

## ZASTOSOWANIE TESTU 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CHLORKU WAPNIA W OCENIE ZASOBNOŚCI GLEBY ŁĄKOWEJ I JAKOŚCI WÓD GRUNTOWYCH

Irena BURZYŃSKA

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Zakład Chemii Gleby i Wody

*Słowa kluczowe: gleba łąkowa, płytkie wody gruntowe, roślinność łąkowa, wyciąg glebowy 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> chlorku wapnia*

### Streszczenie

Celem badań była ocena przydatności wyciągu 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> z gleby łąkowej do określenia współzależności między zawartością składników mineralnych w tej glebie a ich zawartością w roślinności łąkowej I pokosu oraz między zawartością składników mineralnych w wyciągu z gleby a ich stężeniem w płytkich wodach gruntowych. Badania prowadzono w celu wyznaczenia liczb granicznych zawartości w glebie dostępnych dla roślinności łąkowej form składników na podstawie zawartości tych składników w wyciągu 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub>. Wspomniany roztwór ekstrakcyjny stosowano także do oceny ryzyka zanieczyszczenia płytkich wód gruntowych wymienionymi składnikami mineralnymi. Badania prowadzono na wieloletnich doświadczeniach łąkowych oraz na łąkach produkcyjnych. Na podstawie wyznaczonych korelacji liniowych Pearsona między zawartością wybranych składników, tj. P, K, Mg, Mn i Zn, z „diagnostycznej” warstwy gleby (0–15 cm) a ich zawartością w roślinności łąkowej I pokosu wyznaczono wstępnie zawartości graniczne dostępnych form składników w mineralnej glebie użytkowanej łąkowo. Stwierdzono statystycznie istotne współzależności Spearmana między zawartością fosforu i magnezu w wyciągu z gleby a ich stężeniem w płytkich wodach gruntowych w okresie od marca do grudnia. Ostateczne wyznaczenie zawartości granicznych w glebie dostępnych dla roślinności łąkowej form składników mineralnych na podstawie wyciągu 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub>, a także oszacowanie ryzyka zanieczyszczenia płytkich wód gruntowych będzie możliwe po wykonaniu szerszych badań w skali kraju.

## WSTĘP

Pośrednią i uproszczoną miarą absorpcji składników pokarmowych jest ich ekstrakcja z gleby metodą testów glebowych. Od przeszło czterdziestu lat w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach do oznaczania zasobności gleb użytkowanych łąkowo w składniki mineralne stosuje się zaproponowany przez OKRUSZKĘ i WALCZYŃNĄ [1970] roztwór  $0,5 \text{ mol-dm}^{-3}$  HCl. Jego zastosowaniem do badania gleb na użytkach zielonych zajmowali się m.in. CHOROMAŃSKA [1983], RYCHLIĆKA i SAPEK [1979] oraz SAPEK i SAPEK [1977]. W wyniku tych badań wyznaczono graniczne zawartości w glebie fosforu, potasu, magnezu, manganu, miedzi i cynku. Ponadto CHOROMAŃSKA [1983] na podstawie oceny zawartości magnezu w wyciągu z gleby  $0,025 \text{ mol-dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  (Schachtschabla) i  $0,5 \text{ mol-dm}^{-3}$  HCl wyznaczyła przedziały graniczne zawartości w glebie formy przyswajalnej i wymiennej magnezu.

Opracowany przez HOUBĘ i in. [1990; 1992; 2000] test wyciągu  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$ , jako łagodny, „fizjologiczny”, pozostający w stanie równowagi z roztworem glebowym, umożliwia ekstrakcję form bezpośrednio dostępnych dla roślin. Roztwór ten był stosowany w badaniach krajowych do oceny zasobności gleby użytkowanej rolniczo [FOTYMA, GEMBARZEWSKI, PIOTROWSKA, 1994]. Wyników tych badań nie można bezpośrednio transponować na gleby spod użytków zielonych, m.in. ze względu na odmienny sposób ich użytkowania.

Celem niniejszej pracy było wykazanie przydatności wyciągu  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z gleby łąkowej do oceny związku między zawartością składników mineralnych w układzie: wyciąg glebowy–roślinność łąkowa w aspekcie wyznaczenia nowych liczb granicznych zawartości dostępnych dla roślinności łąkowej form składników mineralnych, a także wykazanie przydatności tego wyciągu do oceny potencjalnego ryzyka zanieczyszczenia wód gruntowych rozpuszczalnymi formami składników mineralnych.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania prowadzono w układzie: wyciąg  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z gleby–roślinność łąkowa oraz wspomniany wyciąg z gleby–płytkie wody gruntowe.

Badania w układzie wyciąg  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z gleby–roślinność łąkowa prowadzono na doświadczeniach łąkowych i łąkach produkcyjnych. Doświadczenia łąkowe w Jankach i Laszczkach (doświadczenia z następczym wpływem wapnowania w układzie gleba–roślinność łąkowa) założono w 1981 r. na czarnej ziemi zdegradowanej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego (Janki) oraz gliny lekkiej pylastej (Laszczki). Opis doświadczenia zawiera praca SAPEK [1993]. Na doświadczeniach wydzielono sześć obiektów nawozowych, tj.  $\text{Ca}_0\text{N}_1$ ,  $\text{Ca}_0\text{N}_2$ ,  $\text{Ca}_1\text{N}_1$ ,  $\text{Ca}_1\text{N}_2$ ,  $\text{Ca}_2\text{N}_1$ ,  $\text{Ca}_2\text{N}_2$ , nawozowych od 1981 r. saletrą amonową (AN), a od 1992 r. równolegle na połowie poletka zastosowano saletrę wapniową (CN).

Doświadczenie łąkowe w Falentach (dotyczące wymywania azotu z użytku zielonego) założono w 1987 r. na czarnej ziemi zdegradowanej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego pylastego. Opis doświadczenia zawiera praca BARSZCZEWSKIEGO [1997]. Na obiektach doświadczenia stosowano nawożenie mineralne (w  $\text{kg-ha}^{-1}$ ): N – 120, N – 240,

N – 360 i organiczno-mineralne (gnojówka bydłęca + uzupełniająco nawozy mineralne), w którym dostarczono 240 lub 360  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nawożenie mineralne azotem stosowano w formie saletry amonowej (AN).

Do badań pobierano próbki gleby z 5-centymetrowych warstw do 25 cm i roślinności łąkowej w latach: 1995, 1998 i 2000 z doświadczeń w Jankach i Laszczkach; w 1998 i 2000 r. z doświadczenia w Falentach oraz w 2001–2003 z łąk produkcyjnych. W latach 2001–2003 pobierano także próbki z pięciu punktów badawczych na łąkach produkcyjnych Zakładu Doświadczalnego w Falentach oraz z ośmiu punktów w gospodarstwach demonstracyjnych projektu BAAP w miejscowości Gródek w woj. podlaskim.

Do badań w układzie: wyciąg  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z gleby–płytkie wody gruntowe, pobierano próbki z pasów ochronnych długoletnich doświadczeń łąkowych w Falentach, Jankach i Laszczkach w latach 2001–2003 oraz w latach 2001–2002 z łąk w gospodarstwach demonstracyjnych Projektu BAAP (Program Ograniczenia Zanieczyszczenia Wód Bałtyku ze Źródeł Rolniczych). Gospodarstwa te znajdowały się w miejscowościach Gródek (woj. podlaskie) i Dziarnowo (woj. mazowieckie). Szczegółowy opis obiektów doświadczalnych oraz warunków glebowych i pogodowych w latach badań zawiera praca BURZYŃSKIEJ [2006]. Próbki gleby z doświadczeń łąkowych pobierano z warstw 0–10 i 10–20 cm, w pobliżu studzienek oraz płytkich wód gruntowych ze studzienek kontrolnych, co miesiąc od marca do grudnia. Natomiast próbki gleby z łąk produkcyjnych pobierano dwukrotnie w ciągu roku (wiosną i jesienią), a wody gruntowej co dwa miesiące.

