

ZAWARTOŚĆ FORM POTASU W GLEBIE ANTROPOGENICZNEJ WYTWORZONEJ Z GRUNTÓW POGÓRNICZYCH W WARUNKACH ZRÓŻNICOWANEJ AGROTECHNIKI

Waldemar Spychalski, Tomasz Kosiada, Krzysztof Otremba
Akademia Rolnicza w Poznaniu

Streszczenie. W pracy określono całkowitą zawartość potasu i jego formy w glebie wytworzonej z gruntów pogórnicych, w warunkach zróżnicowanego poziomu nawożenia i dwóch głębokościach orki – płytkiej i głębokiej po dwudziestosiedmioletnim okresie rekultywacji. Całkowita zawartość potasu wahała się od 11630 do 15890 mg K·kg⁻¹ gleby. Zawartość wszystkich form potasu zwiększała się w glebie wraz ze wzrostem poziomu nawożenia i wahała się w przedziale dla potasu wodno-rozpuszczalnego od 16,45-82,53 mg K·kg⁻¹, potasu aktywnego ekstrahowanego 0,01 mol·dm⁻³ CaCl₂ od 75,51 do 210,93 mg K·kg⁻¹, potasu przyswajalnego oznaczonego w wyciągu Egnera-Riehma od 83,56 do 233,42 mg K·kg⁻¹ gleby, potasu uwstecznionego oznaczonego w 2 mol·dm⁻³ HCl od 177,24 do 403,86 mg K·kg⁻¹, potasu zapasowego ekstrahowanego 1 mol·dm⁻³ HNO₃ od 1001,2 do 1765,0 mg K·kg⁻¹ gleby, potasu rezerwowego ekstrahowanego w 20% HCl od 1801 do 2817 mg K·kg⁻¹. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy tymi samymi kombinacjami nawożenia przy zastosowaniu orki płytkiej i głębokiej.

Słowa kluczowe: doświadczenie wieloletnie, grunty pogórnicy, formy potasu

WSTĘP

Intensywny rozwój kopalnictwa odkrywkowego w rejonie byłego województwa konińskiego doprowadził do przeobrażeń geomorfologicznych. Grunty pogórnicy Konińskiego Zagłębia Węglowego, poddawane procesom rekultywacji, są mieszaniną skał osadowych różnego pochodzenia – głównie: glin zwałowych szarych zlodowacenia środkowopolskiego i żółtych zlodowacenia bałtyckiego, piasków czwartorzędowych, iłów poznańskich i sporadycznie piasków miocenijskich [Gilewska 1991, Bender i Gilewska 2004]. Charakteryzują się więc różnym składem mineralogicznym i granulometrycznym, co w konsekwencji może powodować różnice chemiczne [Mocek i in. 2004].

Pozostawione po odkrywce tworzywo skalne o uziarnieniu przeważnie glin lekkich wymaga rekultywacji, która polega głównie na naprawie chemizmu poprzez nawożenie mineralne. Szczególną rolę pełni nawożenie potasem, ponieważ grunty pogórnice z reguły cechują się niską zasobnością w jego przyswajalne formy. Potas po wprowadzeniu do gleby podlega dynamicznym przemianom, które powodują zróżnicowanie ilościowe form. W glebach zasobnych w minerały ilaste typu 2:1 mogą powstawać trudno dostępne rezerwy tego składnika [Terelak i Fotyma 1986, Fotyma i Gosek 2001]. Zmiany ilościowe różnych form potasu są najbardziej widoczne przy wieloletnim stosowaniu nawożenia w doświadczeniach statycznych [Mercik 1993, Murawska 1999, Mercik i in. 2000].

Celem badań było oznaczenie zawartości różnych form potasu w warstwie ornej gleby wytworzonej z gruntów pogórnicznych w warunkach zróżnicowanego poziomu nawożenia i dwóch głębokościach orki po dwudziestu siedmiu latach rekultywacji oraz określenie wzajemnych zależności między oznaczonymi formami potasu.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w 2005 r. na polu doświadczalnym należącym do Katedry Gleboznawstwa i Rekultywacji Akademii Rolniczej w Poznaniu. Obiekt zlokalizowany jest na zwałowisku wewnętrznym odkrywki Pątnów KWB Konin, 10 km na północ od Konina, przy trasie Konin – Bydgoszcz. Przedmiotem badań była wierzchnia warstwa (poziom orno-próchniczny) gleb wytworzonych po dwudziestu siedmiu latach rekultywacji i zagospodarowania terenów zdegradowanych wskutek działalności górnictwa odkrywkowego. Doświadczenie polowe zostało założone w 1978 przez prof. dr. hab. Jana Bendera.

Czynnikami doświadczenia były:

- głębokość orki: głęboka (30 cm) i płytką (15 cm),
- nawożenie mineralne: 0 NPK (brak nawożenia mineralnego), 1 NPK (nawożenie mineralne w dawkach podanych w tab. 1), 2 NPK (nawożenie mineralne w dawkach dwukrotnie większych niż 1 NPK).

Każdy gatunek rośliny był uprawiany równocześnie na sześciu poletkach o powierzchni 0,08 ha każde. Na każdym z poletek stosowano uproszczony płodozmian zbożowo-rzepakowy, w którym były trzy gatunki roślin w zmianowaniu: rzepak ozimy, pszenica ozima i żyto ozime. Słoma i resztki roślinne były corocznie przyorywane. Na terenie założonego doświadczenia przez pierwsze dziesięć lat stosowano nawożenie, które miało na celu naprawę chemizmu materiału pogórniczego, aby zapewnić w pierwszych i dalszych latach rekultywacji prawidłowy wzrost i rozwój roślin uprawnych [Bender 1995]. Nawożenie zależne było od właściwości chemicznych, fizykochemicznych i zdolności sorpcyjnych tworzącej się gleby oraz potrzeb nawozowych uprawianych gatunków roślin [Bender i Gilewska 2004]. Od 1988 roku stosuje się nawożenie mineralne w niższych dawkach, w ilościach przedstawionych w tabeli 1. Jest ono takie samo bez względu na system uprawy gleby (orkę płytką czy głęboką).

