

## ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH MIKROPIERWIĄSTKÓW W WODZIE ODCIEKOWEJ ŁĄKI GÓRSKIEJ

PIOTR KACORZYK<sup>1</sup>, MIROSLAW KASPERCZYK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Zakład Łękarstwa, Instytut Produkcji Roślinnej, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie,  
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków*

<sup>2</sup>*Instytut Gospodarki Rolnej i Leśnej, Zakład Rolnictwa, Wyższa Szkoła Zawodowa im. Jana Grodka  
w Sanoku, ul. A. Mickiewicza 21, 38-500 Sanok*

**Synopsis.** Celem pracy było określenie stężenia i ładunków mikropierwiastków wyniesionych z wodą odciekową łąki górskiej. Doświadczenie obejmowało 4 warianty w trzech powtórzeniach i było przeprowadzone w latach 2014–2016. Wodę do analiz laboratoryjnych pobierano w trzech różnych okresach w ciągu roku oraz z dwóch warstw miąższości gleby 0–20 cm i 0–40 cm. Na stężenie i wielkość ładunków wynoszonych składników dodatnio wpływało nawożenie fosforowo-potasowe, a ujemnie zastosowane na jego tle nawożenie azotem. Z warstwy gleby o miąższości 0–20 cm ładunki mikropierwiastków wynoszonych z wodą były znacząco większe w porównaniu do ich wielkości pochodzących z warstwy 0–40 cm. Największe ładunki Zn, Cd, Cu i Fe były wynoszone z gleby w okresie pozawegetacyjnym (od 1 listopada do 31 marca), a najmniejsze w okresie powolnej vegetacji (od 1 lipca do 31 października). Największy ładunek Pb był wymywany w okresie powolnej vegetacji, a w okresie pozawegetacyjnym nie stwierdzono tego pierwiastka.

**Słowa kluczowe:** woda, mikroelementy, łąka górska

### WSTĘP

Gleba jest naturalnym tworem składającym się z około 100 pierwiastków. Jej naturalny skład znacząco zmienia działalność antropogeniczna. W działalności tej znaczący udział ma rolnictwo [Chojnicki i Kowalska 2009, Jaworska 2009, Sady i Smoleń 2004]. Na przykład Jaworska [2009] podaje, że bilans ołowiu we wszystkich glebach na terenie naszego kraju jest dodatni i obserwuje się stałe zwiększenie jego zawartości. Odzwierciedleniem zasobności gleb w składniki mineralne tylko w pewnym stopniu są skład chemiczny roślin i wody odciekowej. O przyswajalności składników przez rośliny oraz ich podatności na wymywanie decyduje wiele czynników wynikających ze składu granulometrycznego i właściwości chemicznych gleby [Blake i Goulding 2002, Godlewska i Kalembasa 2009]. Kalembasa i in. [2008] informują, że głównie gleby lekkie stanowią potencjalne zagrożenie dla środowiska i łańcucha pokarmowego gdyż zawierają dużo rozpuszczalnych form metali ciężkich. Z badań Zaniewicz-Bajkowska i in. [2009] wynika, że zabieg wapnowania obniżył zawartość rozpuszczalnego Cd, ale nie miał wpływu na jego ogólną ilość. Z kolei z badań Blake i Goulding [2002] wynika, że w miarę zwiększania się pH gleby przyswajalność przez rośliny Cd maleje, a po przekroczeniu pH 6,5 pierwiastek ten występuje w formie niedostępnej dla roślin. O wpływie wapnowania na zmniejszenie zawartości rozpuszczalnych form mikropierwiastków w glebie donosi wielu autorów [Laser 2007, Puschenreiter i in. 2005, Rosa i in. 2009]. Trawczyńska i in. [2009] informują,

<sup>1</sup> Adres do korespondencji – *Corresponding address:* piotr.kacorzyk@urk.edu.pl

że stosunkowo mało jest danych dotyczących faktycznego oddziaływania metali ciężkich na środowisko wodne. Jednocześnie podają, że trudne jest ustalenie dopuszczalnych norm metali ciężkich w wodzie ponieważ ich szkodliwość na ogół ujawnia się po dłuższym okresie oddziaływania. Z kolei Kabata-Pendias i Pendias [1993] informują, że zanieczyszczenie wód metalami ciężkimi jest niebezpieczne z tego względu, że w naturalnych procesach samo oczyszczenia zanieczyszczenia te nie ulegają likwidacji i akumulują się w łańcuchu pokarmowym. Zdaniem niektórych autorów za pierwiastki szczególnie niebezpieczne w środowisku uważa się: Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Pb i Zn [Mudhoo i in. 2012]. Na kształtowanie się wielkość i jakość wód rzecznych znaczący wpływ mają wody odciekowe [Baran i in. 2011, Przewocka i Rosada 2013].

