

## Zmiany mikrostrukturalne past gruntowych pod wpływem ciśnienia ssania

Emilia Wójcik<sup>1</sup>, Jerzy Trzciniński<sup>1</sup>, Katarzyna Łądkiewicz<sup>1</sup>



E. Wójcik

J. Trzciniński

K. Łądkiewicz

**Microstructural changes in remoulded specimens due to suction pressure.**  
Prz. Geol., 61: 74–82.

*Abstract.* This paper presents an issue of microstructural changes in clay soils during the water loss due to increase of suction pressure. The change of microstructure affects the geological engineering properties of soils causes problems with the foundation of buildings. The volumetric changes of cohesive soils, containing significant amounts of clay minerals from the smectite group, are caused by a variable water content in soil. The phenomenon of the moisture change significantly alters the geological engineering properties of these soils as a result of shrinking and swelling.

This paper aims at presenting the microstructural changes in remoulded specimens of Neogene clays caused by loss of moisture due to suction pressure. The scientific examination involved quantitative analyses of the microstructure using scanning electron microscopy (SEM) to study pore space details of remoulded specimens. Tested samples from selected levels of the Neogene clays (Poznan Series) were collected from the Warsaw-Stegny area. Samples were taken from a research polygon for these clay soils. The basic geological engineering properties of clay soils and remoulded specimens have been examined after being prepared according to strictly defined procedures. Through successive stages of the suction pressure (from 50 to 1600 kPa), the samples underwent the process of loss of moisture. Application of a novel method of sample preparation procedure for remoulded specimens allowed examining structurally homogeneous soils and obtaining results without an effect of material anisotropy.

The qualitative and quantitative analysis of soil microstructures were performed using SEM and STIMAN software for quantitative images processing. The analysis allowed determination of the number of geometric and morphometric parameters of the microstructure with high accuracy. Based on this study, significant qualitative and quantitative changes in loss of moisture due to suction pressure in the process of remoulded specimens were noted along with changes in the microstructure and pore space of clay soils. The obtained results showed the effect of successive stages of "closing" of the structure of cohesive soils. Microstructural changes have a significant influence on the values of clay soil properties during the shrinkage and swelling process, which are caused by changes in the water content.

**Keywords:** microstructure, pore space, Neogene clay, suction pressure



Specyficzna reakcja na działanie wody wyrażona zdolnością do zmian objętości pod wpływem wahań wilgotności jest typowa dla gruntów spoistych zawierających znaczne ilości minerałów ilastych,

zwłaszcza z grupy smektytu. Na intensywność zjawisk powodujących zmiany deformacyjne gruntu wpływają m.in. jego struktura i mikrostruktura, skład mineralny i granulometryczny, wilgotność oraz chemizm wód porowych (Grabowska-Olszewska, 1998). Zmiany objętości pod wpływem oddziaływania wody są charakterystyczne dla specjalnej grupy gruntów, nazywanych gruntami ekspansywnymi, które w kontakcie z wodą wykazują wzrost objętości (pęcznienie), a w wyniku przesuszania – spadek objętości (skurcz). Obydwa zjawiska znacznie zmieniają parametry geologiczno-inżynierskie gruntów i wymagają odpowiednich rozwiązań posadowienia i zabezpieczenia budowli. Rzetelna ocena podatności gruntów na zmiany objętościowe (deformacyjne) ma znaczenie praktyczne, gdyż te występujące w podłożu gruntowym zjawiska negatywnie wpływają na stateczność obiektów budowlanych.

W gruntach ekspansywnych zachodzi zjawisko ssania. W istotny sposób wpływa ono na zmianę właściwości gruntów, zwłaszcza na stopień nasycenia i wskaźnik porowatości (Sudjianto i in., 2011). Ciśnienie ssania jest siłą utrzymującą określoną ilość wody w gruncie i kompensuje naprężenia powstające podczas skurczu.

W pracy scharakteryzowano zmiany wybranych właściwości gruntów wywołane utratą wilgoci pod wpływem ciśnienia ssania. Proces oddawania wody był wymuszony ściśle określonym ciśnieniem zadawanym podczas badania. Wodę z gruntów wypierano metodami nadciśnieniowymi, przy użyciu talerzy ciśnieniowych firmy Soilmoisture Equipment Corp. (Lee & Wray, 1995). Udokumentowana badaniami zależność zmian wilgotności gruntu od ciśnienia ssania jest wynikiem procesu desorpcji wody.

W artykule przedstawiono zmiany mikrostrukturalne past gruntowych po kolejnych etapach poddawania ich ciśnieniu ssania, zmienianym w zakresie 50–1600 kPa. Analizie poddano wyniki jakościowych i ilościowych badań mikrostrukturalnych past gruntowych z zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Podobne badania mikrostrukturalne z wykorzystaniem środowiskowego skaningowego mikroskopu elektronowego (ESEM) prowadzili też Viola i in. (2005).

Przedmiotem analiz były neogeńskie (mio-plioceńskie) ility serii poznańskiej rejonu Warszawa-Stegny, miejscami zalegające dość płytko i tym samym stanowiące podłoże budowlane wielu obiektów powstających w Warszawie (m.in. podziemnego tunelu metra). W artykule zamieszczono wyniki badań pasty gruntowej przygotowanej z iłów pobranych z poligonu badawczego Stegny, które odpowiadają facji iłów zielonych. Zastosowane podejście badawcze, polegające na porównaniu parametrów oznaczonych na pastach gruntowych z parametrami gruntów natural-

<sup>1</sup>Institut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; ewojcik@uw.edu.pl.

nych, jest powszechnie stosowane (Szczepański, 2007). Pozwala ono na rozdzielenie tej części właściwości gruntu, za które odpowiada sam materiał w rozumieniu jego cech petrograficzno-mineralogicznych, czyli właściwości wrodzonych, od właściwości będących wynikiem zjawisk, procesów i przeobrażeń związanych z historią geologiczną, czyli z diagenetą. Koncepcję określania inherentnych (wrodzonych) właściwości danego gruntu (*intrinsic properties*) wprowadził Burland (1990).

## GEOLOGIA IŁÓW SERII POZNAŃSKIEJ

Przykładem gruntów spoistych zalegających w rejonie Warszawy są iły serii poznańskiej. Występują one niemal na całym obszarze Niziny Polskiej. Seria poznańska jest wykształcona w postaci ilastych, a podrzędnie pylasto-piaszczystych osadów powstałych w rozległym, płytkim śródlądowym zbiorniku wodnym. W obrębie obszaru ich występowania wydziela się trzy najlepiej rozpoznane rejony: A – północno-wschodni, B – centralny, C – południowo-zachodni (Grabowska-Olszewska, 1998).

Osady serii poznańskiej są datowane na okres od środkowego miocenu przez miocen górny aż po pliocen dolny (Piwocki, 2002). Tworzą trzy poziomy litostratygraficzne, których utwory różnią się środowiskiem powstania, warunkami geochemicznymi i składem mineralnym frakcji iłowej. Dolne poziomy, których sedimentacja zachodziła w środowisku bagiennym, mają barwę szarą. W środkowych partiach dominuje barwa zielona, a niekiedy niebieska, charakterystyczna dla warunków redukcyjnych. W górnych poziomach pojawiają się partie o barwie szarej i szaro-zielonej z brunatno-czerwonymi smugami, świadczące o depozycji w środowisku utleniającym (Dyjur, 1992).

Na wykształcenie, miąższość i obecną głębokość zalegania serii poznańskiej miały wpływ późniejsze procesy geologiczne, głównie erozja, zjawiska glaciektone oraz procesy odprężeniowe i wietrzeniowe. Maksymalna pierwotna miąższość iłów neogeńskich w rejonie Warszawy jest szacowana na 150 m (Frankowski & Wysokiński, 2000), jednak w wyniku działania tych procesów uległa ona redukcji i obecnie zmienia się w zakresie 50–150 m, a same iły zalegają pod niewielkim nakładem utworów czwartorzędowych lub bezpośrednio na powierzchni terenu. Ich wychodnie obserwuje się w obrębie krawędzi wysoczyzny na lewym brzegu rzeki Wisły i pod jej korytem. Iły są silnie zaburzone glaciektonicznie, występują w nich szerokopromienne fałdy oraz liczne deformacje nieciągłe (Brykczyńska & Brykczyński, 1974).

