzo wyraźnie indywidualne i gatunkowe różnice. Według naszych wyników analitycznych istnieje jednakże związek między zawartością miedzi w roślinie a zawartością jej formy przyswajalnej w glebie. Przemawia za tym fakt, że kwasowość gleby warunkuje ilość dostępnej roślinom miedzi w podłożu (wykres III). Szczególnie wyraźne są różnice w zawartości miedzi u niektórych roślin zielnych z lasu bukowego w Muszkowicach występujących na miejscach o różnym pH gleby w obu siedliskach (tab. 12). A zatem można przypuszczać, że odczyn gleby i w wypadku gromadzenia miedzi w roślinie jest ważnym czynnikiem siedliskowym warunkującym ilościową zawartość w roślinie tego pierwiastka.

Tabela 12

Różnice w zawartości Cu u niektórych roślin zielnych
w zależności od pH podłoża w mg/100 g s.m.

pH	<i>Aegopodium podagraria</i>	<i>Asarum europaeum</i>	<i>Corydalis cava</i>	<i>Mercurialis perennis</i>
5,0	1,6	1,3	—	—
5,2	—	—	1,4	—
5,5	2,3	1,8	1,6	1,9
6,2	—	2,2	—	2,2
6,5	3,3	—	2,3	2,6

K. Scharrer i N. Taubl (1954) podają, że w miarę wzrostu koncentracji kobaltu w glebie wzrasta zawartość kobaltu w roślinie, lecz stopień nagromadzenia tego pierwiastka może być różny. Na podstawie naszych wyników analitycznych nie możemy potwierdzić wniosków tych autorów. W warunkach ekologicznych lasu bukowego w Muszkowicach w odniesieniu do kobaltu mamy wręcz odmienne stosunki. W siedlisku doliny strumienia, mimo wyższej zawartości dostępnego roślinom kobaltu w glebie, zbadane rośliny posiadały niższą zawartość w swych tkankach tego mikroelementu, w porównaniu z roślinami tych samych gatunków rosnącymi w siedlisku zbocza grzędy, gdzie ilość przyswajalnego kobaltu w glebie jest niższa. Należy więc przypuszczać, że inne czynniki glebowe mają tu znacznie większe znaczenie dla nagromadzenia kobaltu w roślinie aniżeli jego zawartość w glebie. W tym miejscu jednak trzeba zaznaczyć, że z porównania stopnia nagromadzenia manganu i miedzi w badanych roślinach ze stopniem nagromadzenia w nich kobaltu wynika, że kobalt

w glebie lasu bukowego w Muszkowicach jest tylko w bardzo małej ilości dostępny roślinom.

Z badań fizjologicznych i glebowych Mitchella i Ekmana wynika, że największy wpływ na zawartość kobaltu w roślinach ma odczyn gleby. Nasze wyniki są zgodne z wynikami tych autorów, a zatem i w wypadku roślin zbiorowiska lasu bukowego można mówić o istnieniu zależności pomiędzy zawartością kobaltu w roślinach a kwasowością podłoża. Rośliny z gleby o odczynie kwaśnym (siedlisko zbocza grzędy) posiadają większą zawartość kobaltu w swych tkankach aniżeli rośliny z gleby o odczynie słabo kwaśnym lub neutralnym, mimo że ilość w tej glebie dostępnego kobaltu jest niższa od zawartości tego mikroelementu w glebie z bardzo słabo zakwaszonego siedliska doliny strumienia. Ta istotna różnica jest uwarunkowana zdecydowanie kwaśnym odczynem gleby w siedlisku zbocza grzędy, ponieważ wiadomo (Ekman), że ilość pobranego przez rośliny kobaltu, przy zakwaszeniu gleby pH 4,1 do pH 4,9, jest prawie dziesięciokrotnie większe niż przy pH 7. Rośliny rosnące na glebach w lesie bukowym w Muszkowicach zachowują mniej więcej taki właśnie stosunek (tab. 13).

Tabela 13

Różnice w zawartości Co u niektórych roślin zielnych
w zależności od pH podłoża w mg/100 g s.m.

pH	<i>Aegopodium podagraria</i>	<i>Asarum europaeum</i>	<i>Corydalis cava</i>	<i>Mercurialis perennis</i>
5,0	—	0,030	0,024	0,032
5,2	0,026	—	0,023	—
5,5	0,018	0,024	—	0,021
6,2	—	0,023	0,012	0,018
6,5	0,014	—	0,010	0,015

Na ilościową zawartość mikroelementów w roślinach wywierają również wpływ mineralne składniki gleby szeregu makroelementów. W naszej pracy z makroelementów gleby zbadaliśmy zawartość w glebie przyswajalnego wapnia, magnezu i potasu.

