

## Porównanie wyników analiz zawartości części organicznych w ilach miopliocenijskich z podłoża stacji Centrum Nauki Kopernik II linii metra w Warszawie

Łukasz Dominik Kaczmarek<sup>1</sup>, Ireneusz Gawriuczenkow<sup>1</sup>



Ł.D. Kaczmarek



I. Gawriuczenkow

**Comparative analysis of organic matter content in the Mio-Pliocene clay from the Copernicus Science Centre metro station of Metro Line II in Warsaw.** *Prz. Geol.* 64: 489–494.

*Abstract.* The paper attempts to answer the question which method provides an accurate assessment of organic matter content in the study of Mio-Pliocene clay. Samples were taken from the excavation of Copernicus Science Centre metro station. The soil was tested by three most common techniques: ignition loss method, reaction with hydrogen peroxide, and Tiurin method. Furthermore, thermal method (DTA) was used as a complex method for mineral composition (including organic matter) verification. Results of Tiurin and DTA methods provided information about the residual presence of organic matter in the Mio-Pliocene clay. Nonetheless, because of their simplicity, the commonly used methods are ignition loss and reaction with hydrogen peroxide. The results of ignition loss method were ~7 times higher than those of

the other methods. The reaction with hydrogen peroxide method, revealed a negative result ~ -0.89%, due to oxidation of iron and hydration of its compounds. Based on these observations, it can be concluded that the Tiurin method is the recommended technique for the assessment of organic matter content in cohesive soils. However, for studies requiring high accuracy and reliability, the thermal method is recommended. It is important to pay special attention in organic matter evaluation particularly for commercial projects, because organic matter evaluation can result in a large increase in the cost of investment.

**Keywords:** organic matter, Mio-Pliocene clay, Tiurin method, ignition loss method, reaction with hydrogen peroxide, thermal analysis

Podczas rozpoznawania gruntów budowlanych jedną z podstawowych cech, którą się określa, jest zawartość części organicznej. Z punktu geotechniki obecność organiki jest niekorzystna, co wynika m.in. z niskich wartości modułów odkształcenia (Lechowicz & Szymański, 2002). Zgodnie z polską normą PN-86/B-02480 grunt organiczny to grunt rodzimy, w którym zawartość części organicznych (Iom) jest większa niż 2%. W geologii inżynierskiej istnieją trzy powszechnie dostępne metody badań gruntów pod kątem zawartości części organicznych, którymi są: analiza strat masy po prażeniu, analiza reakcji wody utlenionej oraz metoda Tiurina. Ponadto obecność części organicznych może zostać określona za pomocą analizy termicznej. W niniejszym artykule przedstawiono analizę zawartości części organicznych za pomocą czterech różnych metod. Analizowany grunt to ły miopliocenijskie pobrane z wykopu stacji metra Centrum Nauki Kopernik w Warszawie. Budowa masywu gruntowego wokół II linii metra oraz sąsiadującej od zachodu Skarpy Warszawskiej, w podstawie której są te same ły miopliocenijskie, podkreśla potrzebę odpowiedzi na pytanie o adekwatność wykorzystania odpowiedniej metody do określenia zawartości części organicznych.

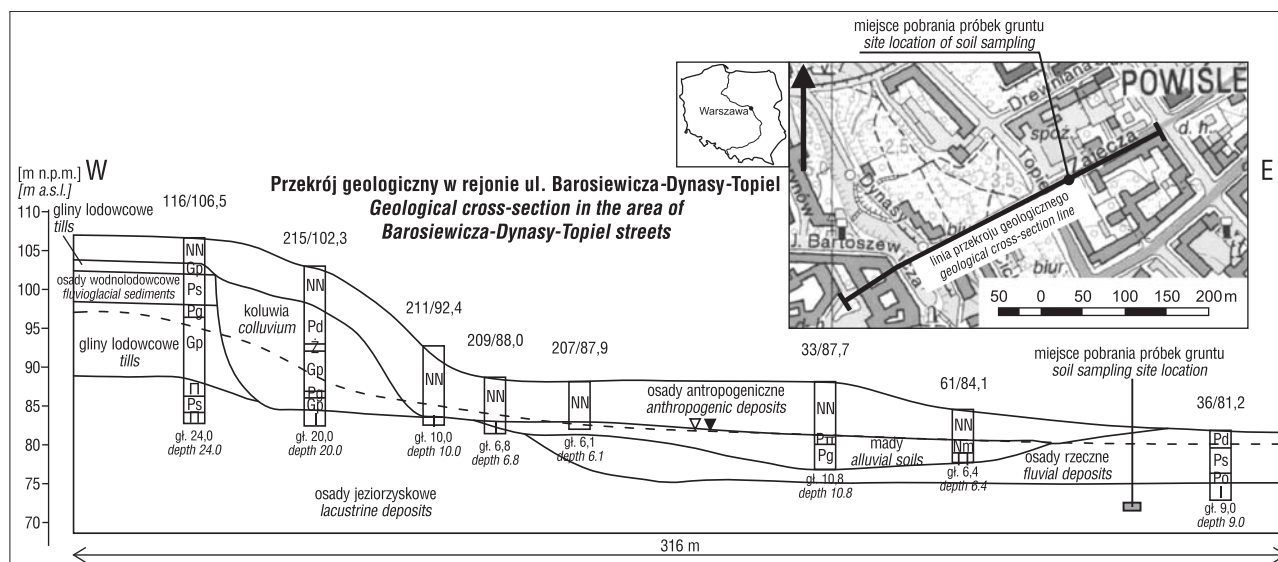
W literaturze można znaleźć zarówno charakterystykę łów warszawskich (Kaczyński, 2007; Izdebska-Mucha & Wójcik, 2011), jak również opis wpływu części organicznych na właściwości gruntów (Malinowska & Domański, 2013). W artykule Sternika i Kantego (2013) został przedstawiony opis analizy stateczności skarp i zboczy, ze

