

## PĘCZNIE NIE MIOPLIOCENSKICH IŁÓW SERII POZNAŃSKIEJ Z REJONU BYDGOSZCZY NA TLE ICH LITOLOGII

### SWELLING OF MIO-PLIOCENE CLAYS FROM THE REGION OF BYDGOSZCZ IN COMPARISON TO THEIR LITHOLOGY

ALEKSANDRA GORĄCZKO<sup>1</sup>, MACIEJ KORDIAN KUMOR<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Na podstawie badań wybranych odkrywek scharakteryzowano cechy ekspansywne miopliocenских iłó w z terenu Bydgoszczy. Oznaczono cechy litologiczno-genetyczne, tj. skład granulometryczny i mineralogiczny, powierzchnię właściwą, skład kationów wymiennych w naturalnym kompleksie sorpcyjnym i mikrostrukturę. Zaprezentowano także właściwości fizyczne badanych iłó w zestawieniu z charakterystykami statystycznymi próbki generalnej iłó z terenu Bydgoszczy. Cechy ekspansywne przedstawiono w postaci zależności wskaźnika pęcznienia i ciśnienia pęcznienia od wilgotności początkowej i w odniesieniu do gęstości objętościowej w zakresie zmienności tych parametró w podłożu geotechnicznym kształtowanym przez naturalne czynniki klimatyczne i biotyczne. Uzyskane wyniki skomentowano w relacji do zaobserwowanych w praktyce na terenie Bydgoszczy zmian deformacyjnych ekspansywnego podłoża gruntowego.

**Słowa kluczowe:** ciśnienie pęcznienia, ekspansywność, iły serii poznańskiej, iły prekonsolidowane, pęcznienie, podłoże ekspansywne.

**Abstract.** The article presents the characteristics of expansive features of Mio-Pliocene clays from the area of Bydgoszcz on the basis of selected pits. Determination of basic lithological and genetic features such as grain-size and mineralogy, specific surface, the composition of exchangeable cations in the natural complex of absorbent and microstructure was carried out. Physical properties compared with statistical values from the area of Bydgoszcz were presented. Expansive features i.e. swelling index and swelling pressure were presented in relation to initial moisture content and bulk density within the range of variation of these parameters in the subsoil, controlled by natural climatic and biotic factors. The results were commented in relation to deformations in expansive massive observed in Bydgoszcz.

**Key words:** swelling pressure, expansive clays, over-consolidated clays, swelling.

### WSTĘP

Pęcznienie jest zjawiskiem zachodzącym w ekspansywnych masywach skalnych pod wpływem działania wody i roztworó porowych. Przy zwiększonym dostępie wody utwory, zawierające minerały ilaste z grupy smektytu i illitu, wykazują tendencję do powiększania swojej objętości nazwanej pęcznieniem. Cecha ta związana jest z budową minerałó ilastych, wykształconych w postaci

nieobojętnych elektrycznie pakietó (warstw), o stosunkowo niewielkim ładunku. Pod wpływem wody następuje powiększenie odległości między pakietami w wyniku uwodnienia znajdujących się tam kationó (pęcznienie wewnątrzkrystaliczne) oraz na skutek różnicy stężeń jonó w przestrzeniach między cząstkami i w wodzie porowej (pęcznienie osmotyczne) (Bergaya i in., 2006). W sytuacji,

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Geotechniki, ul. Sylwestra Kalickiego 7, 85 796 Bydgoszcz; agora@utp.edu.pl, mkkumor@utp.edu.pl

gdy swobodny wzrost objętości gruntu jest uniemożliwiony zewnętrznym przeciwcisnieniem, na powierzchnie ograniczające wywierany jest nacisk określany ciśnieniem pęcznienia.

Pęcznienie i ciśnienie pęcznienia gruntu zależą od cech genetycznych masywu kształtowanych w czasie sedymentacji osadu, tj. uziarnienia, a zwłaszcza udziału frakcji iłowej, jej składu mineralogicznego i mikrostruktury, a także od wilgotności naturalnej i gęstości objętościowej oraz cech strukturalnych, które zależą od oddziaływań postgenetycznych, takich jak: prekonsolidacja lodowcem, przebieg procesów postglacjalnych oraz współcześnie zachodzących przeobrażeń masywu pod wpływem działalności człowieka (Niedzielski, 1993).

Na terenie Polski utworami wykazującymi właściwości ekspansywne są przede wszystkim silnie prekonsolidowane mioplioceniowe ropy serii poznańskiej i oligoceniowe ropy sęptariowe z okolic Szczecina, a także glacialimiczne ropy środkowej Polski i kłifu południowego Bałtyku oraz w umiarkowanym stopniu niektóre gliny lodowcowe (Grabowska-Olszewska, red., 1998).

W artykule przedstawiono charakterystykę ropy mioplioceniowych z terenu Bydgoszczy na tle litologii osadów serii poznańskiej. Zamieszczono wyniki badań mineralogicznych, granulometrycznych i mikrostrukturalnych oraz zależności ciśnienia pęcznienia i pęcznienia swobodnego od cech fizycznych, tj. wilgotności początkowej i gęstości objętościowej gruntu.

## LITOSTRATYGRAFIA IŁÓW NA TLE SERII POZNAŃSKIEJ

Utwory ekspansywne występujące w rejonie Bydgoszczy należą do zróżnicowanego litologicznie kompleksu, określanego wspólną nazwą serii poznańskiej, którego zasięg obejmuje głównie Niż Polski po krawędź Sudetów i wyżyny środkowopolskie na południu (fig. 1).