Jednym z najlepiej rozpoznanych rejonów występowania iłów w Warszawie jest obszar poligonu badawczego na Stegnach, zlokalizowany przy ul. Warneńskiej na terenie dzielnicy Mokotów (ryc. 1A, B). Stanowi on miejsce badań geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych dotyczących osadów serii poznańskiej, prowadzonych przez różne ośrodki badawcze. Kompleks iłów występuje na głębokości 4 m p.p.t., a jego miąższość jest szacowana na 142 m. Warunki wodno-gruntowe są dokładnie rozpoznane sondowaniami CPTU do głębokości 46 m p.p.t. Ponadto od 2002 r. na bieżąco jest monitorowany rozkład ciśnień porowych w piezometrach do głębokości 36 m (Barański & Wójcik, 2007).

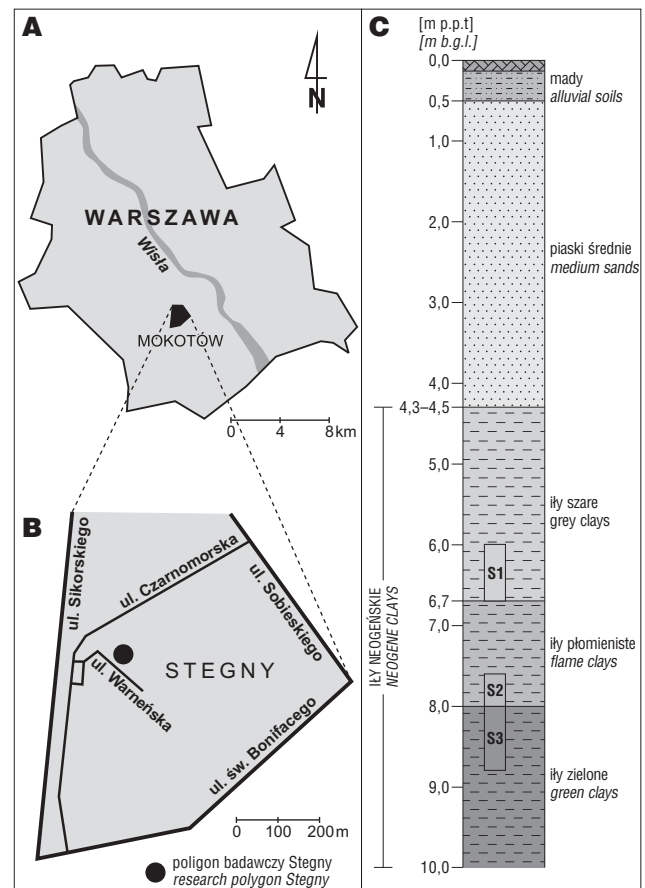
W ramach badań prowadzonych na poligonie badawczym Stegny pobrano próbki gruntów z trzech poziomów iłów: szarych (próbka S1), płomienistych (próbka S2) i zielonych (próbka S3). Głębokość pobrania rdzeni gruntowych

wynosiła: 6,0–6,7 m (próbka S1), 7,6–8,0 m (próbka S2) i 8,0–8,7 m (próbka S3) (ryc. 1C).

## WŁAŚCIWOŚCI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE

Wyniki badań składu granulometrycznego analizowanych gruntów zamieszczono w tabeli 1. Badania przeprowadzono zgodnie z polskimi normami PN-B-04481:1988 i PN-B-02480:1986. Pod względem granulometrycznym wszystkie analizowane próbki serii poznańskiej reprezentują iły, w których zawartość poszczególnych frakcji wynosi:  $f_i - 60-80\%$ ,  $f_{\pi} - 18-37\%$ ,  $f_p < 9\%$ .

Skład mineralny badanych iłów określono na podstawie analizy rentgenostrukturalnej. Badania wykonano metodą proszkową, za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego (model X'Pert PRO MPD firmy Panalytical). Zastosowano standardową procedurę przygotowania i analizy próbek o dużej zawartości minerałów ilastych (Kulesza-Wiewióra, 1990). Analizom poddano następujące typy preparatów:



**Ryc. 1.** A – lokalizacja terenu badań na tle granic administracyjnych Warszawy, B – fragment osiedla Stegny z lokalizacją poligonu badawczego, C – schematyczny profil litologiczny wiercenia na poligonie badawczym. S1, S2, S3 – oznaczenie przedziałów głębokościowych rdzeni, z których pobrano próbki do badań

**Fig. 1.** A – location of the study area against a background of the administrative boundaries of Warsaw, B – the part of the city estate with the location of research testing ground, C – a schematic lithological profile of the test drilling from research testing ground. S1, S2, S3 – indication of core samples which were taken for testing

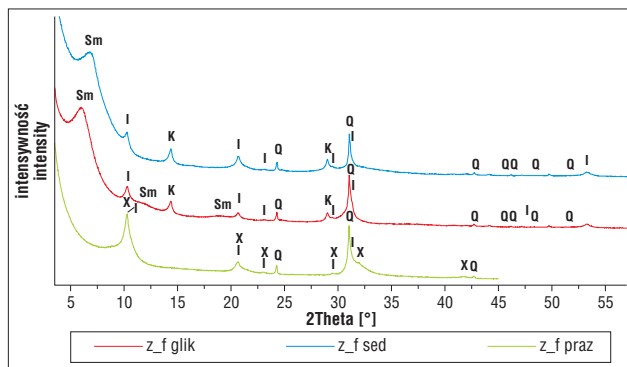
sedymentowany, po glikolowaniu oraz po prażeniu w temperaturze ok. 500°C przez 3 h. Do badania użyto lampy kobaltowej. Zastosowano następujące warunki rejestracji: zakres kątowy pomiaru 0–57°, krok 0,026° 2Theta, napięcie pobudzające 40 kV, 30 mA. Wyniki badań (ryc. 2)

**Tab. 1.** Skład granulometryczny iłów neogeńskich ze Stegien  
**Table 1.** Granulometric composition of Neogene clays from Stegny

Symbol próbki Sample symbol	Frakcja Grain size			Rodzaj i symbol gruntu Soil type and symbol
	piaskowa/sand 2–0,05 mm	pyłowa/silt 0,05–0,002 mm	iłowa/clay <0,002 mm	
	$f_p$ [%]	$f_\pi$ [%]	$f_i$ [%]	
S1	2	18	80	ił/clay (I)
S2	8	20	72	ił/clay (I)
S3	–	37	63	ił/clay (I)
S3z	9	31	60	ił/clay (I)

S1 – iły szare, S2 – iły płomieniste, S3 – iły zielone, S3z – pasta wykonana z iłów zielonych.

S1 – grey clays, S2 – flame clays, S3 – green clays, S3z – remoulded green clays.



**Ryc. 2.** Dyfraktogramy analizy rentgenostrukturalnej iłów ze Stegien. Objaśnienia: Sm – smektyty, I – illit, K – kaolinit, Q – kwarc, X – faza krystaliczna zbliżona do łuszczyków, z\_f glik – próbka po glikolowaniu, z\_f sed – próbka po sedymentacji, z\_f praz – próbka po wygrzewaniu

**Fig. 2.** Diffractograms of XRD analysis for clays from Stegny. Explanations: Sm – smectite, I – illite, K – kaolinite, Q – quartz, X – crystalline phase similar to mica group, z\_f glik – sample after ethylene glycol treatment, z\_f sed – sample after sedimentation, z\_f praz – sample after heat treatment

**Tab. 2.** Skład mineralny iłów neogeńskich ze Stegien na podstawie analizy DTA  
**Table 2.** Mineral composition of Neogene clays from Stegny based on DTA analysis

Skład mineralny Mineral composition	Symbol próbki/ Sample symbol			
	S1	S2	S3	S3z
Minerały ilaste/ Clay minerals [%]	79,3		64,5	
Beidelit – B/ Beidellite – B [%]	61,9	49,4	50,0	45,7
Kaolinit – K/ Kaolinite – K [%]	17,4	17,4	14,5	8,1
Proporcja B <sup>%</sup> : K <sup>%</sup> / Proportion B <sup>%</sup> : K <sup>%</sup>	B <sup>78</sup> : K <sup>22</sup>		B <sup>78</sup> : K <sup>22</sup>	
Getyt Goethite [%]	4,0		7,2	
Kwarc i składniki termicznie nieaktywne Quartz and thermally inactive components [%]	16,7		28,3	
Suma Total [%]	100,0		100,0	

wykazały, że głównymi fazami mineralnymi występującymi w iłach są minerały ilaste z grupy smektytu, illitu i kaolinitu oraz kwarc.