szczególnym uwzględnieniem obecności gruntów organicznych. Myślińska (1998) zaprezentowała ciekawe porównanie wyników metody prażenia oraz Tiurina dla pięciu gruntów spoza Warszawy, w którym straty prażenia dają wyniki ok. 5-krotnie wyższe niż metoda Tiurina. Grunty organiczne oraz metodyka ich badań zostały szeroko opisane w publikacji tej samej autorki (Myślińska, 2001). W literaturze jest również dostępna praca dotycząca analizy łów pliocenijskich z obszaru Poznania (Choma-Moryl, 1988), gdzie badano zawartość części organicznych. Natomiast badania gruntów spoistych także pod kątem zawartości części organicznych, a szczególnie gruntów ilastych, można znaleźć w opracowaniach Grabowskiej-Olszewskiej (1990) oraz Kościówki i Wyrwickiego (1996).

### CEL PRACY

Niniejszy artykuł przedstawia wyniki porównania trzech podstawowych metod wykorzystywanych w geologii inżynierskiej do analizy ilościowej zawartości części organicznych oraz termicznej jako metody alternatywnej. Na podstawie analizy poszczególnych sposobów badań, otrzymanych wyników oraz porównania ich z danymi literaturowymi, zostały określone zalecenia dotyczące wyboru metody dającej najbardziej wiarygodne wyniki. Celem artykułu jest również porównanie poszczególnych metod ze sobą, a także opis ilościowej korelacji pomiędzy ich wynikami. Dzięki wykonanym badaniom zostanie rozszerzone rozpoznanie łów miopliocenijskich w rejonie stacji metra Centrum Nauki Kopernik, które dla wielu inwestycji stanowią ważny element środowiska geologicznego.

<sup>1</sup> Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; lukasz.kaczmarek@uw.edu.pl, ireneusz.gawriuczenkow@uw.edu.pl



**Ryc. 1.** Przekrój geologiczny przez obszar, z którego pobrano materiał badawczy (Wysokiński, 1999; GUGiK, 1992)  
**Fig. 1.** Geological cross-section through the sampled area (Wysokiński, 1999; GUGiK, 1992)

## OBSZAR I MATERIAŁ BADAŃ

Próbki iłów mioplioceniowych zostały pobrane z obszaru lewobrzeżnego tarasu nadzalewowego Wisły, w odległości 500 m na zachód od rzeki. W wierzchniej warstwie tarasu dominują współczesne grunty antropogeniczne o miąższości ok. 6 m (Wysokiński, 1999), podścielają je rzeczne osady holoceniowe (mady i piaski). Głębokość zalegania stropu iłów to ok. 9 m p.p.t. Zwierciadło pierwszego poziomu wód podziemnych znajduje się na głębokości ok. 4 m p.p.t. (Wysokiński, 2013). Iły mioplioceniowe na głębokości ok. 20 m p.p.t. stanowią fundament skarpy wysoczyzny warszawskiej zapadającej się na wschód. Rycina 1. przedstawia przekrój budowy geologicznej przez obszar, z którego zostały pobrane próbki.

Analizie poddano próbki czarno-zielonych iłów mioplioceniowych pobranych jako trzy monolity (ryc. 2) koparką ze ściany wykopu stacji metra Centrum Nauki Kopernik (przy ul. Topiel) w Warszawie z głębokości 10 m p.p.t. Przygotowano pięć próbek do badania metodą prażenia i Tiurina oraz trzy do analizy reakcji z wodą utlenioną. Przeprowadzono trzy badania metodą reakcji  $H_2O_2$ , ponieważ wyniki kolejnych analiz cechowały się równymi wartościami. W celu wykonania analizy termicznej (DTA) przygotowano dwie próbki. Oprócz tego, przy wykorzystaniu pięciu próbek (dla każdego parametru), zrobiono analizę rozpoznawczą gruntu. Badany ił był w stanie półzwałym.

