

Zastosowanie analizy mikromorfologicznej w badaniach gleb i osadów czwartorzędowych

The use of the micromorphological analysis in studies of soils and quaternary sediments

Anna Budek

*Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Polska Akademia Nauk,
ul. św. Jana 22, 31-018 Kraków*

Zarys treści: Analiza mikromorfologiczna dotyczy głównie opisu i interpretacji komponentów, struktur i cech osadów i gleb o różnej genezie i wieku. Największą zaletą tej metody w badaniu środowiska jest możliwość obserwacji pod mikroskopem próbek o nienaruszonej strukturze. Dlatego też znalazła ona szerokie zastosowanie w naukach przyrodniczych jak geologia, nauki rolnicze, paleogeografia oraz w archeologii.

Słowa kluczowe: mikromorfologia, gleby, osady mineralne i próchniczne

Abstract: The micromorphology concern with the description and interpretation of soil components features and fabrics. In this method fundamental is collection of undisturbed blocks with natural arrangement of soil or sediment component. The main aim is an understanding of the processes involved in soil formation, produced by normal force of nature or induced by the human activities. Using image analysis of thin section are definite each proprieties of features, such as the shape, the size, the frequency of appearing and the genesis.

Key words: micromorphology, soils, mineral and humic deposits

Wprowadzenie

Za twórcę mikromorfologii uważany jest Walter L. Kubiena (1938, 1970), który w latach 30. ubiegłego stulecia rozpoczął obserwacje struktury gleby i skał klastycznych pod mikroskopem. Metodę mikromorfologiczną określił jako metodę opartą na ilościowej i jakościowej analizie komponentów glebowych, przy pomocy której można określać relacje pomiędzy tymi formami w glebie o nienaruszonej strukturze. Definicja mikromorfo-

logii została sprecyzowana na VIII Międzynarodowym Sympozjum Mikromorfologii Gleb w San Antonio w 1988 roku i określono ją jako metodę badań utworów niezaburzonych takich jak: gleby, osady i nieskonsolidowane skały na szlifach pod mikroskopem w różnego typu świetle. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod opisu struktur jest metoda opracowana przez Brewera (1964). Autor opisał struktury części mineralnych występujące w glebach australijskich, inni badacze rozszerzyli opis tych struktur o części organiczne. Obecnie najczęściej używanym kluczem do opisu szlifów mikromorfologicznych jest klucz opracowany przez grupę badaczy Międzynarodowego

* e-mail: budek@zg.pan.krakow.pl

Towarzystwa Nauki o Glebie (Working Group of the ISSS) pod kierownictwem Bullocka (Bullock i in.. 1985) oraz późniejsze rozszerzenie tego systemu (Stoops, 2003).

Cel analizy i przygotowanie preparatów

Analiza mikromorfologiczna pozwala na opisanie struktury gleby jako przestrzenny układ mineralno-organicznych komponentów w stosunku do wolnych przestrzeni. Poprzez analizę obrazu widzianego pod mikroskopem określone są poszczególne właściwości obiektów, takie jak kształt, wielkość, częstość występowania oraz ich geneza. Analiza ta pozwala na obserwację osadu o nienaruszonej strukturze, dzięki czemu można wyodrębnić pedogenetyczne cechy utworu takie jak: stopień zwietrzenia minerałów, pory pochodzenia biogenicznego, iluwialne przemieszczanie frakcji iłu koloidalnego, struktury i konkrecje żelaziste bądź węglanowe, zmiany mrozowe, jak również deformacje materiału powstałe w wyniku transportu (Konecka-Betley, 1996; Kemp, 1998; Van Vliet – Lanoë, 1998).

