

DOROTA KALEMBASA, MARCIN BECHER

# KWASY HUMINOWE GLEB TORFOWO-MURSZOWYCH W DOLINIE GÓRNEGO LIWCA

## HUMIC ACIDS FROM MUCKY-PEAT SOILS OF THE UPPER VALLEY OF LIWIEC RIVER

Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolnej, Akademia Podlaska

*Abstract:* The properties of humic acids (elemental composition, VIS spectroscopy, FTIR spectra), extracted (by Shnitzer method) from mucky-peat soils of the upper valley of Liwiec River (Siedlce Upland) were investigated. Lower content of carbon, higher content of hydrogen and nitrogen, approximate content of oxygen, higher atomic ratios H/C, N/C, lower O/H, higher values of internal oxidation state and  $A_{4/6}$  ratio were obtained for mucky samples comparing to peat samples. The humic acids of peat layers were characterized by higher concentration of aromatic groups and higher degree of humification.

*Słowa kluczowe:* mursz, torf, kwasy huminowe, dolina Liwca.

*Key words:* muck, peat, humic acids, Liwiec River Valley.

### WSTĘP

Obszary wytopiskowe złodowacenia środkowopolskiego stadiału Warty wraz z przepływającym przez nie górnym Liwcem, stanowią największe obszary torfowiskowe Wysoczyzny Siedleckiej [Dembek i in. 2000]. Konieczna przy użytkowaniu rolniczym gleb torfowych melioracja odwodniająca (często do obniżenia poziomu wód gruntowych poniżej zalegania utworów organicznych) oraz niekontrolowana eksploatacja torfu pogłębiły fazę decesji gleb organicznych na tym obszarze. Charakterystyczna dla procesu murszenia mineralizacja związków organicznych oraz intensyfikacja procesu humifikacji, połączona z iluwacją i wertylizacją, powodują daleko posunięte zmiany właściwości fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych powstających warstw murszu, w stosunku do utworu macierzystego [Okruszko H. 1993; Kalembasa i in. 2006; Kalembasa, Becher 2008]. Diogeneza torfu, jako efektu procesu murszenia, dotyczy także kwasów huminowych, które uważane są za najbardziej interesującą grupę substancji próchnicznych. Zasadniczy wpływ na ich budowę i właściwości mają warunki, w jakich przebiega proces humifikacji, czego efektem jest zróżnicowanie pomiędzy kwasami huminowymi poszczególnych jednostek taksonomicznych gleb [Turski, Chmielewska 1984, 1986; Senesi i in. 2003].

Celem przeprowadzonych badań było określenie właściwości i kierunku przemian kwasów huminowych w trzech glebach organicznych objętych procesem murszenia, zlokalizowanych w dolinie górnego Liwca.

## MATERIAŁ I METODY

Badania glebowe prowadzono na trwałych użytkach zielonych pierwszego tarasu zalewowego górnego biegu rzeki Liwiec (powiat Siedlce, gminy: Zbuczyn, Mordy i Siedlce). Do badań kwasów huminowych wytypowano trzy profile gleb torfowo-murszowych, silnie zmurszałych (Mt III), średnio głębokich, wytworzonych z dolinowych torfów szuwarowych o soligeniczno-fluwiogenicznym typie zasilania w wodę, zlokalizowanych w miejscowościach Kośmidry (52° 6' 24" N; 22° 37' 9" E), Radzików Wielki (52° 8' 51" N; 22° 32' 29" E) i Golice Kolonia (52° 13' 18" N; 22° 21' 22" E). W czasie pobierania próbek glebowych (październik, 2007 r.) zwierciadło wody gruntowej zalegało na zbliżonej głębokości we wszystkich glebach, tj. 95–100 cm poniżej poziomu utworu organicznego. Z morfologicznie wyróżnionych warstw murszu (Mt, n = 6) i torfu (Otni, n = 9) pobrano próbki glebowe, w których oznaczono: całkowitą zawartość węgla i azotu (Nog) w autoanalizatorze analizy elementarnej, zawartość węgla organicznego (Corg) uzyskano, odejmując od całkowitej zawartości ilość węgla w węglanach (oznaczonych metodą Scheiblera); pH w 1 mol KCl · dm<sup>-3</sup> potencjometrycznie (tab. 1). Kwasy huminowe (KH) wydzielono z organicznego materiału glebowego (po dekalcytacji i wydzieleniu bituminów) za pomocą ekstrakcji 0,1 mol NaOH · dm<sup>-3</sup> [Dziadowiec, Gonet 1999]. W alkalicznym roztworze oznaczono zawartość węgla metodą oksydacyjno-miareczkową (C<sub>NaOH</sub>). Preparaty kwasów huminowych oczyszczono przez pięciokrotne

