

ŚLAWOMIR S. GONET, HELENA DZIADOWIEC, MICHAŁ BUĆKO

MORFOLOGIA PROFILI ORAZ WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE I ZASOBY MATERII ORGANICZNEJ W GLEBACH PO POŻARZE W BORZE SOSNOWYM*

PROFILE MORPHOLOGY, CHEMICAL PROPERTIES AND ORGANIC MATTER STOCKS IN SOILS AFTER PINE FOREST FIRE

Zakład Gleboznawstwa, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Abstract: Samples were taken 13 years after the fire (2900 ha, surface fire) from the following sites: control (area not burned, 90-years old *Pinus sylvestris* L. stand) and burned (area after surface fire, stand as in control). Morphology of the soil profiles (Brunic Albic Arenosol, WRB 2006), soil properties and stocks of organic carbon were determined. The organic horizon in control soil consists of two sub-horizons: O1 and Ofh. In soil on area after surface fire, the organic horizon consists of the sub-horizon O1 („freshly built after fire”) and the sub-horizon named Os (Obu – „old” litter, burned during the fire). Thickness of the Os varied from 0.3 to 2.5 cm. Os sub-horizon was characterized by black colour (N 2/0 when moist, 10YR 2/1 when dry), 8–22% of organic matter content and 10–13 of C:N ratio. Degree of aromaticity of the Os horizon organic matter was 1.5 (after 13-C NMR CPMAS spectra), higher than Ofh horizon – 0.7. Organic matter stocks in organic horizon of buried area ($2.66 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) were lower than in soil organic horizon of non-buried area ($4.55 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$). Lower organic matter stocks in humus horizon were noted also, respectively.

Słowa kluczowe: gleby leśne, pożar lasu, próchnica.

Key words: forest soils, forest fire, humus.

WSTĘP

Pożar jest jednym z czynników działających bardzo gwałtownie i wywołujących szereg głębokich zmian ekologicznych w lasach. Najistotniejszą z tych zmian jest obniżenie zasobów materii organicznej w ekosystemie w wyniku spalania roślinności i glebowej materii organicznej. Głębokość zmian wywołanych pożarem zależy od trzech czynników: rodzaju pożaru (przyziemny – dolny lub wierzchołkowy – górny), czasu trwania oraz jego intensywności. Pożar wierzchołkowy, zwany również górnym, niszczy całkowicie

*Badania zostały wykonane w ramach projektu badawczego 2 P04G 016 30 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wzróższego.

roślinność i powierzchniową warstwę gleby. Pożar przyziemny w niewielkim stopniu dotyka drzewostan, częściowo niszczy podszyt, a największe szkody wyrządza w warstwie runa i powierzchniowych poziomach glebowych: organicznym i w mniejszym stopniu w próchnicznym. Poziom organiczny, zwany też ektopróchnicą, powstaje z nagromadzenia na powierzchni mineralnej części gleb szczątków organicznych z corocznego opadu drzew i krzewów oraz runa. Poziom ten stanowi integralną część gleb leśnych i jest ściśle powiązany z mineralnymi poziomami, kształtując równocześnie ich właściwości.

Podczas pożaru gleba na różnej głębokości od powierzchni zostaje poddana zróżnicowanym warunkom termicznym, które zależą od intensywności i czasu trwania pożaru [Iglesias i in. 1997]. W trakcie jego trwania zniszczeniu ulega materiał organiczny ściółki (poziomu organicznego), a także górnej warstwy poziomu próchnicznego. Jest to efektem działania podczas pożaru bardzo wysokiej temperatury, która może dochodzić nawet do 1000°C [Daubenmire 1973]. Po przejściu pożaru, szczególnie pożaru dolnego, powstaje czarna, zbita warstwa spalonego poziomu organicznego, do którego oznaczania zaproponowano stosowanie symbolu „Os” (w wersji angielskiej „Obu”) [Gonet i in. 2007].

Według danych literaturowych, bardzo dobrze został poznany wpływ pożaru lasu na wiele właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleby. Badania tego typu były prowadzone bezpośrednio lub w krótkim czasie po przejściu pożaru [Carter, Foster 2004; Certini 2005; DeBano, Neary 1998; Iglesias i in. 1997]. Niewiele badań dotyczyło wpływu pożaru na morfologię i odnawianie się poziomu organicznego gleb leśnych. Lukę tę w pewnym stopniu wypełnia niniejsza praca.