Wykonanie szlifu poprzedzone jest starannym pobraniem próbki o nienaruszonej strukturze w terenie. Najczęściej w dalszej analizie mikroskopowej ważna jest orientacja próbki w profilu w stosunku do stropu i spągu odsłonięcia. Dlatego też każdy pobrany bolk powinien posiadać obok informacji o miejscu i głębokości poboru, również oznaczenie orientacji w stosunku do stropu i spągu odsłonięcia. Metody wykonania szlifów zależne są od procedur wypracowanych przez laboratoria, rodzaju pobranego materiału oraz wielkości szlifów (Mroczek, 2001). Bardzo ważnym warunkiem dobrego nasączenia materiału jest wysuszenie próbki i całkowite odprowadzenie wody w celu umożliwienia penetracji żywicy i utwardzacza w głąb osadu. Po utwardzeniu bloku następnym etapem jest cięcie, szlifowanie i ostateczne polerowanie szlifu do wymaganej wielkości i grubości (ryc. 1). Standardowa grubość szlifu wynosi 30 – 25 μm , natomiast wielkość zależy od potrzebnych informacji, które są widoczne pod mikroskopem. VandenBygaart i Protz (1999) na podstawie szlifów wykonanych z użytkowanych rolniczo gleb pylasto-ilastych w południowym Ontario podjęli próbę określenia reprezentatywnej wielkości powierzchni szlifu (ang. *representative elementary*

area – REA) dogodnej do opisu cech pedologicznych.

W zależności od struktury i tekstury badanego osadu do szczegółowej analizy mikroskopowej wystarczające są szlify o wielkości 5,0 cm x 7,5 cm.

Końcowym etapem opracowania jest obserwacja szlifu pod mikroskopem polaryzacyjnym i szczegółowy opis minerałów, struktur i cech pedologicznych, litologicznych lub diagenetycznych.



Ryc. 1. Przygotowanie preparatu

Fig 1. Thin sections preparation

Interpretacja struktur mikroskopowych

Szczegółowy opis cech obserwowanych pod mikroskopem pozwala na odróżnienie pierwotnych cech osadu od cech, które zostały zmienione przez procesy glebotwórcze i diagenetyczne. Dlatego też, opisywane cechy można zaliczyć do cech lito-, pedo- lub diagenetycznych (tab. 1). Częstość występowania w szlifach poszczególnych struktur zależy w dużej mierze od lokalnych warunków

Tabela 1. Wybrane struktury i cechy mikromorfologiczne
Table 1. Micromorphological fabrics and features

Struktury i cechy mikromorfologiczne		
litogeniczne	pedogenetyczne	diagenetyczne
- mikrostruktura warstwowa, - mikrostruktura masywna, - mikrostruktura mozaikowa, - wypełnienia klinów lodowych, - wytrącenia kalcytowe lub gipsowe,	- mikrostruktura kanalikowa, - mikrostruktura agregatowa, - pedoturbacje, - rozłożone lub świeże szczątki organiczne, - fitolity, - wtórne wypełnienia i konkretcje kalcytowe, - ilaste otoczki wewnątrzkanalikowe, - nodule żelaziste,	- mikrostruktura mrozowa - wytrącenia żelaza i manganu (nodule, hypootoczki, wypełnienia)

(klimat, szata roślinna, poziom wody gruntowej, ukształtowanie terenu itp.) na danym obszarze, a co za tym idzie od intensywności procesów glebotwórczych i diagenetycznych, pod wpływem których osady były przekształcane. Ze względu na nakładanie się procesów najczęściej spotykane są struktury poligenetyczne, które posiadają cechy pierwotne osadu zmienione lub zdeformowane w trakcie pedogenezy (Tursina, 2009). W przypadku osadów przykrytych przez młodszy materiał, np. w wyniku wezbrania, mogą zostać zachowane cechy litogeniczne osadu.

Do interpretacji procesów zachodzących w osadach o różnym wieku i różnej genezie konieczny jest szczegółowy opis cech, takich jak; typy mikrostruktury, wolne przestwory, formy koncentracji iłu koloidalnego, węglanów, związków żelaza i manganu oraz nagromadzenia składników organicznych i feralnych.