## METODYKA BADAŃ

W celu wiarygodnego określenia zawartości części organicznych wykorzystano cztery metody badawcze, których przeprowadzenie poprzedziły badania parametrów podstawowych gruntu. Zastosowane sposoby badań, wykorzystujące różne procesy fizykochemiczne, to: analizy strat masy po prażeniu i reakcji wody utlenionej, metoda Tiurina oraz termiczna.

W pierwszym etapie, w odwołaniu do zaleceń normy PN-88/B-04481 i literatury (Myślińska, 1998, 2001; Grabowska-Olszewska, 1990; Kościółko & Wyrwicki, 1996)



**Ryc. 2.** Monolit iłu mioplioceniowego pobrany podczas budowy stacji Centrum Nauki Kopernik II linii metra w Warszawie  
**Fig. 2.** Monolith of Mio-Pliocene clay obtained during the construction of the Copernicus Science Centre metro station in Warsaw

wykonano badania podstawowe. Parametry jakie zostały określone w wyniku przeprowadzonych badań to: wilgotność naturalna (oznaczona poprzez podwójne suszenie w suszarce laboratoryjnej), gęstość objętościowa (na podstawie metody wyporności w ciekłej parafinie), gęstość właściwą (określona aparatem AccuPycTM 1330 Pycnometer), analiza granulometryczna (oznaczona metodą areometryczną). Dodatkowo wykonano analizę reakcji gruntu z kwasem chlorkowym w celu określenia zawartości węglanu wapnia. Natomiast gęstość objętościową szkieletu mineralnego badanego gruntu wyznaczono na podstawie wzoru (PN-88/B-04481):

$$\rho_d = \frac{\rho_{100}}{100 + w}$$

gdzie:

$\rho_d$  – gęstość objętościowa szkieletu mineralnego

$\rho$  – gęstość objętościowa gruntu

$w$  – wilgotność próbki

Porowatość i wskaźnik porowatości zostały obliczone wg następujących zależności (Myślińska, 1998):

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}; e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

gdzie:

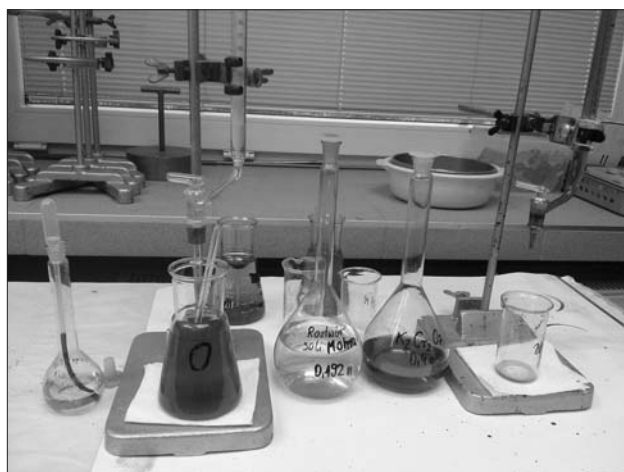
$\rho_s$  – gęstość właściwa szkieletu gruntowego,

$\rho_d$  – gęstość objętościowa szkieletu mineralnego.

W drugim etapie, przy zastosowaniu trzech różnych metod, zostały wykonane badania zawartości części organicznych. Pierwszym badaniem, z powodu prostoty i małej czasochłonności, była analiza strat masy po prażeniu próbki zgodnie z normą amerykańską oraz brytyjską (ASTM D 2974-87; BS 1377: Part 3: 1990, p.4). Wybór normy był podyktowany zalecaną tam niższą temperaturą prażenia próbki (440°C), niż w normie polskiej (PN-88/B-04481) czy niemieckiej (DIN 18128). Najniższa temperatura pozwala zminimalizować efekt dehydratacji i dehydroksylacji oraz rozpadu innych związków, które zostały ustalone później metodą termiczną. Metoda prażenia strat odwrotność badania popielności, gdzie określa się pozostałość gruntu. W gruntach niespoistych, w których głównym składnikiem jest kwarc o temperaturze rozpadu większej niż 440°C, metoda prażenia daje wiarygodne i dokładne wyniki. W przypadku gruntów spoistych – iłów miopliocenicznych, wyniki są zaburzone z powodu rozpadu części cząstek minerałów ilastych (Kościówko & Wyrwicki, 1996). Drugim sposobem była analiza za pomocą wody utlenionej, której wykorzystanie jest zalecane do gruntów o zawartości części organicznych poniżej 10% (PN-88/B-04481).