Próbki gleby po ich wysuszeniu do badań w układzie wyciąg glebowy–roślinność łąkowa ekstrahowano za pomocą wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z gleby zgodnie z metodą HOUBY i in. [1990] oraz wg zmodyfikowanej wersji dla próbek ze świeżej masy do badań w układzie wyciąg glebowy–płytkie wody gruntowe. Szczegółowy opis zawiera praca BURZYŃSKIEJ [2006]. Próbki roślinności I pokosu mineralizowano w mieszaninie stężonych kwasów ( $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  i  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) wg metodyki stosowanej w IMUZ [SAPEK, 1979].

W przygotowanych roztworach z gleby i z roślinności łąkowej (po mineralizacji) oraz w wodzie gruntowej oznaczono zawartość: P – metodą kolorymetryczną za pomocą autoanalyzera przepływowego marki SKALAR, K – metodą emisyjną, za pomocą aparatu UNICAM 939 AAS, a Mg, Mn i Zn – metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej, za pomocą wymienionego wcześniej aparatu. Wartość pH w glebie oznaczono metodą potencjometryczną. Analizy chemiczne wykonano zgodnie z metodyką stosowaną w Zakładzie Chemii Gleby i Wody IMUZ [SAPEK, SAPEK, 1997].

Wyniki badań poddano obróbce statystycznej za pomocą pakietu statystycznego STATISTICA 5.0. W tym celu obliczono współzależności liniowe Pearsona między średnimi zawartościami składników mineralnych w wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z gleby pobranej z 5-centymetrowych warstw (0–25 cm) a ich zawartością w roślinności łąkowej I pokosu, a dalej liczono regresje liniowe proste ( $y = ax + b$ ).

Współzależności między zawartością badanych składników w wyciągu z gleby a ich stężeniem w płytkich wodach gruntowych badano za pomocą korelacji nieparametrycznych rang Spearmana.

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

### OCENA ZAWARTOŚCI WYBRANYCH SKŁADNIKÓW MINERALNYCH W WYCIĄGU 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> Z GLEBY ORAZ W ROŚLINNOŚCI ŁĄKOWEJ I POKOSU

**Wartość pH<sub>CaCl2</sub> i zawartość składników mineralnych w glebie.** Gleby pod doświadczeniami łąkowymi i łąkami produkcyjnymi miały odczyn od kwaśnego do lekko kwaśnego (tab. 1).

Średnie zawartości fosforu w glebie, oceniane na podstawie testu 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> z 5-centymetrowych warstw od 0 do 25 cm, w glebie z łąk produkcyjnych były stosunkowo małe i wyniosły od 0,26 do 1,88 mg P·kg<sup>-1</sup>, gleby z doświadczeń łąkowych były natomiast znacznie zasobniejsze w rozpuszczalne formy tego pierwiastka (1,22–2,07 mg P·kg<sup>-1</sup>).

Średnia zawartość potasu w glebie z doświadczeń łąkowych wynosiła od 19,4 do 28,1 mg K·kg<sup>-1</sup>, przy czym znacznie większe zawartości tego składnika zanotowano na obiektach nawożonych saletrą amonową niż saletrą wapniową (tab. 1). Gleby pobrane z łąk produkcyjnych zawierały od 5,06 do 25,6 mg K·kg<sup>-1</sup>.

Największe średnie zawartości magnezu zanotowano w glebach pobranych z łąk produkcyjnych (53,8–106,47 mg Mg·kg<sup>-1</sup>), podczas gdy zawartość tego składnika w glebie z doświadczeń łąkowych wahała się od 14,9 mg Mg·kg<sup>-1</sup> na obiektach nawożonych saletrą amonową w Jankach do 50 mg Mg·kg<sup>-1</sup> w Falentach (tab. 1).

Spośród doświadczeń łąkowych największą zawartością manganu charakteryzowała się gleba nawożona saletrą amonową w Jankach (21,4 mg Mn·kg<sup>-1</sup>), a najmniejszą po zastosowaniu saletry wapniowej w Laszczkach (4,54 mg Mn·kg<sup>-1</sup>). W przypadku łąk produkcyjnych zawartość tego pierwiastka w glebie była stosunkowo mała (1,69–2,79 mg Mn·kg<sup>-1</sup>).

Najmniejsze średnie zawartości cynku wykazano w glebie pobranej z łąk produkcyjnych (tab. 1). Spośród doświadczeń łąkowych największą średnią zawartość tego pierwiastka zanotowano w glebie obiektu nawożonego saletrą amonową w Jankach (2,88 mg Zn·kg<sup>-1</sup>).

**Zawartość składników mineralnych w roślinności łąkowej.** Średnie zawartości fosforu w roślinności łąkowej zarówno z doświadczeń łąkowych, jak i łąk produkcyjnych były prawidłowe ze względu na wartość żywieniową dla bydła (tab. 2). Spośród doświadczeń łąkowych największą średnią zawartością tego składnika charakteryzowała się ruń pobrana z doświadczenia w Falentach (3,60 g P·kg<sup>-1</sup>).

Roślinność łąkowa generalnie charakteryzowała się dobrą zawartością potasu, niezależnie od miejsca pobrania (18,1–25,5 g K·kg<sup>-1</sup>).

Średnia zawartość magnezu w roślinności łąkowej z doświadczeń łąkowych, a także częściowo z łąk produkcyjnych była poniżej wyznaczonego progu niedoboru dla przeżuwaczy (2,0 g Mg·kg<sup>-1</sup>) [SAPEK, SAPEK, 1997; ZIOŁECKA, KUŹDOWICZ, CHOMYSZYN, 1987] (tab. 2).

Spośród doświadczeń łąkowych największą średnią zawartość manganu zanotowano na obiektach nawożonych saletrą amonową w Jankach (134,0 mg Mn·kg<sup>-1</sup>), a najmniejszą po zastosowaniu saletry wapniowej w Laszczkach. Na pozostałych obiektach zawartość tego składnika w runi łąkowej była prawidłowa ze względu na wartość żywieniową dla przeżuwaczy (tab. 2).

Zawartość cynku w roślinności łąkowej z doświadczeń w Laszczkach i Falentach, a także częściowo z łąk produkcyjnych była niedostateczna (poniżej 30 mg Zn·dm<sup>-3</sup>). Prawidłowe zawartości tego pierwiastka zanotowano natomiast na doświadczeniu w Jankach (tab. 2).