Próbki glebowe pobrano z poziomu ornego jesienią 2005 roku po zbiorze roślin, oddzielnie z każdego poletka. Pobrane próbki glebowe zostały wysuszone i przesiane przez sito o wymiarze oczek 1 mm. Metodami powszechnie stosowanymi w gleboznawstwie [Mocek i in. 2000] oznaczono podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne,

takie jak: skład granulometryczny gleb metodą areometryczną według Prószyńskiego, węgiel organiczny metodą Tiurina, azot ogólny metodą analizy elementarnej za pomocą analizatora elementarnego Vrio Max firmy Elementar, odczyn gleb w H_2O i $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ KCl, węglany – metodą Scheiblera. Oznaczono następujące formy potasu:

- potas rozpuszczalny w wodzie,
- potas aktywny w wyciągu $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ CaCl_2 ,
- potas przyswajalny metodą Egnera-Riehma (DL),
- wymienne formy potasu w $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$,
- potas uwsteczniiony w wyciągu $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl [Warzenin 1960],
- potas zapasowy w wyciągu $1 \text{ mol HNO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ na gorąco [Reitemeier 1951],
- potas rezerwowy w 20% HCL na gorąco,
- potas całkowity po uprzedniej mineralizacji gleby, stosując tzw. trawienie w mieszaninie HF i HClO_4 [Mocek i in. 2000].

Zawartość potasu w uzyskanych wyciągach glebowych oznaczono metodą emisyjnej spektrometrii atomowej (ESA) na aparacie Varian 220 FS. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie za pomocą programu Statistica 8.0.

Tabela 1. Dawki nawożenia mineralnego (1 NPK)

Table 1. Mineral plant fertilization for the experiment (1 NPK)

Gatunek rośliny Plant	Naprawa chemizmu Improvement of chemism 1978-1987			Nawożenie mineralne Mineral fertilization 1988-2005		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
	$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$					
Rzepak ozimy – Oil seed rape	200	470	150	200	70	90
Pszenica ozima – Winter wheat	160	270	130	160	40	80
Żyto ozime – Winter rye	130	370	140	130	60	100

WYNIKI I DYSKUSJA

Badane próbki gleby należą pod względem uziarnienia według PTG do glin lekkich słabo spiaszczonych. Zawartość części spławialnych wahała się w przedziale od 25 do 35%, natomiast ilu koloidalnego od 11 do 16% (tab. 2). Zawartość węgla organicznego po 27 latach rekultywacji była zróżnicowana i mieściła się w przedziale od 0,36 do 0,78%, zależała od poziomu zastosowanego nawożenia i systemu uprawy (orki płytkiej lub głębokiej). Największe przyrosty tego składnika stwierdzono na poletkach, gdzie zastosowano nawożenie mineralne (2 NPK) i wykonywano orkę płytką. W analizowanych próbkach zawartość azotu ogółem wahała się od 0,021 do 0,066%. Największą ilość azotu, podobnie jak w przypadku węgla organicznego, stwierdzono w kombinacji z płytką orką i przy dawce nawożeniowej 2 NPK (tab. 2). Odczyn badanych gleb był zasadowy, a wartości pH mierzone w H_2O zawierały się w przedziale od 8,00 do 8,38, natomiast pH w KCl od 7,50 do 7,77. Zaobserwowano tendencję obniżania się odczynu wraz ze wzrostem dawki nawożeniowej. Do podobnego rezultatu doszli w swoich badaniach Spychalski i in. [2005]. Wysoki odczyn jest wynikiem występowania w badanych glebach znacznych ilości węglanów. Zawartość tych związków mieściła się w granicach od 3,4 do 7,2%.

Tabela 2. Podstawowe właściwości badanych gleb
Table 2. Some basic properties of investigated soils

Gatunek rośliny Plant	Dawka NPK Fertilization treatment	pH			%		C : N	% frakcji % fraction	
		H ₂ O	KCl	CaCO ₃	C _{org.}	N _{org.}		<0,02 mm	<0,002 mm
Orka głęboka – Deep ploughing									
Rzepak Oil seed rape	2	8,00	7,50	3,41	0,69	0,045	15,3	28	13
	1	8,07	7,59	6,99	0,67	0,050	13,4	35	14
	0	8,38	7,64	7,16	0,42	0,026	16,2	31	16
Pszenica Winter wheat	2	8,15	7,63	5,12	0,68	0,055	12,4	30	15
	1	8,19	7,65	5,80	0,66	0,046	14,4	25	12
	0	8,42	7,77	6,14	0,40	0,021	19,1	27	13
Żyto Winter rye	2	8,06	7,50	5,46	0,70	0,053	13,2	26	11
	1	8,19	7,65	3,41	0,73	0,049	14,9	27	12
	0	8,29	7,70	5,29	0,40	0,031	12,9	25	11
Orka płytka – Shallow ploughing									
Rzepak Oil seed rape	2	8,09	7,55	6,14	0,78	0,060	13,0	32	15
	1	8,14	7,57	6,48	0,75	0,056	13,4	31	14
	0	8,31	7,61	6,82	0,49	0,026	18,9	32	14
Pszenica Winter wheat	2	8,09	7,54	5,29	0,65	0,061	10,7	28	12
	1	8,15	7,59	5,80	0,66	0,052	12,7	27	12
	0	8,32	7,67	5,97	0,36	0,026	13,9	28	12
Żyto Winter rye	2	8,02	7,56	5,29	0,78	0,065	12,0	28	13
	1	8,08	7,60	5,97	0,68	0,050	13,6	27	13
	0	8,16	7,62	6,65	0,45	0,025	18,0	29	14