TABELA 1. Wybrane właściwości badanych utworów organicznych

TABLE 1. Some properties of investigated organic layers

Warstwa Layer	Corg – TOC [g · kg <sup>-1</sup> ]	Corg/Nog TOC/Ntot	pH w-in KCl	Wydajność ekstrakcji Extraction yield (% C <sub>NaOH</sub> w -in Corg)
Mursz – Muck (Mt) n = 6	265 <sup>a</sup> (313-369) <sup>b</sup>	11,5 (10,1-12,8)	5,10–6,12	41,1 (36,8-52,6)
Torf – Peat (Otni) n = 9	442 (400-484)	15,4 (13,4-19,8)	5,11–6,24	26,9 (18,8-38,9)

<sup>a</sup> średnia – mean; <sup>b</sup>zakres – range

ponowne ich rozpuszczanie (w roztworze NaOH) i strącanie (przez zakwaszenie roztworem HCl do pH=1,5). W osuszonych (nad P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) preparatach KH badano (w trzech powtórzeniach):

- zawartość popiołu, po spaleniu w temp. 550°C;
- zawartość całkowitą C, H i N, w autoanalizatorze Series II 2400, Perkin Elmer, z detektorem przewodności cieplnej (TCD) i acetonilidem jako materiałem wzorcowym. Wyniki analizy składu pierwiastkowego (zawartość tlenu obliczono z różnicy) odnośnie do absolutnie suchej i bezpopielnej masy preparatów. Obliczono stosunki atomowe (H/C, O/C, O/H, N/C) oraz stopień utlenienia wewnętrznych cząsteczek ( $\omega = [(2O+3N)-H]/C$ );

- absorbcję światła (na spektrofotometrze UV-VIS Lambda 25, Perkin Elmer) dla 0,02% roztworu kwasów huminowych (w 0,05 mol  $\text{NaHCO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ ) przy długości fali: 280 nm ( $A_{280}$ ), 400 nm ( $A_{400}$ ), 465 nm ( $A_{465}$ ), 600 nm ( $A_{600}$ ) i 665 nm ( $A_{665}$ ). Obliczono iloraz absorbcji  $A_{2/4}$  ( $A_{280}$  do  $A_{465}$ ),  $A_{2/6}$  ( $A_{280}$  do  $A_{665}$ ),  $A_{4/6}$  ( $A_{465}$  do  $A_{665}$ ) oraz  $\text{DlogK} = \log A_{400} - \log A_{600}$ ;
  - widma w podczerwieni (FT IR) w zakresie 400–4000  $\text{cm}^{-1}$ , dla tabletek z KBr, na spektrofotometrze Magna FT 60 Nicolet.
- Dla wybranych właściwości KH oraz utworów organicznych obliczono współczynniki korelacji.