Celem pracy było określenie wpływu zróżnicowanego nawożenia mineralnego na stężenie i ilość mikropierwiastków wymywanych z profilu glebowego oraz ich wpływ na środowisko wodne.

## MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w latach 2014–2016 na terenie stacji doświadczalnej Uniwersytetu Rolniczego, znajdującej się w Beskidzie Sądeckim, w paśmie Jaworzyny Krynickiej. Doświadczenie założono na łące z dużym udziałem kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.) i mietlicy pospolitej (*Agrostis capillaris* L.). łąka położona była na wysokości 610 m n.p.m. na zboczu o nachyleniu 4° kierunku NE (20°55' E, 49°24' N). Średnia roczna ilość opadów atmosferycznych za okres badań wynosiła 1007 mm. Na polu doświadczalnym występuje gleba o składzie granulometrycznym gliny lekkiej. W warstwie 0–20 cm gleba ta zawiera 57% piasku (frakcja 2–0,05 mm), 33% pyłu (frakcja 0,05–0,002 mm) i 10% iłu (frakcja < 0,002 mm). Warstwa 20–40 cm zawiera 58% piasku, 32% pyłu i 10% iłu. Według WRB glebę sklasyfikowano jako Haplic Cambisol (Dystric) [PTG 2011]. Gleba na obiekcie kontrolnym charakteryzowała się następującymi właściwościami: pH w KCl – 4,3 mol·dm<sup>-3</sup>, substancja organiczna – 28,2 g·kg<sup>-1</sup> s.m., N ogólnego 2,45 g·kg<sup>-1</sup> s.m., przyswajalne formy P, K i Mg odpowiednio 5,10; 67,0; 75,0 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. Maksymalna pojemność wodna oznaczona przy nienaruszonej strukturze gleby wynosiła 59%, a połowa pojemność wodna 29%. Doświadczenie założono metodą losowanych bloków w 3 powtórzeniach. Podczas całego okresu badań wszystkie objekty z wyłączeniem wariantu kontrolnego, regularnie nawożono. Zastosowano 4 następujące warianty:

1. Kontrola – łąka nienawożona
2. łąka nawożona mineralnie w dawce P<sub>20</sub>K<sub>60</sub> kg·ha<sup>-1</sup>
3. łąka nawożona mineralnie w dawce N<sub>90</sub>P<sub>20</sub>K<sub>60</sub> kg·ha<sup>-1</sup>
4. łąka nawożona mineralnie w dawce N<sub>120</sub>P<sub>20</sub>K<sub>60</sub> kg·ha<sup>-1</sup>

Azot w formie saletry amonowej (34% N) na wybranych obiektach był stosowany w dwóch dawkach. Pod pierwszy odrost zastosowano 70% dawki azotu, a pod drugim 30%. Fosfor mineralny w postaci superfosfatu (40% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) i potas w formie soli potasowej (56% K<sub>2</sub>O) stosowano corocznie w całości na początku wegetacji. Jesienią 2013 roku zastosowano wapnowanie, wapnem tlenkowym z zawartością magnezu (40% CaO, 20% MgO) w dawce 1,5 t·ha<sup>-1</sup> na wszystkich obiektach.

Badane objekty użytkowano kośnie dwukrotnie w ciągu roku. Pierwszy odrost zbierano na początku kwitnienia kostrzewy czerwonej – III dekadzie czerwca, a drugi odrost w I dekadzie września.

Wszystkie objekty były wyposażone w lizymetry modyfikacji Szyłowej, które służyły do zbierania wody odciekowej. W lizymetrach zbierano wodę z dwóch warstw gleby o miąższości

0–20 cm i 0–40 cm. Zbiorecza powierzchnia każdego lizymetru była w kształcie koła o promieniu 25 cm. Dna lizymetrów wypełniono żwirem, skąd przez lejcowate dno i rurkę woda spływała do zbiorników, które znajdowały się poza powierzchnią doświadczenia w specjalnie przygotowanym podpiwniczeniu.