Sedymentacja osadów serii datowana jest na okres od górnego badenianu po przełom miocenu górnego i pliocenu (Głazek, Szykiewicz, 1987). Generalnie litofacja ropy poznańskich pod względem składu granulometrycznego i mineralogicznego wykazuje znaczną zmienność przestrzenną. Dyjor (1968) przyjął pierwotnie dla rejonu Polski zachodniej i południowej podział osadów serii na trzy poziomy o zróżnicowanych warunkach sedymentacji:

- poziom dolny ropy szarych, powstałych w środowisku bagiennym;
- poziom środkowy ropy zielonych z glaukonitem powstałych w redukcyjnym środowisku morskim;
- poziom górny ropy płomienistych deponowanych w środowisku utleniającym.

Wykształcenie, miąższość i obecna głębokość zalegania wyodrębnionych poziomów w poszczególnych rejonach basenu sedymentacyjnego zależą od jego cech morfometrycznych oraz późniejszych procesów geologicznych, które w wielu miejscach spowodowały odkrycie i redukcję osadów tej serii. Największą miąższość osadów ilastych stwierdzo-

no we wschodniej (mazowieckiej) niecce zbiornika, gdzie osiąga lokalnie na ponad 160 m (Baraniecka, 1981), zaś w części płytszej, zachodniej (wielkopolskiej) wynosi około 100 m (Areń, 1957). Obie niecki rozgranicza strefa spłylenia – antyklinorium środkowopolskie (fig. 1). W rejonie tym przykładowo w okolicach Konina maksymalną miąższość osadów określa się na około 20 m (Meissner, 1970). W wielu miejscach zostały one całkowicie usunięte.

Na obszarze Bydgoszczy osady serii poznańskiej zostały odsłonięte i częściowo zredukowane (fig. 1) w wyniku erozyjnej działalności wód proglacjalnych i Brdy (Kozłowska, Kozłowski, 1992). Miąższość ich sięga tu do 20 m (Grzebański, Bronikowski, 1974).

Utwory te reprezentowane są przez ropy, ropy pylaste, ropy z domieszkami gliny oraz gliny piaszczyste zwięzłe i gliny. Tworzą one warstwy o zmiennej miąższości od 0,4 do 1,6 m z wyraźnie zaznaczającymi się granicami (Kumor, 2008).

ropy serii poznańskiej charakteryzują się właściwościami ekspansywnymi nietypowymi w porównaniu do innych genetycznie ropy z obszaru Polski (tab. 1).

Zmiany wilgotności ropy w podłożu mogą być generowane w szerokim zakresie w zależności od intensywności działania czynników naturalnych, tj. klimatu i roślinności. Niemal w każdym przypadku dochodzi do ekspansywnych odkształceń objętościowych masywu ropy.

Tabela 1

### Orientacyjne wartości wskaźników ekspansywnych ropy serii poznańskiej (Niedzielski, 1993; Gawriuczenkow, Krzynówek, 1998; Gorączko, Kumor, 2008; Kumor, 2008)

Approximate values of expansive clays indices (Niedzielski, 1993; Gawriuczenkow, Krzynówek, 1998; Gorączko, Kumor, 2008; Kumor, 2008)

Wskaźnik pęcznienia wg Wasiliewa $\epsilon_p$ [%]	Ciśnienie pęcznienia* $p_c$ [kPa]	Ciśnienie pęcznienia** $p_c$ [kPa]	Skurcz objętościowy [%]	Skurcz liniowy [%]	Granica skurczalności $w_s$ [%]
5–60	5–600	50–2500	5–75	3–18	10–18,5

\* oznaczane na próbkach w stanie naturalnym; \*\* oznaczane na próbkach sproszkowanych w stanie powietrzno suchym  
\* identified on samples with natural water content; \*\* identified on dry, powdered samples