Celem omawianych badań było określenie wpływu pożaru na morfologię i bilans materii organicznej w glebach oraz odnawianie poziomu organicznego po 13 latach od wystąpienia pożaru.

MATERIAŁY I METODY

Badania prowadzono na terenie pożarzyska, które znajduje się na obszarze dwóch Nadleśnictw: Cierpiszewo i Gniewkowo, położonych około 15 km na południowy-zachód od Torunia. Na tym terenie w 1992 r. miał miejsce rozległy pożar, który w ciągu niespełna doby strawił ponad 2800 ha lasu. Na przeważającej powierzchni panował pożar wierzchołkowy, który doprowadził do poważnego uszkodzenia drzewostanów sosnowych. Do celów badawczych wybrano ponad 90-letni starodrzew sosnowy (monokultura sosny) w nadleśnictwie Cierpiszewo, objęty pożarem przyziemnym, w którym drzewostan został zachowany, a na dnie lasu występuje mozaika miejsc w zróżnicowanym stopniu spalonych i miejsc niedotkniętych pożarem. W 13 lat po pożarze całą powierzchnię porasta bujnie roślinność runa, miejsca objęte pożarem rozpoznaje się jedynie po osmolonych pniach sosen i licznie występującym podroście sosny. Na badanym obszarze wyznaczono 2 powierzchnie badawcze: P1 (kontrolną) – w miejscu nieobjętym pożarem oraz P2, na której wystąpił pożar. Na powierzchni P1 wykonano 3 odkrywki glebowe (profile I–III), na powierzchni P2 – 5 odkrywek (profile IV–VII).

Opis profili glebowych obejmował określenie miąższości poszczególnych poziomów genetycznych, barwy według atlasu Munsella [Revised Standard Soil Colour Charts 2000] oraz obecności korzeni w glebie. Próbkę do analiz zostały pobrane z każdego poziomu genetycznego gleby. Ilość pobranego materiału wahała się od 100 g (próbki organiczne) do około 1 kg (próbki mineralne). W materiale tym oznaczono:

– uziarnienie metodą sitową, podział materiału mineralnego na frakcje granulometryczne określono wg Polskiej Normy PN-R-04033 1998 r.,

- wartości pH (w H₂O i w 1 M KCl) – metodą potencjometryczną,
- zawartość węgla organicznego (Corg) – metodą Tiurina,
- zawartość azotu ogółem (Nt) – metodą Kjeldahla,
- widma NMR materiału organicznego wykonano metodą *solid state* ¹³C NMR-CPMAS spektrometrem Bruker Avance 300 MHz.

WYNIKI I DYSKUSJA

Na badanych powierzchniach w Nadleśnictwie Cierpiszewo występują gleby wytworzone z piasków luźnych (terasowych, częściowo zwydmionych) o strukturze rozdzielnoziarnistej. Na podstawie morfologii i właściwości określono je jako gleby biellicowo-rdzawe [Systematyka Gleb PTG 1989] (Brunic Albic Arenosol [WRB 2006]) (tab. 1 i 2). Na zachodzące w glebie procesy biellicowania wskazuje obecność wybielonej, nieciąglej warstewki lub wybielonych plam na granicy poziomu organicznego i próchnicznego. Biellicowaniu sprzyja kwaśny odczyn gleb. Ich poziom organiczny ma miąższość 6 cm i składa się z dwóch

TABELA 1. Charakterystyka poziomów genetycznych profili gleb na powierzchniach nieobjętych pożarem

