

Instytut Nauk Rolniczych w Zamościu,
ul. Szczepieńska 102, 22-400 Zamość, Poland

Izabela Mazurkiewicz

*Potencjał redoks w glebie jako wskaźnik chemiczno-rolniczy
w badaniach agrosystemu*

Redox potential in the soil as a chemical index in investigation of agrosystem

ABSTRACT. The aim of the study was to determine the influence of experimental treatments in a field experiment conducted over many years on the soil redox potential under standard laboratory conditions. The experimental treatments consisted of two crop rotations, yard manure application of 0, 40 and 80 t/ha for every 4 years, and nitrogen fertilization at the rates of 0, 40, 80, and 120 kg N/ha annually. Measurements of redox potential Eh were performed after 1 hour and after 7 days, in soil suspension with a soil-to-water ratio of 1:1 in 40 g of soil and 40 cm³ of water at 25°C. The tested soil was little susceptible to reduction, which after 7 days' incubation had the index of pliability of 7.0 mV/day within linear part of redox potential decrease in soil suspension. Slight differentiation of soil pliability to reduction due to field experiment treatments proves that the index of soil pliability to reduction is more dependent on soil properties than on the experimental treatments applied. Soil pliability to reduction could be proposed as a suitable and practical chemical and agricultural index and redox potential can be made on the first day and after seven days of incubation under standard laboratory conditions of water suspension.

KEY WORDS: soil redox potential, soil pliability to reduction

Potencjał redoks w glebie obejmuje chemiczne i biologiczne przemiany i może być ważnym wskaźnikiem kierunku procesów chemicznych zachodzących w glebie [Jeffery 1961; Patrick 1964; Patrick, Turner 1969; Yamane Sato 1968; Bohn 1971; Gliński, Duliban 1972; Tian-Ren 1983; Grabińska-Łoniewska 1998; Łabuda i in. 2000]. Do wielu wskaźników oceny właściwości i warunków gle-

bowych, mających znaczenie w badaniach naukowych i praktyce rolniczej, można byłoby dodać jeszcze jedną chemiczno-rolniczą charakterystykę – potencjał redoks w glebie jako praktycznie przydatny wskaźnik oceny chemicznych właściwości gleby. Potencjał redoks w glebie obok pH oraz przewodnictwa elektrycznego jest charakterystyką roztworu glebowego, co daje możliwość zastosowania szybkich elektrochemicznych metod pomiarowych. Może być on jednak przydatnym chemiczno-rolniczym wskaźnikiem glebowym tylko wtedy, gdy będzie określony chemiczną metodyką pomiaru i rolniczym sposobem oceny. Zaproponowany wskaźnik podatności gleby na redukcję określa spadek potencjału redoks w czasie, a jako wartość progową zaproponowano wstępnie 25 mV/dobę, co oznacza, że spadek potencjału redoks poniżej 25 mV/dobę wskazuje na małą podatność gleby na redukcję, a spadek powyżej 25 mV/dobę – na dużą podatność gleby na redukcję [Łabuda 1995, 1998, 1999]. Natomiast wskaźnik odporności gleby na redukcję określa czas potrzebny do osiągnięcia określonej wartości potencjału redoks, odpowiadającej redukcji azotanów t_{400} lub redukcji związków żelaza t_{300} [Gliński, Stępniewska 1986; Stępniewska 1988; Stępniewska i in. 1997].

Celem badań było określenie wpływu zabiegów agrotechnicznych w wieloletnim doświadczeniu polowym na potencjał redoks w symulowanym roztworze glebowym w standardowych warunkach laboratoryjnych.

METODY

Badania przeprowadzono opierając się na wieloletnim doświadczeniu polowym IUNG w Puławach. Próbkę glebową były pobrane po zakończeniu czwartej rotacji zmianowania, czyli po 16 latach trwania doświadczenia polowego. Doświadczenie prowadzone było na glebie płowej o składzie piasku gliniastego mocnego. Położenie obiektu doświadczalnego można określić szerokością geograficzną północną $51^{\circ}21'8''$ i długością geograficzną wschodnią $21^{\circ}40'8''$.