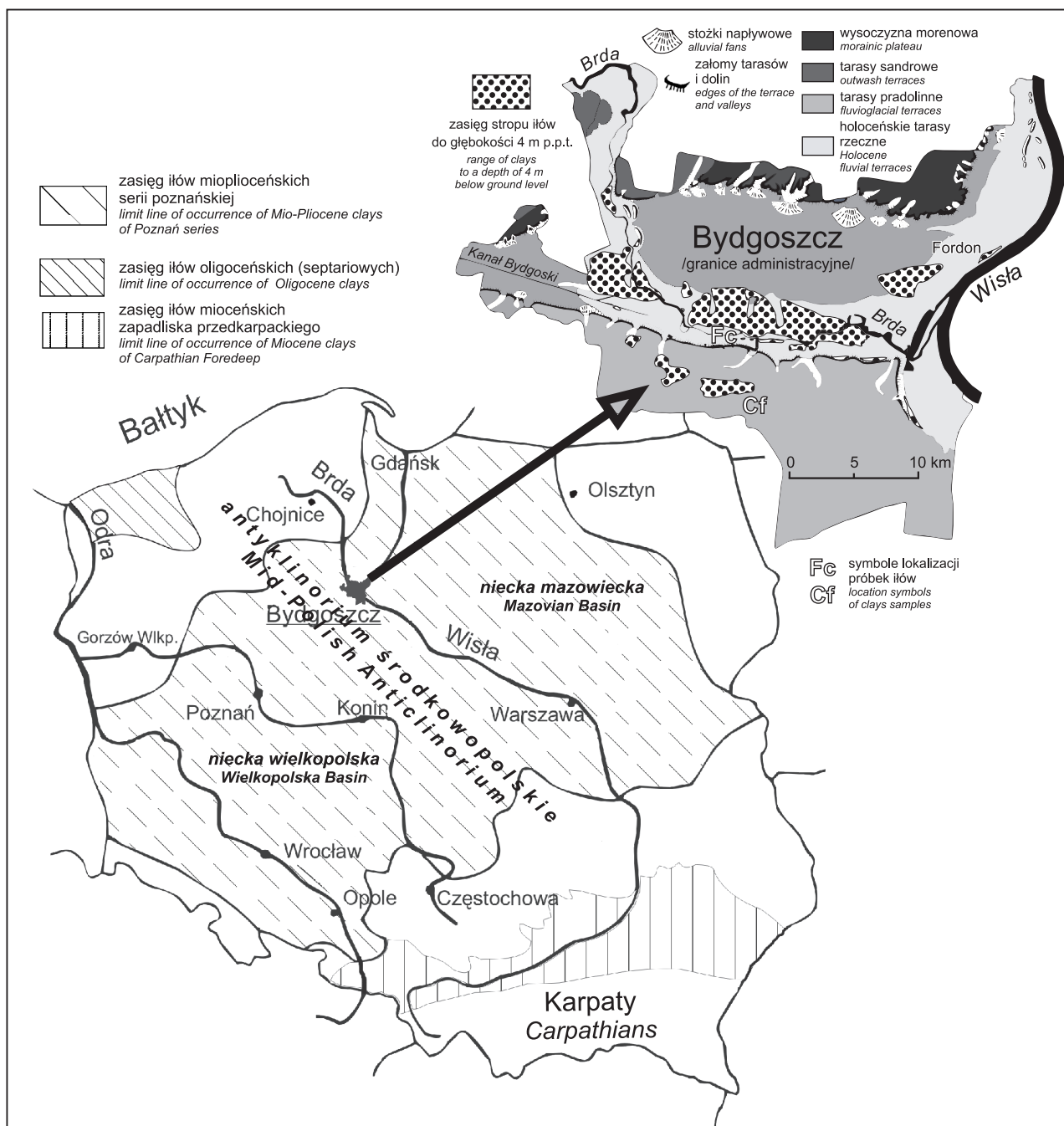


Fig. 1. Wstępowanie wychodni miopliocenijskich ilów ekspansyjnych serii poznańskiej w podłożu rejonu Bydgoszczy na tle utworów ekspansyjnych w Polsce

The occurrence of outcrops of Mio-Pliocene Poznań clays in Bydgoszcz, in comparison to the expansive deposits in Poland

## CECHY LITOGENETYCZNE ILÓW Z BYDGOSZCZY

Kompleksową charakterystykę właściwości ekspansyjnych ilów serii poznańskiej z rejonu Bydgoszczy przedstawiono na podstawie badań próbek pobranych z dwóch miejsc w centralnej części miasta. Próbką o symbolu Fc pobrana została z tarasu erozyjnego Brdy z głębokości 4,3–4,7 m p.p.t. (rzędna 32,3 m n.p.m.), natomiast prób-

ka o symbolu Cf – z kry glacictektonicznej na wysoczyźnie z głębokości 4,5–5,0 m (rzędna 64,5 m n.p.m.).

Zewnętrzna powierzchnia właściwa badanych ilów została oznaczona za pomocą testu sorpcyjnego (WST) (Stępkowska, 1977) oraz metodami BET i Langmuira (PN-ISO 9277:2000; Grabowska-Olszewska, red., 1990) (tab. 2).

Tabela 2

**Wyniki badań zewnętrznej powierzchni właściwej próbek ilów z lokalizacji Cf i Fc**

The results of the external surface area of clay samples from the location of the Cf and Fc

Symbol lokalizacji	Zawartość frakcji ilowej [%]	Zewnętrzna powierzchnia właściwa [m <sup>2</sup> /g] wg metody		
		WST	BET	Langmuira
Cf	64,4	54,44	67,3501	92,1764
Fc	74,4	49,11	63,2028	87,1509

Wielkość zewnętrznej powierzchni właściwej badanych ilów świadczy o wysokiej dyspersji cząstek i znacznej zawartości minerałów z grupy smektytu. Dla próbki Cf uzyskano większą powierzchnię właściwą przy niższym udziale procentowym frakcji ilowej. Wskazuje to na różnice w zawartości poszczególnych minerałów ilastych w badanych gruntach.

Charakterystykę składu mineralogicznego przedstawiono na podstawie badań dyfraktometrycznych i derywatograficznych oraz wyników testu sorpcyjnego (WST).

Badania dyfraktometryczne przeprowadzono dla preparatów orientowanych, przygotowanych poprzez swobodną sedimentację zawiesiny na płytkach szklanych (Grabowska-Olszewska, red., 1990).

Na dyfraktogramach obu próbek (fig. 2) najsilniejszą linią dyfrakcyjną jest refleks w zakresie kątowym około 6–7 2 $\theta$  (1,5–1,2 nm), odpowiadający pierwszemu rzędowi ugięcia minerałów grupy smektytu. Znaczna szerokość kątowa tego refleksu świadczy, zwłaszcza w przypadku próbki Fc, o znacznym udziale minerałów mieszanopakietowych typu

smektyt-illit. Natomiast jego położenie z ekstremum około 1,45 nm sugeruje znaczną przewagę jonów dwuwartościowych w przestrzeniach międzypakietowych smektytu (Wichrowski, 1981). Na dyfraktogramach obu próbek zidentyfikowano także illit i w nieco mniejszej ilości kaolinit, nie stwierdzono natomiast getytu. W podrzędnej ilości występuje również kwarc.

Identyfikację składu mineralogicznego metodą analizy termicznej przeprowadzono na sproszkowanych próbkach ilów surowych w stanie powietrzno-suchym. Uzyskane krzywe dla poszczególnych próbek (fig. 3) zinterpretowano na podstawie krzywych wzorcowych minerałów ilastych (Wyrwicki, 1988; Grabowska-Olszewska, red., 1990).

Główny ubytek masy w temperaturze 140–170°C spowodowany jest dehydratacją minerałów z grupy smektytu. Towarzyszy mu efekt endotermiczny z zaznaczającym się lekkim przegięciem w temperaturze około 200°C, charakterystyczny dla minerałów zawierających dwuwartościowe kationy wymienne (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) w przestrzeniach międzypakietowych.