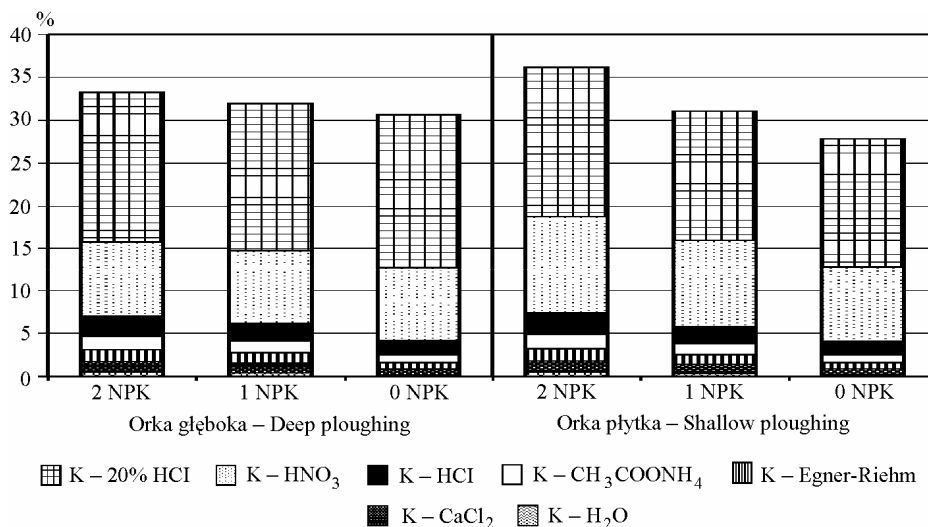
Potas rozpuszczalny w wodzie (K – H₂O)

W analizowanej glebie antropogenicznej wytworzonej z gruntów pogórnich ilość potasu rozpuszczalnego w wodzie kształtowała się na poziomie od 16,5 do 82,5 mg K·kg⁻¹ – orka płytka i od 18,9 do 74,1 mg K·kg⁻¹ – orka głęboka (tab. 3). Różnice w ilości tej formy na poletkach z wykonaną orką głęboką i płytką są nieznaczne i uzależnione od dawki zastosowanego nawożenia mineralnego. Największe różnice ilościowe były zauważalne pomiędzy poletkami, na których zastosowano podwójne i zerowe nawożenie (tab. 3). Wraz ze wzrostem poziomu nawożenia zwiększała się ilość K – H₂O w badanych próbkach glebowych. Procentowy udział średnich wartości z kombinacji nawozowych potasu rozpuszczalnego w wodzie w stosunku do potasu całkowitego oznaczonego w HF nie był duży i stanowił od 0,15 (0 NPK) do 0,51% potasu całkowitego (2 NPK) – poletka z orką głęboką i od 0,18 (0 NPK) do 0,51% potasu całkowitego (2 NPK) – poletka z orką płytką (rys. 1).

Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy tymi samymi kombinacjami nawożenia przy zastosowaniu orki płytkiej i głębokiej. Uzyskano podobne, nie różniące się istotnie zawartości w kombinacjach: orka głęboka + nawożenie NPK 2 (70,1 mg K·kg⁻¹), orka głęboka + nawożenie NPK 1 (59,3 mg K·kg⁻¹), orka płytka + nawożenie NPK 2 (69,5 mg K·kg⁻¹), orka płytka + nawożenie NPK 1 (54,8 mg K·kg⁻¹). Różniły się one natomiast istotnie od kombinacji: orka głęboka + nawożenie NPK 0 (20,3 mg K·kg⁻¹), orka płytka + nawożenie NPK 0 (24,0 mg K·kg⁻¹).

Tabela 3. Formy potasu w glebach wytworzonych z gruntów pogórnicych, mg K·kg⁻¹
 Table 3. Forms of potassium in soils from post-mining lands, mg K·kg⁻¹

Orka Ploughing	Roślina Plant	NPK	K H ₂ O	K CaCl ₂	K Egner- Riehm	K CH ₃ COONH ₄	K 2M HCl	K 1 MHNO ₃	K 20% HCl	K HF
Orka Deep	pszenica wheat	2	74,11	210,9	233,4	247,0	356,9	1300	2817	13730
		1	59,31	157,3	168,0	209,1	277,7	1176	2382	13440
		0	22,34	101,3	103,2	135,9	182,2	1115	2371	11630
	żyto rye	2	66,43	161,9	167,1	226,1	326,9	1369	2406	15890
		1	64,83	157,7	177,9	206,5	292,8	1211	2300	14340
		0	19,80	77,8	91,2	109,1	187,0	1019	2201	12780
rzepak rape	2	69,79	170,1	174,8	226,7	310,3	1168	2397	14280	
	1	53,70	137,1	145,7	168,7	253,9	1110	2296	12950	
	0	18,89	75,5	83,6	107,9	177,2	1001	2015	12450	
Płytko Shallow	pszenica wheat	2	82,53	206,3	212,7	305,6	403,9	1765	2542	14400
		1	44,95	142,1	141,9	185,4	266,1	1596	2126	13800
		0	32,83	113,0	116,5	150,4	225,6	1383	2271	13990
	żyto rye	2	71,96	177,1	195,6	228,2	343,0	1683	2534	13700
		1	67,16	165,5	166,3	198,9	283,8	1317	2245	13750
		0	22,86	87,5	89,9	122,3	196,3	1058	1998	13300
rzepak rape	2	53,94	162,9	168,6	202,7	305,1	1316	2290	14090	
	1	52,38	132,4	137,7	179,0	250,5	1309	1934	14190	
	0	16,45	82,8	83,6	113,8	182,1	1127	1801	13200	



Rys. 1. Procentowy udział różnych form K w glebie wytworzonej z gruntów pogórnicych w stosunku do potasu całkowitego oznaczonego w HF (wartości średnie z kombinacji)

Fig. 1. The percentage share of different potassium forms in soil formed from post-mining lands in relation to the total potassium amount determined in HF (K-HF)

Potas aktywny (K – CaCl₂)