Czynnikami doświadczenia były dwa zmianowania I (ziemniak–pszenica ozima–jęczmień jary–kukurydza) i zmianowanie II (ziemniak–pszenica ozima + poplon gorczyca–jęczmień jary z wsiewką koniczyny czerwonej z trawami–koniczyna czerwona z trawami), obornik stosowany był w ilości 0, 40 i 80 t/ha co 4 lata oraz nawożenie azotem stosowane było w dawkach 0, 40, 80 i 120 kg N/ha corocznie. Nawożenie fosforem i potasem było stałe i wynosiło średnio 23,6 kg P/ha i 96,3 kg K/ha na rok.

W glebie oznaczono pH w 1 mol KCl, kwasowość hydrolityczną w 1 mol CH_3COONa i sumę zasad wymiennych w 0,1 mol HCl. Pomiar potencjału redoks Eh i pomiary wskaźnika pH przeprowadzono w symulowanym roztworze glebowym, czyli w wodnej zawieszynie glebowej sporządzonej w stosunku 1:1

z 40 g gleby i 40 cm³ wody destylowanej w zlewkach o pojemności 100 cm³. Próby były utrzymywane w temperaturze 25°C przez cały czas wykonywania pomiarów. W zastosowanym układzie pomiarowym elektrodą wskaźnikowo-pomiarową była elektroda platynowa, która stanowiła drut platynowy długości 10 mm i średnicy 0,5 mm. Rolę elektrody porównawczej pełniła elektroda kalomelowa EK-602, wyprodukowana przez EUROSENSOR. Potencjał zastosowanej elektrody kalomelowej w temperaturze 25°C, czyli w temperaturze pomiarów Eh wynosi 245 mV i taką wartość dodawano do wskazań przyrządu pomiarowego. Wymienione elektrody współpracowały z mikroprocesorowym miernikiem P-730 mV/pH z automatyczną kompensacją temperatury firmy ELSTER. Zakres pomiarowy napięcia tego miernika wynosił od -950 mV do +950 mV. We wszystkich pomiarach Eh zachowano czas polaryzacji elektrod, wynoszący 300 s. Pomiar potencjału redoks i wartości pH przeprowadzono po 1 i 168 godzinach, czyli po 1 h i po 7 dobach. Pomiar Eh i pH były przeprowadzone w trzech powtórzeniach. Równoległe z pomiarami potencjału redoks oznaczano pH zawiesiny glebowej. Pomiar pH wykonano wykorzystując ten sam miernik P-730 i elektrodę kombinowaną pH typ OSH-10-00 wyprodukowaną przez METRON.

Pomiary przewodnictwa elektrycznego przeprowadzono metodą konduktometryczną w zawiesinie glebowej sporządzonej z 20 g gleby i 100 cm³ wody w temperaturze 25°C czujnikiem EPS-2ZM EUROSENSOR i mikrokomputerowym konduktometrem CC-315 ELMETRON.

WYNIKI

Chemiczne właściwości gleby pod wpływem czynników doświadczenia przedstawia tabela 1. Wartości pH oznaczone w 1 mol KCl, a także w wodzie wskazują na nieznaczne zmniejszenie wartości pH pod wpływem nawożenia azotem od 5,16 przy zerowej dawce azotu do 4,85 przy dawce 120 kg N/ha. Czynniki doświadczenia znacznie wpłynęły na wartość kwasowości hydrolitycznej w zmianowaniu I i II. Zastosowana substancja organiczna powodowała obniżenie kwasowości hydrolitycznej. W obu zmianowaniach najmniejsze wartości Hh były przy najwyższej ilości obornika 80 t/ha i przy jednoczesnym braku nawożenia azotem. Natomiast zwiększenie dawki azotu wpływało na zwiększenie kwasowości hydrolitycznej w glebie. Suma kationów zasadowych była zróżnicowana w obu zmianowaniach. Zwiększanie ilości stosowanego obornika wpływało na zwiększenie sumy kationów zasadowych. Natomiast wyższe dawki azotu powodowały spadek zawartości kationów zasadowych w glebie. Całkowita pojemność sorpcyjna była także znacznie zróżnicowana w obu zmianowaniach. Zwiększanie ilości stosowanego obornika powodowało wyraźne zwiększenie pojemności sorpcyjnej gleby, podczas gdy wyższe dawki azotu nie miały