Zebraną wodę odciekową z poszczególnych wariantów zbadano w laboratorium w celu oznaczenia zawartości: Cd, Pb, Cu, Fe, Zn metodą ICP-AES za pomocą aparatu firmy JY 238 Ultrace [Jones i Case 1990].

Pomiaru stężenia pierwiastków w wodach odciekowych dokonywano w trzech okresach czasu. W okresie intensywnej wegetacji I (od 1 kwietnia do 30 czerwca), powolnej wegetacji II (od 1 lipca do 31 października) oraz pozawegetacyjnym III (od 1 listopada do 31 marca). Podział na powyższe okresy badawcze wynika z konieczności określenia, jaki wpływ ma wegetacja roślin lub jej brak na ilość i jakość wody odciekowej. Na podstawie ilości wody odciekowej i zawartości pierwiastków w niej obliczono ładunki składników wymywanych z powierzchni 1 hektara.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie z uwzględnieniem jednoczynnikowej analizy wariancji i testu NIR przy poziomie istotności  $\alpha < 0,05$  wykorzystując program Statistica 7.

## WYNIKI BADAŃ

Najmniej wody odciekowej odpłynęło z obiektu kontrolnego, dla warstwy gleby o miąższości 0–20 cm odpływ wynosił 664 mm, a dla 40 cm 574 mm dawało to różnicę 18% (tab. 1). Odpływy wody z obiektów nawożonych były wyższe od kilku do kilkunastu procent od odpływu z wariantu kontrolnego. We wszystkich obiektach odpływy z warstwy gleby o miąższości 0–40 cm były mniejsze średnio o 18% od odpływów z warstwy gleby o miąższości 0–20 cm.

Stężenie Cd, Pb, Cu i Fe w wodzie odciekowej pochodzącej z miąższości 0–20 cm było 1,5–6-krotnie większe w porównaniu z wodą pochodzącą z gleby o z miąższości 0–40 cm (tab. 2). Najmniejsza różnica dotyczyła Fe, a największa Cd. Z kolei stężenie Zn w wodzie pochodzące z obydwu badanych miąższości gleby było zbliżone. Największym stężeniem Zn, Cd, Cu i Fe cechowała się woda w okresie III (pozawegetacyjny), a najniższym w okresie II (powolna wegetacja). Stężenie Pb największe było w okresie II, a w okresie trzecim nie stwierdzono jego obecności w wodzie. Decydujący wpływ na stężenie analizowanych czynników miało nawożenie fosforowo-potasowe. W odniesieniu do kontroli nawożenie najbardziej zwiększyło zawartość Pb 15–30-krotnie, a najmniej Cu zaledwie o 10–20%. Nawożenie azotowe zastosowane na tle PK obniżało w wodzie stężenie Zn, Pb, Cu i Fe a na stężenie Cd nie miało jednoznacznego wpływu.

Różnice w ilości wody odciekowej pomiędzy obiektami były duże wynosiły 10–15%, a zatem wielkości ładunków analizowanych składników były odzwierciedleniem ich stężenia w wodzie odciekowej (tab. 1). Największy wpływ na wielkość tych ładunków wynoszonych z gleby miało nawożenie fosforowo-potasowe. Nawożenie w odniesieniu do obiektu kontrolnego zwiększyło wielkości ładunków wynoszonych pierwiastków z obu warstw gleby. W przypadku Cu i Cd różnica była 1,5-krotna, a Fe 3-krotna. Pod wpływem powyższego nawożenia ładunek Zn wynoszony z warstwy gleby o miąższości 0–20 cm był 2,5-krotnie większy, a miąższości głębszej 2,2-krotnie od wariantu kontrolnego. Natomiast ładunek Pb zwiększył się odpowiednio z miąższości płytszej 35-krotnie, a miąższości głębszej 20-krotnie. Nawożenie azotowe zastosowane na tle PK na ogół nie miało jednoznacznego wpływu na wielkości ładunków Cu i Pb, a ładunki Zn i Fe zmniejszyły się pod jego wpływem. Ładunek Cd wynoszony z warstwy