Ilość potasu oznaczonego w wyciągu 0,01 mol·dm⁻³ CaCl₂ była w analizowanym płodozmianie 3-4 razy większa niż potasu rozpuszczalnego w wodzie. Jego zawartość

mieściła się w granicach: od 75,51 do 210,93 mg K·kg⁻¹ (na poletkach z wykonaną orką głęboką) oraz od 82,81 do 206,29 mg K·kg⁻¹ (na poletkach z wykonaną orką płytką) (tab. 3). Stwierdzono, podobnie jak w przypadku potasu rozpuszczalnego w wodzie, iż im wyższy jest poziom zastosowanego nawożenia, tym więcej potasu aktywnego w analizowanych próbkach glebowych. Średnie zawartości tej formy potasu w poszczególnych kombinacjach nawozowych wskazywały na względnie duże różnice pomiędzy 2 NPK a 0 NPK i wynosiły odpowiednio dla orki głębokiej: 96,12 mg K·kg⁻¹ gleby, a dla orki płytkiej – 87,63 mg K·kg⁻¹. Procentowy udział K – CaCl₂ w stosunku do potasu całkowitego zamykał się w przedziale od 0,61 do 1,54% (poletka z orką głęboką) oraz od 0,63 do 1,43% (poletka z orką płytką).

Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy tymi samymi kombinacjami nawożenia przy zastosowaniu orki płytkiej i głębokiej (tab. 4). Uzyskano podobne, nie różniące się istotnie zawartości w kombinacjach: orka głęboka + nawożenie NPK 2 (181,0 mg K·kg⁻¹), orka głęboka + nawożenie NPK 1 (150,7 mg K·kg⁻¹), orka płytką + nawożenie NPK 2 (182,1 mg K·kg⁻¹), orka płytką + nawożenie NPK 1 (146,7 mg K·kg⁻¹). Różniły się one natomiast istotnie od kombinacji: orka głęboka + nawożenie NPK 0 (84,9 mg K·kg⁻¹), orka płytką + nawożenie NPK 0 (94,5 mg K·kg⁻¹).

Tabela 4. Średnie zawartości poszczególnych form potasu dla orki głębokiej i płytkiej, mg K·kg⁻¹
Table 4. Mean content of particular forms of potassium, mg K·kg⁻¹

Orka Ploughing	NPK	K H ₂ O	K CaCl ₂	K Egner- -Riehm	K CH ₃ COONH ₄	K 2 M HCl	K 1 M HNO ₃	K 20% HCl	K HF %
Głęboka Deep	2	70,1a	181,0a	191,8a	233,3a	331,3ab	1279,4ab	2540,2a	14633,3a
	1	59,3a	150,7a	163,8a	194,8a	274,8bc	1166,0b	2326,2ab	13576,7ab
	0	20,3b	84,9b	92,7b	117,6b	204,73c	1045,1b	2196,2ab	12286,7b
Płytką Shallow	2	69,5a	182,1a	192,3a	245,5a	350,7a	1587,8a	2455,8ab	14063,3a
	1	54,8a	146,7a	148,6a	187,8a	266,8bc	1407,0ab	2102,2ab	13913,3a
	0	24,0b	94,5b	96,7b	128,8b	201,3c	1189,6b	2023,5b	13496,7ab

wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie – differences between medians marked by the same letters are not significant

Potas przyswajalny (K – wyciąg Egnera-Riehma)

W analizowanych próbkach glebowych ta forma potasu charakteryzowała się dużo większą zawartością w stosunku do potasu oznaczonego w wyciągu wodnym i nieznacznie większą zawartością w stosunku do potasu aktywnego. Zawartość potasu przyswajalnego w badanym płodozmianie kształtowała się na poziomie od 83,56 do 233,42 mg K·kg⁻¹ gleby (tab. 3), a różnice zawartości potasu na poletkach, wynikające z głębokości wykonanej orki, były nieznaczne. Różnice bilansowe pomiędzy kombinacjami nawożeniowymi były najmniejsze pomiędzy 2 NPK a 1 NPK, a największe pomiędzy 2 NPK a 0 NPK. Przyrost tej formy w płodozmianie następował wraz ze wzrostem poziomu nawożenia – 0 NPK, 1 NPK, 2 NPK. Średni procentowy udział tej formy potasu w stosunku do potasu całkowitego oznaczonego w HF wynosił od 0,76 (0 NPK) do 1,33% (2 NPK) (poletka z orką głęboką) i od 0,71 (0 NPK) do 1,37% (2 NPK) (poletka z orką płytką) (rys. 1).

Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice (tab. 4) pomiędzy tymi samymi kombinacjami nawożenia przy zastosowaniu orki płytkiej i głębokiej. Uzyskano podobne, nie różniące się istotnie zawartości w kombinacjach: orka głęboka + nawożenie NPK 2

(191,8 mg K·kg⁻¹), orka głęboka + nawożenie NPK 1 (163,8 mg K·kg⁻¹), orka płytka + nawożenie NPK 2 (192,3 mg K·kg⁻¹), orka płytka + nawożenie NPK 1 (148,6 mg K·kg⁻¹). Różniły się one natomiast istotnie od kombinacji: orka głęboka + nawożenie NPK 0 (92,7 mg K·kg⁻¹), orka płytka + nawożenie NPK 0 (96,7 mg K·kg⁻¹).

Potas wymienny (K – CH₃COONH₄)

Zawartość potasu wymiennego w badanym płodozmianie rzepakowo-zbożowym (pszenica, żyto, rzepak) kształtowała się w przedziale od 107,9 do 305,6 mg K·kg⁻¹ gleby, przy czym na poletkach z wykonaną orką głęboką wynosiła od 107,9 do 247,0 mg K·kg⁻¹ gleby, a z orką płytką od 113,8 do 305,6 mg K·kg⁻¹ gleby (tab. 3). Na poletkach z wykonaną orką płytką ilość tego potasu była znacznie wyższa niż na poletkach, na których zastosowano orkę głęboką. W przypadku braku nawożenia ilość tej formy potasu w glebach była najmniejsza, a wraz ze wzrostem poziomu nawożenia mineralnego – zwiększała się. Procentowy udział tej formy K w stosunku do potasu całkowitego oznaczonego w HF kształtował się od 0,87 do 1,80% (poletka z orką głęboką) i od 0,86 do 2,12% (poletka z orką płytką) (rys. 1). Średnie wartości z kombinacji nawozowych (poziom nawożenia 0 NPK, 1 NPK, 2 NPK) przedstawiono w tabeli 4. Nie wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy tymi samymi kombinacjami nawożenia przy zastosowaniu orki płytkiej i głębokiej. Uzyskano podobne, nie różniące się istotnie zawartości w kombinacjach: orka głęboka + nawożenie NPK 2 (233,3 mg K·kg⁻¹), orka głęboka + nawożenie NPK 1 (194,8 mg K·kg⁻¹), orka płytka + nawożenie NPK 2 (245,5 mg K·kg⁻¹), orka płytka + nawożenie NPK 1 (187,8 mg K·kg⁻¹). Różniły się one natomiast istotnie od kombinacji: orka głęboka + nawożenie NPK 0 (117,6 mg K·kg⁻¹), orka płytka + nawożenie NPK 0 (128,8 mg K·kg⁻¹).