Relacja wartości dehydratacji ( $dh = 7\text{--}9\%$ ) i dehydroksylacji, zachodzącej w zakresie temperatur 540–580°C ( $dho = 3,5\text{--}5\%$ ), wynosząca  $dh/dho \approx 2$  świadczy o znaczącej zawartości illitu i kaolinitu. Położenie ekstremum dehydroksylacji w temperaturze 560°C może świadczyć o przewadze beidelitu (ekstremum w temperaturze 550°C) nad montmorillonitem (który wykazuje ekstremum ok. 680°C) oraz zawartości illitu (z ekstremum dehydroksylacji w temperaturze 540°C) i kaolinitu (580°C). W temperaturze 575°C nakłada się ponadto endotermiczny pik, nie pociągający za sobą zmiany masy, związany z polimorficzną przemianą kwarcu beta w kwarc alfa.

Efekt tworzenia się nowej fazy krystalicznej, widoczny w zakresie temperatur 900–1000°C w postaci egzotermii w temperaturze 980°C na krzywej DTA, wskazuje na występowanie w próbkach kaolinitu.

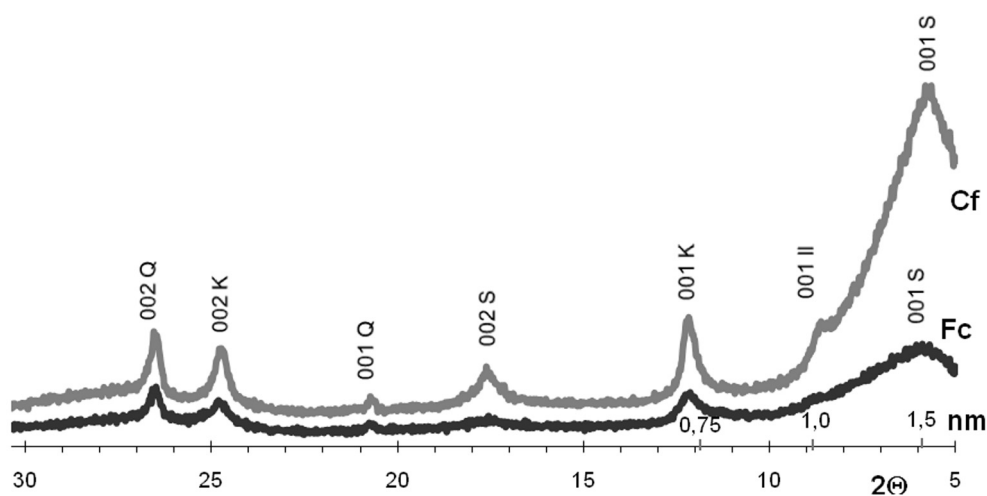


Fig. 2. Dyfraktogramy ilów z Bydgoszczy z lokalizacji Cf i Fc (preparaty orientowane)

S – smektyt, II – illit, K – kaolinit, Q – kwarc

Diffractograms of clays from Bydgoszcz location Cf and Fc (oriented preparations)

S – smectite, II – illite, K – kaolinite, Q – quartz

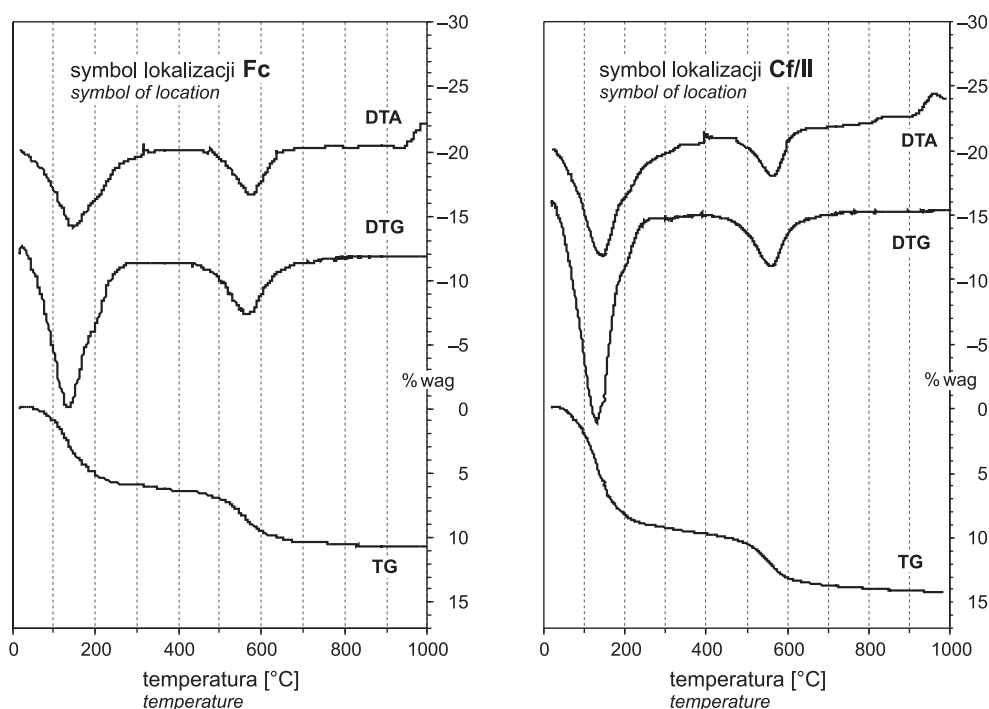


Fig. 3. Derywatogramy iłów z Bydgoszczy z lokalizacji Fc i Cf

Graphs of thermal analysis of clays from the location of the Fc and Cf in Bydgoszcz

W tabeli 3 przedstawiono wyniki oznaczeń zawartości minerałów ilastych metodą testu sorpcyjnego (WST) (Stępkowska, 1977).