Z wyników naszych analiz chemicznych wyraźnie widoczna jest zależność zawartości manganu w roślinach od zawartości przyswajalnego wapnia w glebie. Rośliny zbadane w miejscach, w których w glebie zanotowano niższe wartości czynnego wapnia, posiadały wyższą zawartość manganu, co wydaje się proste z uwagi na fakt wpływu zawartości wapnia w glebie na ilość przyswajalnego w niej manganu.

Liście zbadanych drzew w siedlisku doliny strumienia, gdzie w glebie występuje dość znaczna ilość węglanu wapnia, posiadały dwukrotnie

niższą zawartość manganu w porównaniu z liśćmi z siedliska zbocza grzędy, gdzie w glebie węglanu wapnia nie stwierdziliśmy. Natomiast w siedlisku zbocza grzędy gleba posiada znacznie wyższą zawartość przyswajalnego potasu. Stwierdzone przez nas zależności w naturalnym siedlisku lasu bukowego potwierdzają słuszność wyników doświadczeń fizjologicznych E. W. Bolle-Jonesa (1955) i M. P. Löhnis (1951). Według E. W. Bolle-Jonesa zwiększona zawartość wapnia w glebie obniża zawartość manganu w roślinach, a zwiększenie potasu w glebie zwiększa zawartość manganu w roślinach. Według M. Löhnis zwiększenie ilości magnezu obniża zawartość przyswajalnego manganu w glebie. Jak wykazaliśmy w naszych badaniach, między zawartością manganu w roślinach a ilością przyswajalnego manganu w glebie istnieje proporcja prosta, z drugiej zaś strony zawartość przyswajalnego magnezu w glebie wpływa pośrednio na zawartość manganu w popiele roślin. Gleba siedliska zbocza grzędy ma nieco niższą zawartość magnezu od gleby siedliska doliny strumienia. Wprawdzie rośliny siedliska zbocza grzędy mają wyższą zawartość manganu w swych tkankach, ale różnica w zawartości przyswajalnego magnezu między glebą jednego siedliska a drugiego nie jest duża, dlatego uważamy, że ten czynnik ma mniejszy wpływ na stopień nagromadzenia manganu w roślinach.

Przy rozpatrywaniu wpływu przyswajalnych form wapnia, magnezu i potasu na zawartość miedzi w roślinach nie widzimy tak wyraźnej zależności, jak w wypadku manganu. Można jednak przyjąć, że kompleks czynników glebowych, a szczególnie wysoka zawartość wapnia w glebie doliny strumienia, warunkują wyższą zawartość miedzi w roślinach. Świadczy o tym również fakt występowania wyższych wartości miedzi obok wyższej wartości wapnia w tkankach roślin z doliny strumienia, w porównaniu z roślinami siedliska zbocza grzędy. J. Erkama (1950) na podstawie doświadczeń fizjologicznych przypuszcza, że istnieje antagonizm między miedzią a manganem. Wyniki naszych analiz przeprowadzonych w naturalnym siedlisku roślin potwierdzają przypuszczenia tego autora. W lesie bukowym w Muszkowicach zarówno w glebach, jak i w roślinach zawierających mniejsze ilości manganu występuje zawsze więcej miedzi i odwrotnie. K. Scharrer i N. Taubl (1954) wypowiedzieli pogląd, że wapń i potas w glebie działają hamująco na pobieranie kobaltu przez rośliny, a mangan stymuluje ten proces. Fakt ten dostatecznie jasno tłumaczy istniejące w lesie bukowym w Muszkowicach zjawisko pobierania przez rośliny zielne i przez drzewa mniejszej ilości kobaltu z podłoża o wyższej zawartości dostępnego kobaltu w dolinie strumienia. Wapń w tym wypadku wydaje się czynnikiem decydującym, ponieważ wpływa na obniżenie kwasoty gleby. Odwrotne stosunki panują w siedlisku

zbcza grzędy, gdzie rośliny, mimo niższej zawartości dostępnego roślinom kobaltu w glebie, wykazują większe nagromadzenie tego mikroelementu w liściach. A więc niższa zawartość wapnia w glebie i większa ilość dostępnego w niej manganu sprzyjają pobieraniu kobaltu przez rośliny.