Dodatkowo przeprowadzono badania składu mineralnego z zastosowaniem analizy derywatograficznej w aparacie Q600 firmy TA Instrument i opracowano je z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania. Otrzymane wyniki wskazują, że analizowane iły są polimineralnymi osadami o składzie mineralnym frakcji iłowej z przeważającą ilością minerału z grupy smektytów – beidelitu (45,7–61,9%). Krzywe DTA i TG zinterpretowano zgodnie z metodyką podaną przez Wyrwickiego i Kościówko (1996) i stwierdzono, że temu minerałowi o silnych właściwościach hydrofilnych towarzyszy w zmiennych proporcjach kaolinit (8,1–17,4%), a zawartość illitu jest zredukowana do zera. Dodatkowo występują kwarc i składniki termicznie nieaktywne (16,7%–42,3%). Akcesorycznie obecny jest getyt, którego ilość nie przekracza 9% (tab. 2). Otrzymane wyniki, świadczące o ilościowej przewodzie minerałów grupy smektytu, głównie beidelitu, są zgodne z beidelitowym typem iłów formacji poznańskiej rejonu Warszawy odnotowanym w charakterystyce mineralogicznej podanej przez Wyrwickiego (1998).

W tabeli 3 zestawiono wartości wybranych parametrów fizycznych badanych gruntów. Ich analiza pozwala stwierdzić, że:

– grunty naturalne wykazują wilgotność naturalną niższą od granicy plastyczności, przy czym  $w_s < w_n < w_p < w_L$ , co wskazuje, że iły te charakteryzują się stanem półwartym (próbka iłu S1 i S2), a niekiedy stanem twardoplastycznym, dla wilgotności naturalnej wyższej od wilgotności granicy plastyczności (próbka S3);

– dla wszystkich analizowanych próbek gruntów naturalnych, podobnie jak dla przygotowanej pasty gruntowej, duży wpływ na kształtowanie się plastyczności ma procentowa zawartość frakcji iłowej. Analizowane próbki wykazują wyższe wartości granic konsystencji wraz ze wzrostem zawartości frakcji iłowej;

– wartość wskaźnika plastyczności  $I_p$  wzrasta wraz ze zwiększaniem procentowej zawartości frakcji iłowej i jest większa od 30%, co oznacza, że badane iły to grunty bardzo spoiste;

– parametry określające charakterystykę trójfazową gruntów naturalnych wynoszą: gęstość objętościowa gruntu – 1,88–2,05 Mg/m<sup>3</sup>, gęstość objętościowa szkieletu – gruntowego 1,44–1,61 Mg/m<sup>3</sup>, porowatość – 40,6–47,1%, wskaźnik porowatości – 0,69–0,90;

– aktywność według Skempton (1953) wynosi 0,67–0,75, więc badane grunty można zaklasyfikować do grupy nieaktywnych i normalnych.

W tabeli 3 zamieszczono też wyniki badań podstawowych parametrów fizycznych pasty gruntowej, której przygotowanie przebiegało w kilku etapach. Wstępnie rozdrobniony grunt wysuszono w warunkach powietrzno-suchych. Następnie próbkę roz tarto w móżdżerzu agatowym. Rozdrobniony w ten sposób grunt dokładnie wymieszano z wodą destylowaną do momentu uzyskania jednolitej masy, tak aby jej wilgotność wynosiła pomiędzy  $w_L$  a  $1,5 w_L$ . Zastosowana metodyka jest zgodna z procedurą opisaną przez Burlanda (1990). Otrzymano wilgotność początkową wskazującą na płynny stan wyjściowy przygotowanej pasty gruntowej. Dokładne wymieszanie pasty gruntowej pozwoliło zminimalizować ilość pęcherzyków powietrza i grudek. Przygotowany w ten sposób grunt przeniesiono do metalowych cylindrów i przystąpiono do procesu konsolidacji w jednoosiowych warunkach, pod obciążeniem 30 kPa. Pastę stopniowo obciążano przez okres 2 miesiące, a cylindry zabezpieczono przed wysychaniem.

Najczęściej grunty w warunkach naturalnych są niejednorodnie i anizotropowe. Dzięki zastosowaniu do badań past gruntowych uzyskano efekt jednorodności strukturalno-teksturalnej, co umożliwiło przeanalizowanie faktycznych zmian mikrostrukturalnych podczas procesu utraty wilgoci pod wpływem ciśnienia ssania. Zagwarantowało to również otrzymanie porównywalnych wyników, jakie można uzyskać, prowadząc badania na jednolitym materiale – gruncie modelowym.

## ANALIZA MIKROSTRUKTURALNA

### Metodyka badań mikrostrukturalnych

Do badań pasty gruntowej zastosowano ilościową analizę mikrostrukturalną z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego. Metodykę tej analizy szczegółowo opisał Trzciniński (1998, 2004). Próbki pasty gruntowej do badań mikrostrukturalnych przygotowano i pobierano według ściśle określonej procedury. Po zakończeniu każ-

dego kolejnego etapu o zadanej wartości ciśnienia ssania pobierano do analizy próbkę pasty gruntowej. Dodatkowo pobrano próbki z pasty wyjściowej w stanie płynnym, której wilgotność była bliska wilgotności granicy płynności –  $w_L$ , oraz z pasty po zakończeniu całego cyklu badań, którą wysuszono na powietrzu, a następnie w temperaturze 105–110°C. Z pobranych próbek wycinano prostopadłościenną kostkę o objętości ok. 1 cm<sup>3</sup> i poddawano je kolejnym etapom przygotowań do analizy (Trzciniński, 1998). Następnie przeprowadzono jakościową i ilościową analizę mikrostrukturalną w SEM. Analiza jakościowa obejmowała określenie typu mikrostruktury oraz opis elementów strukturalnych szkieletu mineralnego, stopnia ich upakowania, rodzaju kontaktów między nimi i charakterystykę przestrzeni porowej. W wyniku analizy ilościowej uszczegółowiono opis jakościowy w zakresie morfometrycznych (powierzchnia, obwód, średnica) i geometrycznych (forma – kształt, anizotropia – stopień orientacji) parametrów przestrzeni porowej. Wykonano po sześć analiz dla każdego rodzaju pobranej próbki. Jakościową analizę mikrostrukturalną past gruntowych przeprowadzono na podstawie serii zdjęć, stosując powiększenia 200–6500-krotne, które wykonano z zastosowaniem SEM (model Jeol JSM 6380LA). Ilościową procedurę badań przeprowadzono zgodnie z instrukcją specjalistycznego oprogramowania STIMAN stosowanego do analizy obrazów z SEM (Sokolov i in., 2002). Badania wykonano w Laboratorium Skaningowej Mikroskopii Elektronowej i Mikroanalizy Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego.

### Charakterystyka jakościowa

Do opisu jakościowego mikrostruktur past gruntowych zastosowano terminologię i klasyfikację Sergejewa i in. (1980) oraz Grabowskiej-Olszewskiej i in. (1984). Wyniki badań przedstawiono na rycinie 3 w postaci zestawienia fotografii, które reprezentują wybrane powiększenia i etapy badań ciśnienia ssania.