Jako trzecią analizę wykonano badanie metodą Tiurina, na podstawie PN-88/B-04481. Z powodu wykorzystania innych odczynników niż podaje norma, poniżej przedstawiono opis badania (ryc. 3). Po wstępnym wysuszeniu próbki o masie 0,5 g, jej część pobrano do dalszego badania – ok. 0,3 g, jak zaleca Myślińska (1998) w przypadku gruntów spoistych. Następnie dodano wody destylowanej oraz wskaźnika N-Fenyloantranitowego i podgrzewano próbki w stanie wrzenia przez 5 min. Kolejnym krokiem było dodanie 10 cm<sup>3</sup> 0,4 mola dichromianu potasu (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) i miareczkując dodawanie 0,192 molowy roztwór soli Mohra (ok. 19 cm<sup>3</sup>). Ważną zaletą tej metody jest, oprócz określenia zawartości procentowej części organicznych, również możliwość wyznaczenia zawartości węgla organicznego. Jest ona zalecana do badań gruntów spoistych, ale takich, w których obecność części organicznych nie przekracza 10% (Myślińska, 1998).

Trzecim etapem badań była analiza derywatograficzna. Miała ona na celu ustalenie dokładnego składu mineralnego, wraz z zawartością części organicznych, oraz zbadanie efektów cieplnych i zmian wagowych zachodzących na skutek fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych przemian substancji pod wpływem zmian ich temperatur (Myślińska, 1998). Analizę termiczną wykonano w aparacie Q600 amerykańskiej firmy TA Instrument, badając próbkę łu oraz wyseparowaną z tego łu, na drodze sedymentacji, frakcję poniżej 2 µm. Stosowano następujące warunki analizy: naważka ~85 mg, czułość dobierana automatycznie przez aparat, szybkość nagrzewania 10°C/min., atmosfera–powietrze. Interpretację otrzymanych derywatogramów przeprowadzono zgodnie z metodą zaproponowaną przez Wyrwickiego (Kościówko & Wyrwicki, 1996).



Ryc. 3. Przygotowane próbki iłów miopliocenicznych przed miareczkowaniem podczas badania metodą Tiurina. Ryc. 2 i 3 fot. Ł. Kaczmarek

Fig. 3. Prepared samples of Mio-Pliocene clay, before Mohr's salt solution titration during the Tiurin test. Photographs in Figs 2 and 3 by Ł. Kaczmarek

## WYNIKI I Dyskusja

Rezultatem pierwszego etapu badań łu miopliocenicznego była charakterystyka jego podstawowych właściwości fizycznych (tab. 1). Otrzymane wyniki znajdują potwierdzenie w badaniach m.in. Kaczyńskiego (2007) oraz Wysokińskiego (2013), co pozwala na stwierdzenie, że badane próbki iłów miopliocenicznych są „typowymi”. Charakterystyczną cechą iłów miopliocenicznych są śladowe ilości części organicznych.

Na rycinie 4. przedstawiono wyniki oznaczenia części organicznych czterema metodami. Wyniki metody prażenia oscylują wokół średniej zawartości części organicz-

Tab. 1. Zestawienia wyników analizy właściwości fizycznych iłów miopliocenicznych