już na to tak wyraźnego wpływu. Obliczony stopień wysycenia gleby kationami zasadowymi V był różny w dwu zastosowanych zmianowaniach. Stosowanie substancji organicznej wpływało na wzrost pojemności sorpcyjnej gleby i jednocześnie na zwiększenie stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami, co jest zrozumiałe wobec faktu, że pojemność sorpcyjna próchnicy jest nawet kilkadziesiąt razy większa niż koloidów mineralnych. Natomiast wzrastające dawki azotu wpływały na obniżenie stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego badanej gleby w wyniku zwiększenia kwasowości hydrolitycznej (tab. 1).

Tabela 1. Chemiczne właściwości gleby pod wpływem czynników doświadczenia
Table 1. Chemical properties of soil as affected by experimental treatments

Czynnik Treatment			pH KCl	Kwasowość ⁴ Hh	Suma zasad ⁵ S	Pojem- ność ⁶ T	Stopień wysyc. ⁷ V	CSS ⁸
A	B	C						
Zmiano- wanie ¹	Obornik ² t/ha	Azot ³ kg/ha						
I	0	0	5,57	19,936	37,805	57,741	65,5	1,897
		40	5,84	21,305	39,716	61,021	65,1	1,870
		80	5,58	21,287	37,797	59,084	64,0	1,777
		120	5,66	21,342	37,804	59,146	63,9	1,774
		Średnio Mean AB	-	20,968	38,281	59,248	64,6	1,830
	40	0	5,76	21,280	37,816	59,096	64,0	1,782
		40	5,74	22,707	32,222	54,929	58,7	1,421
		80	5,67	22,697	34,081	56,778	60,0	1,502
		120	5,54	22,723	37,767	60,490	62,4	1,663
		Średnio Mean AB	-	22,352	35,472	57,823	61,3	1,592
	80	0	5,99	19,899	35,905	55,804	64,3	1,809
		40	5,68	21,307	37,803	59,110	64,0	1,776
		80	5,88	21,324	39,700	61,024	65,1	1,865
		120	5,69	21,303	39,699	61,002	65,1	1,867
		Średnio Mean AB	-	20,958	38,277	59,235	64,6	1,829
Średnio Mean			-	21,426	37,343	58,769	63,5	1,750
II	0	0	5,16	28,421	32,190	60,611	53,2	1,138
		40	5,13	28,400	28,423	56,823	50,0	1,001
		80	5,05	25,602	28,408	54,010	52,6	1,110
		120	4,85	29,795	24,617	54,411	45,3	0,828
		Średnio Mean AB	-	28,055	28,410	56,464	50,3	1,019
	40	0	5,21	24,110	37,837	61,947	61,1	1,570
		40	5,33	24,113	34,095	58,208	58,6	1,414
		80	5,36	24,087	34,079	58,166	58,6	1,415
		120	5,29	26,993	35,906	62,899	57,1	1,331
		Średnio Mean AB	-	24,826	35,479	60,305	58,8	1,433
	80	0	5,58	24,098	35,876	59,974	59,8	1,489
		40	5,58	25,597	41,602	67,199	61,9	1,626
		80	5,49	25,610	41,603	57,212	61,9	1,624
		120	5,19	27,003	35,894	62,898	57,1	1,329
		Średnio Mean AB	-	25,577	38,744	64,321	60,2	1,517
Średnio Mean			-	26,152	34,211	60,363	56,4	1,323

¹Crop rotation, ²Farmyard manure, ³Nitrogen, ⁴Hydrolytic acidity, ⁵Total exchangeable bases, ⁶Cation exchange capacity, ⁷Base saturation, ⁸Cation saturation state.