Tabela 1. Ilości wody odciekowej oraz ładunki mikropierwiastków wyniesione z wodami odciekowymi z warstwy gleby o miąższości 0–20 i 0–40 cm; średnio z lat 2014–2016

Table 1. The amount of leachate water and microelements eluted with leachate waters from the soil profile of a depth of 0–20 i 0–40 cm depending on the level of fertilization; average values from the years 2014–2016

Wariant Variant	Okres Period	Ilość wody odciekowej Leachate water amount (mm)		Ilość mikropierwiastków wyniesionych z wodą odciekową Amount of eluted components									
				Zn		Cd		Pb		Cu		Fe	
				(kg·ha <sup>-1</sup> )				(g·ha <sup>-1</sup> )					
Warstwa (cm) Layer (cm)		0–20	0–40	0–20	0–40	0–20	0–40	0–20	0–40	0–20	0–40	0–20	0–40
Kontrola Control	I	99	92	3,78	4,33	2,60	0,45	0,00	0,30	23,00	5,75	343	242
	II	94	75	3,20	2,21	1,45	0,25	2,10	0,50	9,15	6,35	297	220
	III	109	94	9,35	9,21	4,10	0,50	0,00	0,00	30,20	16,60	646	298
	Suma/Sum	302	261	16,33	15,75	8,15	1,20	2,10	0,80	62,35	28,70	1285	761
P <sub>20</sub> K <sub>60</sub>	I	111	95	11,04	6,02	3,80	0,40	12,40	0,80	26,40	9,50	1168	675
	II	104	84	1,55	6,03	1,55	0,40	21,90	15,05	10,85	7,30	1064	542
	III	115	112	26,94	23,01	6,60	1,00	0,00	0,00	43,20	28,50	1621	951
	Suma/Sum	329	291	39,53	35,06	11,95	1,80	34,30	15,85	80,45	45,30	3853	2168
N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub>	I	116	109	16,80	8,71	4,35	0,65	17,60	0,40	14,90	8,45	322	211
	II	100	97	3,58	9,95	1,65	0,95	18,75	16,80	12,25	7,05	280	209
	III	121	113	17,74	13,65	5,40	0,90	0,00	0,00	31,80	15,70	335	235
	Suma/Sum	337	319	38,12	32,31	11,40	2,50	36,35	17,20	58,95	31,20	937	655
N <sub>120</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub>	I	118	93	10,72	8,37	2,00	1,05	11,24	0,35	18,35	5,90	411	198
	II	106	92	1,96	10,50	1,55	0,70	21,25	12,01	10,40	6,60	269	143
	III	122	116	24,83	12,64	6,80	1,90	0,00	0,00	41,50	38,47	527	430
	Suma/Sum	347	301	37,51	31,51	10,35	3,65	32,49	12,36	70,25	50,97	1207	771
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>		38	36	3,20	4,30	1,11	0,21	3,00	1,20	9,21	8,50	235	101

I – intensywna vegetacja/period of intensive vegetation, II – spowolniona vegetacja/period of slow vegetation, III – sezon pozawegacyjny/off-season period

o miąższości płytszej na obiektach z nawożeniem azotowym był podobny jak w obiekcie otrzymującym nawożenie fosforowo-potasowe, a z warstwy o miąższości głębszej miał tendencje wzrostową w miarę zwiększania dawki azotu.

Pomiędzy analizowanymi warstwami gleby wystąpiły znaczne różnice w wielkości ładunków wynoszonych składników. Większe ładunki były wnoszone z gleby o miąższości płytszej. W przypadku Pb i Cu różnica ta we wszystkich wariantach była 2-krotna, przy Fe 1,3-krotna. Z kolei w przypadku Cd w wariantach kontrolnym i nawożonym PK różnica pomiędzy tymi warstwami była 6–7-krotna, a w obiektach PKN 3–4-krotna. Natomiast wielkości ładunków Zn wynoszone z obu warstw gleby były zbliżone.