Potas uwsteczniiony (K – 2 mol·dm⁻³ HCl)

Ilość potasu oznaczonego w 2 M HCl przewyższała nieznacznie zawartość potasu wymiennego w badanych próbkach glebowych. Większe ilości tej formy stwierdzono na poletkach, na których wykonano orkę płytką – od 182,1 (0 NPK) do 403,9 (2 NPK) mg K·kg⁻¹ gleby niż na poletkach z orką głęboką od 177,2 (0 NPK) do 356,9 (2 NPK) mg K·kg⁻¹ gleby (tab. 3). Wartości te uzależnione były od zastosowanego poziomu nawożenia, gatunku uprawianej rośliny i systemu uprawy. Największą zasobnością w ten składnik charakteryzowały się poletka doświadczalne, na których zastosowano podwójne nawożenie mineralne, wykonano orkę płytką i uprawiano pszenicę (tab. 3). Wartości średnie i różnice bilansowe pomiędzy kombinacjami nawozowymi z uwzględnieniem poziomu nawożenia (0 NPK, 1 NPK, 2 NPK) i systemu uprawy przedstawiono w tabeli 4. Procentowy udział tej formy w stosunku do K – HF kształtował się w przedziale od 1,42 (0 NPK) do 2,60% (2 NPK) (rys. 1), co średnio stanowi 1,59-2,28% (kombinacja z orką głęboką) oraz od 1,38 (0 NPK) do 2,80% (2 NPK), co średnio stanowi 1,49-2,49% (kombinacja z orką płytką).

Najwyższą zawartość oznaczono w kombinacji orka płytka + nawożenie NPK 2 (350,7 mg K·kg⁻¹), nie różniła się ona istotnie od zawartości w kombinacji orka głęboka + nawożenie NPK 2 (331,3 mg K·kg⁻¹). Istotne różnice w przypadku oznaczenia tej formy potasu wystąpiły pomiędzy poziomami nawożenia NPK 2 (poletka z orką głęboką – 331,3, poletka z orką płytką – 350,7 mg K·kg⁻¹) a poziomami nawożenia NPK 0 (poletka z orką głęboką – 204,7, poletka z orką płytką – 201,3 mg K·kg⁻¹).

Na uwagę zasługuje wysoki dodatni współczynnik korelacji (tab. 5) pomiędzy omówionymi powyżej formami potasu, co jest odzwierciedleniem wzajemnych powiązań i przemian w obrębie tych form.

Tabela 5. Istotne współczynniki korelacji między wybranymi cechami
Table 5. Correlation coefficients

	K H ₂ O	K CaCl ₂	K Egner- Riehm	K CH ₃ COONH ₄	K 2 mol·dm ⁻³ HCl	K 1 mol HNO ₃ ·dm ⁻³	K 20% HCl	K HF %	Próchnica Humus
K H ₂ O	1,0000 p = ---	-	-	-	-	-	-	-	-
K CaCl ₂	0,9683 p = ,000	1,0000 p = ---	-	-	-	-	-	-	-
K Egner-Riehm	0,9612 p = ,000	0,9902 p = ,000	1,0000 p = ---	-	-	-	-	-	-
K CH ₃ COONH ₄	0,9556 p = ,000	0,9695 p = ,000	0,9512 p = ,000	1,0000 p = ---	-	-	-	-	-
K 2 mol·dm ⁻³ HCl	0,9267 p = ,000	0,9620 p = ,000	0,9500 p = ,000	0,9773 p = ,000	1,0000 p = ---	-	-	-	-
K 1 mol HNO ₃ ·dm ⁻³	0,6254 p = ,006	0,6649 p = ,003	0,6258 p = ,005	0,7246 p = ,001	0,7252 p = ,001	1,0000 p = ---	-	-	-
K 20% HCl	0,7059 p = ,001	0,7797 p = ,000	0,8139 p = ,000	0,7361 p = ,000	0,8099 p = ,000	0,4177 p = ,085	1,0000 p = ---	-	-
K HF %	0,6559 p = ,003	0,5927 p = ,010	0,5613 p = ,015	0,6449 p = ,004	0,5727 p = ,013	0,5168 p = ,028	0,2375 p = ,343	1,0000 p = ---	-
Próchnica Humus	0,8600 p = ,000	0,8592 p = ,000	0,8250 p = ,000	0,8345 p = ,000	0,7899 p = ,000	0,6163 p = ,006	0,4796 p = ,044	0,6028 p = ,008	1,0000 p = ---

Potas zapasowy (K – 1 mol·dm⁻³ HNO₃)

Potas zapasowy w badanych próbkach glebowych charakteryzował się znacznie większą zawartością w porównaniu z pozostałymi oznaczonymi formami potasu w glebach antropogenicznych wytworzonych z gruntów pogórnicych. W stosunku do potasu uwstecznionego była to zawartość trzy-, czterokrotnie większa (tab. 3). Uśrednione wyniki zawartości tego składnika w glebach wykazują podobne relacje jak w pozostałych formach. Większe wartości uzyskano na poletkach z wykonaną orką płytką (tab. 3). Podobnie jak w poprzednich przypadkach różnica bilansowa pomiędzy 2 NPK a 0 NPK była największa i wynosiła 234,3 mg K·kg⁻¹ gleby (kombinacje z orką głęboką) i 398,2 mg K·kg⁻¹ gleby (kombinacje z orką płytką). Na poletkach, na których wykonano orkę głęboką, potas zapasowy stanowił od 8,04 do 9,47% K – HF, natomiast w kombinacji z orką płytką od 8,54 do 12,26% (rys. 1).