3. Zmiany zawartości manganu, miedzi i kobaltu w roślinach w okresie wegetacyjnym

Zbadane przez nas rośliny lasu bukowego w Muszkowicach wykazują duże zmiany w zawartości manganu w okresie wegetacyjnym. Stwierdzono wzrost zawartości manganu w roślinach wraz z ich rozwojem. Nasze wyniki są zgodne z wynikami Snidera oraz Smitha i jego współpracowników. Na podstawie naszych wyników możemy przyjąć z dużym prawdopodobieństwem, że wzrost zawartości manganu w tkankach roślin wraz z przebiegiem ich rozwoju w ciągu okresu wegetacyjnego jest cechą raczej wszystkich roślin, a nie tylko drzew wiecznie zielonych, jak uważa Smith. Dotychczas zmian w zawartości manganu u roślin zielnych w ciągu okresu wegetacyjnego nie badano, jakkolwiek na różnice w zawartości tego mikroelementu u zbóż między stadium kłoszenia a stadium kwitnienia zwrócił uwagę J. Wehrmann (1955). Zbadane przez nas rośliny zielne w naturalnych warunkach rozwoju wykazały wzrost zawartości manganu po przebyciu okresu kwitnienia. Jak podaliśmy poprzednio A. P. Szczerbakow i M. S. Turkowa (1956) są przeciwnego zdania. Według tych autorów większe ilości manganu w liściach roślin jesienią pochodzą z nagromadzenia manganu w młodych organach liściowych, a nie w starych. W starych szpilkach siewek na przykład ilość manganu według nich maleje w rezultacie jego odpływu do młodych igieł. Nasze wyniki nie są zgodne z wynikami wyżej wymienionych autorów. Autorzy ci przeprowadzili badania tylko na młodych siewkach drzew szpilkowych i być może, że ich pogląd, ograniczony tylko do młodych siewek, jest słuszny. W swych badaniach przeprowadziliśmy oddzielnie analizę zawartości manganu w szpilkach młodych i oddzielnie w szpilkach starych, a więc z poprzedniego roku. Szpilki stare we wszystkich analizach wykazały wyższą zawartość manganu w porównaniu z zawartością tego pierwiastka w szpilkach młodych zebranych z tych samych okazów roślin. A zatem nie stwierdziliśmy od sierpnia odpływu manganu ze starych szpilek. Za słusnością tego poglądu przemawia również fakt wzrostu przyswajalnego manganu w glebie od maja aż do końca września. W swych badaniach wykazaliśmy również istnienie zależności między zawartością przyswajalnego manganu w glebie a zawartością tego mikroelementu w ro-

ślinach (wykres X). Wyższym wartościom dostępnego roślinom manganu w glebie odpowiada wyższa zawartość manganu w tkankach roślin.

Stwierdziliśmy również zmiany zawartości miedzi w tkankach roślin w ciągu okresu wegetacyjnego. U wszystkich roślin zanotowaliśmy spadek zawartości miedzi w roślinach w okresie pełnego rozwoju roślin, a więc w miesiącu czerwcu i lipcu. W literaturze bliższych danych o zmianach zawartości miedzi w roślinach w ciągu okresu wegetacyjnego nie ma, poza wzmianką B. Rademachera (1936), że rośliny intensywniej pobierają miedź w początkowych stadiach swego rozwoju (owies). Na uwagę zasługuje też ogólnikowe zdanie A. Maksimowa (1954), że rośliny gromadzą miedź do czasu zawiązywania się pączka kwiatowego. Istotnie stwierdziliśmy u roślin zielnych wyższą zawartość miedzi przed kwitnieniem. Po przekwitnieniu rośliny te wykazały już zmniejszoną zawartość miedzi i w porównaniu z zawartością z okresu przed kwitnieniem. Jednakże w późniejszych stadiach rozwoju, w okresie wegetacyjnym, stwierdziliśmy ponowny wzrost zawartości miedzi w liściach drzew (dąb, buk, sosna, świerk), o czym nie mówią wyżej wymienieni autorzy. Należy więc przypuszczać, że roślina gromadzi przez cały okres swego rozwoju miedź (u drzew szczególnie w liściach), a tylko w czasie kwitnienia i zawiązywania owoców część miedzi z liści przemieszcza do rozwijających się kwiatów. Przyjmujemy więc istnienie zjawiska okolicznościowego odpływu miedzi z liści w czasie kwitnienia i zawiązywania owoców. Za słusnością naszych przypuszczeń przemawia również dokładniej zbadany przez M. Rottową (1947) udział ilościowy miedzi w rozwijających się tkankach.

Stwierdziliśmy również zmiany w zawartości kobaltu w roślinach w ciągu ich okresu wegetacyjnego. Wszystkie rośliny zielne wykazały wyższą zawartość kobaltu w swoich tkankach już bezpośrednio po przekwitnieniu. W tym wypadku otrzymane wyniki są zgodne z badaniami N. Karlssona i O. Svanberga (1952), którzy badali zmiany w zawartości tego pierwiastka u koniczyny w okresie wegetacji. W liściach drzew zaobserwowaliśmy stopniowy ubytek kobaltu od sierpnia do października, czego dotychczas nie podawano w literaturze. Można więc przypuszczać, że kobalt prawdopodobnie w tym czasie odpływa do innych organów roślinnych przed zrzućciem liści na zimę.