Wskaźnik stanu wysycenia gleby kationami CSS – Cation Saturation State [Łabuda 1993, 1994] wskazuje na to, że wartości wskaźnika CCS dla zmianowania I były zdecydowanie wyższe. Uzyskane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że wzrost poziomu nawożenia obornikiem zwiększał wartość wskaźnika CSS, natomiast nawożenie mineralne azotem powodowało zmniejszenie wskaźnika stanu wysycenia gleby kationami (tab. 1).

Zalanie gleby wodą powoduje przesunięcie równowagi przebiegających w niej reakcji utleniania i redukcji w kierunku procesów redukcyjnych. Skutkiem tego zjawiska jest postępujący spadek wartości mierzonego w zawiesinie glebowej potencjału oksydoredukcyjnego.

Zamieszczone w tabeli 2 wyniki pomiarów pH, potencjału redoks, podatności gleby na redukcję i przewodnictwa elektrycznego są wybranymi wynikami badań wpływu czynników doświadczenia tylko po jednej godzinie i po siedmiu dobach, czyli w zakresie prostoliniowego spadku potencjału redoks w wodnej zawiesinie glebowej [Łabuda i in. 2002].

Wartości pH były zróżnicowane w dwu zmianowaniach. W zmianowaniu I wartości pH były wyraźnie wyższe i mieściły się w przedziale 6,11-6,45, a w zmianowaniu II najniższa wartość pH równa była 5,81, a najwyższa 6,02. We wszystkich przypadkach wartości pH zwiększały się w czasie inkubacji, a wartości pH zmierzone po tygodniu inkubacji wyraźnie zmieniały się w kierunku odczynu obojętnego (tab. 2).

W zmianowaniu I początkowe wartości Eh po jednej godzinie były w zakresie od 413,4 mV do 442,8 mV, a po tygodniowym zalaniu gleby wodą wartości potencjału redoks kształtowały się na poziomie od wartości minimalnej 367,0 mV do maksymalnej 385,3 mV. A zatem w zmianowaniu I zakres spadków potencjału utleniająco-redukującego wynosił od 41,1 mV do 57,5 mV. Natomiast w zmianowaniu II początkowe wartości Eh mieściły się w zakresie od 416,7 mV do 431,1 mV, a wartości Eh zmierzone po tygodniu inkubacji zawarte były w przedziale od 365,1 mV do 384,7 mV. W zmianowaniu II zakres spadku potencjału redoks był od 51,6 mV do 46,4 mV. Wartość potencjału redoks mierzonego po godzinie była wyższa dla zmianowania I – wynosiła 426,6 mV i 423,7 mV w zmianowaniu II. Natomiast średnia wartość Eh, uzyskana w pomiarach po 7 dniach inkubacji, w zmianowaniu I wynosiła 376,6 mV, a w zmianowaniu II – 374,5 mV. Z przebiegu zmian potencjału oksydoredukcyjnego można zauważyć, że w pierwszym tygodniu pomiarów w zmianowaniu I szybkość tych zmian była podobna jak w zmianowaniu II. Wpływ trzech poziomów stosowania obornika na wartość potencjału redoks w glebie był znamieny w obu zmianowaniach. A zatem stosowanie substancji organicznej miało istotny wpływ na wartości potencjału utleniająco-redukującego gleby, a zwiększane ilości zastosowanego obornika obniżały wartość potencjału redoks w glebie. Analiza wartości średnich potencjału redoks dla czynnika C, czyli nawożenia mineralnego azotem, wykazuje, że przy wysokich dawkach azot stał się czynnikiem redukują-