TABLE 1. Characteristics of soil profile horizons on non-burned areas

Poziom genet. Genetic horizon	Głębokość Depth [cm]	Charakterystyka Description
O1	6–3	miąższość 3 cm, barwa jasnobrazowa, słabo rozdrobniony i rozłożony opad roślinny głównie sosny
Ofh	3–0	miąższość 3 cm, barwa szaro-brązowa, opad roślinny o znacznym rozdrobnieniu i słabym rozkładzie. w spagu tego podpoziomu występują soczewki podpoziomu Oh, poprzerastany korzeniami
AEes	0–3	miąższość 3 cm, barwa 10YR 3/2 w stanie wilgotnym, 10YR 5/2 w stanie suchym, piasek luźny, struktura rozdzielnoziarnista, poprzerastany korzeniami. przejście do następnego poziomu wyraźne
ABhfBv	3–11	miąższość 8 cm, barwa 10YR 4/3 w stanie wilgotnym, 10YR 6/4 w stanie suchym, piasek luźny, struktura rozdzielnoziarnista. licznie występują korzenie. przejście do następnego poziomu stopniowe
Bv	11–45	miąższość 34 cm, barwa 10YR 5/6 w stanie wilgotnym, 10YR 7/6 w stanie suchym, piasek luźny, struktura rozdzielnoziarnista, występują ciemnobrunatne przebarwienia. występują pojedyncze korzenie. przejście stopniowe
CBv	45–75	miąższość 30 cm, barwa 10YR 6/6 w stanie wilgotnym, 10YR 8/4 w stanie suchym, występują rdzawe przebarwienia. przejście wyraźne
C	75–100	miąższość 25 cm, barwa 10YR 5/4 w stanie wilgotnym, 10YR 7/4 w stanie suchym, piasek luźny, struktura rozdzielnoziarnista

Miejsce: Oddział 160

Pokrywa roślinna: drzewostan – sosna 106-letnia; podszyt: – czeremcha amerykańska, jałowiec;

runo – śmiałek pogięty; mchy – rokit pospolity, brodawkowiec czysty.

Typ gleby: rdzawa. Podtyp gleby: biellicowo-rdzawa (Brunic Albic Arenosol)

TABELA 2. Charakterystyka poziomów genetycznych profili gleb po pożarze
 TABLE 2. Characteristics of soil profile horizons on burned areas

Poziom genetyczny Genetic horizon	Głębokość Depth [cm]	Charakterystyka Description
Ol	5–3	miąższość 2 cm, barwa brązowa, poziom odtwarzający się z obumarłych szczątków organicznych
Os	2–0	miąższość 2 cm, barwa czarna (N 2/0 w stanie wilgotnym, 10YR 1,7/1 w stanie suchym), powstały w wyniku spalenia materiału organicznego pierwotnego poziomu O (i ewentualnie wierzchniej warstwy poziomu A), przerastany korzeniami
AEes	0–10	miąższość 10 cm, barwa 10YR 3/2 w stanie wilgotnym, 10YR 5/2 w stanie suchym, piasek luźny, struktura rozdzielnociarna, występują liczne korzenie traw, częściowo zdrewniałe korzenie, przejście do następnego poziomu wyraźne
ABv(Bfe)	10–35(20)	miąższość 25(10) cm, barwa 10YR 4/3 w stanie wilgotnym, 10YR 6/4 w stanie suchym, piasek luźny, struktura rozdzielnociarna, w górnej części licznie występują korzenie, przejście do następnego poziomu stopniowe
Bv	35(20)–56	miąższość 21(36) cm, barwa 10YR 4/6 w stanie wilgotnym, 10YR 7/6 w stanie suchym, piasek luźny, struktura rozdzielnociarna, występują ciemnobrunatne przebarwienia, liczne występowanie korzeni, przejście stopniowe
BvC	56–110	miąższość 54 cm, barwa 10YR 5/6 w stanie wilgotnym, 10YR 8/4 w stanie suchym, piasek luźny, struktura rozdzielnociarna, charakterystyczne jasne przebarwienia do głębokości 110 cm, przejście wyraźne
C	110–140	miąższość 30 cm, barwa 10YR 5/5 w stanie wilgotnym, 10YR 7/4 w stanie suchym, piasek luźny, struktura rozdzielnociarna, występują pojedyncze kamienie
<p>Miejsce: Oddział 97. Pokrywa roślinna: drzewostan: sosna 91-letnia; podszyt: samosiew czeremchy amerykańskiej, berberysu, brzozy brodawkowatej, sosny; runo: śmiełek pogięty, trzcinnik piaskowy, trzcinnik leśny, borówka brusznica, fiołek leśny, pięciornik rozlogowy. Typ gleby: rdzawa; Podtyp gleby: bielcowo-rdzawa (Brunic Albic Arenosol)</p>		

podpoziomów Ol i Ofh różniących się głównie stopniem rozdrobnienia materiału organicznego (tab.1). Na brak różnic w przetworzeniu materiału wskazują podobne w obu podpoziomach zawartości węgla i azotu oraz bardzo podobne wartości stosunku C: N (tab. 3).