Istotne różnice w przypadku oznaczenia tej formy potasu (tab. 4) wystąpiły pomiędzy poziomem nawożenia NPK 2 (kombinacje z orką głęboką 1587,8 mg K·kg⁻¹) a poziomem nawożenia NPK 0 (kombinacje z orką płytką 1189,6 mg K·kg⁻¹).

Potas rezerwowy (K – 20% HCl)

Prawie 2-krotnie wyższą zawartością w analizowanym płodozmianie w stosunku do potasu zapasowego charakteryzował się potas oznaczony w 20% HCl. Kształtowała się ona w przedziale od 1801,0 (0 NPK + orka płytka) do 2817,0 mg K·kg⁻¹ gleby (2 NPK + orka głęboka) – tabela 3. Pojawiała się ta sama zależność jak przy wcześniej omawianych

formach, a mianowicie uzależnienie zawartości powiązań tego składnika w glebie od poziomu nawożenia. Także tutaj najwyższe wartości uzyskuje się na poletkach przy tak zwanym nawożeniu 2 NPK, a najmniejsze w przypadku braku nawożenia mineralnego. Procentowe udziały potasu rezerwowego w stosunku do całkowitego przedstawiają się następująco: poletka z orką głęboką od 52,41 (0 NPK) do 49,63 mg K·kg⁻¹ (2 NPK), poletka z orką płytka od 41,21 (0 NPK) do 35,35 mg K·kg⁻¹ (2 NPK) – rys. 1.

Istotne różnice w przypadku oznaczenia tej formy potasu wystąpiły pomiędzy poziomem nawożenia NPK 2 (poletka z orką głęboką – 2540,2 mg K·kg⁻¹) a poziomem nawożenia NPK 0 (poletka z orką płytka – 2023,5 mg K·kg⁻¹).

Potas całkowity (K – HF)

Zawartość tej formy potasu w glebach antropogenicznych wytworzonych z gruntów pogórnicych była najwyższa i wynosiła od 1163 do 1589,7 mg K·kg⁻¹ (w kombinacjach z orką głęboką) oraz od 1320 do 1440,7 mg K·kg⁻¹ (w kombinacjach z orką płytka) (tab. 3). Ilość tego składnika zależała od zastosowanych dawek nawozów mineralnych na danych poletkach doświadczalnych. Im wyższy był poziom nawożenia (2 NPK), tym większe ilości tej formy w badanych glebach (tab. 3).

Istotne różnice w przypadku oznaczenia tej formy potasu wystąpiły pomiędzy: poziomem nawożenia NPK 2 (na poletkach z orką głęboką – 14633,3 mg K·kg⁻¹), poziomem nawożenia NPK 2 (14063,3 mg K·kg⁻¹), NPK 1 (13913,3 mg K·kg⁻¹) – w kombinacjach z orką płytka – a poziomem nawożenia NPK 0 (na poletkach z orką głęboką – 12286,7 mg K·kg⁻¹).

DYSKUSJA

Praca dotyczy badań nad ilościami różnych form potasu występującego w glebie wytworzonej w wyniku przeprowadzonych zabiegów rekultywacyjnych na gruntach pogórnicych. Systematyczne nawożenie potasem zwiększyło zawartości poszczególnych form potasu, szczególnie przy dawce 2 NPK. Potwierdzają to liczne badania, w których wykazano wpływ nawożenia na zawartość łatwiej lub trudniej dostępnych form potasu [Pondel i Gosek 1978, Murawska 1999, Stępień i Mercik 1999b]. Blecharczyk i Piechota [2001] również wskazują na istotny wpływ różnych dawek nawożenia na dostępność potasu dla roślin uprawnych. Potwierdzono ponadto, że najbardziej wiarygodne wyniki dotyczące potasu i jego połączeń z różnymi elementami fazy stałej uzyskuje się w doświadczeniach wieloletnich [Stępień i Mercik 1999a]. Za takie można uznać także badania prowadzone na polach doświadczalnych Katedry Gleboznawstwa i Rekultywacji AR w Poznaniu. Zawartości wszystkich analizowanych form potasu były istotnie statystycznie skorelowane z zawartością próchnicy. Ilość potasu uwalnianego do roztworu glebowego w wyniku rozpadu minerałów oraz desorpcji potasu wymiennego i silniej związanego w analizowanej glebie wytworzonej z gruntów pogórnicych była 2- do 3-krotnie mniejsza niż w kombinacjach nawożonych. Łabętowicz i Rutkowska [2005] stwierdzili, że najłatwiejszym do uchwycenia rezultatem stosowania wysokich dawek nawożenia może być właśnie akumulacja w glebie rozpuszczalnych form tego składnika. Według Terelaka i Fotymy [1986] oraz Fotymy i Goska [1991, 2001] niedobory potasu prowadzą do ujemnego bilansu, który przyczynia się do uruchamiania trudno dostępnych rezerw tego składnika. W analizowanych stosunkowo „młodych” glebach ten proces zachodzi bardzo powoli, dlatego w kombinacjach bez nawożenia