Typy mikrostruktur i wolnych przestworów

W jednym analizowanym szlifie może występować kilka typów mikrostruktur, tworząc typy

mieszane. W glebach aktywnych biologiczne, w szczególności w poziomach powierzchniowych najczęściej występuje mikrostruktura kanalikowa (ang. *channel microstructure*). Charakteryzuje się ona tym, że w masie materiału mineralno-próchnicznego występują wolne przestwory – kanaliki o kształcie owalnym lub liniowym z zaokrąglonymi końcami. W kanalikach tych często występują fragmenty korzeni roślin lub ekskrementy. W glebach o budowie agregatowej można wyróżnić mikrostrukturę szczelinową (ang. *fissure microstructure*), która często powstaje w wyniku

wysychania oraz mikrostrukturę płytkową (ang. *platy microstructure*), powstającą w warunkach mrozowych przez rozmarzanie i zamarzanie osadów. W poziomach organicznych gleb torfowych i murszowych, przy dużej akumulacji materii organicznej występuje często mikrostruktura gąbczasta (ang. *spoongy microstructure*). W przypadku poziomów silnie uwilgotnionych np. poziomy glejowe, w wyniku pęknięcia pęcherzyków powietrza powstaje bardzo duża ilość wolnych przestworów o regularnych okrągłych kształtach tworząc mikrostrukturę pęcherzykową (ang. *vesicular microstructure*). W szlifach osadów nie zmienionych przez procesy glebowe nie są obserwowane wolne przestwory i materiał mineralny jest podobny do skały macierzystej. Taki typ mikrostruktury opisywany jest jako masywny (ang. *masive microstructure*).

Formy koncentracji substancji

Drobna frakcja – ił koloidalny (< 0,002 mm) oraz drobny pył (0,02-0,002 mm) głównie w wyniku przemieszczania tworzy specyficzne mikroformy. Najczęściej ił w wyniku grawitacyjnego transportu wypełnia kanaliki tworząc tzw. ilaste otoczki

Tabela 2. Wybrane rodzaje mikrostruktur i wolnych przestrzeni**Table 2.** Microstructures and voids