## WYNIKI I DYKUSJA

Wydzielone kwasy huminowe (KH) z trzech profili badanych gleb torfowo-murszowych pod względem składu pierwiastkowego stanowią dość jednorodną grupę w obrębie warstw murszowych i torfowych (tab. 2). Potwierdzają to wartości odchylenia standardowego i współczynnika zmienności, zwłaszcza dla C i H, których wzajemne relacje ilościowe decydują o „aromatyczności” i „alifatyczności” cząsteczek kwasów huminowych. W KH z warstw murszowych w porównaniu z KH z warstw torfowych stwierdzono mniejszą ilość węgla, większą wodoru i azotu oraz zbliżoną tlenku. Powszechny w literaturze jest pogląd, iż „młode” KH charakteryzują się mniejszą zawartością C i O, a większą H oraz że postępująca humifikacja powoduje zwiększenie zawartości C, a zmniejszenie H [Kononova 1968; Dębska 2004]. Wynika z tego, iż KH badanych warstw torfowych w porównaniu z warstwami murszowymi, są „starsze”, tj. pozostające pod dłuższym wpływem humifikacji. Nieco większa zawartość azotu w KH warstw murszowych może wynikać z faktu aerobowości tej warstwy i większej „dostępności”

TABELA 2. Skład pierwiastkowy (% atomowy), stosunki atomowe, stopień utlenienia wewnętrznego badanych kwasów huminowych

TABLE 2. The elemental composition (atomic %), atomic ratios, and values of internal oxidation state for the investigated humic acids

Parametr	Popiół Ash %	C	H	N	O <sup>a</sup>	H/C	O/H	N/C	$\omega^b$
<b>Mursz – Muck (Mt)</b>									
Średnia – mean	3,29	34,8	44,6	2,16	18,5	1,28	0,415	0,062	– 0,033
Min	2,52	33,8	43,4	2,01	17,7	1,23	0,394	0,057	– 0,100
Max	3,88	35,4	45,7	2,42	19,1	1,35	0,440	0,072	0,042
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,56	0,67	0,86	0,17	0,60	0,046	0,020	0,006	0,055
Współczynnik zmienności Variation coefficient (%)	17,1	1,94	1,94	8,05	3,26	3,62	4,86	9,34	–
<b>Torf (Otni) Peat</b>									
Średnia – mean	2,66	36,7	42,6	1,98	18,8	1,16	0,441	0,054	0,023
Min	1,46	36,3	41,5	1,75	17,5	1,12	0,395	0,048	– 0,109
Max	3,40	37,0	44,2	2,19	20,1	1,21	0,481	0,059	0,114
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,71	0,28	1,02	0,17	0,96	0,031	0,032	0,004	0,083
Współczynnik zmienności Variation coefficient (%)	26,1	0,77	2,39	8,75	5,11	2,67	7,30	8,24	–

<sup>a</sup> O = O+S+P; <sup>b</sup>  $\omega = [(2O+3N)--H]/C$

TABELA 3. Wartości współczynników spektrofotometrycznych badanych kwasów huminowych  
 TABLE 3. The values of spectrometric coefficients for investigated humic acids

Warstwa – Layer	$A_{274}$	$A_{276}$	$A_{466}$	$\Delta\log K$
Mursz – Muck (Mt) n = 6	7,27 <sup>a</sup> (6,9--7,68) <sup>b</sup>	46,8 (42,--48,3)	6,58 (6,0--6,89)	0,827 (0,79--0,871)
Torf – Peat (Otni) n = 9	6,14 (5,4--6,79)	39,2 (29,--45,3)	5,70 (5,1--6,29)	0,759 (0,70--0,810)

<sup>a</sup> średnia – mean; <sup>b</sup>zakres – range

mineralnych form azotu, powstających w wyniku intensywniejszej mineralizacji materii organicznej. Wartości stosunku H/C powyżej jedności w budowie cząsteczek badanych KH, mogą świadczyć o większym udziale części alifatycznej niż aromatycznej, na co wskazują inni autorzy [Turski, Chmielewska 1986; Senesi i in. 2003]. Wyższe wartości tego stosunku stwierdzono w KH warstw murszowych, co mówi nam o ich większej „alifatyczności”. W KH warstw torfowych w porównaniu z KH warstw murszowych stwierdzono wyższe wartości stosunku O/H oraz stopnia utlenienia wewnętrznego ( $\omega$ ) – zdaniem różnych autorów [Kononowa 1968; Dębska 2004] najważniejszego parametru opisującego zaawansowanie procesu humifikacji. Na tej podstawie można sądzić, iż w badanych utworach organicznych wyższym stopniem humifikacji charakteryzują się KH pochodzące z warstw torfowych.