Skutki pożaru, który miał miejsce 13 lat przed podjęciem badań, są wyraźnie widoczne w morfologii i właściwościach profili glebowych na powierzchni badawczej P2. Zmiany obserwuje się przede wszystkim w poziomie organicznym (O) i występującej pod nim warstwie Os (tab.2). Poziom O jest słabo wykształcony, jego średnia miąższość wynosi 2 cm i reprezentuje tylko podpoziom surowinowy (Ol). Powstał on w okresie 13 lat, jakie

upłynęły od pożaru, głównie z corocznego opadu roślinnego sosny. Z przebadanych charakterystyk poziom ten od podpoziomu surowinowego gleb na powierzchni kontrolnej różni się tylko niższą zawartością materii organicznej (tab. 3).

Warstwa Os powstała w wyniku niepełnego spalania pierwotnego poziomu organicznego i, jak się przypuszcza, materii organicznej wierzchniej warstwy poziomu próchnicznego (AEes) [Choromanska, DeLuca 2001]. Jest to struktura zbita o barwie czarnej i podwyższonej gęstości i właściwościach hydrofobowych [Gonet i in. 2007]. Zawartość materii organicznej w tej warstwie wynosi od około 15 do 45% i charakteryzuje się dwukrotnie niższą wartością stosunku węgla do azotu w porównaniu z podpoziomem Ofh gleb na powierzchni kontrolnej. Kwasowość materiału w podpoziomie Os nie różni się od kwasowości materiału w podpoziomie Ofh gleb kontrolnych (tab. 3). Materiał ten charakteryzuje się natomiast wyższym stopniem aromatyzacji niż materiał organiczny z podpoziomu Ofh gleb niedotkniętych pożarem. Z widm ^{13}C NMR CPMAS oraz obliczonych na ich podstawie wartości udziału węgla różnych jednostek strukturalnych (rys. 1, tab. 4) wynika, że materiał organiczny podpoziomu Os charakteryzuje się głównie mniejszym udziałem węgla węglowodanów (45–110 ppm, rys. 1) oraz wyższym udziałem węgla związków aromatycznych (110–165 ppm, rys. 1) niż materiał organiczny podpoziomu Ofh z

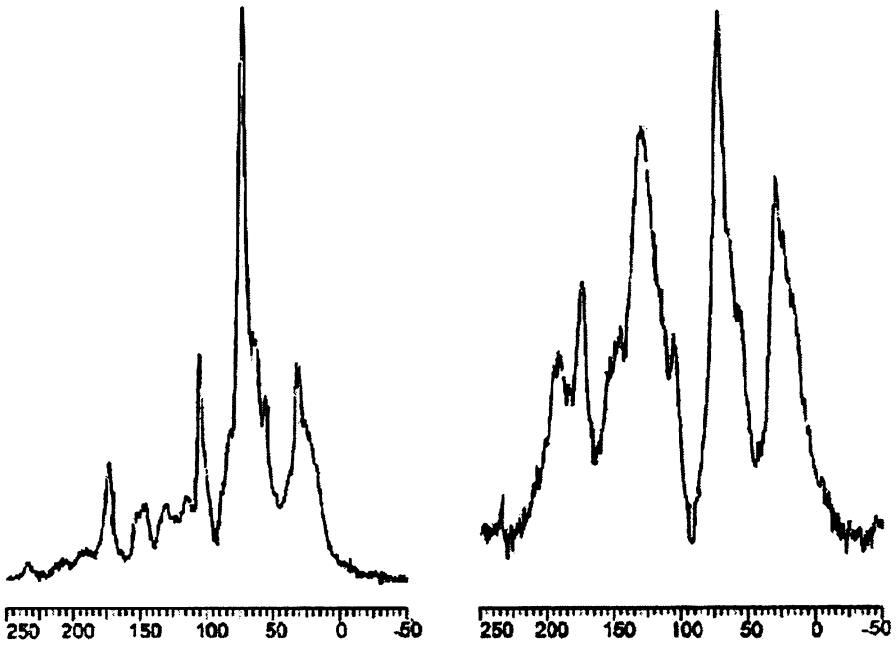
powierzchni kontrolnej. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że podczas niepełnego spalania utlenieniu ulega głównie labilna frakcja glebowej materii organicznej, łatwo ulegająca mineralizacji, a w mniejszym stopniu związki średnio odporne i odporne na rozkład [Fernandez i in. 1997; Choromanska, DeLuca 2001; Gonzalez-Perez i in. 2004]. Podczas procesu spalania materiału organicznego ubytki celulozy i hemicelulozy wynoszą średnio 72%, związków rozpuszczalnych w wodzie 56%, lignin 46%, a tłuszczów ok. 25% [Fernandez i in. 1997, 2001].