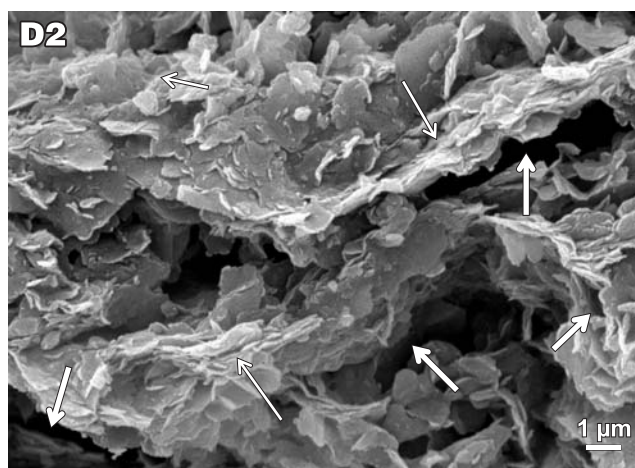
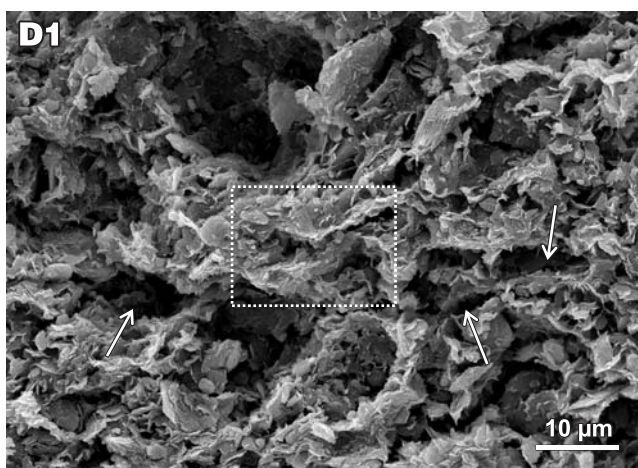
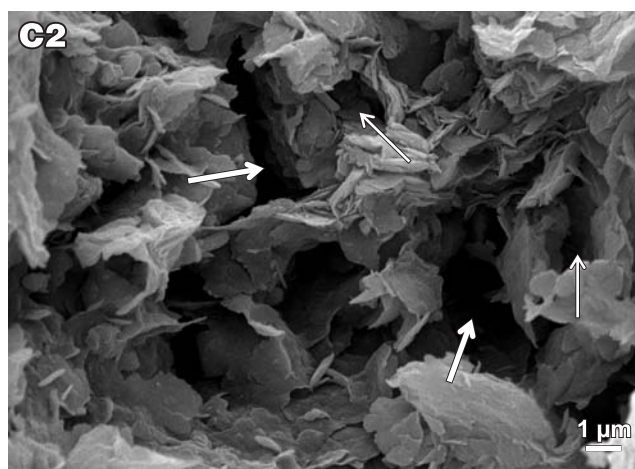
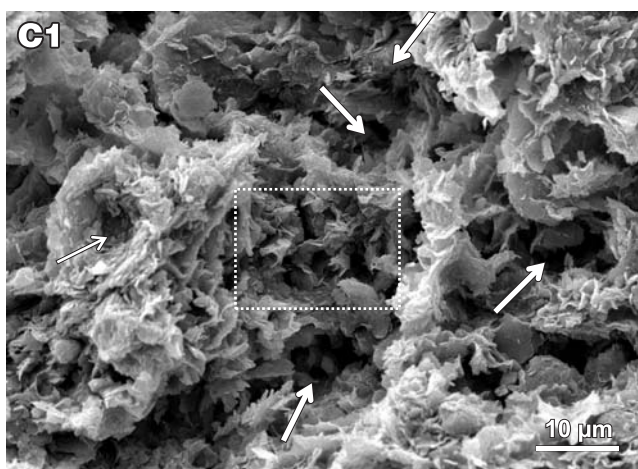
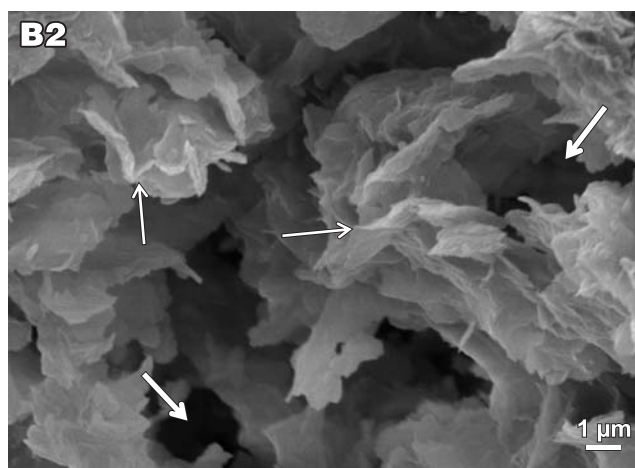
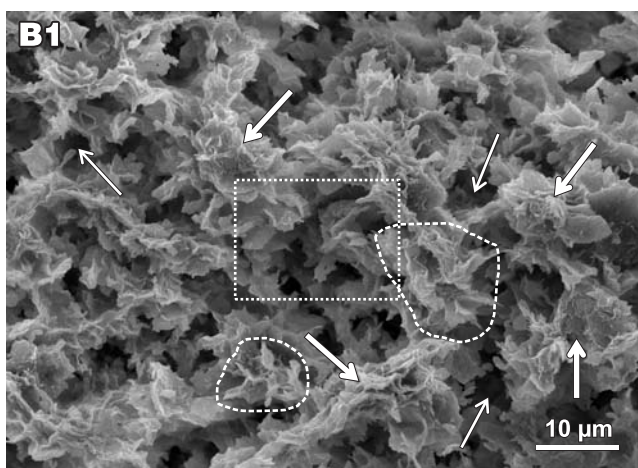
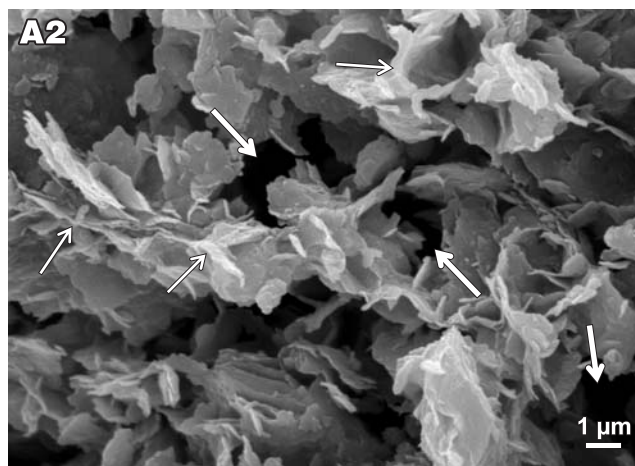
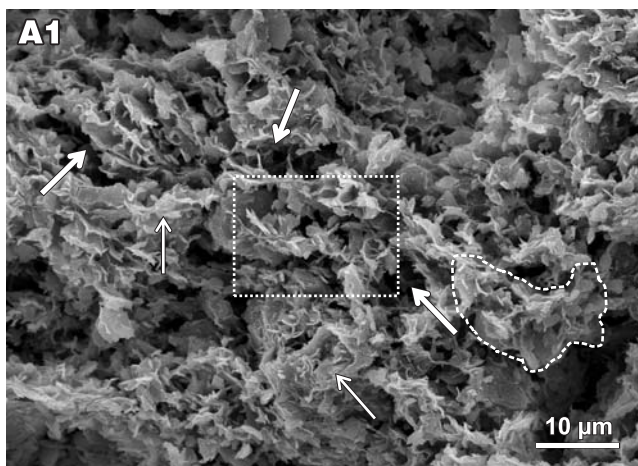
Pasta wyjściowa (ryc. 3 – A1, A2) ma mikrostrukturę typu komórkowego. Mikrostruktura ta jest zbudowana z wielobocznych, izometrycznych komórek, których