zawartość tych form potasu była niewielka. W doświadczeniach badano także potas aktywny, przyswajalny i wymienny. Badania wykazały wyraźny wpływ zróżnicowanego poziomu nawożenia NPK na zmiany zawartości tych form w glebie. Wyższy poziom nawożenia NPK wpłynął na zwiększenie ilości łatwo dostępnych form potasu w glebach wytworzonych z gruntów pogórnicych. Podobne wyniki uzyskali także inni autorzy, którzy stwierdzili, że regularne stosowanie nawozów potasowych zwiększa zawartość przyswajalnej formy potasu [Pondel i Gosek 1978, Terelak i Fotyma 1986]. Identyczne wnioski ze swoich badań wyciągnęli także Stępień i Mercik [1999b]. Po pewnym czasie może jednak wystąpić zahamowanie zwiększenia zawartości tej formy potasu, co jak już wspomniano, wiąże się z sorpcją niewymienną tego składnika oraz luksusowym jego pobieraniem przez rośliny lub też wymywaniem do głębszych warstw profilu glebowego. Najniższe zawartości potasu oznaczonego w wyciągu CaCl_2 , mleczanu wapnia i octanu amonu stwierdzono na poletkach kontrolnych (0 NPK). Jednak w obrębie tych poletek zaobserwowano stosunkowo duże zróżnicowanie, na które wpływ miał przede wszystkim czynnik roślinny. Najmniejszą zawartość łatwo dostępnych form potasu stwierdzono na poletkach, gdzie uprawiany był rzepak. Zależności te potwierdzają badania prowadzone przez Blecharczyka i Piechotę [2001]. Wykazano, że ilości potasu ekstrahowanego w wyciągu chlorku wapnia i mleczanu wapnia były zbliżone i ściśle ze sobą skorelowane, podobne wyniki uzyskali na glebach ciężkich Fotyma i in. [1996]. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono równania regresji dla form potasu oznaczonego w chlorku wapnia, mleczanie wapnia oraz w $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ HCl}$. Równanie regresji opisujące zmienność oznaczonej formy potasu metodą Egnera-Riehma, gdzie zmienną była zawartość formy potasu oznaczonej w chlorku wapnia, miało postać $K \text{ Egner} = 1,0625 * K \text{ CaCl}_2 - 1,059$ i wyjaśniało 99% zmienności, natomiast dla zmiennej: zawartość potasu oznaczona w 2 M HCl miało postać $K \text{ Egner} = 0,6743 * K \text{ 2M HCl} - 35,508$ i wyjaśniało 95% zmienności. Potas uwsteczniony w badanych próbkach kształtował się według podobnych zależności jak w przypadku poprzednio opisanych form tego składnika. Jego ilość zwiększała się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia. Ilościowo przewyższała ona omówione poprzednio formy potasu. W badaniach Blecharczyka i Piechoty [2001] ta forma potasu przewyższała średnio o 30% ilość potasu przyswajalnego w wierzchniej warstwie.

Zawartość potasu zapasowego (oznaczonego w HNO_3) zwiększała się w analizowanych próbkach glebowych wraz ze zwiększeniem poziomu nawożenia, wzrost jego ilości w stosunku do „zerówki” kształtował się np. w kombinacji 2 NPK (z orką płytka) na poziomie 33,5%. Uzyskane wyniki były zdecydowanie wyższe od podawanych w literaturze [Stępień 1989, Szara i in. 2005, Szymańska i in. 2005]. Stępień i Mercik [1999a] podają, że zawartość tej formy potasu w glebie zależy nie tylko od dawki nawożenia, ale również od zawartości iłu koloidalnego i jego składu mineralogicznego. Badane gleby charakteryzują się stosunkowo związłym składem granulometrycznym, dlatego mogą być bogate w tę formę potasu. Zależności pomiędzy potasem zapasowym w glebie a nawożeniem przedstawiały się podobnie jak w przypadku potasu wymiennego. Przy małym nawożeniu lub bez nawożenia mineralnego rośliny pobierały potas z formy zapasowej i jej ilość w glebie mogła ulec zmniejszeniu [Terelak i Fotyma 1986]. Dlatego też prawdopodobnie w badaniach omówionych w pracy ilości potasu zapasowego są najmniejsze przy 0 NPK.

Przedstawiona wyżej dyskusja nad formami potasu w glebie i ich dynamizmem potwierdza doniesienia literaturowe. Większość z nich dotyczyła jednak gleb uprawnych.

Niniejsze badania, co wiele razy zostało podkreślone, prowadzono na glebach wytworzonych z gruntów pogórnicych, charakteryzujących się wadliwym układem energetycznym [Bender 1995]. Uzyskane wyniki dowiodły, że właściwości chemiczne utworów pogórnicych można poprawić poprzez kompleksowe nawożenie mineralne. Zabieg ten należy traktować jako bardzo ważną czynność rekultywacyjną, prowadzącą do wzrostu zasobności potasu w poziomie orno-próchnicznym wytworzonych gleb.

WNIOSKI

1. Nawożenie mineralne wywarło istotny wpływ na ilość potasu związanego z różnymi elementami fazy stałej gleby.

2. Zawartość analizowanych form potasu, wyrażona w $\text{mg K}\cdot\text{kg}^{-1}$, tworzyła następujący szereg rosnący: $\text{K} - \text{H}_2\text{O} < \text{K} - \text{aktywny} < \text{K} - \text{przyswajalny} < \text{K} - \text{wymienny} < \text{K} - \text{uwsteczniiony} < \text{K} - \text{zapasowy} < \text{K} - \text{rezerwowy} < \text{K} - \text{całkowity}$.

3. Nawożenie mineralne spowodowało przyrost zawartości wszystkich analizowanych powiązań potasu, szczególnie w przypadku następujących form potasu: $\text{K} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{K} - \text{aktywny}$, $\text{K} - \text{przyswajalny}$, $\text{K} - \text{wymienny}$ i $\text{K} - \text{uwsteczniiony}$.

4. Zastosowanie nawożenia w dawce 2NPK zwiększyło około 3-krotnie ilość $\text{K} - \text{H}_2\text{O}$ w stosunku do kontroli – 0NPK oraz około 2-krotnie ilość $\text{K} - \text{aktywnego}$, $\text{K} - \text{przyswajalnego}$, $\text{K} - \text{wymiennego}$ i $\text{K} - \text{uwstecznionego}$.

5. Ilość oznaczonego potasu wyekstrahowanego za pomocą mleczanu wapnia i chlorku wapnia była na zbliżonym poziomie.

6. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic pomiędzy tymi samymi kombinacjami nawożenia przy zastosowaniu orki głębokiej i płytkiej.