Zawartość minerałów grupy smektytu wyznaczono na podstawie oszacowanej wielkości międzypakietowej powierzchni właściwej. Straty prażenia zakresie temperatur 400–800°C są zbyt małe ( $\Delta G < 4,5\%$ ), aby można było tą metodą oszacować udział kaolinitu w badanych iłach.

Zbliżone wyniki, tzn. ilościowa przewaga minerałów grupy smektytu, głównie beidelitu oraz minerałów mieszanopakietowych typu smektyt-illit o mocno nieuporządkowanej strukturze, nad illitem i kaolinitem we wzajemnie zmiennych proporcjach w iłach rejonu Bydgoszczy, zostały odnotowane także dla próbek z odkrywki w dzielnicy Fordon (Wiewióra, Wyrwicki, 1974; Wichrowski, 1981). Generalnie w północno-zachodniej części zbiornika sedymentacyjnego serii poznań-

skiej, obejmującym Bydgoszcz, odnotowuje się największy udział frakcji iłowej oraz minerałów z grupy smektytu w stosunku do pozostałych rejonów (Wichrowski, 1981).

Skład kationów w kompleksie sorpcyjnym zbadano metodą ekstrakcji chlorkiem amonu (Grabowska-Olszewska, red., 1990). Stwierdzono zdecydowaną przewagę jonów dwuwartościowych: 74% dla  $\text{Ca}^{2+}$  i 24% dla  $\text{Mg}^{2+}$ , co jest zgodne z wynikami uzyskanymi z analizy dyfraktometrycznej i derywatograficznej.

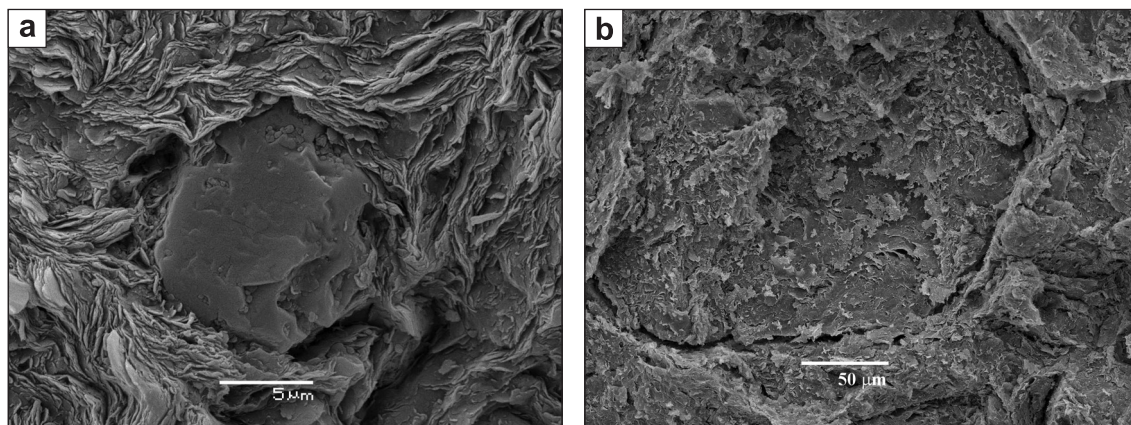
Analiza mikrostrukturalna iłów z Bydgoszczy w SEM wykazała mikrostruktury turbulentyne i laminarne (Gorączko, 2007). Mikroagregaty ilaste mają ponadto wyraźną orientację zależną od kierunku sedymentacji (fig. 4). Są to struktury charakterystyczne dla osadów morskich i jeziornych podlegających kompaktacji w procesach litogenezy (Stępkowska, 1977; Grabowska-Olszewska i in., 1984).

Tabela 3

Wyniki oznaczenia składu mineralogicznego iłów z Bydgoszczy za pomocą testu sorpcyjnego (WST)

The results of the mineralogical composition of clays from Bydgoszcz using water test sorption method (WST)

Symbol lokalizacji	Zewnętrzna powierzchnia właściwa $\bar{S}$ [m <sup>2</sup> /g]	Całkowita powierzchnia właściwa S [m <sup>2</sup> /g]	Międzypakiet. powierzchnia właściwa $S-\bar{S}$ [m <sup>2</sup> /g]	Zawartość minerałów grupy smektytu MM [%]	Pojemność wymiany jonowej CEC [mwal/g]	Zawartość substancji organicznej OM [%]	Zawartość kwarcu Q [%]
Cf	54,44	326,64	272,20	37,01	0,55	1,13	6,29
Fc	49,11	294,64	245,54	33,14	0,50	0,83	4,12



**Fig. 4. a – zdjęcie (SEM) łu z lokalizacji Cf (przekrój prostopadły do kierunku sedymentacji) w centralnej części widoczne ziarno kwarcu; b – zdjęcie (SEM) łu z lokalizacji Fc (przekrój równoległy do kierunku sedymentacji), widoczna powierzchnia zlistrowania**

a – the photograph of clay from the location of Cf (cross-section perpendicular to the direction of sedimentation), in a central part a grain of quartz visible; b – photo of clay from the location of Fc (cross-section parallel to the direction of sedimentation)

Zauważalny jest również charakterystyczny system mikroszczelin i spękań, określane jako tekstury „brekcyjne”, pochodzenia glacictonicznego oraz powstałe na skutek wysychania oraz wielokrotnego zamarzania i rozmarzania (Kumor, 1985).

Parametry fizyczne łów z Bydgoszczy wykazują znaczną zmienność odzwierciedlającą zróżnicowanie litologiczne utworów. Dla badanych łów z próbek Cf i Fc uzyskano stosunkowo wysokie wartości granic plastyczności i płynności oraz zawartości frakcji iłowej (tab. 4).