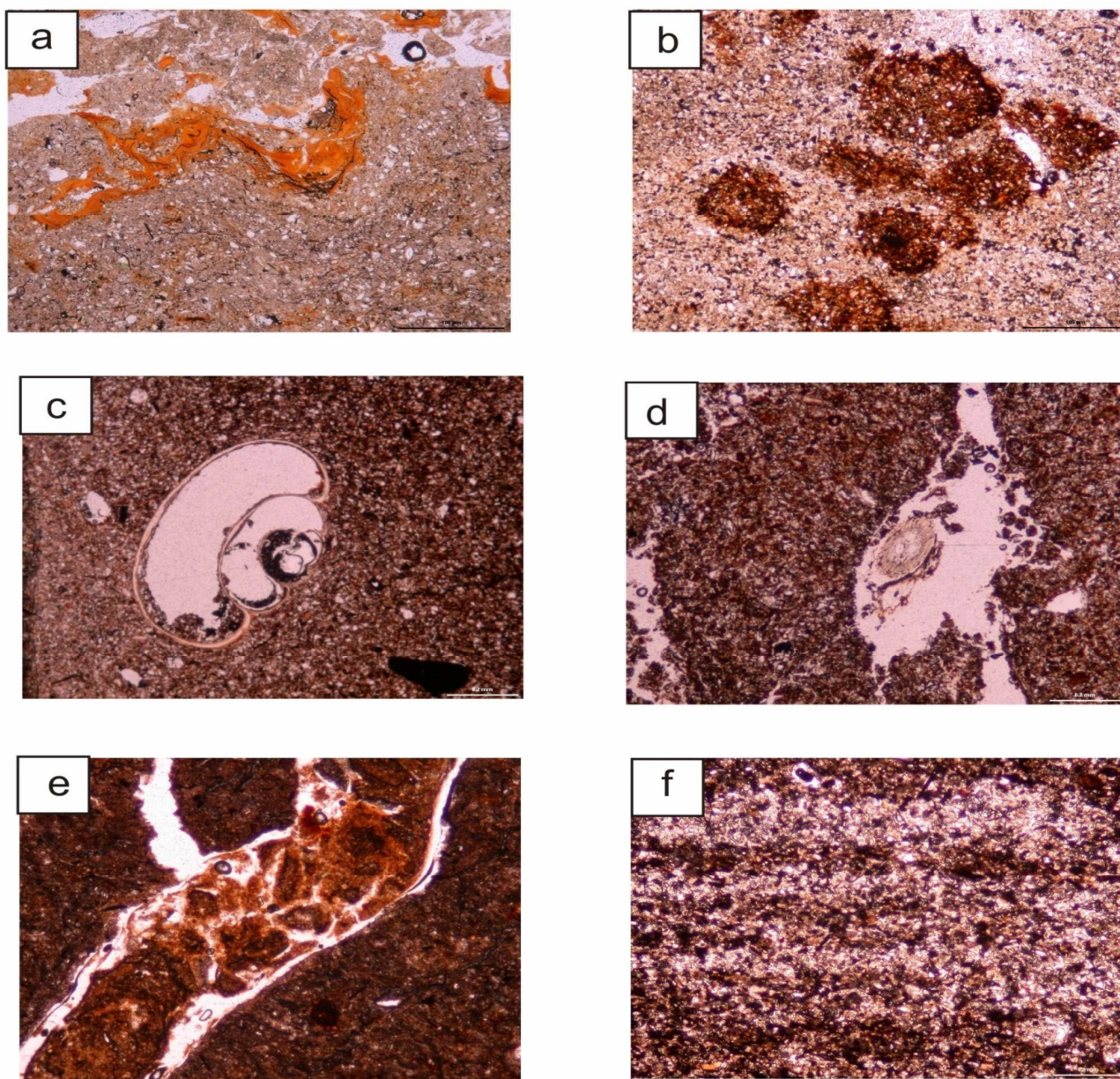
Rodzaj mikrostruktury	Rodzaj wolnych przestrzeni	Geneza
foremnowościowa ostrokrawędzista	pory różnej wielkości	poziomy przekształcone pedogenetycznie, np. poziom <i>cambic</i> gleb brunatnych
Kanalikowa	Kanaliki	gleby biologicznie czynne
szczelinowa	szczeliny o nieuporządkowanym przebiegu	wysychanie
Płytkowa	horyzontalnie ułożone szczeliny	rozmarzanie i zamarzanie osadu
Mostkowa	pory różnej wielkości	nagromadzenie substancji w wyniku transportu z poziomu wyższego, np. poziom albic gleb bielico-wych
Ziarnista	Kanaliki	wymycie substancji organicznej, związków żelaza, np. poziom albic gleb bielcowych
koprolitowa	pory różnej wielkości	ślady feralne w poziomach próchnicznych
Gąbczasta	pory i kanaliki różnej wielkości	poziom próchniczny i organiczny np. w torfach
pęcherzykowa	Liczne pory o okrągłym kształcie	w wyniku pęknięcia pęcherzyków powietrza, np. w madach
Masywna	Brak	w poziomach nie zmienionych pedogenetycznie

wewnątrzkanalikowe (ang. *clay coatings*) żółtej lub żółtopomarańczowej barwy, które najczęściej kontynuują się wzdłuż wypełnianego poru (ryc. 2a) (Budek i in., 2004).

W literaturze polskiej ze względu na sposób powstania nazywane są naciekami. Ich cechą charakterystyczną jest pleochroizm oraz wysokie barwy interferencyjne, które przy obserwacji w świetle spolaryzowanym zaznaczają się wygaszaniem światła, spowodowane podobną orientacją minerałów ilastych. Dzięki tej właściwości możliwe jest rozróżnienie laminacji otoczki. W wyniku intensywnych procesów lessiwazu i prawdopodobnie dużego uwilgotnienia a następnie wysychania poszczególne mikrolaminy mogą ulec porożrywaniu (Sampson i in., 2009). W kopalnych poziomach Bt często występują zdeformowane lub zniszczone otoczki, które często są rozmieszczone w masie mineralnej poza obrębem porów. Takie formy w literaturze anglojęzycznej określane są jako papule (ang. *papules*, Kemp, 1985). Według klucza opisu szlifów mikromorfologicznych Bulcocka i in. (1985) ilaste otoczki mogą również tworzyć się na ziarnach mineralnych i agregatach.