W świetle omówionych w tym rozdziale wyników należy, naszym zdaniem, więcej uwagi poświęcić badaniom nad zmianami zawartości mikroelementów w roślinach i glebie w ciągu całego okresu wegetacyjnego, a w glebie nawet po okresie wegetacyjnym, co postuluje S. Macko (1956) jako jeden z warunków racjonalnych badań w dziedzinie chemicznej ekologii roślin.

WNIOSKI

1. Ilość manganu, miedzi i kobaltu w formie przyswajalnej dla roślin w naturalnej glebie leśnej jest uwarunkowana przebiegiem procesów glebowych, które charakteryzują właściwości fizykochemiczne podłoża, zmieniające się w obrębie różnych poziomów profilu glebowego. Zależność między zawartością w glebie manganu, miedzi i kobaltu w formie przyswajalnej a właściwościami fizykochemicznymi podłoża jest przyczyną warunkującą różnice w zawartości tych mikroelementów w roślinach w naturalnym zbiorowisku roślinnym, jakim jest las bukowy w Muszkowicach na Dolnym Śląsku.

2. Różnice w zawartości przyswajalnego manganu, miedzi i kobaltu w glebie siedliska zbocza grzędy i w glebie siedliska doliny strumienia w lesie bukowym w Muszkowicach są duże i uwarunkowane różnicą takich czynników ekologicznych glebowych, jak wilgotność gleby, stopień mineralizacji substancji organicznej, kwasowość podłoża oraz ilość wapnia, magnezu i potasu.

3. Ilość przyswajalnego manganu w glebach leśnych rezerwatu w Muszkowicach ulega ciągłym zmianom w okresie wegetacyjnym, a aktualny stan ilościowy tego mikroelementu jest wynikiem kompleksowo działających właściwości fizykochemicznych podłoża. Nie można zatem mówić o jakimś jednym czynniku decydującym o ilości dostępnego roślinom manganu w glebie. W przeprowadzaniu badań nad zawartością przyswajalnego manganu w glebie nie należy więc ograniczać się do analizy jednego lub dwóch czynników glebowych, szczególnie tylko do pH, co dotychczas jest ogólnie praktykowane, ponieważ aktualny stan zawartości dostępnego roślinom manganu w glebie jest wynikiem kompleksowego działania wielu czynników glebowych, a w szczególności: kwasowości podłoża, wilgotności, stopnia mineralizacji, ilości takich mikroelementów, jak Cu i Fe. W wyniku kompleksowego działania podanych wyżej czynników ekologicznych ilość przyswajalnego manganu w glebie siedliska zbocza grzędy jest bardzo wysoka i można ją zaliczyć do gleb bardzo bogatych w mangan. Inny wzajemny układ czynników ekologicznych gleby w siedlisku doliny strumienia decyduje o stosunkowo niskiej w niej zawartości przyswajalnego manganu, jakkolwiek ogólna zawartość w niej manganu jest charakterystyczna dla większości gleb leśnych.

4. Na zawartość przyswajalnej miedzi w glebie spośród zbadanych czynników ekologicznych bezpośredni wpływ ma kwasowość gleby, zawartość w niej czynnego wapnia oraz stopień mineralizacji substancji organicznej. Ilość przyswajalnej miedzi w glebie jest tym większa, im dalej jest posunięty proces mineralizacji ściółki leśnej, im niższa jest kwasowość gleby i im wyższa jest zawartość w niej czynnego wapnia. Te

właśnie czynniki warunkują wyższą zawartość dostępnej roślinom miedzi w siedlisku doliny strumienia w porównaniu z jej mniejszą zawartością w glebie siedliska zbocza grzędy, która zawiera dość znaczną ilość słabo rozłożonej substancji organicznej, odznacza się brakiem węglanu wapnia i zdecydowanie kwaśnym odczynem.

5. Na zawartość przyswajalnego kobaltu w glebie spośród zbadanych czynników ekologicznych bezpośredni wpływ ma kwasowość gleby, zawartość w niej wapnia, ilość frakcji gliniastej i stopień wilgotności. Ilość przyswajalnego kobaltu w glebie jest tym wyższa, im niższa jest jej kwasowość i im wyższa jest zawartość w niej wapnia. Wapń ma tu bezpośredni wpływ na stan zawartości dostępnego roślinom kobaltu w glebie, ale nie tylko w odniesieniu do jego roli neutralizującej kwasowość gleby. Im wyższa jest zawartość frakcji gliniastej w glebie, tym gleba jest bogatsza w kobalt w formie przyswajalnej. Ten czynnik jest skorelowany w swym działaniu z wilgotnością podłoża, bo jak wiemy, stopień wilgotności gleby pozostaje w prostym związku z jej frakcją gliniastą. Większej wilgotności gleby odpowiadają wyższe wartości dostępnego roślinom kobaltu. Niższą zawartość dostępnego roślinom kobaltu posiada gleba siedliska zbocza grzędy w porównaniu z zawartością tego mikroelementu w glebie siedliska doliny strumienia, gdzie ilość frakcji gliniastej i wilgotność są znacznie wyższe, a odczyn gleby słabo kwaśny i obojętny, zaś zawartość wapnia duża.