cym, czyli obniżającym potencjał oksydoredukcyjny gleby. W ocenie zmian wartości potencjału oksydoredukcyjnego stwierdzono istotny wpływ wszystkich czynników doświadczenia na potencjał redoks. Najmniejszą istotną różnicę dla interakcji ABC 3,3 mV można byłoby uznać za praktycznie istotną wartość w ocenie wpływu czynników doświadczenia na zmiany potencjału redoks w wodnej zawieszynie glebowej, tak jak w glebie zalanej wodą przyjęto, że praktycznie istotna różnica dla pomiarów potencjału redoks wynosiła 5 mV [Łabuda 1995, 1999]. Można zatem stwierdzić, że ze wzrostem ilości zastosowanego obornika potencjał redoks zmieniał się istotnie, a pod wpływem dawek azotu wartości tego potencjału nie zmieniały się znacząco (tab. 2).

Tabela 2. Elektrochemiczne charakterystyki gleby pod wpływem czynników doświadczenia
Table 2. Electrochemical characteristics of soil as affected by experimental treatments

Czynnik Treatment			pH w H ₂ O po pH in H ₂ O after		Redoks po ⁴ Redox after ⁴		Podat- ność ⁵	Przewod- nictwo ⁶
A	B	C	1 h	168 h	1 h	168 h	mV/dobę	mS/cm
Zmiano- wanie ¹	Obornik ² t/ha	Azot ³ kg/ha	pH		mV		mV/day	
I	0	0	6,16	6,58	419,5	385,3	4,9	0,031
		40	6,45	6,62	442,8	372,5	10,0	0,032
		80	6,26	6,58	429,8	375,4	7,8	0,028
		120	6,11	6,67	430,8	382,2	6,9	0,027
		Srednio Mean AB	-	-	430,7	378,8	7,4	0,029
	40	0	6,19	6,87	425,9	372,3	7,7	0,041
		40	6,17	6,90	424,8	375,9	7,0	0,036
		80	6,19	6,77	429,4	376,8	7,5	0,035
		120	6,16	6,84	429,1	374,4	7,8	0,036
		Srednio Mean AB	-	-	427,3	374,8	7,5	0,037
	80	0	6,21	6,88	423,7	376,8	6,7	0,050
		40	6,15	6,79	428,9	378,7	7,2	0,043
		80	6,20	6,83	421,7	381,7	5,7	0,044
120		6,18	6,87	413,4	367,0	6,6	0,047	
Srednio Mean AB		-	-	421,9	376,1	6,5	0,046	
Srednio Mean			-	-	426,6	376,6	7,1	0,037
II	0	0	5,94	6,67	429,8	384,7	6,4	0,038
		40	5,97	6,60	426,1	377,4	6,9	0,033
		80	5,87	6,63	431,1	377,3	7,7	0,031
		120	5,81	6,59	430,7	377,0	7,7	0,038
		Srednio Mean AB	-	-	429,4	379,1	7,2	0,035
	40	0	5,94	6,57	419,8	380,3	5,6	0,039
		40	5,89	6,63	419,2	379,3	5,7	0,044
		80	5,88	6,65	422,0	375,3	6,7	0,049
		120	5,86	6,67	419,0	367,3	7,4	0,045
		Srednio Mean AB	-	-	420,0	375,6	6,3	0,044
	80	0	5,89	6,65	422,6	365,1	8,2	0,048
		40	6,02	6,81	425,3	366,7	8,4	0,049
		80	5,89	6,69	416,7	366,7	7,1	0,048
120		6,00	6,69	422,6	377,0	6,5	0,063	
Srednio Mean AB		-	-	421,8	368,9	7,5	0,052	
Srednio Mean			-	-	423,7	374,5	7,0	0,043

¹Crop rotation, ²Farmyard manure, ³Nitrogen, ⁴Redoks NIR_{0,05} ABC 3,3, ⁴Redox LSD_{0,05} ABC 3.3, ⁵Pliability of soil to reduction, ⁶Conductivity.