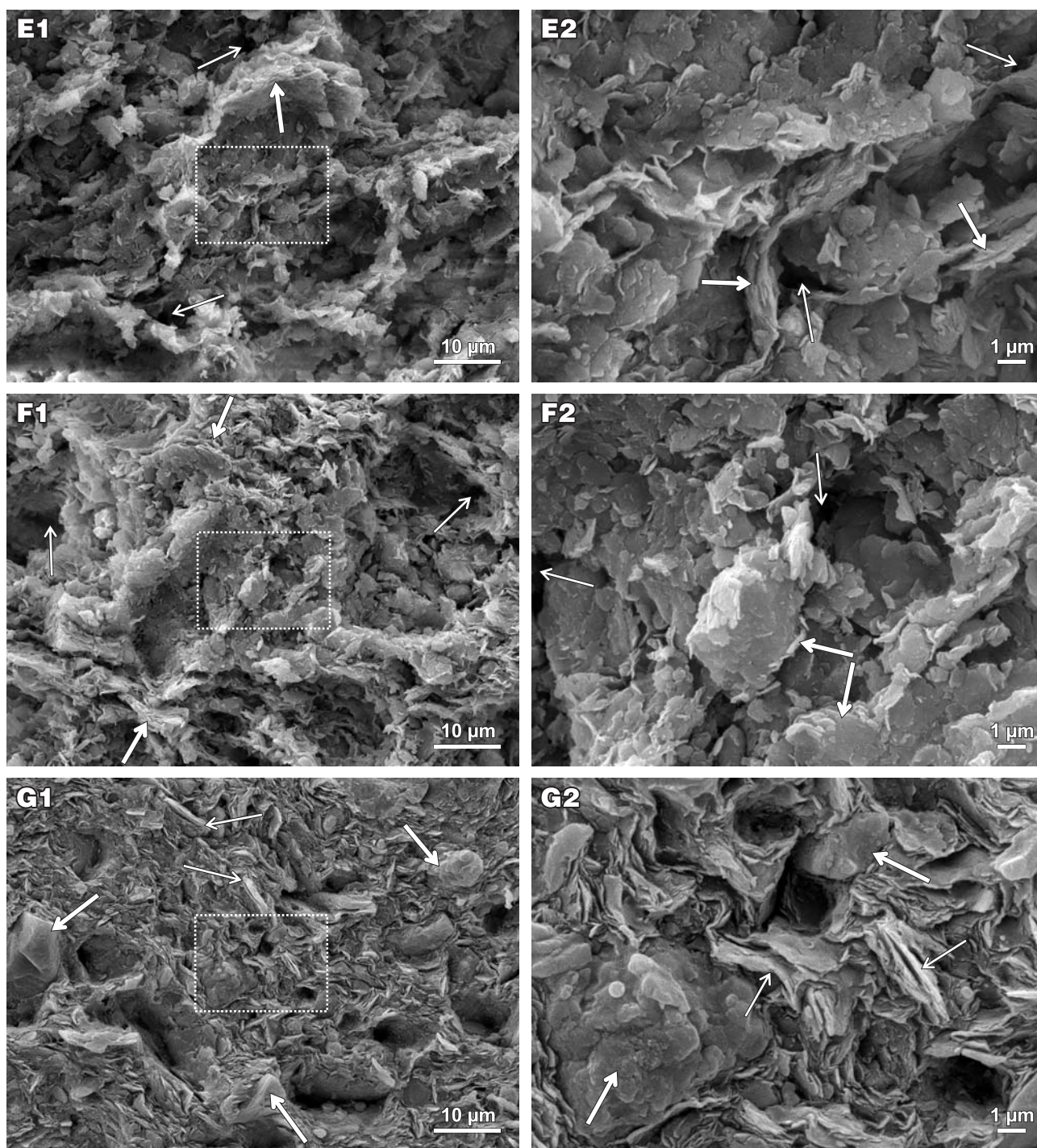
**Tab. 3.** Wybrane właściwości geologiczno-inżynierskie ilów neogeńskich ze Stegien oraz pasty gruntowej  
**Table 3.** Selected geological and engineering properties of Neogene clays and remoulded specimen from Stegny

Symbol próbki Sample symbol	Właściwości geologiczno-inżynierskie Geological and engineering properties												
	Wilgotność naturalna Water content $w_n$ [%]	Gęstość właściwa Solid density $\rho_s$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Gęstość objętościowa Wet density $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego Dry density $\rho_d$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Porowatość Porosity $n$ [%]	Wskaźnik porowatości Void ratio $e$ [–]	Granica plastyczności Plastic limit $w_p$ [%]	Granica płynności Liquid limit $w_L$ [%]	Wskaźnik plastyczności Plasticity index $I_p$ [%]	Stopień plastyczności Liquidity index $I_L$ [–]	Granica skurczalności Shrinkage limit $w_s$ [%]	Stopień nasycenia Degree of saturation $S_r$ [–]	Aktywność Activity $A$ [–]
S1	31,0	2,72	1,88	1,44	47,1	0,90	41,0	96,0	55,0	–0,18	13,5	0,94	0,69
S2	31,7	2,69	1,95	1,48	45,0	0,82	35,0	83,0	48,0	–0,07	13,8	1,04	0,67
S3	27,5	2,71	2,05	1,61	40,6	0,69	22,5	69,5	47,0	0,11	12,3	1,08	0,75
S3z	78,3*	2,66	–	–	–	–	24,0	68,3	44,3	1,23	11,4	–	0,70

\*Wilgotność początkowa pasty gruntowej.

\*Initial water content of remoulded specimen.





**Ryc. 3.** Mikrostruktury past gruntowych. **A1, A2** – pasta wyjściowa; **B1, B2** – pasta po badaniu pod ciśnieniem 100 kPa; **C1, C2** – pasta po badaniu pod ciśnieniem 200 kPa; **D1, D2** – pasta po badaniu pod ciśnieniem 300 kPa; **E1, E2** – pasta po badaniu pod ciśnieniem 400 kPa; **F1, F2** – pasta po badaniu pod ciśnieniem 1600 kPa; **G1, G2** – pasta po wysuszeniu. Powiększenia fotografii: A1, B1, C1, D1, E1, F1, G1 –  $\times 1600$ ; A2, B2, C2, D2, E2, F2, G2 –  $\times 6500$ . Prostokątna obwiednia (przerwana linia) – obszar powiększony na sąsiedniej fotografii. Szczegółowy opis mikrostruktur w tekście

**Fig. 3.** Microstructures of remoulded specimen. **A1, A2** – output specimen; **B1, B2** – remoulded specimen after test under pressure 100 kPa; **C1, C2** – remoulded specimen after test under pressure 200 kPa; **D1, D2** – remoulded specimen after test under pressure 300 kPa; **E1, E2** – remoulded specimen after test under pressure 400 kPa; **F1, F2** – remoulded specimen after test under pressure 1600 kPa; **G1, G2** – remoulded specimen after drying. Magnifications of the photographs: A1, B1, C1, D1, E1, F1, G1 –  $\times 1600$ ; A2, B2, C2, D2, E2, F2, G2 –  $\times 6500$ . Rectangular border (dotted line) – enlarged area on the next photograph. See text for detailed description of the microstructures

ściany stanowią cząstki i mikroagregaty ilaste. Komórki tworzą mikropory o zróżnicowanych (3–10  $\mu\text{m}$ ) wymiarach (ryc. 3 – A1 i A2, grube strzałki). Struktura jest bardzo słabo upakovana. Mikroagregaty ilaste łączą się ze sobą najczęściej według kontaktów typu krawędź–krawędź (E–E)

(ryc. 3 – A2, lewa cienka strzałka) i płaszczyzna–krawędź (F–E) (ryc. 3 – A2, cienkie strzałki). W niektórych miejscach mikroagregaty ilaste są połączone w większe elementy strukturalne – agregaty o silniejszym upakovaniu (ryc. 3 – cienkie strzałki i obwiednia linią przerywaną na

fotografii A1). Brak jest orientacji elementów strukturalnych, ale w niektórych miejscach można zauważyć słabą orientację mikroagregatów ilastych, które połączone są w długie ciągi ukierunkowane lekko skośnie, o przebiegu z lewej górnej do prawej dolnej strony zdjęcia (ryc. 3 – A1).

Mikrostruktura komórkowa pasty wyjściowej uległa wyraźnej zmianie po badaniu pod ciśnieniem 100 kPa (ryc. 3 – B1, B2). Na fotografiach objawia się to efektem pozornego przybliżenia, co jest spowodowane połączeniem mniejszych elementów strukturalnych w większe. Większość mikroagregatów ilastych utworzyła większe elementy strukturalne – agregaty o jeszcze silniejszym upakowaniu niż w paście wyjściowej (ryc. 3 – B1, grube strzałki). Przypominają one rozwinięte pąki kwiatów lub gwiazdziste elementy, w których do jądra – centralnie zwiniętego mikroagregatu – promieniście podoczepiane są płaskie mikroagregaty (ryc. 3 – B1, obwiednie zaznaczone linią przerywaną). Nastąpiła jakościowa i ilościowa zmiana w rozkładzie izometrycznych komórkowych mikroporów. Duże komórki mikroporów zmniejszyły się do 2–5  $\mu\text{m}$  (ryc. 3 – cienkie strzałki na zdjęciu B1, grube strzałki na zdjęciu B2), a mniejsze komórkowe pory uległy całkowitemu zamknięciu. Mikroagregaty ilaste łączą się najczęściej według typu płaszczyzna–krawędź (F–E) (ryc. 3 – B2, cienkie strzałki). Orientacja elementów strukturalnych nie występuje.