Na powierzchni objętej pożarem zasoby materii organicznej są średnio o ponad $2,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (39%) niższe niż na powierzchni kontrolnej (tab. 5). Jest to rezultat niższych zasobów materii organicznej zarówno w poziomie O i w podpoziomie Os (o 42%) w porównaniu z poziomem organicznym gleby powierzchni kontrolnej, jak i w poziomie próchnicznym AEes (o 33%). Różnice te z pewnością były wyższe bezpośrednio po pożarze,

TABELA 3. Właściwości próbek gleb z powierzchni objętych i nieobjętych pożarem

TABLE 3. Properties of soil samples from burned and non-burned areas

Profil glebowy Soil profile	Poziom genetyczny Genetic horizon	Corg	Nt	C:N	pH	
		$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$			H ₂ O	1M KCl
Powierzchnie nieobjęte pożarem – Areas non-burned						
I	O1	416	14,8	28	4,2	3,6
	Ofh	401	15,5	26	3,9	3,1
	AEes	10,6	1,23	8,6	4,1	3,3
II	O1	427	14,6	29	4,5	3,8
	Ofh	388	15,1	26	4,0	3,2
	AEes	27,7	1,36	20	4,1	3,4
III	O1	415	14,7	28	4,0	3,2
	Ofh	411	15,0	27	3,8	2,9
	AEes	15,3	0,72	21	4,1	3,3
Powierzchnie objęte pożarem – Areas burned						
IV	O1	389	14,4	27	4,3	3,6
	Os	79,7	7,2	11	4,4	3,4
	A(Ees)	13,9	0,76	18	4,5	3,8
V	O1	302	11,2	27	4,1	3,5
	Os	122	11,4	10	4,1	3,1
	A(Ees)	12,5	0,82	15	4,7	4,0
VI	O1	396	15,2	26	4,3	3,6
	Os	112	8,9	13	4,3	3,2
	A(Ees)	8,8	0,42	21	4,5	3,9
VII	O1	358	14,1	25	4,6	3,9
	Os	80,0	6,9	12	4,2	3,4
	AEes	9,8	0,5	20	4,5	3,7
VIII	O1	358	13,1	27	4,3	3,5
	Os	223	16,5	13	4,0	3,0
	AEes	15,0	0,69	22	4,1	3,3



RYSUNEK 1. Widma ¹³C NMR CPMAS materiału organicznego z podpoziomu Ofh na powierzchni P1 (po lewej) oraz warstwy Os gleby na powierzchni P2 (po prawej)
 FIGURE 1. ¹³C NMR CPMAS spectra of organic material from Ofh sub-horizon on P1 surface (left) and from Os layer on P2 surface (right)

TABELA 4. Udział węgla [%] w różnych połączeniach (na podstawie widm NMR) w materiale organicznym z podpoziomu Ofh gleby kontrolnej oraz warstwy Os gleby po pożarze
 TABLE 4. Participation of carbon bonds [%] (from NMR spectra) in organic materials from Ofh subhorizon in control soil and from Os layer in burned soil

Węgiel Carbon	Podpoziom Ofh Sub-horizon Ofh	Warstwa Os Layer Os
alifatyczny	21,6	21,4
węglowodan -I	45,4	25,5
węglowodan -II	8,4	4,7
aromatyczny	15,1	31,9
karboksylowy	6,3	8,6
karbonylowy	3,2	7,9
α	0,7	1,5