PIŚMIENNICTWO

- Bender J., 1995. Rekultywacja terenów pogórnicych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 418, 75-86.
- Bender J., Gilewska M., 2004. Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń. Roczn. Glebozn. LV(2), 29-46.
- Blecharczyk A., Piechota T., 2001. Wpływ wieloletniego nawożenia na zawartość form potasu w profilach glebowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 480, 19-25.
- Fotyma M., Gosek S., 1986. Elementy bilansu potasu jako podstawa nawożenia tym składnikiem. Roczn. Glebozn. XXXVII(1), 191-201.
- Fotyma M., Gosek S., 1991. The soil potassium resources and the efficiency of potassium fertilizers in Poland. International Potash Institute Basel, Country Report 1, 1-24.
- Fotyma M., Gosek S., 2001. Przemieszczanie potasu i magnezu w profilu gleby nawożonej gnojowicą i nawozami mineralnymi. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 480, 51-59.
- Fotyma M., Gosek S., Szewczyk M., 1996. Porównanie przydatności różnych metod określania odczynu gleby oraz zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Roczn. Glebozn. XLVII(1/2), 65-78.
- Gilewska M., 1991. Rekultywacja biologiczna gruntów pogórnicych na przykładzie KWB „Konin”. Roczn. AR w Poznaniu, Rozpr. Nauk. 211.
- Mercik S., 1993. Regeneracja gleby silnie wyczerpanej z dostępnych form potasu i fosforu. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Sesja naukowa 37, 3-14.
- Mercik S., Stępień W., Łabętowicz J., 2000. Żywność gleb w trzech systemach nawożenia: mineralnym, organicznym i organiczno-mineralnym w doświadczeniach wieloletnich. Cz. II. Właściwości chemiczne gleb. Folia Univ. Agric. Stein., Agricultura 84, 317-322.

- Mocek A., Drzymała S., Maszner P., 2000. *Geneza, analiza i klasyfikacja gleb*. Wyd. AR Poznań.
- Mocek A., Owczarzak W., Rybczyński P., 2004. Zmienność chemizmu gleb wytworzonych na zwałowisku wewnętrznym odkrywki Państw w wyniku wieloletniego, zróżnicowanego nawożenia mineralnego. *Rocz. Glebozn.* V(2), 291-299.
- Murawska B., 1999. Wpływ 23-letniego zróżnicowanego nawożenia N i K na zmiany zawartości różnych form potasu w glebie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465, 391-402.
- Łabętowicz J., Rutkowska B., 2001. Czynniki kształtujące stężenie potasu w roztworze glebowym gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 480, 95-102.
- Pondel H., Gosek S., 1978. Wpływ poziomu nawożenia potasowego na zawartość potasu w glebach. *Rocz. Glebozn.* XIX(1), 41-55.
- Reitemeier R.F., 1951. Soil potassium. *Adv. Agron.* 3, 113.
- Spsychalski W., Mocek A., Gilewska M., 2005. Potassium forms in soils formed from postmining lands. *Nawozy i nawożenie* 3(24), 124 -132.
- Stępień W., 1989. Działanie potasu w zależności od stopnia jego nagromadzenia w glebie w wyniku wieloletniego nawożenia. *Rocz. Glebozn.* XL(1), 129-143.
- Stępień W., Mercik S., 1999a. Formy potasu w glebie oraz bilans tego składnika w wieloletnich doświadczeniach polowych w Skierniewicach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 465, 81-91.
- Stępień W., Mercik S., 1999b. Zmiany zawartości form fosforu i potasu w glebie oraz plonowanie roślin na przestrzeni 30 lat na glebie nawożonej i nienawożonej tymi składnikami. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 467, 269-278.
- Szara E., Stępień W., Mercik S., 2005. Zawartość różnych form K oraz wymiennych form Ca, Mg i Al w zależności od wieloletniego nawożenia tymi składnikami. *Nawozy i nawożenie* 3(24), 253-261.
- Szymańska M., Łabętowicz J., Korc M., 2005. Zawartość form potasu w glebie w warunkach trwałego doświadczenia nawozowego. *Nawozy i nawożenie* 3(24), 262-271.
- Terelak H., Fotyma M., 1986. Wpływ nawożenia potasem na zawartość form tego składnika w glebach i ich pobranie przez rośliny. *Rocz. Glebozn.* XXXVII(1), 203-213.
- Warzenin J.G., 1960. *Agrochim. Miet. Isl. poczw., Moskwa*, 115-149.

CONTENT OF POTASSIUM FORMS IN AN ANTHROPOGENIC SOIL FORMED FROM POST-MINING LANDS UNDER DIVERSIFIED AGRICULTURAL PRACTICES

Abstract. The current paper reports about the influence of different levels of fertilization and agricultural practices (i.e. shallow and deep ploughing) on the total content of potassium (K_{tot}) and its forms in a soil formed from post-mining lands after twenty seven years of land reclamation processes. The total content of potassium ranged from 11630 to 15890 mg $K \cdot kg^{-1}$. It was found that the content of all potassium forms increased in soils along with the level of fertilization and varied within the range between 16.45 and 82.53 mg $K \cdot kg^{-1}$ for water-soluble K; between 75.51 and 210.93 mg $K \cdot kg^{-1}$ for active K extracted by 0.01 mol·dm⁻³ CaCl₂; between 83.56 and 233.42 mg $K \cdot kg^{-1}$ for available K determined by the Egner-Riehm method; between 177.24 and 403.86 mg $K \cdot kg^{-1}$ for retrograded K extracted by 2 mol·dm⁻³ HCl; between 1001,2 and 1765,0 mg $K \cdot kg^{-1}$ for the reserve pool of K assayed by 1 mol·dm⁻³ HNO₃; and between 1801 and 2817 mg $K \cdot kg^{-1}$ for residual K dissolved in a 20% HCl solution. No significant differences occurred for the same fertilization treatments under shallow and deep ploughing practices.

Key words: long-term experiment, post-mining lands, forms of potassium

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 20.01.2007