Table. 1. Results of analysis of physical properties of Mio-Pliocene clay

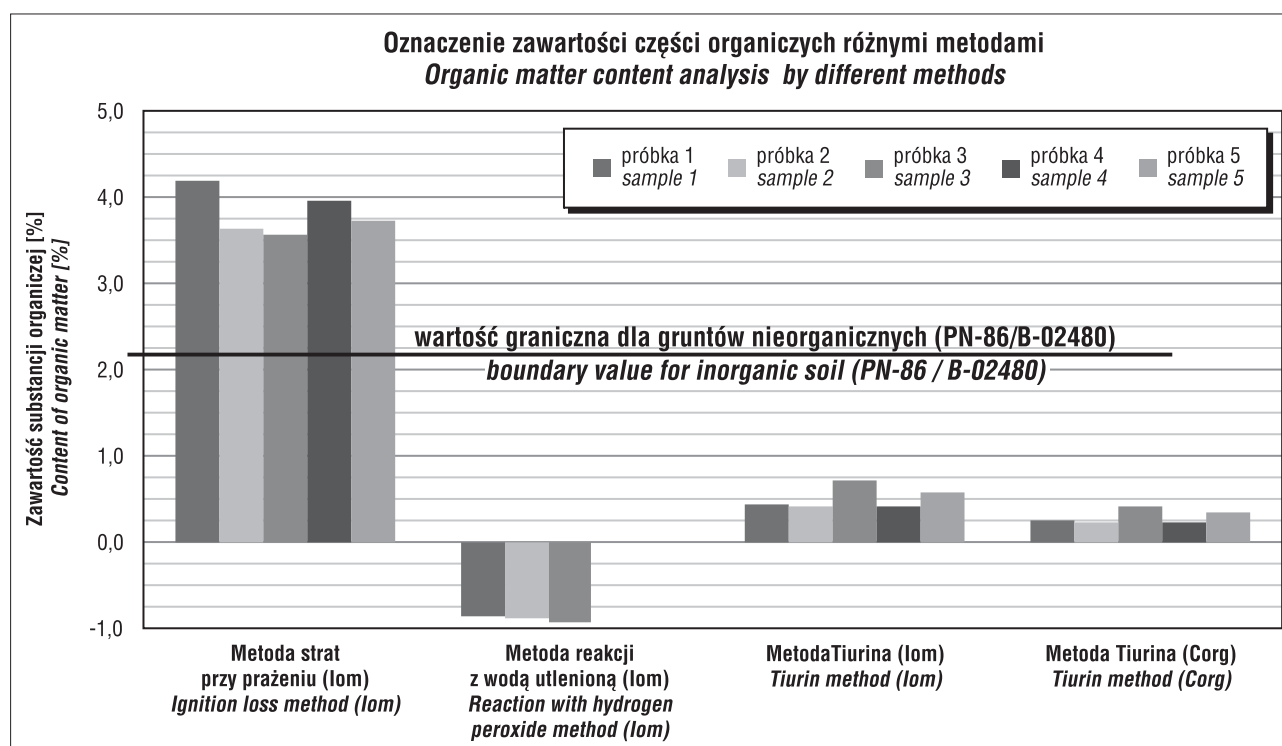
Parametry Parameters		ł mioplioceniczny Mio-Pliocene clay	
Zawartość frakcji [%] Fraction content [%]	<2 µm 2–50 µm >50 µm	32–39; X = 35; 38–45; X = 42; 16–30; X = 23;	n = 3
Gęstość właściwa, $\rho_s$ , Mg/m <sup>3</sup> Grain density, $\rho_s$ , Mg/m <sup>3</sup>		2,67–2,70; X = 2,68; n = 5	
Gęstość objętościowa, $\rho$ , Mg/m <sup>3</sup> Bulk density, $\rho$ , Mg/m <sup>3</sup>		1,91–1,92; X = 1,92; n = 5	
Gęstość objętościowa szkieletu, $\rho_{ds}$ , Mg/m <sup>3</sup> Dry density of solid particles, $\rho_{ds}$ , Mg/m <sup>3</sup>		1,49–1,50; X = 1,50; n = 5	
Porowatość [%] Porosity [%]		44–45; X = 44; n = 5	
Wskaźnik porowatości – e Void ratio – e		0,78–0,80; X = 0,79; n = 5	
Wilgotność naturalna – w [%] Moisture – w [%]		22,95–31,85; X = 28,00; n = 6	

min, max – minimalna i maksymalna wielkość parametru / minimum and maximum value

X – średnia arytmetyczna / arithmetic mean

n – liczba badań / number of tests





**Ryc. 4.** Wyniki analizy zawartości części organicznych próbek iłu różnymi metodami  
**Fig. 4.** Results of organic matter content analysis of the clay samples by different methods

nych na poziomie 3,82%, co przekracza niemal dwukrotnie wartość graniczną dla gruntów mineralnych (PN-86/B-02480).

Przeszacowanie wartości było przewidywane z powodu dużego wpływu dehydratacji oraz dehydroksylacji. Z drugiej jednak strony, otrzymane wyniki dają podstawy do stwierdzenia, że ta metoda nie może być wykorzystywana nawet jako wstępna szacunkowa, co jest powszechne w praktyce komercyjnej. W badaniu reakcji  $H_2O_2$  z analizowanym gruntem zaobserwowano ujemne wartości części organicznych, wynikające z przeliczenia wzrostu masy próbki. Takie efekty zostały opisane w literaturze (Łuczak-Wilamowska & Wyrwicki, 2000a), w tym również dla podobnych szaro-oliwkowych iłów „marmurkowych” z Niemodlina (Łuczak-Wilamowska & Wyrwicki, 2000b). W wymienionej wcześniej literaturze można znaleźć opis efektu przyrostu masy próbki gruntu zawierającego goethyt w trakcie reakcji z  $H_2O_2$ , wynikający z utleniania  $Fe^{2+}$  zaadsorbowanego na minerałach ilastych (co daje ciemnozieloną barwę) do  $Fe_2O_3$  i powstaniu wodorotlenków. Na podstawie przytoczonego przykładu oraz ustalonego w następnym etapie badań składu mineralnego (m.in. obecności goethytu) można stwierdzić, że powodem przyrostu masy o ok. 0,9% jest utlenienie żelaza i uwodnienie jego związków, takich jak: siarczki żelaza czy chlorki. Kolejne badanie zostało przeprowadzone zgodnie z wytycznymi dla metody Tiurina, jej wyniki dały wartości 0,41–0,71% części organicznych. Zawartość węgla organicznego była ok. dwukrotnie mniejsza.