6. Między zawartością manganu w roślinie a ilością przyswajalnego manganu w podłożu istnieje ścisły związek. Im więcej przyswajalnego manganu w glebie, tym roślina więcej pobiera tego mikroelementu. A zatem czynniki glebowe warunkujące powstawanie odpowiedniej ilości przyswajalnego manganu w glebie mają pośredni wpływ na zawartość tego pierwiastka w roślinach. Te same gatunki roślin, rosnące w różnych środowiskach o różnej zawartości przyswajalnego manganu w glebie, pobierają różne jego ilości.

7. Zmiany w zawartości manganu w liściach drzew i w roślinach zielnych w okresie wegetacyjnym są związane ze zmianami zawartości przyswajalnego dla roślin manganu w podłożu. Zawartość manganu w roślinach wzrasta wraz z ich rozwojem w ciągu całego okresu wegetacji. Starsze liście zawierają więcej manganu od liści młodszych. Liście drzew mają znacznie wyższą zawartość manganu od roślin zielnych.

8. W tkankach roślin zielnych stwierdzono większą ilość miedzi aniżeli w liściach drzew. Między ilością miedzi w tkankach roślinnych a zawartością dostępnej roślinom miedzi w glebie istnieje zależność. Rośliny rosnące na glebach zawierających większe ilości miedzi przyswajalnej posiadają więcej miedzi w swych tkankach. Niższa kwasowość i wyższa

zawartość wapnia w glebie ułatwiają roślinom pobieranie z gleby i gromadzenie miedzi w tkankach.

9. W ciągu okresu wegetacyjnego rośliny zielne i drzewa gromadzą w swych tkankach miedź. Stwierdziliśmy odpływ miedzi z liści u dębu i u buka w miesiącu lipcu i ponowny wzrost jej zawartości w następnych miesiącach okresu wegetacyjnego aż do września. Jest to wywołane większym zapotrzebowaniem miedzi w zawiązujących się pączkach liściowych u tych drzew w miesiącu lipcu.

10. Między zawartością w glebie przyswajalnego kobaltu a jego zawartością w tkankach roślinnych istnieje taka zależność, że czynny wapń w glebie utrudnia pobieranie kobaltu przez rośliny, a czynny mangan w glebie oraz jej wyższa kwasowość ułatwiają roślinom gromadzenie kobaltu w tkankach.

11. Zbadane rośliny zielne i drzewa wykazują wzrost zawartości kobaltu w swych tkankach i liściach od wiosny do połowy września; w drugiej połowie tego miesiąca rośliny wykazują już ubytek tego mikroelementu w swoich tkankach, a ubytek ten jest jeszcze większy w październiku. To zjawisko — jeżeli chodzi o drzewa i byliny — tłumaczymy odpływem kobaltu z liści przed ich zrzućciem na zimę do innych części rośliny.

*Katedra Ekologii i Geografii Roślin
Uniwersytetu we Wrocławiu.*

(Wpłynęło dn. 6.9.1959 r.).

SUMMARY

The investigations here reported form part of extensive researches on the biocoenosis of the beech forest (nature reserve) at Muszkowice, Lower Silesia, started by Professor S. Macko as early as 1948. The detailed investigations which have been carried on in this region for several years are aimed at assembling a full knowledge of the bio-ecology of the beech forest community.

The object of this work has been to investigate the relation between the manganese, copper and cobalt content in plants and the content of these elements in the soil, as well as the influence on this relationship of ecological soil factors. For this purpose the content of manganese, copper, cobalt, and of some other elements (Ca, Mg, K) in herbaceous plants and in trees was analysed and was compared with a detailed analysis of habitat conditions. This constitutes a new approach to studies on trace elements in soil and in vegetation, i.e. to studies on the chemical ecology of plants. Conformably with the principles of the chemical ecology of plants the report shows the dynamics of the changes in the Mn, Cu, and Co contents in plants during their vegetative development.

Investigations on the content of trace elements and on changes of this

content in plants during the vegetative cycle were carried out for two distinctly different ecological habitats of the natural beech forest communities at Muszkowice: (I) a habitat on a hill slope, and (II) a habitat in the valley of a stream. The choice of these two habitats for comparative studies on the Mn, Cu, and Co content in plants and soil was dictated by the well cut differences in the physico-chemical properties of their soil demonstrated by detailed analyses of the conditions in the two localities carried out in the course of this work. The differences between the contents of trace elements and other elements covered by this investigation in the soils of the two beech forest habitats are shown in Table 1.