Po kolejnym etapie badań, pod ciśnieniem 200 kPa, pasta gruntowa zmieniła mikrostrukturę na typ matrycowy o słabym stopniu upakowania (ryc. 3 – C1, C2). Mikrostruktura matrycowa jest zbudowana z masy ilastej, czyli tzw. matrycy, w której tkwią pojedyncze ziarna pylaste. Na omawianych zdjęciach ziarna pylaste nie są widoczne, ponieważ były słabo związane z matrycą ilastą i w trakcie czyszczenia powierzchni preparatu zostały usunięte. Pozostały po nich tylko puste zagłębienia (ryc. 3 – C1, cienka strzałka). Matrycę ilastą tworzą mikroagregaty oraz agregaty ilaste i ilasto-pylaste. Mikroagregaty ilaste kontaktują się ze sobą głównie według typu płaszczyzna–płaszczyzna (F–F) oraz podrzędnie według typu F–E i E–E. Przestrzeń porowa ma charakter rozwinęty i składa się z większych, izometrycznych porów międzyagregatowych (ryc. 3 – C1, grube strzałki), a także mniejszych, izometrycznych porów międzymikroagregatowych (ryc. 3 – C2, grube strzałki) oraz wewnątrzmikroagregatowych (ryc. 3 – C2, cienkie strzałki). Brak jest uprzywilejowanej orientacji elementów strukturalnych.

Po badaniu pod ciśnieniem 300 kPa (ryc. 3 – D1, D2) mikrostruktura pasty gruntowej tylko nieznacznie zmieniła się w porównaniu do pasty z poprzedniego etapu badań. W niewielkim stopniu wzrosło upakowanie elementów strukturalnych. Mikropory z izometrycznych zmieniły się na anizometryczne (ryc. 3 – cienkie strzałki na fotografii D1, grube strzałki na fotografii D2). Wzrosła orientacja elementów strukturalnych oraz ilość kontaktów typu F–F (ryc. 3 – D2, cienkie strzałki). Mikrostruktura stała się bardziej zorientowana.

Obrazy mikrostrukturalne pasty po badaniu pod ciśnieniem 400 kPa (ryc. 3 – E1, E2) i 1600 kPa (ryc. 3 – F1, F2) są do siebie bardzo podobne. W stosunku do obrazów poprzedniej pasty znacznie wzrosło upakowanie elementów strukturalnych (do poziomu mikrostruktury średnio upakowanej). Mikropory prawie zniknęły; pozostały tylko najmniejsze, o średnicy do 1  $\mu\text{m}$  (ryc. 3 – cienkie strzałki na zdjęciach E1, E2, F1, F2). Wyraźnie zwiększyła się orientacja elementów strukturalnych, szczególnie dobrze

widoczna w dolnej części fotografii F1. Ilościowo przeważają kontakty typu F–F (ryc. 3 – E1, E2, F1 i F2, grube strzałki). Mikrostruktura stała się jeszcze bardziej zorientowana.

Po zakończeniu cyklu badawczego i wysuszeniu pasty jej obraz mikrostrukturalny zmienił się bardzo silnie (ryc. 3 – G1, G2) w stosunku do past z poprzednich etapów badań. Nastąpiła kolejna modyfikacja typu mikrostrukturalnego – na turbulentny. Masa ilasta tworzy w nim ukierunkowane „strumienie” cząstek i mikroagregatów ilastych o orientacji poziomej i skośnej (od lewej górnej do prawej dolnej części fotografii), w której tkwią pojedyncze ziarna pylaste (ryc. 3 – G1 i G2, grube strzałki). Masa jest silnie upakowana i wyraźnie zorientowana. Cząstki ilaste ściśle otaczają ziarna pylaste, a powierzchnia ziaren jest nimi pokryta (ryc. 3 – G2, dolna gruba strzałka). Pomiędzy ciasno upakowanymi mikroagregatami ilastymi z orientacją cząstek według kontaktów typu F–F (ryc. 3 – G1 i G2, cienkie strzałki) dominują anizometryczne i szczelinowate mikropory. Przeważają kontakty typu F–F oraz E–E. Mikrostruktura jest silnie upakowana i wysoko zorientowana.

### Analiza parametrów ilościowych

Wyniki badań otrzymane na podstawie ilościowej analizy mikrostrukturalnej w SEM przedstawiono w tabeli 4. Z danych wynika, że wartości ilościowych parametrów mikrostrukturalnych pasty gruntowej uległy wyraźnym zmianom na skutek wzrostu ciśnienia ssania. Stwierdzono systematyczny spadek wartości porowatości  $n$ , która wynosiła 37,9% w paście wyjściowej, 37,2–33,2% w pastach w trakcie badań przy wzrastającym ciśnieniu ssania i 30,7% w paście wysuszonej. Jednocześnie zmniejszyły się też wartości całkowitej, średniej i maksymalnej powierzchni porów  $S$ , średniej i maksymalnej średnicy porów  $D$  oraz obwodu porów  $P$ . Wzrostowa tendencja jest widoczna dla wartości liczby porów  $N$  (parametr zwiększył się niemal czterokrotnie) oraz całkowitego obwodu porów  $P$  (parametr wzrósł ponad dwukrotnie).

Istotnie zmieniły się także wielkości i kształty porów. Na skutek utraty wilgoci pod wpływem ciśnienia ssania zmniejszyła się ilość mezoporów, a wzrosła ilość mikroporów. W przebadanych pastach przeważają pory anizometryczne, a ich ilość podczas wzrostu ciśnienia również wzrasta. Zwiększa się też ilość porów szczelinowatych, których z kolei jest najmniej. Procentowo porów izometrycznych jest mniej niż anizometrycznych, ale więcej niż szczelinowatych, a ich ilość zmniejsza się wraz ze wzrostem ciśnienia ssania. Wartość wskaźnika anizotropii mikrostruktury  $K_a$  wzrasta w zakresie 11,8–44,2%, co powoduje również wzrost stopnia orientacji mikrostruktury badanych past od średnio do wysoko zorientowanej. Wartość przeważającego kierunku orientacji porów  $\alpha$  wzrasta, zmieniając się w przedziale 48,1–146,8°.

Nie zaobserwowano istotnych zmian minimalnych wartości średnicy, powierzchni i obwodu porów oraz maksymalnej wartości współczynnika formy porów  $K_f$ .

### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Parametry geologiczno-inżynierskie ilów poznańskich poddanych badaniom pozwalają zaliczyć je do gruntów bardzo spoistych, o wysokiej, bardzo wysokiej i ekstremalnie wysokiej plastyczności oraz wysokim, bardzo wysokim i ekstremalnie wysokim pęcznieniu, a także bardzo

**Tab. 4.** Ilościowe parametry mikrostrukturalne pasty gruntowej  
**Table 4.** Quantitative parameters of the microstructure for remoulded specimen

Parametr Parameter	Symbol próbki/ Sample symbol								
	S3z.0	S3z.50	S3z.100	S3z.200	S3z.250	S3z.300	S3z.400	S3z.1600	S3z.wys
Porowatość/ Porosity $n$ [%]	37,9	37,2	36,3	36,9	35,2	34,4	34,3	33,2	30,7
Liczba porów/ Number of pores $N \times 10^3$	137,6	124,7	111,4	268,9	231,8	250,7	234,9	220,1	510,1
Maksymalna średnica porów Maximum pore diameter $D_{max}$ [μm]	122,5	169,7	148,1	172,1	194,4	126,4	163,5	124,6	95,8
Minimalna średnica porów Minimum pore diameter $D_{min}$ [μm]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Średnia średnica porów Average pore diameter $D_{av}$ [μm]	1,0	1,0	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6
Całkowita powierzchnia porów Total pore area $S_t \times 10^3$ [μm <sup>2</sup> ]	880,8	871,8	851,3	858,7	826,8	792,0	803,3	752,2	679,9
Maksymalna powierzchnia porów Maximum pore area $S_{max}$ [μm <sup>2</sup> ]	12 094,3	23 067,0	18 049,0	24 220,9	22 367,0	10 978,9	15 580,0	12 408,4	7456,0
Minimalna powierzchnia porów Minimum pore area $S_{min}$ [μm <sup>2</sup> ]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Średnia powierzchnia porów Average pore area $S_{av}$ [μm <sup>2</sup> ]	6,6	7,2	7,9	3,6	3,7	3,2	2,9	3,5	1,3
Całkowity obwód porów Total pore perimeter $P_t \times 10^3$ [μm]	1111,3	1012,0	953,9	1478,2	1289,7	1450,4	1303,4	1352,2	2497,5
Maksymalny obwód porów Maximum pore perimeter $P_{max}$ [μm]	5005,3	7449,6	6000,5	9165,9	9397,0	5203,1	6294,4	3994,7	2248,1
Minimalny obwód porów Minimum pore perimeter $P_{min}$ [μm]	1,1	1,3	1,4	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0
Średni obwód porów Average pore perimeter $P_{av}$ [μm]	8,2	8,2	8,8	5,8	5,7	5,9	5,7	6,2	4,9
Maksymalny współczynnik formy porów Maximum form index of pores $K_{fmax}$ [-]	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Minimalny współczynnik formy porów Minimum form index of pores $K_{fmin}$ [-]	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Średni współczynnik formy porów Average form index of pores $K_{fav}$ [-]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4
Przeważający kierunek orientacji porów Prevailing direction of pore orientation $\alpha$ [°]	48,1	93,8	92,7	96,7	146,8	110,3	64,8	62,9	118,8
Wskaźnik anizotropii mikrostruktury Anisotropy coefficient $K_a$ [%]	11,8	33,9	23,2	19,5	37,1	31,8	44,2	31,5	17,2
Stopień orientacji mikrostruktur Degree of microstructure orientation	średni medium	wysoki high	wysoki high	średni medium	wysoki high	wysoki high	wysoki high	wysoki high	średni medium
Mezopory/ Mezopores $10 < \varnothing < 1000$ μm [%]	77,4	81,8	82,9	77,1	79,6	74,8	78,0	68,5	47,5
Mikropory/ Micropores $0,1 < \varnothing < 10$ μm [%]	22,6	18,2	17,1	22,9	20,4	25,1	22,0	31,5	52,5
Pory szczelinowate/ Fissure-like pores $a/b > 10$ [%]	0,8	0,2	0,1	1,0	0,6	0,5	0,4	0,4	1,7
Pory anizometryczne/ Anisometric pores $1,5 < a/b < 10$ [%]	84,6	83,2	83,4	83,7	85,6	85,4	84,9	86,1	85,1
Pory izometryczne/ Izometric pores $a/b < 1,5$ [%]	14,6	16,5	16,5	15,3	13,8	14,1	14,7	13,5	13,2

S3z.0, S3z.50, S3z.100, S3z.200, S3z.250, S3z.300, S3z.400, S3z.1600 – oznaczenia próbek past po badaniu ciśnienia ssania (wartość ciśnienia jak w symbolu); S3z.wys – oznaczenie próbki pasty po badaniu ciśnienia ssania przy 1600 kPa i wysuszonej na powietrzu,  $\varnothing$  – średnica zastępcza porów,  $a/b$  – stosunek największego do najmniejszego wymiaru poru.

S3z.0, S3z.50, S3z.100, S3z.200, S3z.250, S3z.300, S3z.400, S3z.1600 – name of remoulded specimens after the suction pressure test (pressure value in the symbol), S3z.wys – name of remoulded specimen after the suction pressure test for 1600 kPa and air dried,  $\varnothing$  – the equivalent diameter of pores,  $a/b$  – the ratio between two most different dimensions of pore.



wysokiej potencjalnej ekspansywności (Łądkiewicz, 2012). Pasty gruntowe mają wartości parametrów wskaźnikowych charakteryzujących ekspansywność analogiczne do ilów, z których je przygotowano. W warunkach naturalnych badane grunty charakteryzują się stanem półzwardym albo co najwyżej twardoplastycznym. Przygotowana z nich pasta gruntowa o parametrach wyjściowych wskazujących na stan płynny w procesie utraty wilgoci pod wpływem ciśnienia ssania przechodzi przez cały zakres wartości stopnia plastyczności, aż do uzyskania stanu półzwardego.

Zmiany wilgotności gruntu nie tylko kształtują jego właściwości plastyczne, ale również w istotny sposób modyfikują jego strukturę, szczególnie w skali mikro. Analiza mikrostrukturalna past gruntowych poddanych procesowi utraty wilgoci pod wpływem ciśnienia ssania pozwala na wyciągnięcie kilku wniosków:

1. Charakter i typ mikrostruktury pasty ulegał przeobrażeniu na kolejnych etapach utraty wilgoci. Mikrostruktura zmieniała się od komórkowej przez matrycową do turbulentnej.

2. Wraz ze zmianą typu mikrostruktury pasty wzrasta stopień upakowania elementów strukturalnych. Mikrostruktura komórkowa ma niski stopień upakowania, mikrostruktura matrycowa zmienia stopień upakowania od niskiego do wysokiego, natomiast mikrostruktura turbulentna ma wysoki stopień upakowania elementów strukturalnych.

3. Wraz ze zmieniającym się typem mikrostruktury (od komórkowej przez matrycową do turbulentnej) wzrasta jej stopień orientacji – od nisko do wysoko zorientowanej.

4. Zaszły istotne zmiany w wartościach ilościowych parametrów morfometrycznych i geometrycznych przestrzeni porowej. W większości zanotowano spadek parametrów morfometrycznych wraz z utratą wilgoci. Przestrzeń porowa z porami większymi i izometrycznymi przekształciła się w przestrzeń porową z dominacją porów małych oraz anizometrycznych i szczelinowatych.

5. W trakcie utraty wilgoci pod wpływem ciśnienia ssania uwidacznia się bardzo wyraźnie efekt kolejnych etapów zamykania się struktury pasty gruntowej.

Przedstawione wyniki badań mogą posłużyć do modelowania zachowania się gruntów spoistych w warunkach naturalnych podczas zmiany wilgotności, a tym samym zmiany stanu gruntu, co będzie przedmiotem dalszych badań.

## LITERATURA

BARAŃSKI M. & WÓJCIK E. 2007 – Ocena zdolności do zmian deformacyjnych ilów mio-plioceńskich z poligonu badawczego STEGNY w Warszawie. *Geologos*, 11: 413–420.  
BRYKCYŃSKA E. & BRYKCYŃSKI M. 1974 – Geologia przekopu Trasy Łazienkowskiej na tle problematyki zaburzeń osadów trzeciorzędowych i czwartorzęd w Warszawie. *Pr. Muz. Ziemi*, 22: 199–216.  
BURLAND J.B. 1990 – On the compressibility and shear strength of natural clays. *Géotechnique*, 40: 329–378.  
DYJOR S. 1992 – Rozwój sedymentacji i przebieg przeobrażenia osadów w basenie serii poznańskiej w Polsce. *Acta Univ. Wratisl.*, 1354, Pr. Geol.-Miner., 26: 3–18.