Wyniki spadku potencjału redoks w wodnej zawieszynie glebowej pod wpływem czynników doświadczenie polowego nie wykazały jednak znacznego zróżnicowania i mieściły się w zakresie od 4,9 do 10 mV na dobę, a średni spadek potencjału redoks wynosił 7,0 mV na dobę (tab. 2). Odnotowane początkowe wartości Eh, jak i zaobserwowane spadki potencjału redoks w czasie były mało zróżnicowane w odniesieniu do znacznego zróżnicowania nawożenia. Można to tłumaczyć faktem, że analizowane próby gleby pobrano po zakończeniu czwartej czteroletniej rotacji, podczas gdy nawożenie substancją organiczną stosowano na początku każdej rotacji, a największa część obornika ulega przecież rozkładowi w pierwszym roku po zastosowaniu. Potwierdza to jednak tezę, że wartość potencjału redoks dla danej gleby jest wartością charakterystyczną i ulegającą niewielkim zmianom mimo oddziaływania dużą ilością substancji organicznej i nawozów mineralnych. W badaniach gleb o zróżnicowanych właściwościach chemicznych [Łabuda 1998] zakres podatności gleby na redukcję wynosił 22-28 mV na dobę i pokrywał się z zaproponowaną wcześniej progową wartością 25 mV na dobę [Łabuda 1995] między glebą o małej podatności na redukcję poniżej tej wartości a glebą o dużej podatności na redukcję powyżej owej wartości. Jakkolwiek w przeprowadzonych badaniach próby glebowe pochodziły z wieloletniego doświadczenia polowego, o zróżnicowanych czynnikach doświadczenia, to można stwierdzić, że badana gleba miała małą podatność na redukcję.

Oznaczone przewodnictwo elektryczne w zawieszynie glebowej wskazuje na to, że stosowanie substancji organicznej wpłynęło na zwiększenie przewodnictwa w obu zmianowaniach. Najmniejsze przewodnictwo stwierdzono w glebie bez stosowania substancji organicznej. Oddziaływanie nawożenia azotem nie było tak jednoznaczne. Przy dawkach 40 i 80 kg N/ha odnotowano zmniejszenie wartości przewodnictwa w stosunku do gleby nienawożonej azotem mineralnym, natomiast zwiększenie dawki azotu do 120 kg N/ha wywołało wzrost przewodnictwa elektrycznego w glebie (tab. 2).

Przyjmując prostoliniowy przebieg zmian potencjału redoks w ciągu siedmiu dni pomiarów, można go opisać ogólnym równaniem $y = ax + b$, gdzie y oznacza wartość potencjału redoks, x – czas, po którym zawieszina glebowa osiąga określoną wartość Eh, natomiast a jest tangensem kąta nachylenia prostej do osi x . Jednocześnie można równanie tej prostej zapisać w postaci odcinkowej dla wartości y_0 , x_0 – wartości po 1 godzinie po zalaniu wodą, y_1 , x_1 wartości, np. po 1 dobie, y_{300} , x_{300} gdzie x jest czasem, kiedy potencjał Eh osiągnąłby wartość 300 mV, czyli stan redukcji w glebie $(x_1 - x_0)/(x_{300} - x_0) + (y_1 - y_{300})/(y_0 - y_{300}) = 1$. Obliczony czas po podstawieniu do tego równania odpowiednich wartości x_{300} wy-

nosi 414 godzin, czyli 17,3 doby i byłby wskaźnikiem t_{300} dla tej gleby. Wykorzystując z kolei znaną wartość x_{300} i wyznaczając $\text{tg } \alpha = (y_0 - y_{300})/x_{300} = 0,285$, możemy zapisać równanie zmiany Eh dla badanej gleby w warunkach zalania wodą $y = - 0,285 x + 420$, które pozwoli obliczyć potencjał redoks w dowolnym dniu trwania eksperymentu.