Wyższe wartości  $A_{274}$  i  $A_{276}$  dla badanych KH z warstw murszowych – Mt w porównaniu z KH z warstw torfowych – Otni (tab. 3) mogą świadczyć o większej ilości substancji organicznej w początkowym stadium rozkładu i mniejszym stopniu humifikacji cząsteczek KH [Howard 1998; Dębska 2004]. Niższe wartości  $\Delta\log K$ , obliczone dla KH z torfu, zgodnie z interpretacją Kumady [1987] są kolejnym elementem wskazującym na większy stopień ich humifikacji. Według podziału zaproponowanego przez tego autora KH z warstw torfu należy zaliczyć do typu „B”, natomiast z warstw murszu do „Rp”. Dla badanych KH zanotowano wysokie, wynoszące powyżej 5 wartości ilorazu absorbancji przy długości fali 465 i 665 nm ( $A_{466}$ ). W KH warstw murszu stwierdzono wyższe wartości tego stosunku, co może wskazywać na niższą średnią masę cząsteczkową, mniejszy udział i kondensację centrów aromatycznych, przewadze w budowie struktur alifatycznych, a więc o ich prostszej budowie [Chen i in. 1977].

W składzie pierwiastkowym istotne statystycznie, ujemne współczynniki korelacji stwierdzono m.in. pomiędzy udziałem C i H oraz C i N (tab. 4). Może to sugerować, iż w procesie transformacji badanych KH wzrósłoby zawartości węgla, który następuje wraz z ich humifikacją, towarzyszy głównie spadek zawartości wodoru i azotu. W badanych glebach organicznych wraz ze zwiększeniem zawartości węgla organicznego (Corg) w cząsteczkach KH stwierdzano istotnie większą zawartość C, mniejszą H oraz niższe wartości H/C. Istotnie statystycznie wartości ujemne współczynnika korelacji między wartością Corg/Nog utworów organicznych a zawartością azotu w KH oraz wartością stosunku N/C, wskazują na dodatni wpływ procesu murszenia na zwiększenie zawartości azotu w cząsteczkach KH. Stwierdzono także istotne wartości ujemne współczynnika korelacji między wartością pH a zawartością w KH wodoru i stosunkiem H/C oraz dodatnie między zawartością C, O i stopniem utlenienia wewnętrznego cząsteczek. Wraz z wydajnością ekstrakcji wodorotlenkiem sodu ( $C_{NaOH}$ ) prawdopodobnie ze zwiększaniem się ilości zhumifikowanej materii organicznej w KH zanotowano istotnie mniej węgla, wyższe wartości stosunku H/C i ilorazu absorbancji  $A_{466}$ . Potwierdza to wpływ procesu murszenia na powstawanie kwasów huminowych o mniejszej zawartości węgla i większej „alifatyczności”, czyli prawdopodobnie „młodszych” i mniej zhumifikowanych niż KH z macierzystego torfu.