**Tabela 4**

**Właściwości fizyczne łów z Bydgoszczy**  
The physical properties of clays from Bydgoszcz

Symbol lokalizacji	Głębokość [m p.p.t.]	Zawartość frakcji iłowej $f_i$ [%]	Wilgotność naturalna $w_n$ [%]	Gęstość objętościowa $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Granica plastyczności $w_p$ [%]	Granica płynności $w_L$ [%]	Wskaźnik plastyczności $I_p$ [%]
Cf	4,5–5,0	64,4	32,1	1,93	31,6	82,2	50,6
Fc	4,3–4,7	74,4	40,0	1,81	32,7	110,2	77,5
Bydgoszcz wg Kumora (2008)	Średnia (odch. st.)	48,6 (10,3)	28,8 (6,1)	1,93 (0,09)	28,0 (5,8)	86,0 (16)	58,0 (12,6)
	min–max	30,0–84,0	11,8–48,1	1,61–2,21	12,4–50,5	45,6–148,0	30,0–99,0
	liczba próbek	888	1619	1619	1582	1579	1577

## WPLYW PARAMETRÓW FIZYCZNYCH NA PĘCZNIENIE SWOBODNE I CIŚNIENIE PĘCZNIENIA IŁÓW

Badania przeprowadzono dla łów o zróżnicowanej wilgotności początkowej ( $w_0$ ) w zakresie 19–41%. Próbki uzyskano przesuszając równomiernie ił w temperaturze pokojowej, zabezpieczając go przed zbyt szybkim wysychaniem w celu uniknięcia spękań.

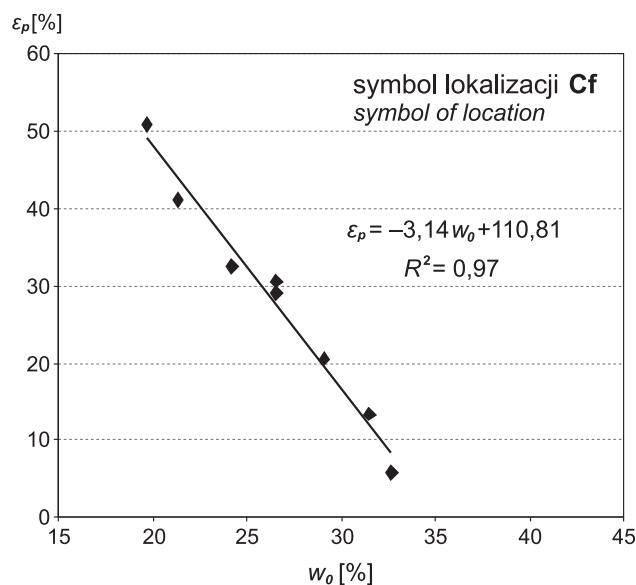
Wyniki oznaczenia pęcznienia swobodnego i ciśnienia pęcznienia próbek Cf i Fc przedstawiono na diagramach

(fig. 5 i 6). Oznaczenie wskaźnika pęcznienia przeprowadzono w aparatach Wasiliewa (wg PN-88/B-04481). Badania ciśnienia pęcznienia wykonano metodą stałej objętości w aparacie Geonor (Grabowska-Olszewska, red., 1998).

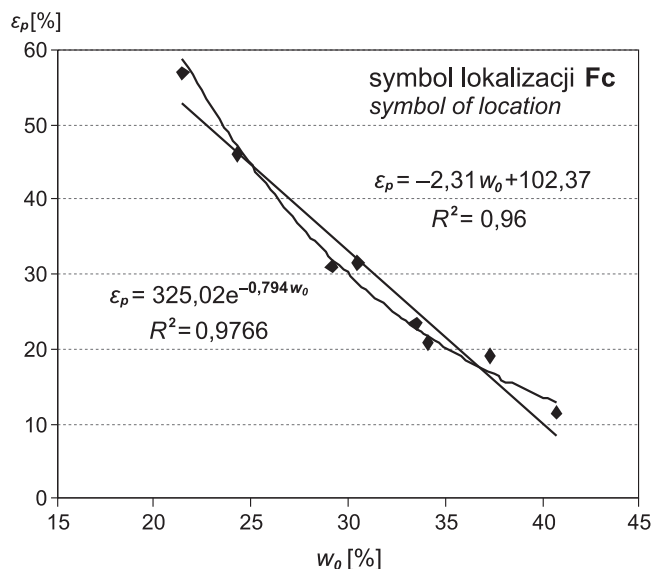
Wskaźniki pęcznienia dla badanych próbek wynoszą 5–60%. Charakter zależności wskaźnika pęcznienia ( $\epsilon_p$ ) od wilgotności początkowej ( $w_0$ ) w przypadku obydwu serii (Cf

symbol lokalizacji **Cf**  
symbol of location

Wilgotność początkowa $w_0$ [%]	Gęstość objętościowa gruntu $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wskaźnik porowatości $e_0$ [1]	Wskaźnik pęcznienia $\varepsilon_p$ [%]
19,69	2,04	0,60	51,05
21,27	1,97	0,68	41,07
24,18	2,02	0,68	32,31
26,50	1,92	0,80	28,81
26,53	1,99	0,73	30,44
29,03	1,97	0,77	20,38
31,47	1,92	0,88	13,35
32,64	1,92	0,90	5,68

symbol lokalizacji **Fc**  
symbol of location

Wilgotność początkowa $w_0$ [%]	Gęstość objętościowa gruntu $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wskaźnik porowatości $e_0$ [1]	Wskaźnik pęcznienia $\varepsilon_p$ [%]
21,53	2,08	0,59	57,01
24,37	2,01	0,69	45,94
29,19	1,96	0,80	30,94
30,53	1,95	0,83	31,53
33,52	1,94	0,88	23,41
34,06	1,92	0,91	20,78
37,31	1,96	0,92	18,97
40,76	1,81	1,00	11,32



**Fig. 5. Zależność wskaźnika pęcznienia swobodnego ( $\varepsilon_p$ ) od wilgotności początkowej ( $w_0$ ) i wskaźnika porowatości próbek ( $e_0$ )**