On habitat I the Mn, Cu, and Co content was determined for four tree species (*Pinus silvestris*, *Picea excelsa*, *Fagus sylvatica*, and *Quercus sessilis*) and eleven herbaceous species of the beech forest herb layer (*Aegopodium podagraria*, *Actaea spicata*, *Arum maculatum*, *Asarum europaeum*, *Asperula odorata*, *Convallaria maialis*, *Corydalis cava*, *Majanthemum bifolium*, *Mercurialis perennis*, *Polygonatum multiflorum* and *Ranunculus lanuginosus*). The results are assembled in Table 2.

On habitat II in the stream valley the content of the three trace elements was determined for three tree species (*Picea excelsa*, *Fagus sylvatica*, and *Quercus sessilis*) and eleven herbaceous species (*Aegopodium podagraria*, *Actaea spicata*, *Arum maculatum*, *Asarum europaeum*, *Asperula odorata*, *Convallaria maialis*, *Corydalis cava*, *Leucoium vernum*, *Majanthemum bifolium*, *Mercurialis perennis*, and *Polygonatum multiflorum*). The results are assembled in Table 3.

The plants for chemical analyses were gathered six times in the course of the vegetative season. The analyses were repeated in two consecutive vegetative seasons. In Mn, Cu, and Co determinations in herbaceous species special stress was laid on two stages of vegetation, the stages preceding and following the flowering of the plants. The Mn, Cu, and Co content for herbaceous species was determined in leaves, shoots, and roots, whereas for trees in leaves only. Simultaneously to the gathering of plants for chemical analyses soil samples were taken; besides Mn, Cu, and Co these samples were examined also for their physico-chemical properties, the pH, humidity, and the content of humus, calcium, potassium and magnesium.

The results of chemical test were analysed statistically according to the method of combined experiments, the confidence coefficient being 0.05. The differences between the particular combinations are proved (Tables, p. 124—130). The examined confidence interval does not always manifest a significant differentiation for the particular months and localities because the average values corresponding to the particular combinations differ only slightly and recur for various months in various localities. The significance of the differentiation is accepted on the ground of variation analyses and the "F" Snedecor test. The Snedecor test shows that the differentiation for the combinations, months, and localities, as well as for the cooperation of months and localities is significant.

The results obtained in the course of the investigation were discussed and compared with the reports of other workers in this field. The conclusions reached can be summarized as follows:

1. The content of assimilable manganese, copper, and cobalt in the natural forest soil depends on the course of the soil processes that characterize the physico-chemical properties of the substratum. These properties differ within the particular levels of the soil profile. The relation between the manganese, copper, and cobalt content in soil and the physico-chemical properties of the substratum is the factor determining the content of these trace elements in the plants growing in natural communities of the beech forest at Muszkowice.

2. The differences in the content of assimilable manganese, copper, and cobalt in the soils of the hill slope and the stream valley habitats are high. They are caused by differences of such ecological and soil factors as soil humidity, the mineralization degree of organic substances, the acidity of the substratum, and the amount of calcium, manganese, and potassium.

3. The amount of assimilable manganese in the forest soils of the nature reserve at Muszkowice undergoes constant changes in the course of the vegetative season. The actual content of this trace element at any time is determined by a whole complex of physico-chemical properties of the substratum. This means that there is no one factor determining the amount of manganese accessible for plants in soil. Thus, investigations on the amount of assimilable manganese in soil should not be restricted to one or two factors, as for instance the pH, which is the usual procedure in such investigations. Of the many factors influencing the content of assimilable manganese the most important are the acidity of the substratum, humidity, the degree of mineralization, and the content of such trace elements as Cu and Fe.

The concurrence of the ecological factors mentioned above leads to a very high content of assimilable manganese in the soil of the hill slope locality, so much so that it can be regarded as a soil rich in manganese. On the other hand, a different mutual relation of ecological factors in the stream valley locality determines the relatively low content of assimilable manganese in that soil, although, the overall manganese content there is characteristic for the majority of forest soils.

4. The assimilable copper content is influenced by the following of the ecological factors covered by this investigation: the acidity of soil, the active calcium content, and the degree of mineralization of organic substances. The amount of assimilable copper in the soil is directly proportionate to the mineralization degree of forest litter and the active calcium content, but inversely proportionate to the acidity of soil. These factors determine the higher content of copper accessible to plants in the stream valley locality as compared to the lower copper content in the soil of the hill slope locality. The latter locality is characterized by a rather high proportion of only partly decomposed organic matter, the lack of calcium carbonate, and a marked acidity.