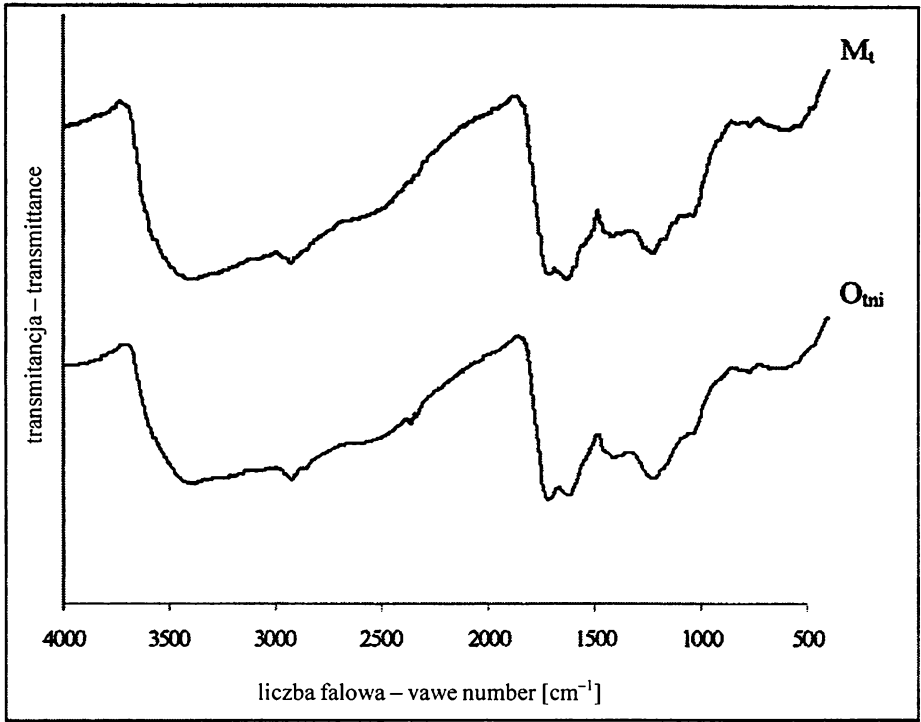
TABELA 4. Wartości współczynnika korelacji dla wybranych właściwości badanych kwasów huminowych oraz utworów organicznych

TABLE 4. The values of the correlation coefficient for selected properties of investigated humic acids and organic layers

n = 15	C	H	N	O*	H/C	N/C	$\omega^*$	$A_{4/6}$
C	x							
H	-0,810**	x						
N	-0,494	0,271	x					
O	0,145	-0,684**	-0,038	x				
H/C	-0,952**	0,950**	0,414	-0,435	x			
N/C	-0,689**	0,454	0,970**	-0,078	0,612*	x		
$\omega$	0,401	-0,861**	0,049	0,930**	-0,659**	-0,076	x	
$A_{4/6}$	-0,834**	0,625*	0,138	0,037	0,764**	0,348	-0,273	x
$C_{org}$	0,756**	-0,646**	-0,337	0,159	-0,739**	-0,485	0,362	-0,498
$C_{org}/N_{og}$	0,582*	-0,326	-0,551*	-0,101	-0,478	-0,614**	-0,009	-0,216
pH	0,511*	-0,663**	-0,273	0,514*	-0,619*	-0,370	0,583*	-0,485
$C_{NaOH}$	-0,700**	0,300	0,323	0,370	0,527*	0,459	0,128	0,782**

\* istotne przy  $\alpha = 0,05$  -- significant at  $\alpha = 0,05$ ; \*\* istotne przy  $\alpha = 0,01$  -- significant at  $\alpha = 0,01$ ; \* objaśnienia jak w tab. 2 -- explanation as in Table 2