The relationship between the free swelling index ( $\varepsilon_p$ ) of the initial moisture content ( $w_0$ ) and porosity index ( $e_0$ )

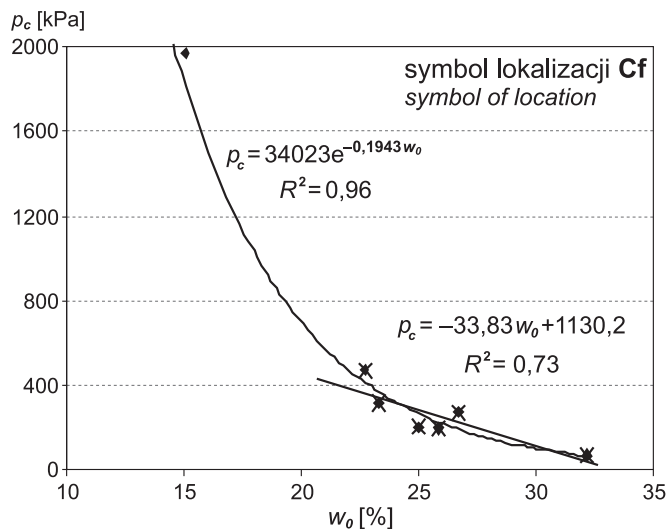
i Fc) jest zbliżony do charakteru liniowego w badanym zakresie wilgotności (fig. 5).

Dla iłów o początkowej wilgotności zbliżonej do występującej przeciętnie w stanie naturalnym w podłożu ( $w_0 \cong w_p$ ) ciśnienie pęcznienia kształtuje się na poziomie 100–400 kPa, natomiast dla próbek iłów przesuszonych do wil-

gotności bliskiej granicy skurczalności ( $w_0 \cong w_s = 15\%$ ) sięga do 2000 kPa. Wyniki oznaczeń wskazują na wykładniczy charakter zależności ciśnienia pęcznienia od wilgotności początkowej iltu. Jedynie w ograniczonym zakresie wilgotności – dla  $w_0 > 22\text{--}25\%$  – można z wystarczającą dokładnością stosować przybliżenie liniowe.

symbol lokalizacji **Cf**  
symbol of location

Wilgotność początkowa $w_0$ [%]	Gęstość objętościowa gruntu $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wskaźnik porowatości $e_0$ [1]	Ciśnienie pęcznienia $p_c$ [kPa]
15,04	2,08	0,51	1966,3
22,67	1,97	0,70	468,5
23,32	1,96	0,72	317,7
24,97	1,92	0,78	199,3
25,87	1,94	0,77	195,4
26,68	1,94	0,78	266,0
32,18	1,83	0,97	68,3



symbol lokalizacji **Fc**  
symbol of location

Wilgotność początkowa $w_0$ [%]	Gęstość objętościowa gruntu $\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wskaźnik porowatości $e_0$ [1]	Ciśnienie pęcznienia $p_c$ [kPa]
17,85	2,09	0,54	828,1
24,97	2,01	0,77	226,7
26,43	1,96	0,79	192,8
27,86	1,95	0,84	193,6
27,46	1,94	0,81	151,4
28,02	1,92	0,83	144,8
29,28	1,81	0,85	173,1

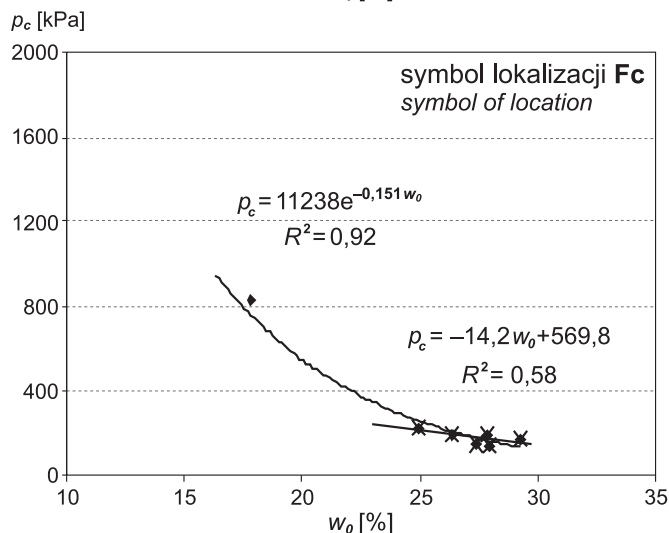


Fig. 6. Zależność ciśnienia pęcznienia ( $p_c$ ) od wilgotności początkowej ( $w_0$ ) i wskaźnika porowatości ( $e_0$ ) próbek

The relationship between the swelling pressure ( $p_c$ ) of the initial moisture content ( $w_0$ ) and porosity index ( $e_0$ )

## PODSUMOWANIE

Osady ilaste serii poznańskiej obejmują swoim zasięgiem znaczącą część kraju, występując często w bezpośrednim podłożu geotechnicznym. Z inżynierskiego punktu widzenia jest to najistotniejszy kompleks gruntów ekspansywnych w Polsce. Zdolność tych utworów do znacznych zmian deformacyjnych pod wpływem oddziaływania wody, przy jednocześnie dobrej nośności (wytrzymałości) i małej ściśliwości, stwarza poważne zagrożenie dla posadowienia konstrukcji budowlanych. W powszechnym odczuciu są to grunty o korzystnych właściwościach geotechnicznych.

Naturalna zmienność litologiczna serii poznańskiej skutkuje znacznym zróżnicowaniem przestrzennym właściwości fizycznych, mechanicznych i ekspansywnych, a to wymusza charakterystykę w ujęciu regionalnym.