5. The content of assimilable cobalt in the soil depends on the following of the investigated ecological factors: soil acidity, calcium content, the proportion of the clayey fraction, and humidity. The content of assimilable cobalt is inversely proportionate to the acidity of soil and directly proportionate to the calcium content. The direct influence of calcium on the

content of assimilable cobalt does not consist only in the part it plays in the neutralization of soil acidity. The higher is the proportion of the clayey fraction in soil the higher becomes the content of assimilable cobalt. This last factor is correlated in its effectiveness with the humidity of the substratum, since, as is well known, the humidity of soil is associated with the clayey fraction of soil. The greater humidity of soil corresponds to a higher content of assimilable cobalt. The soil of the hill slope has a lower content of cobalt accessible to plants than the soil of the stream valley. In the latter locality the proportion of the clayey fraction and the humidity are much higher, whereas the reaction of soil is either slightly acidic or neutral and the calcium content is high.

6. There is a strict relation between the content of manganese in the plants and the amount of assimilable manganese in the substratum. The higher the level of assimilable manganese in the soil the greater is the amount of this trace element assimilated by the plants. This means that the soil factors determining the formation of suitable amounts of assimilable manganese have an indirect influence on the content of this element in the plants. When the same plant species grow in various habitats with different contents of assimilable manganese in the soil they assimilate the element in different amounts.

7. The changes of the manganese content in the leaves of trees and in herbaceous plants in the course of vegetation are associated with the changes of the amount of manganese accessible to plants in the substratum. The manganese content in plants increases together with their development throughout the vegetative season. Older leaves have more manganese than young ones. The manganese content in the leaves of trees is much higher than in herbaceous plants.

8. The amount of copper in the tissue of herbaceous plants is higher than in the leaves of trees. There is a relationship between the amount of copper in the tissue of plants and the content of copper accessible to plants in soil. Plants growing on soils with a higher level of assimilable copper have more copper in their tissue. A lower acidity and a higher calcium content in soil facilitate the assimilation and the accumulation of copper in plant tissue.

9. In the course of the vegetative season herbaceous plants and trees accumulate copper in their tissues. However, in the case of *Quercus sessilis* and *Fagus silvatica* a decrease of copper was noted in July, but its amount increased again during the next months of vegetation until September. This drop of copper in July is associated with the higher demand for this element in connection with the formation of leaf buds by these trees.

10. The relation between the amount of assimilable cobalt in soil and its content in plant tissue is regulated by the following factors: active calcium in soil counteracts the assimilation of cobalt by plants, whereas active manganese in soil and the higher soil acidity facilitate the accumulation of cobalt in tissues.

11. In the herbaceous plants and trees covered by this investigation the amount of cobalt in the tissues and leaves increased from the spring until the middle of September. From the second half of September the

content of cobalt decreased and the decrease was even greater in October. In the case of trees and perennials this effect seems to be caused by the transport away of cobalt from the leaves to other plant organs before the shedding of leaves for the winter.

*Department of the Ecology and Geography of Plants,
Wrocław, University*

LITERATURA

- Adamczewski, St., 1956, Potrzeba, możliwości i perspektywy badań biologicznych w naszych Parkach Narodowych i Rezerwatach, Kosmos, ser. A Biol., R. V. z. 5 (22).
- Antipow-Karatajew, J., 1947, Poczwowiedzenie 11.
- Bolle-Jones E. W., 1955, The effect of varied nutrient levels on the concentration and distribution of manganese within the potato plant, Pland and Soil 1 (6): 45—60.
- Ekman P., Karsston N., Svanberg O., 1952, Acta Agr. Scandinavica 2: 115—127.
- Erkama J., 1950, On the effect of copper and manganese on the iron status of higher plants. Trace elements in plant physiology, s. 144, Waltham, Mass., U.S.A.
- Kabata, A., 1955, Zagadnienie sorpcji miedzi i kobaltu w glebie, Postępy Nauk Roln., 2: 53—60.
- Kamosuta, Okada, 1955, Soil and Mauure-Japan 26, nr 1 Referatiwnyj Żurnal-biologija 1956, N. 23, str. 152.
- Karlsson N., Svanberg O., 1952, Acta Agr. Scandinavica 2: 103—118.
- Kosegarten E., 1956, Der Manganhaushalt schleswig-holsteinischer Boden in Abhängigkeit von der Witterung, Pflanzenernähr. Dung, Bodenkunde 73 (1): 25—39.
- Kowda W. A., 1956, Mineralnyj sostaw rastienij i poczwoobrazowanie, Poczwowiedzenie 1: 6—38.
- Krugłowa E. K., 1956, O mikroelementach w poczwach chłopkowych pól w sredniej Azji, Poczwowiedzenie 1: 39—49.
- Krzemienievska H. i Badura L., 1954a, Acta Soc. Bot. Pol. 23 (4): 727—776.
- Krzemienievska H. i Badura L., 1954b, Acta Soc. Bot. Pol. Vol. 23 (3): 545—587.
- Lohnis M. P., 1951, Influence of magnesium on the uptake of manganese. Plant and Soil. 3: 193—222.
- Lundegardh H., 1937, Biochem. Ztschr. T. 207, s. 107.
- Macko S., 1954, Las bukowy w Muszkowicach i jego warunki ekologiczne. Acta Soc. Bot. Pol. Vol. 23 (3): 519—543.
- Macko S., 1956, W sprawie badań mikroelementów, Kosmos A. R. V. Biol. z. 1 (18).
- Maksimow A. i Okruszko H., 1950, Roczn. Glebozn. T. 66 s. 71.
- Maksimow A., 1954, Mikroelementy i ich znaczenie w życiu organizmów, s. 420, W-wa, P. W. R. i L.
- Maksimow A. 1949, Mikroelementy i mikronawozy, s. 286, W-wa, PIWR.
- Maluga D. P., 1946, Trudy Biogeochem. Labor. 8: 75—82. A. N. ZSSR.