**Tabela 1.** Średnie wartości pH i zawartości P, K, Mg, Mn i Zn na podstawie wyciągu 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> z gleby pobranej z 5-centymetrowych warstw od 0 do 25 cm

**Table 1.** Mean values of pH and the content of P, K, Mg, Mn and Zn in 0.01 M CaCl<sub>2</sub> soil extract from 5-cm layers (0–25 cm)

Doświadczenie Experiment	Forma saletry Form of saltpetre	Liczba próbek <i>n</i> Number of samples <i>n</i>	Wartość Value	pH <sub>CaCl2</sub>	Zawartość, mg·kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Content, mg·kg <sup>-1</sup> DM of soil				
					P	K	Mg	Mn	Zn
Janki	amonowa ammonium	360	średnia mean	5,14	1,22	28,1	14,9	21,4	2,88
			<i>SD</i>	0,89	5,42	25,6	7,20	16,3	3,03
	wapniowa calcium	360	średnia mean	5,80	1,26	20,1	15,9	11,4	1,55
			<i>SD</i>	0,86	1,49	15,7	5,31	11,7	2,64
Laszczki	amonowa ammonium	360	średnia mean	5,70	1,45	24,7	36,7	6,62	1,43
			<i>SD</i>	0,94	1,93	20,9	16,9	10,8	2,45
	wapniowa calcium	360	średnia mean	6,05	1,74	19,4	34,3	4,54	0,39
			<i>SD</i>	0,83	2,47	16,4	13,2	7,30	0,68
Falenty	amonowa ammonium	240	średnia mean	6,06	2,07	28,1	50,3	17,2	0,91
			<i>SD</i>	0,56	2,10	27,3	12,3	15,2	1,65
Łąki produkcyjne Productive meadows		45–135	średnia mean	4,89–5,73	0,26–1,88	5,06–25,6	53,8–106,47	1,69–2,79	0,54–1,68
			<i>SD</i>	0,65–1,10	0,44–9,37	7,62–19,2	24,6–64,06	1,79–1,86	0,89–2,23

Objaśnienia: *SD* – odchylenie standardowe.

Explantations: *SD* – standard deviation.

**Tabela 2.** Średnie zawartości P, K, Mg, Mn i Zn w roślinności łąkowej I pokosu z doświadczeń łąkowych i łąk produkcyjnych

**Table 2.** Mean content of P, K, Mg, Mn and Zn in grassland vegetation of the I cut from experimental and productive meadows

Doświadczenie Experiment	Forma saletry Form of saltpetre	Liczba próbek <i>n</i> Number of sam- ples <i>n</i>	Wartość Value	Zawartość, mg·kg <sup>-1</sup> s.m. gleby Content, mg·kg <sup>-1</sup> DM of soil				
				P	K	Mg	Mn	Zn
Janki	amonowa ammonium	72	średnia mean	3,20	18,6	1,10	134	35,7
			<i>SD</i>	0,04	0,37	0,05	68,9	11,5
	wapniowa calcium	72	średnia mean	3,10	19,5	0,80	75,9	31,3
			<i>SD</i>	0,04	0,36	0,02	44,4	13,3
Laszczki	amonowa ammonium	72	średnia mean	3,30	18,9	1,50	70,3	24,3
			<i>SD</i>	0,07	0,26	0,02	27,2	7,73
	wapniowa calcium	72	średnia mean	3,30	18,1	1,50	45,5	27,2
			<i>SD</i>	0,07	0,35	0,03	30,0	8,14
Falenty	amonowa ammonium	48	średnia mean	3,60	19,3	1,80	76,8	21,8
			<i>SD</i>	0,05	0,68	0,02	14,1	3,15
Łąki produkcyjne Productive meadows		9–27	średnia mean	2,40–3,20	18,8–25,5	1,80–2,40	65,6–114,8	23,6–48,1
			<i>SD</i>	0,01–0,08	0,29–1,07	0,04–0,06	24,9–48,9	2,92–19,6

Objaśnienia, jak pod tabelą 1.

Explanations as in Table 1.

**ODCZYN I ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW MINERALNYCH  
W WYCIĄGU  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  Z GLEBY  
ORAZ ICH STĘŻENIE W PŁYTKICH WODACH GRUNTOWYCH**

Gleba z łąk produkcyjnych, bez względu na okres jej pobrania, miała odczyn lekko kwaśny i obojętny, a z pasów ochronnych doświadczeń łąkowych – odczyn kwaśny. Średnie zawartości rozpuszczalnego węgla organicznego były podobne w przypadku próbek gleby pobranych w okresie wiosenno-letnim z gospodarstw demonstracyjnych oraz z pasów ochronnych doświadczeń łąkowych. Najzasobniejsza w RWO była gleba pobrana w okresie wiosenno-letnim (tab. 3).

Próbki gleb z łąk produkcyjnych pobrane w okresie jesienno-zimowym zawierały kilkakrotnie więcej rozpuszczalnych form fosforu (tab. 3) niż pobrane w okresie wiosenno-letnim. Średnia zawartość tego składnika w glebie z pasów ochronnych doświadczeń wyniosła  $0,33 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$  świeżej masy gleby.

Gleba pobrana z łąk w gospodarstwach demonstracyjnych była znacznie zasobniejsza w rozpuszczalny potas niż z pasów ochronnych doświadczeń łąkowych. W okresie jesienno-zimowym stwierdzono blisko dwukrotnie więcej tego pierwiastka niż w okresie wiosenno-letnim. Najmniejszą średnią zawartość potasu zanotowano w glebie pobranej z pasów ochronnych doświadczeń łąkowych (tab. 3).

Gleby spod łąk produkcyjnych były znacznie zasobniejsze w magnez niż z pasów ochronnych na doświadczeniach łąkowych. Zawartość rozpuszczalnej formy tego składnika utrzymywała się na podobnym poziomie bez względu na okres pobrania próbek (tab. 3).

Więcej manganu zawierała gleba pobrana z pasów ochronnych długoletnich doświadczeń łąkowych niż pobrana z gospodarstw demonstracyjnych (tab. 3). Średnia zawartość tego składnika w glebie z łąk produkcyjnych była znacznie większa w okresie wiosenno-letnim niż w jesienno-zimowym.

Średnia zawartość cynku w glebach łąk produkcyjnych była stosunkowo mała w porównaniu z zawartością w glebie pobranej z pasów ochronnych doświadczeń łąkowych (tab. 3).

**Wartość pH i stężenie składników mineralnych w płytkich wodach gruntowych.** Analizowane wody miały pH od 6,7 do 7,6 i wartość tego parametru była zgodna z wymaganiami Rozporządzenia MŚ... [2004] (tab. 5). Średnia zawartość RWO w płytkich wodach gruntowych była znacznie większa w próbkach pobranych z gospodarstw demonstracyjnych niż z pasów ochronnych doświadczeń łąkowych (tab. 4). Największe stężenie RWO zanotowano w okresie jesienno-zimowym w próbkach z gospodarstw demonstracyjnych ( $43,1 \text{ mg RWO}\cdot\text{dm}^{-3}$ ).

Średnie stężenie fosforu w wodzie gruntowej było większe w próbkach pobranych z gospodarstw demonstracyjnych niż z pasów ochronnych doświadczeń łąkowych (tab. 4).

Płytkie wody gruntowe spod łąk produkcyjnych były nadmiernie wzbogacone w potas. Stężenie tego składnika wielokrotnie przekraczało dopuszczalne wg Rozporządzenia MŚ... [2004] w wodach podziemnych (tab. 5). Znacznie mniejsze stężenie tego pierwiastka zanotowano natomiast w próbkach wody ze studzienek kontrolnych na długoletnich doświadczeniach łąkowych (tab. 4).

Średnie stężenie magnezu w wodzie gruntowej pobranej ze studzienek kontrolnych na pasach ochronnych doświadczeń łąkowych było blisko dwukrotnie mniejsze niż spod łąk w gospodarstwach demonstracyjnych (tab. 4). Pod względem stężenia magnezu analizowane wody należały do I klasy czystości wód podziemnych wg Rozporządzenia MŚ... [2004].