Tabela 2. przedstawia zbiorcze dane dotyczące zawartości części organicznych w badanym gruncie. Wyniki wcześniej opisywanych metod zostały uzupełnione o wyniki analizy derywatograficznej, jak i uzupełniającego badania dotyczącego reakcji z chlorowodorem. W tabeli umieszczono również informacje pochodzące z literatury na temat typów minerałów ilastych.

Na podstawie analizy termicznej stwierdzono, że badany ił charakteryzuje się bardzo dużą zawartością minerałów ilastych 74,6%, a głównym minerałem jest beidelit – 61,5%. Pobocznie występują kaolinit – 13,1%, przy braku bądź niewielkiej ilości illitu. Z minerałów nieilastych goethyt stanowi 4,1% oraz kwarc (pik kwarcowy w temperaturze 575°C; ryc. 5A) i minerały nieaktywne termicznie – 21,3%. Nie stwierdzono obecności części organicznych w próbce surowej, jedynie niewielkie ilości mogą występować we frakcji poniżej 0,002 mm, na co wskazuje niewielka egzoterma (ryc. 5B) w zakresie temperatur 320–360°C. Na podstawie analizy derywatogramów iłu można określić jakie reakcje zachodzą w gruncie podczas ogrzewania od temperatury 110–440°C, a więc zakresu stosownego w metodzie prażenia: 1,3% to dehydratacja minerałów ilastych, 0,5% – rozkład goethytu, 1,6% – dehydroksylacja minerałów ilastych, co w sumie daje 3,4%, czyli zawartość części organicznych zbliżoną do uzyskanych w metodzie prażenia (3,8%).

Przedstawione wyniki pozwalają określić lokalną ilościową zależność dla analizowanego gruntu pomiędzy uzyskanymi badaniami. Najwyższe wartości otrzymano metodą prażenia, kolejno – siedmiokrotnie niższe wartości uzyskano metodą Tiurina oraz bliskie zeru analizą derywatograficzną. Zaskakujący wynik dała reakcja z wodą utlenioną, ponieważ zaobserwowano przyrost masy próbki podczas badania, co jednocześnie wykluczyło tę metodę z możliwości wykorzystania w analizie iłów miopliocieńskich z obszaru stacji metra Centrum Nauki Kopernik. Wyniki analizy derywatograficznej uznano za referencyjne z powodu kompleksowej i dokładnej analizy reakcji zachodzących w próbce, której oznaczenie dało rezultaty opisywane w literaturze (np. Łuczak-Wilamowska & Wyrwicki, 2000b).

**Tab. 2.** Zestawienia wyników analizy zawartości części organicznych w iłach mioplioceniowych pobranych z podłoża stacji metra Centrum Nauki Kopernik w Warszawie**Table 2.** Comparisons results of organic matter content analysis of Mio-Pliocene clay from the Copernicus Science Centre metro station in Warsaw