FRANKOWSKI Z. & WYSOKOŃSKI L. 2000 – Atlas geologiczno-inżynierski Warszawa, skala 1: 10 000. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. (red.) 1998 – Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 217.  
GRABOWSKA-OLSZEWSKA B., OSIPOV V.I. & SOKOLOV V.N. 1984 – Atlas of the microstructure of clay soils. PWN, Warszawa: 414.  
KULEZA-WIEWIÓRA K. 1990 – Preparatyka próbek do badań mineralogicznych i fizyczno-chemicznych. [W:] Grabowska-Olszewska B. (red.) *Metody badań gruntów spoistych*. Wyd. Geol., Warszawa: 130–141.  
LEE H.C. & WRAY W.K. 1995 – Techniques to evaluate soil suction – a vital unsaturated soil water variable. [W:] Alonso E.E. & Delage P. (red.) *Proceedings of the 1st International Conference on Unsaturated Soils UNSAT*, Paris, France, 6–8 September 1995. T. 2. Balkema, Rotterdam: 615–622.  
ŁĄDKIEWICZ K. 2012 – Zależność między wilgotnością a ciśnieniem ssania w gruntach spoistych z rejonu Warszawy. *Arch. Wydz. Geol. UW, Warszawa* [praca magisterska].  
PIWOCKI M. 2002 – Ewolucja poglądów na stratygrafię utworów formacji poznańskiej na Niżu Polskim. *Prz. Geol.*, 50: 255.  
PN-B-02480:1986 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów. PKN, Warszawa.  
PN-B-04481:1988 – Grunty budowlane. Badanie próbek gruntów. PKN, Warszawa.  
SERGEYEV Y.M., GRABOWSKA-OLSZEWSKA B., OSIPOV V.I., SOKOLOV V.N. & KOLOMENSKI Y.N. 1980 – The classification of microstructures of clay soil. *J. Microsc.*, 120: 237–260.  
SKEMPTON A.W. 1953 – The colloidal activity of clays. [W:] *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 16<sup>th</sup>–17<sup>th</sup> August, 1953. T. 1: 57–61. Org. Com. ICOSOMEF, Zurich.  
SOKOLOV V.N., YURKOVETS D.I. & RAZGULINA O.V. 2002 – Stiman (Structural Image analysis): a software for quantitative morphological analysis of structures by their images (User's manual. Version 2.0). Laboratory of Electron Microscopy, Moscow State University, Moscow: 75.  
SUDJANTO A.T., SURYOLELONO K.B., RIFA'I A. & MOCHTAR I.B. 2011 – The effect of water content change and variation suction in behavior swelling of expansive soil. *Int. J. Civil Environ. Eng.*, 11: 11–17.  
SZCZEPAŃSKI T. 2007 – Przykłady zastosowań koncepcji parametrów inherentnych w badaniach gruntów spoistych. *Geologos*, 11: 491–498.  
TRZCIŃSKI J. 1998 – Ilościowa analiza mikrostrukturalna w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) gruntów poddanych oddziaływaniu wody. [W:] Grabowska-Olszewska B. (red.) *Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 113–150.  
TRZCIŃSKI J. 2004 – Combined SEM and computerized image analysis of clay soils microstructure: technique & application. [W:] Jardine R.J., Potts D.M., Higgins K.G. (red.) *Advances in geotechnical engineering. The Skempton conference*. Thomas Telford, London: 654–666.  
VIOLA R., TULLER M., OR D. & DRASDIS J. 2005 – Microstructure of clay-sand mixtures at different hydration states. [W:] Tarantino A. i in. (red.) *Advanced experimental unsaturated soil mechanics. Proceedings of the International Symposium on Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechanics*, Trento, Italy, 27–29 June 2005. Taylor & Francis, London: 437–442.  
WYRWICKI R. 1998 – Skład mineralny ilów serii poznańskiej w rejonie Warszawy. *Arch. Zakł. Prac Geol. Wydz. Geol. UW, Warszawa* [G-438].  
WYRWICKI R. & KOŚCIÓWKO H. (red.) 1996 – *Metody badań kopalni ilastych*. Państw. Inst. Geol., Warszawa–Wrocław: 56–76.

Praca wpłynęła do redakcji 29.06.2012 r.

Po recenzji akceptowano do druku 31.10.2012 r.

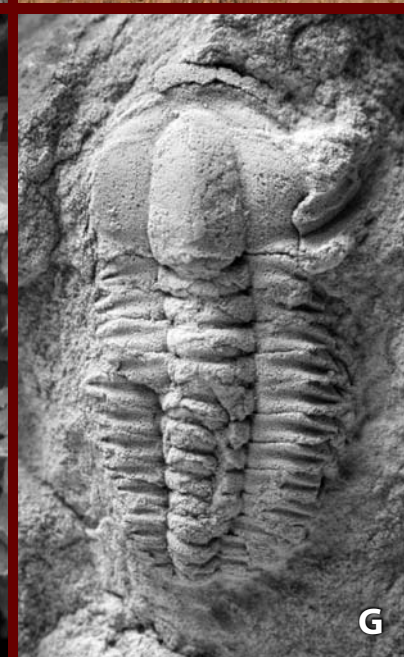
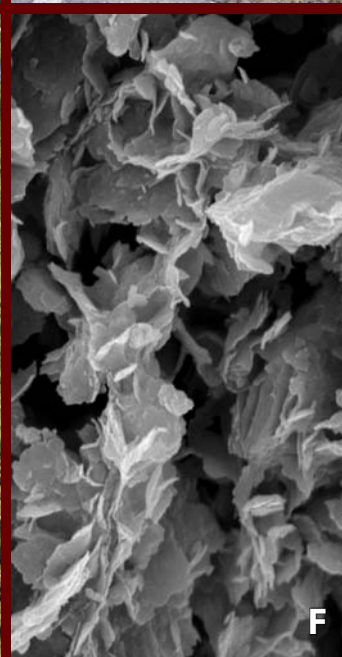
# PRZEGLĄD GEOLOGICZNY



Cena 12,60 zł (w tym 5% VAT)

TOM 61 Nr 1 (STYCZEŃ) 2013

Indeks 370908 ISSN-0033-2151



**II POLSKI  
KONGRES  
GEOLOGICZNY**

Osuwiska  
Stratygrafia  
Geologia inżynierska  
Hydrogeologia  
Geoturystyka  
Historia geologii  
Informacja geologiczna

**Zdjęcie na okładce:** **A** – Rozstaw geofonów przygotowany do rejestracji metodą MASW. Fot. S. Ostrowski. **B** – Skarpa główna osuwiska w Zawadzie koło Tarnowa. Fot. S. Ostrowski. **C** – Wzmacnianie podłoża gruntowego w technologii Drenażu Pionowego – Południowa Obwodnica Gdańka. Fot. własność firmy Menard Polska. **D** – Droga zniszczona w wyniku przebiecia hydraulicznego w trakcie powodzi rzeki Białej w 2010 r. Okolice Grybowa. Fot. S. Ostrowski. **E** – Wzmacnianie podłoża gruntowego w technologii kolumn CMC – Południowa Obwodnica Gdańka. Fot. własność firmy Menard Polska. **F** – Mikrostruktura pasty gruntowej przygotowanej z neogeńskich ilów pobranych z rejonu Warszawa-Stegny. **G** – *Stenuella polonica* Czarnocki, 1926, *kranidium* i *toraks*, MWG ZI/29/1534 (Muzeum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, kolekcja Stanisława Orłowskiego), poziom *Holmia-Schmidtiellus*, drugi oddział kambru Ociesęki, Góry Świętokrzyskie, długość okazu: 24,4 mm, okaz napyłony chlorkiem amonu przed sfotografowaniem. Fot. A. Żylińska

**Cover photo:** **A** – Geophone spacing for the MASW method recording. Photo by S. Ostrowski. **B** – Main escarpment of landslide at Zawada near Tarnów. Photo by S. Ostrowski. **C** – Soil improvement by prefabricated Vertical Drains – South Ring Road of Gdańsk. Photo by Menard Polska Company. **D** – Road destroyed by hydraulic breakdown during the Biała River flood in 2010, near Grybów. Photo by S. Ostrowski. **E** – Improvement of soft soil using the CMC columns – South Ring Road of Gdańsk. Photo by Menard Polska Company. **F** – Microstructure of remoulded specimen of Neogene clays collected from the Warsaw-Stegny area. **G** – *Stenuella polonica* Czarnocki, 1926, *cranidium* with *thorax*, MWG ZI/29/1534 (Museum of the Faculty of Geology, University of Warsaw, collection of Stanisław Orłowski), *Holmia-Schmidtiellus* Zone, Cambrian Series 2 Ociesęki, Holy Cross Mountains length of specimen: 24.4 mm, specimen coated with ammonium chloride before photographing. Photo by A. Żylińska