**Tabela 3.** Średnia wartość pH i zawartość P, K, Mg, Mn i w wyciągu 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> z gleby pobranej z warstw od 0 do 20 cm

**Table 3.** Mean values of pH and the content of P, K, Mg, Mn and Zn in 0.01 M CaCl<sub>2</sub> extract of soil from layers 0–20 cm

Okres pobierania próbek Sampling period	Miejsce pobrania próbek Sampling site	Liczba próbek <i>n</i> Number of samples <i>n</i>	Wartość Value	pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>	RWO DOC mg·dm <sup>-3</sup>	Zawartość (mg·dm <sup>-3</sup> w ś.m. gleby) Content (mg·dm <sup>-3</sup> in the wet soil)				
						P	K	Mg	Mn	Zn
Wiosenno-letni Spring–summer	Gospodarstwa demonstracyjne Demonstration farms	30	średnia mean	6,7	29,0	0,26	38,0	44,2	0,19	0,23
	<i>SD</i>		0,8	11,5	0,36	35,0	18,3	0,52	0,70	
Jesienno-zimowy Autumn–winter		22	średnia mean	6,7	43,1	0,62	88,3	40,6	0,05	0,15
			<i>SD</i>	0,6	17,0	0,72	61,0	17,8	0,11	0,32
Wiosna–późna jesień Spring–late autumn	Pasy ochronne doświadczonych łąkowych Buffet strips in meadow experiments	364	średnia mean	4,9	23,5	0,33	15,5	19,5	1,40	0,80
			<i>SD</i>	0,8	13,9	0,57	16,8	12,3	2,71	2,28

Objaśnienia, jak pod tabelą 1.

Explantation as in Table 1.



**Tabela 4.** Średnia wartość pH oraz stężenie P, K, Mg, Mn, Zn i RWO w płytkiej wodzie gruntowej

**Table 4.** Mean value of pH and the concentration of P, K, Mg, Mn, Zn and DOC in shallow ground water

Okres pobierania próbek Sampling period	Miejsce pobrania próbek Sampling site	Liczba próbek <i>n</i> Number of samples <i>n</i>	Wartość Value	pH	RWO DOC mg·dm <sup>-3</sup>	Stężenie składnika (mg·dm <sup>-3</sup> w ś.m. gleby) Content (mg·dm <sup>-3</sup> in the wet soil)				
						P	K	Mg	Mn	Zn
Wiosenno-letni Spring–summer	gospodarstwa demonstracyjne demonstration farms	15	średnia mean	7,6	28,4	0,75	43,8	25,7	0,11	0,14
			<i>SD</i>	0,6	11,4	1,28	75,5	11,2	0,19	0,20
Jesienno-zimowy Autumn–winter		11	średnia mean	7,3	43,1	1,91	110,0	23,4	0,13	0,29
			<i>SD</i>	0,5	16,4	1,67	68,2	8,42	0,10	0,14
Wiosna–późna jesień Spring–late autumn	pasy ochronne do- świadczeń łąkowych buffer strips in meadow experiments	182	średnia mean	6,7	6,21	0,28	3,58	11,9	0,05	0,06
			<i>SD</i>	0,9	4,11	0,40	3,16	8,02	0,04	0,07

Objaśnienia jak pod tabelą 1.

Explantation as in Table 1.

**Tabela 5.** Wybrane wartości jakości wód podziemnych wg Rozporządzenia MŚ... [2004]**Table 5.** Selected ground water quality parameters according to Rozporządzenie MŚ... [2004]

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Wartości graniczne w poszczególnych klasach czystości wody Threshold values in particular classes of water quality				
		I	II	III	IV	V
pH		6,5–9,5			<6,5 lub >9,5	
Potas Potassium	mg K·dm <sup>-3</sup>	10	10	15	20	>20
Magnez Magnesium	mg Mg·dm <sup>-3</sup>	30	50	100	150	>150
Mangan Manganese	mg Mn·dm <sup>-3</sup>	0,05	0,2	1	1	>1
Cynk Zinc	mg Zn·dm <sup>-3</sup>	0,5	3	5	10	>10

Średnie stężenie manganu bez względu na miejsce pobrania próbek było małe i wynosiło od 0,05 do 0,13 mg Mn·dm<sup>-3</sup>. Pod względem stężenia tego pierwiastka badane wody były dobrej jakości wg Rozporządzenia MŚ... [2004] (tab. 5).

Średnie stężenie cynku w wodach gruntowych pobranych ze studzienek kontrolnych na doświadczeniach łąkowych było bardzo małe, a badane wody należały wg Rozporządzenia MŚ... [2004] do I klasy czystości wód podziemnych. Średnie stężenie cynku w wodach gruntowych spod łąk w gospodarstwach demonstracyjnych było jedynie nieco większe w okresie jesienno-zimowym niż w wiosenno-letnim (tab. 4).

#### **OCENA WSPÓLZALEŻNOŚCI MIĘDZY ZAWARTOŚCIĄ SKŁADNIKÓW W GLEBIE, OKREŚLONĄ NA PODSTAWIE WYCIĄGU 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> Z GLEBY, A ICH ZAWARTOŚCIĄ W ROŚLINNOŚCI ŁĄKOWEJ I POKOSU**

**Korelacje i regresje liniowe proste.** Badania dotyczące oceny związku między zawartością wybranych składników mineralnych w glebie, określoną na podstawie testu 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> z gleby, a ich zawartością w roślinności łąkowej i pokosu prowadzono w kilku etapach. Ważnym aspektem niniejszej pracy było wyznaczenie tzw. „warstwy diagnostycznej”, z której roślinność intensywnie pobiera składniki mineralne. Przyjmuje się, że w przypadku użytków zielonych ok. 90% masy korzeniowej znajduje się w warstwie do 10 cm, dlatego często za warstwę „diagnostyczną” przyjmuje się właśnie ten zakres głębokości [Przewodnik łąkarski, 1988]. Roztwór chlorku wapnia jest bardzo „łagodnym” ekstrahentem, do którego przechodzi stosunkowo niewielka ilość składników mineralnych w porównaniu z agresywniejszymi roztworami, tj. 0,5 mol·dm<sup>-3</sup> HCl [BURZYŃSKA, 2002]. Dlatego w tym celu obliczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona między zawartością składników mineralnych w układzie: gleba ekstrahowana za pomocą 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> z 5-centymetrowych warstw do głębokości 25 cm – roślinność łąkowa i pokosu z doświadczeń łąkowych. Ponieważ statystycznie istotne zależności najczęściej dotyczyły warstw gleby: 0–5; 5–10 i 10–15 cm, dlatego ten zakres (0–15 cm) przyjęto za warstwę „diagnostyczną” do oceny zasobności gleby łąkowej [BURZYŃSKA, 2006].

Kolejnym etapem było wykazanie związku między średnią zawartością składników mineralnych w wyciągu 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> z gleby pobranej z „diagnostycznej” warstwy,

a ich zawartością w roślinności łąkowej z obiektów doświadczalnych. Współzależności te w przypadku wszystkich badanych składników były istotne, gdy wartość  $r$  była mniejsza od 0,60, przy czym największe dodatnie jego wartości tego współczynnika otrzymano dla magnezu i manganu, a najmniejszą dla fosforu (tab. 6).