WNIOSKI

1. Badana gleba miała małą podatność na redukcję, która po 7 dniach inkubacji w przedziale prostoliniowego spadku potencjału redoks w zawiesinie glebowej wynosiła 7,0 mV na dobę.
2. Małe zróżnicowanie podatności gleby na redukcję pod wpływem czynników doświadczenia polowego świadczy o tym, że wskaźnik podatności gleby na redukcję zależy w większym stopniu od właściwości glebowych niż od stosowanych czynników agrotechnicznych.
3. Podatność gleby na redukcję można zaproponować jako praktycznie przydatny wskaźnik chemiczno-rolniczy oceny właściwości glebowych, a pomiar potencjału redoks powinien być wykonany w pierwszym dniu i po siedmiu dniach inkubacji wodnej zawiesiny glebowej w standardowych warunkach laboratoryjnych.

PIŚMIENNICTWO

- Bohn H.L. 1971. Redox potentials. *Soil Sci.* 112, 1, 39-45.
- Gliński J., Duliban J. 1972. Potencjał oksydoredukcyjny w glebach. *Probl. Agrofiz.* 3, 1-57.
- Gliński J., Stępniewska Z. 1986. Wskaźnik odporności gleb na redukcję. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 315, 81-94.
- Grabińska-Loniewska A. 1998. Rola bakterii biorących udział w przemianach związków żelaza i manganu w procesie uzdatniania wód podziemnych. *Mat. Symp. Znaczenie procesów jednostkowych w technologii oczyszczania wody i ścieków*, Koszalin – Ustronie Morskie, 51-87.
- Jeffery J.W.O. 1961. Measuring the state of reduction of a waterlogged soil. *J. Soil Sci.* 12, 2, 317-325.
- Łabuda S. 1993. A new index of cation saturation state in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24, 13/14, 1603-1608.
- Łabuda S. 1994. Relationship between cation saturation state index and hydrogen ions in soil. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 413, 205-207.
- Łabuda S. 1995. Podatność gleby na redukcję jako propozycja nowego wskaźnika żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 412a, 253-259.
- Łabuda S. 1998. Podatność na redukcję gleb o zróżnicowanych właściwościach chemicznych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 456, 83-87.

- Łabuda S. 1999. Podatliwość poczwy k redukcji w agrochemicznej ocenie swojstw poczwy. Sbornik Naucznych Trudow. Bieloruskaja Sielskochozjajstwiennaja Akademija, Gorki, 154-157.
- Łabuda S., Maćkowiak C., Mazurkiewicz I. 2000. Oddziaływanie nawożenia substancją organiczną i azotem na potencjał redoks w glebie. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 211, Agricultura, 84, 245-249.
- Łabuda S.Z., Mazurkiewicz I., Maćkowiak C. 2002. Redox potential in soil as affected by many years of fertilization. *Chem. Inż. Ekol.* 9, 4, 419-429.
- Patrick W.H., Jr. 1964. Extractable iron and phosphorus in a submerged soil at controlled redox potentials. *Trans. 8th Inter. Congr. Soil Sci.*, Bucharest, Romania, 4, 605-609.
- Patrick W.H., Turner F.T. 1969. Effect of redox potential on manganese transformation in waterlogged soil. *Nature*, 220, 5166, 476-478.
- Stępniewska Z. 1988. Właściwości oksydoredukcyjne gleb mineralnych Polski. *Probl. Agrofiz.* 56, 1-104.
- Stępniewska Z., Stępniewski W., Gliński J., Ostrowski J. 1997. Atlas oksydoredukcyjnych właściwości gleb ornyczych Polski. Instytut Agrofizyki PAN, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych. Lublin - Falenty.
- Tian-Ren Y. 1983. Physicochemical equilibria of redox systems in paddy soils. *Soil Sci.* 135, 1, 26-30.
- Yamane I., Sato K. 1968. Initial rapid drop of oxidation-reduction potential in submerged air-dried soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 14, 2, 68-72.