W badanych KH stwierdzono typowy przebieg widm w podczerwieni, z podawanymi w literaturze pasmami w strefach około 3400, 2900, 1700, 1600, 1400, 1200 i 1000  $cm^{-1}$  [Turski, Chmielewska 1984; Senesi i in. 2003; Dębska 2004]. Generalnie, stwierdzono podobny przebieg widm dla badanych piętnastu preparatów KH. W pracy przedstawiono wybrane widma pochodzące z gleby torfowo-murszowej zlokalizowanej w Kośmidrach (rys. 1). We wszystkich widmach wystąpiło szerokie, o nieznacznie większej intensywności dla KH z warstw murszowych pasmo w maksimach przy liczbie falowej od 3380 do 3420  $cm^{-1}$ . Absorbpcję w tym zakresie przypisuje się drganiom rozciągającym grup -OH w alkoholach, fenolach i kwasach karboksylowych, a także drganiom =N-H w amidach oraz ogólnie wiązaniom wodorowym. Miarą alifatyczności KH może być podwójne pasmo w zakresie liczb falowych 2960–2920 oraz 2860  $cm^{-1}$ , powstające na skutek drgań rozciągających wiązań C-H grup metylowych -CH<sub>3</sub> i metylenowych =CH<sub>2</sub>. W badanych preparatach drgania te wystąpiły wyraźniej w zakresie 2930–2920  $cm^{-1}$  (zwłaszcza w Mt) oraz słabo z maksimum absorpcji przy około 2855  $cm^{-1}$ . Kolejna strefa absorpcji na spektrogramach KH wystąpiła w zakresie 1715–1720 oraz 1620–1655  $cm^{-1}$ . Występowanie pierwszej z nich, intensywnie zaznaczającej się w KH warstw torfu, spowodowane jest drganiem wiązań grup karbonylowych C=O w kwasach i ketonach, a także w alifatycznych i aromatycznych aldehydach. Druga strefa (intensywniejsza w warstwach Mt) jest pasmem bardziej złożonym, związanym z występowaniem drgań rozciągających C=O (1630–1680  $cm^{-1}$ ), deformacyjnych NH (1620–1650  $cm^{-1}$ ) w amidach I-rzędowych oraz rozciągających C=C w pierścieniu aromatycznym, co utrudnia dokładną interpretację widm. Jednoczesne występowanie pasm około 1600 i 1500  $cm^{-1}$  warunkuje obecność struktur aromatycznych w KH. Informują one także o obecności peptydów w obrębie struktur aromatycznych i o udziale licznych alifatycznych rozgałęzień w ugrupowaniach aromatycznych kwasów huminowych. W opisywanych spektrogramach



RYSUNEK 1. Wybrane widma FT IR badanych kwasów huminowych  
 FIGURE 1. Selected FT IR spectra of studied humic acids

absorpcja z tego zakresu wystąpiła mało intensywnie. Otrzymane wyniki nie potwierdziły, iż absorpcja w tym zakresie może być miarą „aromatyczności” cząsteczek kwasów huminowych, gdyż interpretacja otrzymanych widm nie jest w pełni jednoznaczna w porównaniu z interpretacją wyników składu pierwiastkowego. Należy jednak brać pod uwagę możliwość nakładania się na siebie sąsiednich pasm absorpcyjnych. Widma badanych kwasów huminowych w podczerwieni wykazały absorpcję o podobnej intensywności w zakresie od 1480 do 1380  $\text{cm}^{-1}$  (drżania deformacyjne C-H alifatycznych grup  $-\text{CH}_3$  i  $=\text{CH}_2$  alkanów i cykloalkanów) i około 1420  $\text{cm}^{-1}$  (drżania rozciągające C=O kwasów karboksylowych występujących w formie soli lub C-O fenoli czy też deformacyjne  $-\text{OH}$  w  $-\text{COOH}$ ). Na wibrację tych ugrupowań mogą nakładać się drżania rozciągające C-H grup metylowych, występujących w grupach metoksyłowych  $-\text{OCH}_3$  lignin. Spośród badanych preparatów KH bardziej rozbudowane pasmo z tego zakresu stwierdzono w preparatach KH warstw murszowych. W badanych preparatach KH wystąpiła wyraźna absorpcja o różnej intensywności i maksimach w zakresie 1320–1210  $\text{cm}^{-1}$ , związana z drżaniami rozciągającymi C-O fenoli, kwasów karboksylowych lub estrów. Widma KH z warstw torfowych wykazały nieco silniejszą absorpcję i bardziej rozciągnięte pasmo w tym zakresie. Intensywne pasma w przedziale 1200–1000  $\text{cm}^{-1}$  są charakterystyczne dla alifatycznych łańcuchów bocznych, a także dla resztek ligninowych w jądrze aromatycznym. Wyraźniej zaznaczone i bardziej złożone pasmo w tym zakresie stwierdzono dla KH z warstw murszowych, co może świadczyć o większym udziale w tych kwasach produktów częściowego rozkładu materii organicznej.