**Tabela 6.** Statystycznie istotne współzależności korelacyjne między zawartością składników mineralnych w wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}\cdot\text{CaCl}_2$  z „diagnostycznej” warstwy gleby a ich zawartością w roślinności łąkowej I pokosu ze wszystkich badanych obiektów

**Table 6.** Statistically significant correlations between the content of mineral components in  $0.01 \text{ M CaCl}_2$  soil extract from „diagnostic” layer and their content in meadow plants of the I cut in all objects

Liczebność próbek $n$ Number of samples $n$	Współczynniki korelacji $r$ Pearsona Correlation coefficient $r$ after Pearson				
	P	K	Mg	Mn	Zn
411	0,17**	0,31**	0,58**	0,50**	0,35**

\*\* Statystycznie istotne, gdy  $\alpha = 0,01$ .

\*\* Statistically significant at  $\alpha = 0.01$ .

Analogiczne obliczenia wykonano następnie dla każdego doświadczenia łąkowego. W przypadku doświadczeń w Jankach i Laszczkach uwzględniono następczy wpływ wapna ( $\text{Ca}_0$ ,  $\text{Ca}_1$  i  $\text{Ca}_2$ ) i azotu ( $\text{N}_{120}$  i  $\text{N}_{240}$ ) oraz formę saletry (amonowa – AN i wapniowa – CN), a w Falentach zróżnicowane nawożenie na obiektach nawozowych [BURZYŃSKA, 2006].

Statystycznie istotne współczynniki korelacji stwierdzono dla badanych pierwiastków, z wyjątkiem manganu, w odniesieniu do obiektów nawożonych saletrą amonową oraz potasu – z obiektów nawożonych saletrą wapniową w Jankach. Na doświadczeniu łąkowym w Laszczkach wykazano istotne dodatnie współzależności dla magnezu i manganu na obiektach nawożonych saletrą amonową oraz dla potasu, magnezu, manganu i cynku na obiektach z saletrą wapniową (tab. 7).

Na doświadczeniu łąkowym w Falentach otrzymano statystycznie istotne dodatnie wartości współczynników korelacji dla potasu, manganu i cynku, a dla magnezu otrzymano jego ujemną wartość. Gleba tego doświadczenia była zasobniejsza od pozostałych doświadczeń w potas, co może wskazywać na istniejący antagonizm między jonami potasu i magnezu.

**Metoda wyznaczania granicznych przedziałów zasobności gleb łąkowych w składniki pokarmowe na podstawie testu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$ .** Prace zmierzające do wyznaczenia tych przedziałów na podstawie istotnych liniowych współzależności Pearsona między zawartością składników mineralnych w wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$  z gleby a ich zawartością w roślinności łąkowej I pokosu prowadzono w kilku etapach. Zasobność gleby łąkowej w badane składniki w wyciągu z diagnostycznej warstwy (0–15 cm) wyceniano na podstawie zawartości składników mineralnych w roślinności łąkowej (tab. 8).

Kolejnym etapem badań było wyznaczenie równań wyżej wymienionej regresji liniowej dla całego zbioru danych ( $n = 411$ ). Otrzymane bezwzględne wartości współczynnika  $r$  dla badanych składników mineralnych były mniejsze od 0,70, lecz wartości te były istotne, gdy  $\alpha = 0,01$ . Dlatego na tej podstawie wyznaczono proste równania regresji liniowej dla

**Tabela 7.** Statystycznie istotne współzależności korelacyjne między średnią zawartością składników mineralnych w glebie z warstwy 0–15 cm na podstawie testu  $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$ , a ich zawartością w roślinności łąkowej I pokosu na doświadczeniach łąkowych

**Table 7.** Statistically significant correlations between mineral components in  $0.01 \text{ M CaCl}_2$  soil extract from 0–15 cm soil layer and their content in meadow plants of the I cut in meadow experiments

Doświadczenie Experiment	Obiekt nawozowy Treatment	Liczebność próbek $n$ Number of samples $n$	Współczynnik korelacji $r$ Pearsona					Correlation coefficient $r$ Pearson				
			saletra amonowa		ammonium saltpetre (AN)			saletra wapniowa		calcium saltpetre (CN)		
			P	K	Mg	Mn	Zn	P	K	Mg	Mn	Zn
Janki	Ca <sub>0</sub>	24	0,53**	–	–	–	–	–	–	–	0,67**	0,85**
	Ca <sub>1</sub>	24	0,73**	0,52**	–	–	–	–	–	–	0,77**	0,74**
	Ca <sub>2</sub>	24	–	–	–	–	–	–	–	0,57**	0,48*	0,57**
	N <sub>120</sub>	36	–	–	–	–	–	0,35**	–	0,46**	0,60**	0,75**
	N <sub>240</sub>	36	0,50**	0,44**	0,33*	–	–	–	–	–	0,73**	0,74**
	wszystkie objekty all treatments	72	0,30**	0,34**	0,31**	–	–0,24**	0,24*	–	0,41**	0,66**	0,74**
Laszczki	Ca <sub>0</sub>	24	–	–	0,71**	–	–	–	0,56**	0,50*	0,63*	–
	Ca <sub>1</sub>	24	–	–0,52**	0,77**	–	–	–	0,44*	–	0,88**	0,46*
	Ca <sub>2</sub>	24	–0,46*	–	0,62**	–	–	–	–	0,50*	0,46*	0,61**
	N <sub>120</sub>	36	–	–	0,70**	0,37*	–	–	–	0,39*	0,75**	0,42*
	N <sub>240</sub>	36	–	–	0,42*	–	–	–	–	0,32*	0,81**	–
	wszystkie objekty all treatments	72	–	–	0,60**	0,34**	–	–	0,38**	0,38**	0,76**	0,33**
Falenty	N <sub>240</sub>	8	–	–	–0,84**	–	–	–	–	–	–	–
	N <sub>360</sub>	8	–	–	–	–	0,85**	–	–	–	–	–
	NG <sub>240</sub>	8	–	–	–0,78*	–	–	–	–	–	–	–
	NG <sub>360</sub>	8	–	–	–	–	0,96**	–	–	–	–	–
	wszystkie objekty all treatments	48	–	0,57**	–0,31*	0,54**	0,43**	–	–	–	–	–

\* Statystycznie istotne, gdy  $\alpha = 0,05$ ; \*\* Statystycznie istotne, gdy  $\alpha = 0,01$ . \* Statistically significant at  $\alpha = 0,05$ ; \*\* Statistically significant at  $\alpha = 0,01$ .

**Tabela 8.** Ocena zawartości składników mineralnych (s.m.) w paszy z użytków zielonych wg FALKOWSKIEGO i in. [1990]; NOWAKA [1983]; Przewodnika łąkarskiego [1988] oraz SAPKA [1979]

**Table 8.** An assessment of the content of mineral components in grassland fodder according to FALKOWSKI *et. al.* [1990], NOWAK [1983], Przewodnik łąkarski [1988] and SAPEK [1979]

Składnik Component	Jednostka Unit	Zawartość Content	Ocena zawartości Assessment
Fosfor Phosphorus	$\text{g P} \cdot \text{kg}^{-1}$	<2,8 2,8–3,6 >3,6	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high
Potas Potassium	$\text{g P} \cdot \text{kg}^{-1}$	<17,0 17,0–25,0 >25,0	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high
Magnez Magnesium	$\text{g Mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	<2,0 2,0–4,0 >4,0	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high
Mangan Manganese	$\text{mg Mn} \cdot \text{kg}^{-1}$	<50 50–100 >100	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high
Cynk Zinc	$\text{mg Zn} \cdot \text{kg}^{-1}$	<30 30–50 >50	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high

tych składników (tab. 9). Następnie w podobny sposób wyznaczono równania regresji liniowej na podstawie danych z doświadczeń łąkowych i łąk produkcyjnych. Jako podstawę do obliczenia równań regresji ( $y = ax + b$ ) przyjęto współczynniki korelacji  $r \geq 0,70$ , dla których współczynnik determinacji  $r^2 \geq 0,50$ . W celu weryfikacji wyznaczonych równań regresji prostej przetestowano istotność parametrów tych równań.