Nagromadzenie związków żelaza i manganu w szlifach występuje w różnych formach i głównie są świadectwem dużego uwilgotnienia środowiska. Podobnie jak drobne frakcje mogą tworzyć otoczki na ziarnach mineralnych lub wewnątrz porów. Natomiast hypo-otoczki i quasi-otoczki związków żelaza w odróżnieniu od otoczek wypełniających wolne przestrzenie, powstają wskutek wytrącania tych związków po zewnętrznej stronie ścianek

porów, w masie podstawowej lub wewnątrz agregatów. Bardzo częstą formą koncentracji żelaza i manganu są nodule (ang. *nodules*) (tab. 3). Najczęściej są one rozmieszczone w obrębie mineralnej lub mineralno-próchnicznej części masy podstawowej. Nodule mają kształt zbliżony do okręgu i mogą mieć granice ostre lub dyfuzyjne (ryc. 2b). Koncentracje związków żelaza i manganu o dyfuzyjnych konturach uważane są za powstałe *in situ* w trakcie pedogenezy. Natomiast nodule o wyraźnych, ostrych granicach i dodatkowo ze śladami deformacji masy podstawowej na kontakcie z nimi powstały w wyniku redepozycji po ich wcześniejszym utworzeniu (Vepraskas i in., 1994; Kemp i in., 1998). W szlifach często obserwowane są również nodule składające się z koncentrycznych pierścieni. Na ich powstanie istnieją dwie teorie. Według badań Fitzpatricka (1993) i McCarthy'ego i in. (1998) tlenki żelaza wytrącały się wokół małych kanałów z korzeniami roślin w warunkach dużej wilgotności środowiska. Kolejne pierścienie tworzyły się prawdopodobnie w wyniku zajmowania kilkakrotnie tej samej wolnej przestrzeni przez następne generacje korzeni. Natomiast według Siuty i Motowickiej (1963) wytrącanie się pierścieniowych form żelaza, tzw. nowotworów glebowych, występuje w przypadku zmiany składu granulometrycznego wokół kanałów pogazowych od frakcji pyłowych do koloidalnych, lub gdy występują rytmiczne zmiany stosunków powietrzno-wodnych w utworach zatopionych okresowo wodą.



Ryc. 2. Struktury obserwowane pod mikroskopem, w świetle przechodzącym

a - ilaste otoczki wewnątrzkanalikowe, stanowisko cegielnia Kończyce, b - nodule żelaziste, stanowisko cegielnia Kończyce, c - muszla ślimaka, stanowisko Skołoszów 2, dolina Rady, d - fragment korzenia wewnątrz poru, stanowisko Skołoszów 6, dolina Rady, e - fekalne wypełnienie kanału, stanowisko Jazy 1, dolina Strwiąża, f - laminowane struktury powodziowe, stanowisko Skołoszów 2, dolina Rady

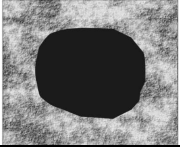
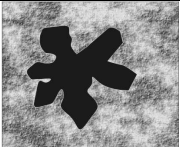
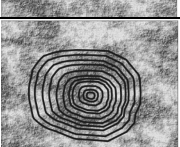
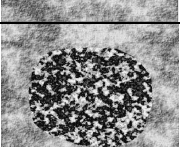
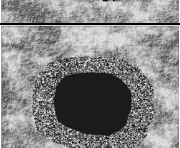
Fig. 2. Micromorphological fabric in plane polarized light

a - a clay coatings, the profile in a brickyard in Kończyce, b - iron nodules, the profile in a brickyard in Kończyce, c - a shell, the Skołoszów 2 profile in the Rada valley, d - root fragment within channel, the Skołoszów 6 profile in the Rada valley, e - excrements infilling of a channel, the Jazy profile in the Strwiąż valley, f - laminated flood fabric, the Skołoszów 2 profile in the Rada valley

W szlifach wykonanych z osadów węglanowych często występują wtórne wytrącenia węglanów i są to głównie otoczki wewnątrzkanalikowe, hypo-otoczki na porach oraz wypełnienia wolnych przestrzeni. Pochodzenie tych form jest uznawane jako pedogeniczne (Becze-Deak i in., 1997; Mroczek, 2008). W szlifach często zachowane są również mineralne pozostałości po organizmach zwierzęcych w postaci „muszli (ryc. 2c), szkieletów np.: okrzemek, kości”.