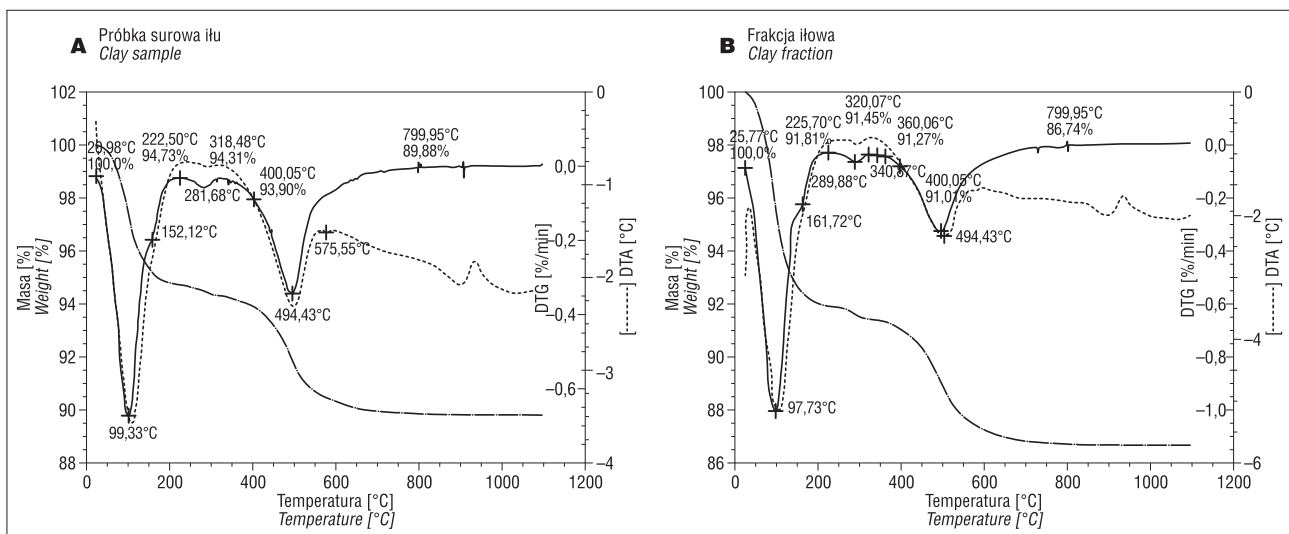
Grunt (lokalizacja) Soil (location)	Wartość parametru Parameter value	Straty prażenia [%] Ignition loss method [%]	Zawartość części organicznych Iom [%] określona metodą wody utlenionej Content of organic matter Iom [%] determined by hydrogen peroxide	Zawartość części organicznych Iom [%] określona metodą Tiurina Content of organic matter Iom [%] determined by Tiurin method	Zawartość węgla organicznego C <sub>org</sub> [%] określona metodą Tiurina Content of organic carbon C <sub>org</sub> [%] determined by Tiurin method	Wyniki analizy termicznej Results of thermal method	Reakcja z HCl Reaction with HCl
Iły mioplioceniowe (stacja metra Centrum Nauki Kopernik w Warszawie) / Mio-Pliocene clay (Copernicus Science Centre metro station in Warsaw)	<i>X</i>	3,82	-0,89	0,51	0,29	– brak części organicznych, – minerały ilaste: beidellit i kaolinit, – minerały nie ilaste: goethyt / – lack of organic matter, – clay minerals: beidellite and kaolinite, – no clay minerals: goethite	– brak węglanów / lock of carbonates
	<i>σ</i>	0,23	0,02	0,12	0,07		
	<i>min</i>	3,57	-0,86	0,41	0,24		
	<i>max</i>	4,20	-0,92	0,71	0,41		
	<i>v</i>	0,06	-0,03	0,23	0,23		
	<i>n</i>	5	3	5	5	7	

*X* – średnia arytmetyczna / arithmetic mean

*σ* – odchylenie standardowe / standard deviation

*min*, *max* – minimalna i maksymalna wielkość parametru / minimum and maximum value

*v* – współczynnik zmienności / coefficient of variation

**Ryc. 5.** Derywatogramy próbki surowej (A) i frakcji iłowej (B) iłu mioplioceniowego z wykopu podłoża pod stacją Centrum Nauki Kopernik II linii metra w Warszawie**Fig. 5.** Thermal analysis curve of clay (A) and clay fraction (B) for a Mio-Pliocene clay sample from the Copernicus Science Centre underground excavation

## PODSUMOWANIE

W prezentowanym artykule przeprowadzono oznaczenie zawartości części organicznych w iłach mioplioceniowych za pomocą czterech metod: analizy strat masy po prażeniu (będącej odwrotnością badania popielności), analizy reakcji wody utlenionej, metody Tiurina oraz termicznej. Grunt został pobrany z wykopu stacji metra Centrum Nauki Kopernik w postaci kilku monolitów. Jako badania wstępne określono cechy podstawowe gruntu, tj.: skład granulometryczny, wilgotność naturalna, gęstości oraz porowatość, których wyniki znajdują potwierdzenie w literaturze.

Pierwszym etapem badań była analiza prażenia, której wynik średniej zawartości części organicznych był równy 3,82%. Następnie wykonano utlenianie części organicznych za pomocą wody utlenionej. W tej metodzie uzyskano ujemny wynik ok. -0,89%, który świadczył o przyroście masy jako rezultat utlenienia żelaza i uwodnienia jego związków.

Po uzyskaniu niewiarygodnych (za wysokich lub ujemnych) wartości zawartości części organicznych, wykonano analizę porównawczą z przeprowadzonymi kolejno badaniami metodą Tiurina oraz termiczną. Wyniki analizy Tiurina oscylowały wokół średniej wartości zawartości części organicznych – 0,51% oraz węgla organicznego – 0,29%.