- Maluga D. P., 1949, K geochimii razsiejania Ni i Co w biosferie. Doklady A. N. ZSSR 67, s. 1057.
- Maluga D. P., 1952, Rozprostranienije kobalta w ziemnoj korie, Mikroelementy w żyźni rastienij i żywotnych, s. 614, Moskwa, A. N. ZSSR.
- Maluga D. P. i Makarowa A. J., 1954, Doklady A. N. ZSSR 48 (5).
- Musierowicz A., 1956, Gleboznawstwo ogólne, s. 500, W-wa PWRiL.
- Myczkowski S., 1956, O Polskich Parkach Narodowych i Rezerwach Przyrody, Kosmos A. R. V. Biol. z. 4 (21) s. 395—402.
- Piejwe J. W., 1952, Kobalt w poczwach Łatfinskoj SSR i znaczenije jego w sielskom choziajstwie. Mikroelementy w żyźni rastienij i żywotnych, s. 614, Moskwa, A. N. ZSSR.
- Piejwe J. W. i Ajzupletie J., 1949, Izwestia A. N. Łotw. SSR. Ryga 5 (22): 20.
- Pietersburskij A., 1947, Praktikum po agrochimii, Moskwa.
- Piszczyk J., 1951, Wpływ nawożenia i płodozmianu na zawartość manganu w glebie, Annales UMCS, Sectio E. 6 (1): 1—33.
- Rademacher B., 1936, Reichs. Landw. u Forstwirsch. 21: 535—593.
- Reifer J., 1952, Roczn. Nauk Rol. 62: 99—108.
- Rottova M., 1947, The Movement of Iron, Manganese and Copper in the Germination of Aesculus hippocastanum, Acta Facult. Natur. Universit. Carolinae 179.
- Russel E., 1931, Poczwiennyje usłowia rosta rastienii, Moskwa s. 128 (przekład).
- Sarosiek J., 1955, Nowy kierunek badań ekologicznych — chemiczna ekologia, Kosmos, Ser. A, R. IV. z. 2 (13): 265—273.
- Scharrer K., Taubel N., 1954, Über den Einfluss der Dängung auf den Kobalt gehalt verschiedener Futterpflanzen, Z. Pflanzenernähr. Dung. Bodenkunde 67 (3): 248—261.
- Siedleckij J., 1947, Priroda 5: 19—23.
- Stabrowska J., 1956, Acta Soc. Bot. Pol. 25 (2): 305—323.
- Struszyński M., 1954, Analiza ilościowa i techniczna. T. II. W-wa, PWT.
- Szczerbaków A. P. i Turkowa H. S., 1956, O raspredienii i migracii marganca w chwoje siejancew sosny, jeli i listwiennicy, Doklady A. N. ZSSR 107 (4): 609—611.
- Szkolnik M. P., 1950, Znaczenije mikroelementów w żyźni rastienij i żywotnych w ziemliedielii, Izd. A. N. ZSSR, Moskwa-Leningrad.
- Wehrmann J., 1955, Mangan, Kupfer und Kobalt in Pflanzen und Boden Schleswig-Holsteinischer Weidegebiete, Plant and Soil 6 (1): 61—83.
- Winogradow A. P., 1952, Osnownyje zakonomiernosti w raspredienii mikroelementow mieźdu rastienijami a sriedoj. Sb. Mikroelementy w żyźni rastienij i żywotnych: 7—37, Izd. A. N. ZSSR.
- Własiuk P. A., Ledienskaja L. D., 1950, Soderżanije podwiżnych form mikroelementa marganca w poczwiennych raznowidnostiach Ukrainskoj SSR, Poczwowiedienije, 6: 321—328.
- Wolniewicz-Czerwińska K., 1956, Acta Soc. Bot. Pol. 25 (1): 111—158.
- Zonn S. W., 1956, Wzaimodiejstwija i wzaimowlijanija lesnoj rastitielnosti z poczwami, Poczwowiedienije 7: 80—120.