Obecność w szlifach substancji organicznej w różnej formie może świadczyć o przebiegu procesów glebowych, i poniekąd o działalności człowieka. Materia organiczna może występować w postaci świeżych fragmentów w biokanalikach (ryc. 2d), amorficzna, dobrze rozłożona z zachowaną strukturą tkanek roślinnych i w formie węgielków. W osadach organicznych duża zawartość substancji organicznej amorficznej i średnio rozłożonej może tworzyć strukturę gąbczastą. W obrębie frag-

Tabela 3. Rodzaje noduli
Table 3. Type of nodules

Rodzaj noduli	Kształt noduli	
typowa (ang. <i>typic</i>)		regularne ostre krawędzie
Palczasta (ang. <i>dendritic</i>)		koncentracja np. żelaza rozprzestrzenia się w masie podstawowej w postaci palczastych ramion
Geoidalna (ang. <i>geodic</i>)		nodula z pustą przestrzenią wewnątrz
Nukleidowa (ang. <i>nucleic</i>)		nodula z wypełnieniem wewnątrz innym materiałem, np. kryształem, fragmentem skały lub nodulą innego typu
Promienista (ang. <i>septaric</i>)		nodula z promienistymi pęknięciami wewnątrz
okręgów współśrodkowych (ang. <i>concentric</i>)		nodula zbudowana ze współśrodkowych okręgów
agregatowa (ang. <i>aggregate</i>)		ziarniste wytrącenia żelaza przyjmujące kulisty kształt noduli
typowa z efektem halo		nodula o silnej kulistej impregnacji tworzącej jej rdzeń ze słabnym nasyceniem tworzącym wokół halo

mentów roślin występują niekiedy ekskrementy fauny glebowej oraz kanaliki – korytarze wędrówek dżdżownic z wypełnieniem częściowym i ciągłym (ryc. 2e). To ostatnie jest interpretowane jako skutek kompaktacji wypełnień fekalnych, które były przekształcane przy nadmiernym uwilgotnieniu osadu (Coutry, Fedoroff, 1985)

Zastosowanie mikromorfologii

Dzięki możliwości obserwacji opisanych powyżej, cech gleb lub innych osadów metoda mikromorfologiczna znalazła szerokie zastosowanie

w naukach zajmujących się badaniem procesów współcześnie zachodzących, jak również w naukach zajmujących się ewolucją środowiska i działalnością człowieka.

Nauki rolnicze zajmujące się środowiskiem glebowym na podstawie obserwacji mikroskopowej i szczegółowego opisu cech mikromorfologicznych, jak np.: wielkość, ilość i kształt wolnych przestrzeni, skład mineralny, stopień zwietrzenia poszczególnych kryształów, rodzaj materii organicznej mogą oceniać jakie zachodzą zmiany w glebach w wyniku różnych zabiegów agrotechnicznych, jak nawożenie, orka, melioracja (Aguilar i in., 1990; Miedema, 1997; Stoops i in., 2009). Na

podstawie szczegółowych analiz zdjęć mikroskopowych, w szczególności oszacowanie wielkości porów, ich ułożenia, kształtu i wielkości agregatów prowadzono badania dotyczące określenia właściwości fizycznych gleb, jak porowatość, ocena przewodnictwa hydraulicznego, retencji wody, oraz podatności gleby na erozję (Bouma i in., 1979; Aguilar i in., 1990; Sveistrup i in., 2006). Na podstawie obserwowanej mikrostruktury, agregatów glebowych, śladów żerowania organizmów zwierzęcych i pozostawionych części fekalnych badana jest biologiczna aktywność w obrębie poziomów glebowych (Jongnerius i in., 1999; Fitzpatrick, 1990).