Natomiast wyniki uzyskane z analizy derywatograficznej (termicznej) wskazały na marginalną zawartość części organicznych oraz dominujący udział beidelitu. Dzięki przeprowadzonej analizie termicznej w zakresie 0–440°C było możliwe odtworzenie reakcji zachodzących w metodzie prażenia. Do temp. 200°C zachodziła dehydratacja (~1,3%), a następnie w 222–320°C – dehydratacja goethytu 0,5% i do 440°C – dehydroksylacja (~1,6%) minerałów ilastych, co tłumaczy zawyżone zawartości części organicznych w metodzie prażenia. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że metodą pozwalającą na stosunkowo szybką i wiarygodną ocenę zawartości części organicznych, wśród najpowszechniej dostępnych metod, jest metoda Tiurina. Dla dokładnej oceny zawartości części organicznych oraz złożonej analizy składu mineralogicznego badanego gruntu jest zalecana metoda termiczna, która pozwala na wykonanie szczegółowych badań.

Autorzy pragną wyrazić podziękowania za pomoc w badaniach laboratoryjnych mgr. L. Kiszczyńskiemu z Uniwersytetu Warszawskiego, a także Recenzentom za cenne uwagi, które przyczyniły się do nadania pracy ostatecznej formy. Badania zostały zrealizowane w ramach projektu DSM 13-03-00-501-86-108031 finansowanego z środków prac statutowych WG UW.

## LITERATURA

- ASTM D 2974-87 Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.  
British Standard BS 1377: Part 3: 1990, p. 4; Determination of mass loss on ignition.  
CHOMA-MORYL K. 1988 – Zmienność własności fizycznych iłów poznańskich okolic Wrocławia na tle ich genezy i lito stratygrafii. *Geologia Sudetica*, 23 (1).  
GERMAN STANDARD DIN 18128 Soil – Investigation and testing - Determination of ignition loss  
DIN 18128, Dezember 2002: Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Glühverlustes.  
GUGiK 1992 – Mapa topograficzna Polski w skali 1 : 10 000. <http://mapy.geoportal.gov.pl/imap/>.  
GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1990 – Grunty spoiste. Wyd. Geol., Warszawa.  
IZDEBSKA-MUCHA D. & WÓJCIK E. 2011 – Analiza parametrów skurczalności gruntów spoistych według różnych norm. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 446: 321–328.  
KACZYŃSKI R. 2007 – Geologiczno-inżynierskie zachowanie się iłów londyńskich i warszawskich. *Geologos*, 11: 481–489.  
KOŚCIÓWKO H. & WYRWICKI R. 1996 – Metodyka badań kopalni ilastych. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
LECHOWICZ Z. & SZYMAŃSKI A. 2002 – Odkształcenia i stateczność nasypów na gruntach organicznych cz. I. *Metodyka badań*. Wyd. SGGW. Warszawa, 22–24.  
ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. & WYRWICKI R. 2000a – Oznaczanie zawartości substancji organicznej metodą utleniania nadtlenkiem wodoru i z pomocą derywatografii. *Gór. Odkryw.*, 42 (2–3): 157–171.  
ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. & WYRWICKI R. 2000b – Substancja organiczna w iłach poznańskich – metodyka ustalania ilości. *Gór. Odkryw.*, 42 (2–3): 172–183.  
MALINOWSKA E. & DOMAŃSKI P. 2013 – Określenie parametrów fizycznych i mechanicznych słabonośnych gruntów organicznych z podłoża trasy S2. *Prz. Nauk. – Inż. Kształt. Środ.*, 60: 147–157.  
MYŚLIŃSKA E. 1998 – *Laboratoryjne badania gruntów* (II wydanie). PWN, Warszawa: 37–38; 53–58; 105–107.  
MYŚLIŃSKA E. 2001 – *Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania*. PWN, Warszawa.  
POLSKA NORMA PN-86/B-02480. Grunty budowlane Określenia, symbole, podział i opis gruntów.  
POLSKA NORMA PN-88/B-04481. Grunty budowlane badania polowe i laboratoryjne.  
STERNIK K. & KANTY P. 2013 – Posadowienie nasypu drogi ekspresowej na gruntach organicznych. *Budownictwo i inżynieria środowiska*, 4: 309–319.  
WYSOKIŃSKI L. 1999 – *Warszawska skarpa śródmiejska od al. Jerozolimskich do ul. Sanguszkii*. Drukarnia Piotra Włodarskiego, Warszawa.  
WYSOKIŃSKI L. 2013 – Ekspertyza dotycząca określenia uwarunkowań realizacyjnych przy budowie tuneli szlakowych D13 tarczami zmechanizowanymi TBM pod Skarpą Warszawską podczas budowy odcinka centralnego II linii metra w Warszawie. *Metro Warszawskie Sp. z o. o.*  
Praca wpłynęła do redakcji 13.02.2015 r.  
Akceptowano do druku 13.07.2015 r.