Na podstawie wyznaczonych równań określono zakresy zawartości wybranych składników w glebie, odpowiadające zaopatrzeniu w nie roślinności łąkowej na określonym poziomie (tab. 10). Otrzymane przedziały dobrej zasobności gleby były bardzo szerokie, zwłaszcza w przypadku potasu, magnezu i manganu. Dla próbek pobranych z doświadczeń łąkowych wyznaczono zakresy dobrej zasobności dla gleb niewapnowanych i wapnowanych (tab. 11).

Obliczone zakresy zawartości w wyciągu z gleby znacznie się różniły w odniesieniu do magnezu, manganu i cynku, a fosforu i potasu były zbliżone. Otrzymane wartości charakteryzują się dużym zróżnicowaniem w zależności od badanego obiektu oraz składnika mineralnego. Przykładowo, do badanego wyciągu przechodzą stosunkowo małe ilości fosforu w odniesieniu do potasu i magnezu. Wyciąg  $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  charakteryzuje się znaczną „czułością” w stosunku do warunków na poszczególnych obiektach badawczych oraz cech danego składnika, tzw. „swoistości”.

Na podstawie wyznaczonych równań regresji między zawartością składników mineralnych w wyciągu  $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z gleby doświadczeń łąkowych a odpowiadającymi

**Tabela 9.** Istotne korelacje i regresje liniowe określone na podstawie wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$  między średnią zawartością składników mineralnych w „diagnostycznej” warstwie gleby a ich zawartością w roślinności łąkowej I pokosu z kontynuowanych doświadczeń łąkowych i łąk produkcyjnych w latach 1995–2003

**Table 9.** Statistically significant correlations between the mean content of mineral components in  $0.01 \text{ M CaCl}_2$  from „diagnostic” layer and their content in meadow plants of the 1st cut in all objects (1995–2003)

Współczynnik korelacji $r$ Coefficient of correlation $r$	Współczynnik determinacji $r^2$ Coefficient of determination $r^2$	$y = ax + b$ ( $\pm$ błąd estymacji) $y = ax + b$ ( $\pm$ estimation error)	Istotność testowanych parametrów Significance of tested parameters	
			$a$	$b$
0,17**	0,030	$P_R = 0,008 P_{\text{CaCl}_2} + 0,304 (\pm 0,07)$	**	**
0,31**	0,094	$K_R = 0,008 K_{\text{CaCl}_2} + 1,680 (\pm 0,54)$	**	**
0,58**	0,340	$Mg_R = 0,001 Mg_{\text{CaCl}_2} + 0,100 (\pm 0,04)$	**	**
0,50**	0,247	$Mn_R = 2,15 Mn_{\text{CaCl}_2} + 51,79 (\pm 45,24)$	**	**
0,35**	0,122	$Zn_R = 1,956 Zn_{\text{CaCl}_2} + 24,869 (\pm 11,47)$	**	**

\*\* Statystycznie istotne, gdy  $\alpha = 0,01$ . \*\* Statistically significant at  $\alpha = 0.01$ .

**Tabela 10.** Ocena zasobności gleby użytkowanej łąkowo w składniki mineralne na podstawie wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$  z gleby łąkowej<sup>1)</sup>

**Table 10.** An assessment of the content of mineral components in  $0.01 \text{ M CaCl}_2$  extract from meadow soil<sup>1)</sup>

Składnik Component	Ocena zasobności Assessment of the content	Zawartość składnika w glebie, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Content of the component in soil, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Fosfor Phosphorus	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high	– 7,00 >7,00
Potas Potassium	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high	<2,5 2,5–102,5 >102,5
Magnez Magnesium	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high	<100,0 100,0–300,0 >300,0
Mangan Manganese	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high	<0,50 0,50–22,5 >22,5
Cynk Zinc	niedostateczna insufficient prawidłowa appropriate wysoka high	<2,60 2,60–13,0 >13,0

<sup>1)</sup>  $n = 144$ .

**Tabela 11.** Proponowane zakresy dobrej zasobności gleb niewapnowanych i wapnowanych z obiektów doświadczalnych na podstawie ich zawartości w „diagnostycznej” warstwie gleby po jej ekstrakcji za pomocą  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$

**Table 11.** Proposed ranges of soil (not limed and limed) richness in experimental objects based on the content of  $0.01 \text{ M CaCl}_2$  extract from “diagnostic” soil layer

Składnik Component	Zawartość w glebie, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Content of component, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ DM	
	gleby niewapnowane not limed soil ( $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 3,6–5,5)	gleby wapnowane limed soil ( $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 5,6–7,3)
Fosfor Phosphorus	0,20–1,9	0,25–2,0
Potas Potassium	25,5–62,0	22,0–65,0
Magnez Magnesium	51,0–168,0	39,0–307,0
Mangan Manganese	14,5–24,5	2,6–26,5
Cynk Zinc	2,7–7,0	2,0–12,0

im przedziałami zawartości w roślinności łąkowej wstępnie obliczono liczby graniczne dla łatwo dostępnych form składników mineralnych (tab. 12). W celu weryfikacji zaproponowanych przedziałów zasobności w P, K, Mg, Mn i Zn mineralnych gleb łąkowych na podstawie testu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  należałoby rozszerzyć teren badań o łąki produkcyjne w zróżnicowanych warunkach glebowo-siedliskowych.

**Tabela 12.** Wycena zasobności gleby użytkowanej łąkowo w składniki mineralne na podstawie ich zawartości w wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z „diagnostycznej” warstwy gleby

**Table 12.** An assessment of meadow soil richness in mineral components based on their content in  $0.01 \text{ M CaCl}_2$  extract from “diagnostic” soil layer (0–15 cm)

Ocena zasobności Assessment	Zawartość w glebie, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Content of the component, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ DM				
	P	K	Mg	Mn	Zn
Niedostateczna Insufficient	<0,22	<25,60	<65,0	<6,85	<3,28
Prawidłowa Appropriate	0,22–1,93	25,60–51,70	65,0–163	6,85–17,7	3,28–9,6
Wysoka High	>1,93	>51,70	>163	>17,7	>9,6

### OCENA WSPÓLZALEŻNOŚCI ZAWARTOŚCI WYBRANYCH SKŁADNIKÓW MINERALNYCH W WYCIĄGU $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ $\text{CaCl}_2$ Z GLEBY I ICH STĘŻENIA W WODZIE GRUNTOWEJ

Autorzy wielu prac naukowych skupiają się na ocenie jakości wód gruntowych, a niewiele badań dotyczy próby zastosowania testu glebowego, który umożliwiłaby ocenę jakości wody gruntowej na podstawie zawartości składników mineralnych w wyciągu z gleby. Zapoczątkowane przez HESKETH i BROOKERS [2000] badania dotyczące zastosowania wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  do oceny związku między zawartością fosforu w glebie po jej ekstrakcji tym roztworem a jego stężeniem w wodach gruntowych prowadzono w wielu krajach europejskich.