Tabela 2. Stężenie mikroelementów w wodzie odciekowej z warstwy gleby o miąższości 0–20 i 0–40 cm; średnio z lat 2014–2016

Table 2. Concentration of microelements in seep water from the soil profile of a depth of 0–20 i 0–40 cm depending on the level of fertilization; average values from the years 2014–2016

Wariant Variant	Okres Period	Stężenie mikroelementów w wodzie odciekowej Concentration of microelements in seep water									
		Zn		Cd		Pb		Cu		Fe	
		(mg·dm <sup>-3</sup> )				(μg·dm <sup>-3</sup> )					
Warstwa (cm) Layer (cm)	0–20	0–40	0–20	0–40	0–20	0–40	0–20	0–40	0–20	0–40	
Kontrola Control	I	3,82	4,71	2,63	0,49	0,00	0,33	23,23	6,25	346	263
	II	3,40	2,95	1,54	0,33	2,23	0,67	9,73	8,47	316	294
	III	8,58	9,80	3,76	0,53	0,00	0,00	27,71	17,66	592	317
	Średnio* Mean	5,41	6,03	2,70	0,46	0,70	0,31	20,65	11,00	426	291
P <sub>20</sub> K <sub>60</sub>	I	9,95	6,34	3,42	0,42	11,17	0,84	23,78	10,00	1052	711
	II	1,49	7,18	1,49	0,48	21,06	17,92	10,43	8,69	1023	645
	III	23,43	20,54	5,74	0,89	0,00	0,00	37,57	25,45	1409	849
	Średnio Mean	12,02	12,05	3,63	0,62	10,43	5,45	24,45	15,57	1171	745
N <sub>90</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub>	I	14,48	7,99	3,75	0,60	15,17	0,37	12,84	7,75	277	194
	II	3,58	10,26	1,65	0,98	18,75	17,32	12,25	7,27	280	215
	III	14,66	12,08	4,46	0,80	0,00	0,00	26,28	13,89	277	208
	Średnio Mean	11,31	10,13	3,38	0,78	10,79	5,39	17,49	9,78	278	205
N <sub>120</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub>	I	9,08	9,00	1,69	1,13	9,53	0,38	15,55	6,34	348	213
	II	1,85	11,41	1,46	0,76	20,05	13,05	9,81	7,17	253	155
	III	20,35	10,90	5,57	1,64	0,00	0,00	34,02	33,16	432	371
	Średnio Mean	10,81	10,47	2,98	1,21	9,36	4,11	20,24	16,93	348	256
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	1,26	1,12	0,21	0,11	1,75	1,45	2,01	1,32	35,4	24,1	

\* średnia ważona/weighted average

I – intensywna vegetacja/period of intensive vegetation, II – spowolniona vegetacja/period of slow vegetation, III – sezon pozawegacyjny/off-season period

## DYSKUSJA

Z punktu widzenia środowiska przyrodniczego podstawowe znaczenie mają wielkości składników wynoszonych z wodą. Mniejsze ładunki składników wynoszonych z miąższości gleby 0–40 cm w porównaniu z wielkością wynoszonych składników z miąższości gleby 0–20 cm można tłumaczyć następującymi faktami: pobraniem składników przez głębiej sięgający system korzeniowy roślin, mniejszą o 10–15% ilością wody odciekowej, zatrzymaniem ich na