Analiza mikromorfologiczna znalazła również szerokie zastosowanie w badaniach paleogeograficznych. Przemieszczenia frakcji ilastej, wtórne wytrącenia węglanów oraz formy koncentracji związków żelaza posłużyły do rozpoznania procesów zachodzących w osadach lessowych i lessopodobnych (Issmer, 2000; Mroczek, 2007; 2008; Budek, Kalicki, 2006). W szlifach mikromorfologicznych bardzo dobrze zapisane zostały struktury osadów fluwialnych, często warstwowe (ryc. 2f) oraz pogrzebanych w tych osadach kopalne poziomy próchniczne (Miedema, van Oort, 1990; Budek, Starkel, 2006; Gębica i in., 2008). Działalność człowieka i rozwój osadnictwa w szlifach jest zapisany pośrednio głównie poprzez deformację i zniszczenie cech powstałych w środowisku naturalnym oraz akumulacji materiału przekształconego antropogenicznie, np. nagromadzenie uporządkowanych szczątków roślinnych (Couty i in., 1989; Budek i in., 2008; Sampson i in., 2009).

Podsumowanie

Analiza mikromorfologiczna w badaniach procesów naturalnych i antropogenicznych jest narzędziem perspektywicznym i może służyć jako kolejna metoda badawcza wykorzystywana do interpretacji ewolucji środowiska i działalności człowieka. Ze względu na możliwość obserwacji różnych cech, jak stopień wietrzenia minerałów, rozkład materii organicznej, uporządkowanie poszczególnych składników mineralnych i organicznych, formy koncentracji związków żelaza lub ilu koloidalnego może dostarczać wiele nowych informacji o środowisku. Dlatego też jest coraz częściej wykorzystywana w badaniach osadów i gleb oraz procesów zachodzących w ich obrębie współcześnie i w przeszłości.

Literatura

- Aguilar J., Fernandez J., Ortega E., De Haro S., Rodriguez T., 1990. Micromorphological characteristic of soils producing olives under non-ploughing compared with traditional tillage methods. *Dev. Soil Sci.*, 19: 25-32.
- Becze-Deak J., Langohr R., Verrecchia E.P., 1997. Small scale secondary CaCO_3 accumulations in the selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for palaeoenvironmental reconstruction, *Geoderma*, 76: 221-252.
- Bouma J., Jongnerius A., Schoonderbeek D., 1979. Calculation of saturated hydraulic conductivity of some pedal clay soils using micromorphologic data. *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, 43: 261-264.
- Brewer R., 1964. Fabric and mineral analysis of soil. John Wiley and Sons. New York.
- Budek A., Drewnik M., Kacprzak A., 2004. Mikromorfologia utworów pyłowych w profilu Kończyce, Kotlina Oświęcimska. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 409. Warszawa, s. 63-74
- Budek A., Starkel L., 2004. Poziom organiczny w profilu stożka napływowego z pogranicza okresów borealnego i atlantyckiego w Podgrodziu nad Wisłoką. *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Kielce, 5: 149-157.
- Budek A., Kalicki T., 2006. Sedimentological and micromorphological studies of T11 section at Andornaktalya. *Praehistoria, Archaeolingua, Miskolc 2003-2004*, 4-5: 145-152.
- Budek A., Kalicki T., Kamińska L., Kozłowski J.K., Sobczyk K., 2008. Stratigraphic sequence of Late Quaternary Deposits and Palaeolithic occupations in the Trenčianska Turná Microregion. *Slovenska Archeologia*, 56, 2: 239-253.
- Bullock P., Fedoroff N., Jongnerius A., Stoops G., Tursina T., 1985. Handbook for soil thin section description. Wine Research Publication.
- Couty M.A., Fedoroff N., 1985. Micromorphology of recent and buried soils in semiarid of Northwestern India. *Geoderma*, 35: 287-332.
- Courty M.A., Goldberg P., Macphail R.I., 1989. Soils and Micromorphology in Archaeology. Cambridge Manuals in Archaeology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gębica P., Budek A., Starkel L., Jacyszyn A., Krupiec M., 2008. Nowe wyniki badań nad stratygrafią aluwii i holoceniową ewolucją doliny Strwiąża, Zachodnia Ukraina. *Prace Komisji Paleogeografii Czwartorzędu*, 4, 2008: 93-103
- Fitzpatrick E.A. 1993. Soil Microscopy and Micromorphology, Wiley, New York.