α – stopień aromatyczności, aromatic degree

TABELA 5. Zasoby materii organicznej
 TABLE 5. Stocks of soil organic matter

Poziom Horizon	Miaższość Thickness [cm]	Zasoby materii org. Organic matter stocks [kg · m ⁻²]	
Powierzchnia nieobjęta pożarem			
Ol	2–5	1,35	4,55
Ofh	1–4	3,20	
AEes	5–10	2,13	
Razem		6,68	
Powierzchnia objęta pożarem			
Ol	1–4	1,02	2,66
Os	1–3	1,64	
AEes	5–10	1,43	
Razem		4,09	

gdyż obecne zasoby są wzbogacone o opad roślinny zgromadzony przez 13 lat. Według różnych autorów straty glebowej materii organicznej podczas pożarów przyziemnych wynoszą średnio około 50% (od 42 do 65%) [Fernandez i in. 1997; Choromanska, DeLuca 2001].

Na uwagę zasługuje fakt, że jeszcze 13 lat po pożarze w poziomie AEes notuje się wyższe wartości pH niż w analogicznym poziomie genetycznym gleby obiektu kontrolnego (tab. 3).

WNIOSKI

1. W glebie biellicowo-rdzawej, w 90-letnim borze sosnowym, po pożarze powierzchniowym występuje pod poziomem organicznym charakterystyczny podpoziom (warstwa) Os, powstały w wyniku spalenia starego poziomu organicznego. Profil gleby obejmuje sekwencję poziomów: O1-Os-AEes-ABv(Bfe)-Bv-BvC-C.
2. Materiał organiczny podpoziomu Os charakteryzuje się, w porównaniu z materiałem organicznym podpoziomu Ofh gleby nieobjętej pożarem, wyższym udziałem struktur aromatycznych, a niższym węglowodanów.
3. 13 lat po pożarze zasoby próchnicy w glebie są prawie o 50% niższe, a wartość pH w poziomie AEes nieco wyższa niż w glebie nieobjętej pożarem.

LITERATURA

- CARTER M.C., FOSTER C.D. 2004: Prescribed burning and productivity in southern pine forest : a review. *For. Ecol. Manage.* **191**: 93–109.
- CERTINI G. 2005: Effects of fire on properties of forests soils: a review. *Oecol.* **143**: 1–10.
- CHOROMANSKA U., DELUCA T. H. 2001: Prescribed fire alters the impact of wildfire on soil biochemical properties in a ponderosa pine forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **65**: 232–238.
- DAUBENMIRE R.F. 1973: Rośliny i środowisko. PWN. Warszawa: 522 ss.
- DeBANO L.F., NEARY D.G. 1998: Fire effects on ecosystems. Wiley, New York: 333 ss.
- FERNANDEZ I., CABANEIRO A., CARBALLAS T. 1997: Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil land comparison with laboratory soil heating. *Soil Biol. Biochem.* **29**, 1: 1–11.
- FERNANDEZ I., CABANEIRO A., CARBALLAS T. 2001: Thermal resistance to high temperatures of different organic fractions from soils under pine forests. *Geoderma* **104**: 281–298.
- GONET S.S., DZIADOWIEC H., BUĆKO M., KWIATKOWSKA A. 2007: Changes in morphology, organic matter stock and properties in pine forest soil after fire. W: International Meeting of Fire Effects on Soil Properties. Ubeda X (red.). Universitat de Barcelona: 24 ss.
- GONZÁLEZ-PÉREZ J.A., GONZÁLEZ-VILA F.J., ALMENDROS G., KNICKER H. 2004: The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environ. Inter.* **30**: 855–870.
- IGLESIAS T., CALA V., GONZALES J. 1997: Mineralogical and chemical modifications in soils affected by a forest fire in the Mediterranean area. *Sci. Total Environ.* **204**: 89–96.
- REVISED SANDARD SOIL COLOUR CHARTS 2000: Eijkelkamp Agrisearch Equipment.
- SYSTEMATYKA GLEB POLSKI 1989: *Roczn. Glebozn.* **40**, 3/4: 150 ss.
- WRB 2006: *World Soil Resources Reports*, No 103. FAO, Rome.

Prof.dr hab. Sławomir S. Gonet
Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Zakład Gleboznawstwa
ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń
e-mail: gonet@umk.pl