**Tabela 13.** Statystycznie istotne współzależności rang Spearmana między zawartością fosforu i magnezu w wyciągu 0,01 mol·dm<sup>-3</sup> CaCl<sub>2</sub> z gleby łąkowej a jego stężeniem w płytkich wodach gruntowych z pasów ochronnych na doświadczeniach łąkowych (2001–2003)<sup>1)</sup>

**Table 13.** Significant Spearman rank correlations between the content of phosphorus and magnesium in 0.01 M CaCl<sub>2</sub> soil extract and their concentration in shallow ground water from strips near control wells in meadow experiments (2001–2003)<sup>1)</sup>

Miesiąc pobrania próbek gleby Month of soil sampling	Warstwa gleby Soil layer cm	Współczynniki korelacji Spearmana <i>r</i> Spearman correlation coefficient <i>r</i>									
		Miesiąc pobierania próbek wody gruntowej Month of ground water sampling									
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
		Fosfor Phosphorus									
III	0–10	0,62*	–	0,73**	–	0,60*	0,95**	–	–	–	–
	10–20	0,64*	–	0,52*	–	0,65*	–	–	–	–	–
IV	10–20	–	–	–	0,61**	–	–	–	–	–	–
VI	0–10	–	–	–	–	0,51*	0,53*	0,80**	–	–	–
	10–20	–	–	–	0,66**	–	–	–	–	–	0,64*
VII	10–20	–	–	–	–	0,57*	0,72**	0,61*	0,75**	–	–
X	0–10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,54*
		Magnez Magnesium									
IV	0–10	0,59**	0,47*	–	–	–	–	–	–	–	–
	10–20	0,79**	0,68*	–	–	–	–	–	–	–	–
V	0–10	–	0,77**	–	–	–	–	–	–	–	–
	10–20	–	0,75**	–	–	–	–	–	–	–	–
VI	0–10	–	–	0,61**	–	–	–	–	–	–	–
	10–20	–	–	0,77**	0,65**	–	0,68**	–	0,61*	–	–
VII	0–10	–	–	–	–	–	–	–	0,60*	–	–
	10–20	–	–	–	–	–	0,57*	–	0,52*	–	–
VIII	0–10	–	–	–	–	0,71**	0,68**	0,62*	–	–	–
	10–20	–	–	–	–	0,73**	0,75**	0,83**	0,80**	0,50*	–
IX	0–10	–	–	–	–	–	0,59*	–	–	–	–
	10–20	–	–	–	–	–	0,66**	0,56*	0,63**	–	–
X	0–10	–	–	–	–	–	–	–	0,54*	–	–
	10–20	–	–	–	–	–	–	–	0,78**	0,77**	–
XI	10–20	–	–	–	–	–	–	–	0,74**	–	–

<sup>1)</sup> *n* = 10–20.

\* Statystycznie istotne, gdy  $\alpha = 0,05$ . \*\* Statystycznie istotne, gdy  $\alpha = 0,01$ . \* Statistically significant at  $\alpha = 0.05$ . \*\* Statistically significant at  $\alpha = 0.01$ .



W pracy założono, że do łagodnego wyciągu, jakim jest  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$ , przechodzą labilne formy składników mineralnych, które mogą przemieszczać się do wód gruntowych. W celu oceny przemieszczania się składników mineralnych z gleby do wód gruntowych badano przydatność tego prostego testu glebowego do oceny związku między zawartością składników mineralnych w wyciągu z gleby a ich stężeniem w płytkich wodach gruntowych. Ponieważ zawartość badanych składników mineralnych nie miała rozkładu normalnego, dlatego liczone nieparametryczne współzależności rang Spearmana. Obliczenia wykonano na zbiorze wyników analiz chemicznych wykonanych w próbkach pobranych z pasów ochronnych doświadczeń łąkowych. W tym celu otrzymane wyniki zgrupowano w skali miesięcznej od marca do grudnia z lat 2001–2003. Istotne wartości współczynników korelacji zawartości fosforu i magnezu w wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z gleby łąkowej a ich stężeniem w płytkich wodach gruntowych uzyskano w okresie od kwietnia do października (tab. 13). Wykazano także przesunięcie w czasie, wynoszące ok. 1 miesiąca między zawartością potasu w glebie a jego stężeniem w wodzie gruntowej. Natomiast brak takiego przesunięcia oraz kilkumiesięczna ciągłość związku między zawartością magnezu w wyciągu z gleby i jego stężeniem w płytkich wodach gruntowych może wskazywać na intensywne wymywanie tego składnika do wód gruntowych.

Analogiczne obliczenia wykonano dla zbioru danych spod łąk produkcyjnych w gospodarstwach demonstracyjnych w woj. podlaskim i mazowieckim. W tym celu wyniki analiz chemicznych zgromadzone z lat 2001–2002 podzielono ze względu na okres pobierania próbek gleby i wody gruntowej – wiosenno-letni (marzec–wrzesień) i jesienno-zimowy (październik–luty). Na podstawie analizy statystycznej otrzymano istotne zależności dla fosforu i magnezu jedynie w sezonie wiosenno-letnim (tab. 14).

**Tabela 14.** Statystycznie istotne współzależności rang Spearmana między zawartością fosforu i magnezu w wyciągu  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$  z gleby i ich stężeniem w płytkich wodach gruntowych z łąk produkcyjnych w gospodarstwach demonstracyjnych w okresie wiosenno-letnim

**Table 14.** Significant Spearman rank correlations between the content of phosphorus and magnesium in  $0.01 \text{ M CaCl}_2$  soil extract and their concentrations in shallow ground waters from under productive meadows in demonstration farms

Nr terminu pobrania próbek No. of the sampling period	Miesiąc pobrania próbek Month of sampling		Warstwa gleby Soil layer cm	Liczebność próbek $n$ Number of samples $n$	Współczynniki korelacji Spearmana $r$ Spearman correlation coefficient $r$	
	gleby soil	wody water			P	Mg
1	III	III–IV	0–10	13	–	0,64**
			10–20		–	0,64**
2		V–VI	0–10	11	0,66*	–
			10–20		–	–
3		VII–VIII	0–10	9	0,88**	–
			10–20		0,71*	–

\* Statystycznie istotne, gdy  $\alpha = 0,05$ . \*\* Statystycznie istotne, gdy  $\alpha = 0,01$ .

\* Statistically significant at  $\alpha = 0.05$ . \*\* Statistically significant at  $\alpha = 0.01$ .

Przeprowadzone badania wskazują na przydatność wyciągu  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$  do oceny zasobności gleby łąkowej w dostępne dla roślinności formy składników mineralnych oraz do oceny jakości wód gruntowych.

## WNIOSKI

1. Na podstawie otrzymanych współzależności między zawartością badanych składników w wyciągu  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$  z 5-centymetrowych warstw gleby łąkowej do 25 cm a ich zawartością w roślinności łąkowej I pokosu za warstwę „diagnostyczną” mineralnej gleby łąkowej przyjęto 0–15 cm.

2. Otrzymano statystycznie istotne, głównie dodatnie, korelacje między zawartością fosforu, potasu, magnezu oraz manganu i cynku w wyciągu  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$  z diagnostycznej warstwy gleby (0–15 cm) a zawartością tych składników w roślinności łąkowej I pokosu.

3. Wykazano przydatność wyciągu  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$  z gleby do wyznaczenia granicznych zawartości dostępnych dla roślinności łąkowej form składników mineralnych, tj. fosforu, potasu, magnezu, manganu i cynku.

4. Różnice w obliczonych przedziałach granicznych zawartości składników pokarmowych dla roślinności łąkowej w badanych glebach w zależności od składnika oraz warunków glebowych na poszczególnych obiektach badawczych wskazują na znaczną „czułość” omawianego roztworu ekstrakcyjnego.