zasadzie sorpcji przez większą miąższość gleby. Dodatnia zależność pomiędzy ilością wody odciekowej, a wielkością wynoszonego ładunku składników znajduje odzwierciedlenie w wynikach badań innych autorów [Jaguś i Twardy 2006, Kacorzyk 2018, Kacorzyk i in. 2016]. Przykładem istnienia tej zależności w niniejszych badaniach były zbliżone różnice w wielkości wynoszonych ładunków do ilości wody odciekowej w poszczególnych okresach badawczych i prawie identyczne różnice w wielkości wynoszonego Zn oraz ilością wody odciekowej występujące pomiędzy badanymi warstwami gleby. Kolejna zależność dotycząca zatrzymywania składników przez większą miąższość gleby znajduje potwierdzenie w 6–7-krotnym mniejszym ładunku Cd wynoszonego z gleby o większej miąższości w odniesieniu do mniejszej miąższości. Zależność ta znajduje odzwierciedlenie w wynikach innych badaczy, którzy podają, że Cd szczególnie zatrzymywany jest w głębszej warstwie gleby [Jaworska 2009]. Dodatkowo w niniejszych badaniach stwierdzone większe ładunki Zn, Cu, Pb wynoszone z wodą z gleby o mniejszej miąższości należy łączyć z ich większą zawartością w warstwie próchnicznej o czym informują Chojnicki i Kowalska [2009]. Zaobserwowany szczególnie dodatni wpływ nawożenia PK na wielkości wynoszonych ładunków poszczególnych składników był efektem dostarczenia ich z nawozami. Jaworska [2009] informuje, że w nawozach fosforowych dostarcza się Pb – 7,255 mg·kg<sup>-1</sup> i Cd 0,1–171 mg·kg<sup>-1</sup>, a w siarczanie amonu odpowiednio: 2–27 mg·kg<sup>-1</sup> i 0,05–8,5 mg·kg<sup>-1</sup>. Zaobserwowany w większości wariantów ujemny wpływ nawożenia azotowego zastosowanego na tle PK na wielkość wynoszonych ładunków z wyjątkiem Cd należy tłumaczyć ich pobraniem przez lepiej plonującą roślinność. Chociaż Malhi i in. [1998] pod wpływem nawożenia azotem stwierdzili zwiększenie przyswajalnego Zn w glebie. Z badań innych autorów [Smoleń i Sady 2007] wynika, że o ilości przyswajalnych mikropierwiastków w glebie decyduje rodzaj nawozu azotowego. Brak obecności Pb w wodzie odciekowej w III okresie badawczym, a znaczne jego ilości w okresie II można łączyć z wpływem warunków meteorologicznych na właściwości gleby. Według Trawczyńskiej in. [2009] obecność tego pierwiastka w roztworze glebowym z reguły jest mała bo jego związki są słabo rozpuszczalne w wodzie. Dlatego w okresie III przy niskiej temperaturze gleby i słabym przemieszczaniu się wody rozpuszczalność związków tego pierwiastka była ograniczona w porównaniu do okresu II charakteryzującego się wyższą temperaturą.

## WNIOSKI

1. Pomiędzy wielkością ładunków mikropierwiastków wynoszonych z gleby oraz ilością wody odciekowej, a miąższością gleby przez którą ulegały one przemieszczeniu stwierdzono zależność ujemną.
2. Największe ładunki Zn, Cd, Cu i Fe były wynoszone z gleby w okresie pozawegetacyjnym (od 1 listopada do 31 marca), a najmniejsze w okresie powolnej wegetacji (od 1 lipca do 31 października). Świadczy to, że w drugiej połowie okresu wegetacji zachodzące intensywne procesy biochemiczne w glebie zwiększyły immobilizację większości składników.
3. Przyczyną braku obecności Pb w wodzie odciekowej w okresie pozawegetacyjnym (od 1 listopada do 31 marca) była niska temperatura ograniczająca rozpuszczalność jego związków, na którą jest on mało podatny.
4. Nawożenie fosforowo-potasowe dodatkowo wpływało na wielkość ładunków poszczególnych składników wynoszonych z gleby z wodą odciekową, natomiast dawki azotu na tle powyższego nawożenia zmniejszały wielkości ładunków większości składników.