- Fitzpatrick E.A., 1990. Roots in thin section of soil. [W:] L.A. Douglas (red.), New Brunswick Soil Micromorphology, the basic and applied science: 53-61.
- Issmer K., 2000. Późnoplejstocénskie osady lessowe na seriach glacialnych północno zachodniej Polski oraz ich paleogeograficzne znaczenie. Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej, Poznań.
- Jongnerius P.D., Van der Ancker J.A.M., Mucher H.J., 1999. The contribution of termites to the microgranular structure of soil on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. Catena, 35, 2-4: 349-365.
- Kemp R.A., 1985. Soil micromorphology and the Quaternary. Quaternary Research Association Technical Guide, 2, Cambridge.
- Kemp R.A., 1998. Role of micromorphology in peleopedological research. Quaternary International, 51/52: 133-141.
- Kemp R.A., McDaniel P.A., Busacca A.J., 1998. Genesis and relationship of macromorphology and micromorphology to contemporary hydrological conditions of a welded Argixeroll from the Palouse in Idaho. Geoderma, 83: 309-329.
- Konecka-Betley K., 1996. Zastosowanie metody mikromorfologicznej do badań gleb kopalnych. Metody badań paleopedologicznych i wykorzystanie gleb kopalnych w paleogeografii, Łódź, materiały konferencyjne: 19-20.
- Kubiena W.L., 1938. Micropedology, Collegiate Press, Ames Iowa.
- Kubiena W.L., 1970. Micromorphological Features of Soil Geography. New Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press.
- MacCarthy P.J., Martini I.P., Leckie D.A., 1998. Use of micromorphology for palaeoenvironmental interpretation of complex alluvial palaeosols: an example from the Mill Creek Formation (Albian), southwestern Alberta, Canada, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 143: 87-110.
- Miedema R., 1997. Applications of micromorphology of relevance to agronomy. Advances in Agronomy, 59: 119-169.
- Miedema R., van Oort F., 1990. Significance of soil microfabric for soil physical characteristic and behavior of late Weichselian and Holocene Rhine deposits in the Netherland. [W:] L.A. Douglas (red.), Soil Micromorphology: 97-105.
- Mroczek P., 2001. Mikromorfologia osadów klastycznych i gleb. Przedmiot, zastosowanie i wybrane metody analiz. Czas. Geogr. 72, 2: 211-229.
- Mroczek P., 2007. Zapis mikromorfologiczny stadium syngenetycznego formowania lessów. Przegląd Geolog., 55, 4: 300-301.
- Mroczek P., 2008. Interpretacja paleogeograficzna cech mikromorfologicznych neoplejstocénских sekwencji lessowo-glebowych, Wyd. Uniw. UMCS, Lublin.
- Sampson A., Kozłowski J.K., Kaczanowska M., Budek A., Nadachowski A., Tomek T., Miękina B., 2009. Sarakenos Cave in Boeotia, from Palaeolithic to the Early Bronze Age. Eurasian Prehistory, 6, 1-2: 199-231.
- Siuta J., Motowicka T., 1963. Znaczenie wytrąceń żelazistych w stratygrafii niektórych utworów czwartorzędowych. Pamiętnik Puławski: 201-211.
- Sveistrup T.E., Braskerud B.C., Marcelino V., 2006. Aggregates stimulate clay particle settling in constructed wetlands. NJF-Seminar 373. Transport and retention of pollutants from different production systems, 5: 154-159.
- Stoops G., 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin section.
- Stoops G., Marcelino V., Mees F., 2009. Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, Elsevier. (w druku).
- Tursina T.V., 2009. Methodology for the diagnostics of soil polygenesis on the basis of macro- and micromorphological studies. Journal of Mountain Sci. 6, 2: 125-131.
- VandenBygaart A.J., Protz R., 1999. The representative elementary area (RAE) in studies of quantitative soil micromorphology. Geoderma, 89: 333-346.
- Van Vliet-Lanoë B., 1998. Frost and soils: implication for paleosols, paleoclimates and stratigraphy. Catena, 34: 157-183.
- Vepraskas M.J., Wilding L.P., Drees L.R., 1994. Aquatic conditions for soil taxonomy, concept, soil morphology and micromorphology. [W:] A. Ringrose-Voase, G. Humphreys (red.), Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis, Elsevier, Amsterdam: 117-131.