## WNIOSKI

1. W badanych glebach torfowo-murszowych doliny górnego Liwca, w czasie procesu murszenia dochodzi do zróżnicowania właściwości kwasów huminowych, konsekwencją czego jest pewna ich specyficzność dla warstw murszowych i torfowych.
2. Większą „dojrzałością” rozumianą przez większy udział ugrupowań aromatycznych, a mniejszy bocznych łańcuchów alifatycznych oraz większą kondensację jąder aromatycznych charakteryzują się kwasy huminowe z warstw torfowych.
3. W badanych glebach organicznych wraz ze spadkiem zawartości węgla organicznego i zwiększaniem się ilości zhumifikowanej materii organicznej w cząsteczkach kwasów huminowych stwierdzano istotnie mniejszą zawartość węgla, wyższe wartości stosunku wodoru do węgla i współczynników spektrofotometrycznych, prawdopodobnie świadczące o przyczynianiu się procesu murszenia do powstawania kwasów huminowych o prostszej budowie i mniejszym stopniu humifikacji.

## LITERATURA

- CHEN Y., SENESI N., SCHNITZER M. 1977: Information provided on humic substances by  $E_{416}$  ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **41**: 352–358.
- DEMBEK W., PIÓRKOWSKI H., RYCHARSKI M. 2000: Mokradła na tle regionalizacji fizycznogeograficznej Polski. *IMUZ* **97**: 135 ss.
- DĘBSKA 2004: Właściwości substancji humusowych gleby nawożonej gnojowicą. *Rozprawy ATR Bydgoszcz nr 110*: 112 ss.
- DZIADOWIEC H., GONET S.S. 1999: Przewodnik metodyczny do badań materii organicznej gleb. *Prace Komisji Naukowych PTG 120*, Warszawa: 65 ss.
- HOWARD P.J.A. 1998: Effects of tree species and soil physicochemical conditions on the nature of soil organic matter. *Soil. Biol. Biochem.* **30**, 3: 285–297.
- KALEMBASA D., BECHER M. 2008: Węgiel i azot we frakcjach materii organicznej gleb torfowo-murszowych w dolinie górnego Liwca. *Rocz. Glebozn.* **59** (2): 98–103.
- KALEMBASA D., BECHER M., PAKUŁA K., JAREMKO D 2006: Wybrane właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleb torfowo-murszowych w dolinie rzeki Liwiec na Wysoczyźnie Siedleckiej. W: Właściwości fizyczne i chemiczne gleb organicznych. Brandyk T., Szajdak L., Szatyłowicz J. (red) Wyd. SGGW, Warszawa: 25–32.
- KONONOVA M. 1968: Substancje organiczne gleby, ich budowa, właściwości i metody badań. PWRiL, Warszawa: 391 ss.
- KUMADA K. 1987: Chemistry of soil organic matter. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo: 241 ss.
- OKRUSZKO H. 1993: Transformation of fen-peat soils under the impact of drailing. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* **406**: 3–73.
- SENESI N., D'ORAZIO V., RICCA G. 2003: Humic acids in the first generation of Eurosoils. *Geoderma* **116**: 325–344.
- TURSKI R., CHMIELEWSKA B. 1984: Kwasy huminowe gleb wytworzonych z torfów niskich. *Rocz. Glebozn.* **35** (3/4): 3–20.
- TURSKI R., CHMIELEWSKA B. 1986: Kwasy huminowe gleb czarnoziemnych. *Rocz. Glebozn.* **37** (2/3): 107–126.

Prof. dr hab. Dorota Kalembasa  
Akademia Podlaska, Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej  
08-110 Siedlce, ul Prusa 14,  
e-mail: kalembasa@ap.siedlce .pl