5. Stwierdzono statystycznie istotne dodatnie nieparametryczne zależności rang Spearmana między zawartością fosforu i magnezu w wyciągu po ekstrakcji gleby omawianym roztworem z gleby i wody gruntowej spod łąk produkcyjnych.

6. Na podstawie współzależności między zawartością składników w układzie: wyciąg z gleby–płytkie wody gruntowe można przypuszczać, że stosując wyciąg  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$  z gleby można przewidywać pojawienie się badanych składników w płytkich wodach gruntowych.

7. Ostateczne wyznaczenie granicznych zawartości łatwo dostępnych dla roślinności łąkowej form składników mineralnych na podstawie testu chlorku wapnia oraz wykazanie jego przydatności do oceny ryzyka zanieczyszczenia płytkich wód gruntowych labilnymi formami tych składników wymywanych z gleb łąkowych wymaga wykonania szerszych badań.

## LITERATURA

- BARSZCZEWSKI J., 1997. Zachowanie się potasu, wapnia i magnezu w układzie gleba-roślinność łąki trwałej deszczowanej. Falenty: IMUZ rozpr. dokt. maszyn. ss. 58.
- BURZYŃSKA I., 2002. Porównanie przydatności roztworów  $0,01 \text{ mol-dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$  oraz  $0,5 \text{ mol-dm}^{-3} \text{ HCl}$  do oceny zasobności w składniki pokarmowe mineralnych gleb łąkowych. Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 2 z. 1(4) s. 65–75.
- BURZYŃSKA I., 2006. Zastosowanie testu 0,01 M chlorku wapnia w ocenie zasobności gleby łąkowej i jakości wód gruntowych. Falenty: IMUZ rozpr. dokt. maszyn. ss. 76.

- CHOROMAŃSKA D., 1983. Wpływ nawożenia na zmiany zawartości magnezu w roślinności łąkowej i glebach organicznych na tle ich zasobności. Falenty: IMUZ rozpr. dokt. maszyn. ss. 68.
- CHOROMAŃSKA D., 1995. Zmiany odczynu i zawartości magnezu w glebach łąkowych pod wpływem wieloletniego nawożenia magnezem. Wiad. IMUZ t. 18 z. 3 s. 53–67.
- FALKOWSKI M., KUKULAS I., KOZŁOWSKI S., 1990. Właściwości chemiczne roślin łąkowych. Skrypty. Poznań: AR ss. 97.
- FOTYMA M., GEMBARZEWSKI H., PIOTROWSKA M., 1994. Przydatność wyciągu chlorku wapnia (0,01 mol/dm<sup>3</sup> CaCl<sub>2</sub>) do oznaczania żyzności gleby i stopnia jej zanieczyszczenia. Post. Nauk Rol. z. 6 s. 89–106.
- HESKETH N., BROOKERS P.C., 2000. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching. J. Env. Quality vol. 29 no. 1 s. 105–110.
- HOUBA V.J.G., NOVOZAMSKI I., LEXMOND TH.M., VAN DER LEE J.J., 1990. Applicability of 0.01 M CaCl<sub>2</sub> as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. Comm. Soil Sci. Plant Anal. no. 21 s. 2281–2290.
- HOUBA V.J.G., NOVOZAMSKI I., LEXMOND TH.M., VAN DER LEE J.J., 1992. Soil testing and plant analysis in Western Europe. Comm. Soil Sci. Plant Anal. no. 23(17–20) s. 2029–2051.
- HOUBA V.J.G., TEMMINGHOFF E., GAIKHORST G. A., VAN VARK W., 2000. Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. Comm. Soil Sci. Plant Anal. no. 31(9–10) s. 1299–1396.
- NOWAK M., 1983. Charakterystyka zasobności siana w składniki mineralne. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 276 s. 45–53.
- OKRUSZKO H., WALCZYNA J., 1970. Oznaczanie zasobności organicznych gleb łąkowych w fosfor przy użyciu wyciągów 0,5 n HCl. Roczn. Nauk Rol. Ser. F t. 77 z. 3 s. 437–453.
- Przewodnik łąkarski, 1988. Pr. zbior. Red. L. Doboszyński. Warszawa: PWRiL ss. 574.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. Dz.U. nr 32 poz. 284.
- RYCHLIĆKA W., SAPEK A., 1979. Oznaczanie zawartości fosforu i potasu w glebach organicznych w wyciągach 0,5 n roztworu HCl. Instrukcja. Falenty: IMUZ maszyn. ss. 5.
- SAPEK A., 1979. Metody analizy chemicznej roślinności łąkowej, gleby i wody. Cz. 1. Analiza chemiczna roślinności łąkowej. Falenty: IMUZ ss. 55.
- SAPEK A., SAPEK B., 1997. Metody analizy chemicznej gleb organicznych. Mater. Instr. 115. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 80.
- SAPEK B., 1993. Studia nad wapnowaniem trwałego użytku zielonego na glebie mineralnej. Rozpr. Habil. Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 93.
- SAPEK B., SAPEK A., 1977. Zawartość miedzi i magnezu w glebach i roślinności z różnych siedlisk łąkowych. Roczn. Nauk Rol. Ser. F t. 79 z. 3 s. 75–96.
- ZIOŁECKA A., KUŹDOWICZ M., CHOMYSZYN M., 1987. Tabele składu mineralnego pasz krajowych. Warszawa: PWN ss. 44.

*Irena BURZYŃSKA*

**APPLICATION OF 0.01 M CaCl<sub>2</sub> SOIL EXTRACT  
TO DETERMINE MACRO AND MICRONUTRIENTS  
IN THE MEADOW SOIL AND TO ASSESS GROUND WATER QUALITY**

*Key words: 0.01 mol CaCl<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> soil extract, meadow plants, meadow soil, the shallow ground water*

**S u m m a r y**

The studies were aimed at evaluating the usefulness of 0.01 M CaCl<sub>2</sub> soil extract to analyse the relationships between the content of mineral elements in meadow soil and in grassland vegetation of the 1<sup>st</sup> cut and between the content of mineral elements in this soil extract and their concentration in shallow ground waters. Studies were carried out to determine the threshold values of nutrients availability for grassland vegetation from their content in 0.01 M CaCl<sub>2</sub> soil extract and to estimate the risk of shallow ground water pollution.

Studies were carried out in a long-term grassland experiments in Janki, Laszczki, Falenty and Baniocha (Masovian Province) and in typical productive meadows in farms situated in Gródek (Podlasian Province), Małszyce (Kujawsko-Pomorskie Province) and Dziarnowo (Masovian Province). Preliminary threshold concentrations of available nutrients were determined from Pearson's coefficients of linear correlation between the content of P, K, Mg, Mn and Zn in 0.01 M CaCl<sub>2</sub> soil extract from a "diagnostic" layer (0–15 cm) and their content in grassland vegetations of the I-cut. Significant Spearman correlation was found between the content of P and Mg in 0.01 M CaCl<sub>2</sub> soil extract and their concentration in shallow ground waters from March to December. Definite calculation of the threshold concentrations of available mineral nutrients based on 0.01 M CaCl<sub>2</sub> soil extract and risk assessment of ground waters pollution will be possible after broader studies.

---

Recenzenci:

*prof. dr hab. Zdzisław Ciećko*

*prof. dr hab. Piotr Wesółowski*

Praca wpłynęła do Redakcji 20.12.2007 r.