## PIŚMIENICTWO

- Baran A., Kacorzyk P., Jasiewicz C., Kasperczyk M. 2011. Wymywanie pierwiastków śladowych z gleby w zależności od rodzaju nawożenia łąki górskiej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 11(1): 13–19.
- Blake L., Goulding K.W.T. 2002. Effect of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station. *Plant Soil* 240: 235–251.
- Chojnicki J., Kowalska M. 2009. Rozpuszczalny Zn, Cu, Pb i Cd w uprawnych glebach pływowych, wytworzonych z pokrywowych utworów pyłowych równiny błońskiego-sochaczewskiej. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 40: 49–55.
- Godlewska A., Kalembasa S. 2009. Wpływ nawożenia organicznego, wapnowania i gatunku gleby na zawartość Li, Ba i Ti w życicy wielokwiatowej. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 41: 571–584.
- Jaguś A., Twardy S. 2006. Wpływ zróżnicowanego użytkowania łąki górskiej na plonowanie runi i cechy jakościowe odpływających wód. *Wyd. IMUZ – Falenty/Kraków*.
- Jaworska H. 2009. Profilowa dystrybucja oraz mobilność ołowiu i kadmu w glebie uprawnej o zróżnicowanym uziarnieniu. The profile distribution and the mobility of lead and cadmium in arable soil of various texture. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 40: 65–69.
- Jones J. B., Case V.W. 1990. Soil testing and plant analysis. 3rd ed. Soil Science Society of America SSSA, Chapter 15.
- Kabata-Pendias, Pendias H. 1993. *Biochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
- Kacorzyk P. 2018. Wartość gospodarcza okrywy roślinnej gleby w aspekcie nawożenia oraz zdolności retencyjnej płytkiej gleby górskiej. *Zesz. Nauk. UR Kraków* 539, Rozpr. 416, ss. 130.
- Kacorzyk P., Kasperczyk M., Szewczyk W. 2016. Wpływ rodzaju nawożenia na ilość wymywanych podstawowych składników nawozowych z gleby łąki górskiej. *Fragm. Agron.* 33(1): 48–54.
- Laser H. 2007. Effect of liming and nitrogen application on the trace element concentration of pastures in low mountain range. *Plant Soil Environ.* 53(6): 258–266.
- Malhi S.S., Nybork M., Harapiak J.T. 1998. Effect of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay. *Soil Till. Res.* 48: 91–101.
- Mudhoo A., Garg V.K., Wang S. 2012. Removal of heavy metals by biosorption *Chem. Lett.* 10: 109–117.
- Przewocka M., Rosada J. 2013. Monitoring gleb zlokalizowanych wokół huty miedzi Głogów. *Zesz. Nauk. UZ, Inż. Środ.* 149(29): 97–105.
- PTG 2011. *Systematyka gleb Polski*. Rocz. Glebozn. 62.
- Puschenreiter M., Horak O., Friesl W., Hartl W. 2005. Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into food chain – a review. *Plant Soil Environ.* 51: 1–11.
- Rosa R., Zaniewicz-Bajkowska A., Franczuk J., Kosterna E. 2009. Wpływ wapnowania gleby na akumulację ołowiu w sześciu odmianach buraka. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 41: 462–469.
- Sady W., Smoleń S. 2004. Wpływ czynników glebowo-nawozowych na akumulację metali ciężkich w roślinach. *Rocz. AR Poznań* 356, *Ogrodnictwo* 37: 269–277.
- Smoleń S., Sady W. 2007. The effect of nitrogen fertilizer form and foliar application on Cd, Cu and Zn concentrations in carrot. *Folia Horticulturae* 19(1): 87–96.
- Trawczyńska A., Toloczko W., Niewiadomski A. 2009. Zawartość pierwiastków śladowych w wodach górnej Bzury. The content of trace elements in water of the upper course of the Bzura river. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 40: 491–496.
- Zaniewicz-Bajkowska A., Rosa R., Franczuk J., Kosterna E. 2009. Wapnowanie gleby a akumulacja kadmu w buraku ćwikłowym. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 41: 377–384.

---

P. KACORZYK, M. KASPERCZYK

**CONTENT OF SOME MICROELEMENTS IN SEEPAGE WATER OF A MOUNTAIN  
MEADOW**

**Summary**

The purpose of the work was to determine the concentration and charges of microelements removed from the seepage water of a mountain meadow. The experiment covered 4 variants in triplicate and was carried out in 2014–2016. Water for laboratory analyzes was collected at three different periods during the year and from two layers of soil thickness 0–20 cm and 0–40 cm. The phosphate and potassium fertilization had a positive effect on the concentration and volume of charged components, and the nitrogen fertilization negatively applied on the background. From the layer of soil with a thickness of 0–20 cm, charges of microelements carried out with water were significantly higher compared to their size coming from the 0–40 cm layer. The largest loads of Zn, Cd, Cu and Fe were taken from the soil during the post-vegetative period (from November 1 to March 31), and the smallest during the slow growing season (from July 1 to October 31). The largest Pb load was carried out in the period of slow vegetation, and in the post-vegetative period there was a lack of this element.

**Key words:** water, microelements, mountain meadow

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 22.07.2019

Do cytowania – *For citation*

Kacorzyk P., Kasperczyk M. 2019. Zawartość wybranych mikropierwiastków w wodzie odciekowej łąki górskiej. *Fragm. Agron.* 36(3): 12–19.