Jak stwierdzono osady serii poznańskiej z rejonu Bydgoszczy na tle całego kompleksu cechują się dużym udziałem

frakcji iłowej oraz wysoką zawartością minerałów grupy smektytu. Efektem są wybitne zdolności do zmian deformacyjnych o charakterze ekspansywnym. Przeciętna wilgotność naturalna iłów serii poznańskiej kształtuje się na granicy stanu twaroplastycznego i półzwarłego ( $w_0 \cong w_p$ ). Dla takich wilgotności początkowych zwiększony dostęp wody, spowodowany odciążeniem masywu lub zawilgoceciem podłoża, wywołuje silne pęcznienie ( $\epsilon_p = 20\text{--}30\%$ ) lub generuje ciśnienie pęcznienia ( $p_c$ ) rzędu 100–400 kPa. Natomiast w warunkach silnego przesuszenia ilastego podłoża gruntowego, co następuje często aż do granicy skurczalności ( $w_0 \cong w_s$ ) na skutek pobierania wilgoci przez systemy korzeniowe drzew, zachodzi znaczący skurcz objętościowy rzędu 30–50% (Gorączko, Kumor, 2008). Zakładając wykładniczy charakter zależności ciśnienia pęcznienia od wilgotności początkowej określony w drodze badań laboratoryjnych, teore-



tyczna wielkość oddziaływania generowanego na budowlę po nawodnieniu tak przesuszonych gruntów mogłaby sięgać  $p_c = 2000$  kPa. Obserwowane w praktyce ciśnienia wywierane na budowlę przez pęczniejące podłoże nie osiągają aż tak wysokich wartości. Jest to efektem występowania syste-

mu mikroszczelin i spękań w masywie ilastym o wysokiej zawartości minerałów z grupy smektytu. Podczas procesu pęcznienia ulegają one zamykaniu w pierwszej kolejności (Fityus, Buzzi, 2009), zmniejszając ciśnienie pęcznienia generowane przez ekspansywny masyw skalny.

## LITERATURA

- AREŃ B., 1957 — Atlas geologiczny Polski, zes. 11 – Trzeciorząd, Inst. Geol., Warszawa.
- BARANIECKA M.D., 1981 — Osady trzeciorzędowe południowo-zachodniej części niecki warszawskiej na przykładzie profilu z Kaczorówka. *Kwart. Geol.*, **25**, 2.
- BERGAYA F., THENG B.K.G., LAGALY G., 2006 — Handbook of Clay Science, Elsevier.
- DYJOR S., 1968 — Poziomy morskie w obrębie serii ilów poznańskich. *Kwart. Geol.*, **12**, 4: 941–955.
- FITYUS S., BUZZI O., 2009 — The place of expansive clays in the framework of unsaturated soil mechanics. *Applied Clay Sci.*, **43**: 150–155.
- GAWRIUCZENKOW I., KRZYNÓWEK N., 1998 — Ciśnienia pęcznienia badane w aparacie firmy Geonor – Wybrane czynniki wpływające na uzyskiwane wartości. *W: Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce* (red. J. Liszkowski). WIND – J. Wojewoda, Wrocław: 100–112.
- GLĄZEK J., SZYNKIEWICZ A., 1987 — Stratygrafia młodotrzeciorzędowych i staroczwartorzędowych osadów krasowych oraz ich znaczenie paleogeograficzne. *W: Problemy młodszego eogenu i eoplejstocenu w Polsce*. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, PAN, Wrocław: 113–130.
- GORĄCZKO A., 2007 — Badanie przemieszczeń pionowych podłoża ekspansywnego w Bydgoszczy na przykładzie wybranych obiektów (praca doktorska). Uniw. Techn.-Przyrodniczy w Bydgoszczy: 123.
- GORĄCZKO A., KUMOR M.K., 2008 — Problemy prognozowania przemieszczeń podłoża zbudowanego z ilów ekspansywnych na podstawie parametrów skurczu (CLOD, COLE). Krynica.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. (red.), 1990 — Metody badań gruntów spoistych. Wyd. Geol., Warszawa.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. (red.), 1998 — Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. PWN, Warszawa.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B., OSIPOV V., SOKOŁOV V., 1984 — Atlas of the microstructure of clay soils. PWN, Warszawa.
- GRZEBALSKI Z., BRONIKOWSKI J., 1974 — Mapa geologiczno-inżynierska, Bydgoszcz miasto 1:10 000. Geoprojekt, Bydgoszcz.
- KOZŁOWSKA M., KOZŁOWSKI I., 1992 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Bydgoszcz Wschód. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KUMOR M.K., 1985 — Zmiany wytrzymałości i struktury ilu pliocenijskiego pod wpływem zamrażania. *Arch. Hydrotech.*, **32**, 3/4: 461–473.
- KUMOR M.K., 2008 — Selected geotechnical problems of expansive clays in the area of Poland. *Arch. Civil Eng. Env.*, no 4/2008, The Silesian Univ. of Technology: 75–92.
- MEISSNER K., 1970 — Właściwości inżyniersko-geologiczne ilów poznańskich rejonu Konina. *Biul. Inst. Geol.*, **231**: 113–179.
- NIEDZIELSKI A., 1993 — Czynniki kształtujące ciśnienie pęcznienia oraz swobodne pęcznienie ilów poznańskich i warwowych. *Rocz. Akad. Roln. w Poznaniu, Rozpr. Nauk.*, **238**: 99.
- PN-88/B-04481 — Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. PKN, Warszawa.
- PN-ISO 9277:2000 — Oznaczanie powierzchni właściwej ciał stałych przez adsorpcję gazu metodą BET. PKN, Warszawa.
- STĘPKOWSKA E., 1977 — Test sorpcyjny i możliwości jego zastosowania w różnych badaniach. *Arch. Hydrotech.*, **24**, 3: 411–420.
- WICHROWSKI Z., 1981 — Studium mineralogiczne ilów serii poznańskiej. *Arch. Miner.*, **37**, 2: 93–195.
- WIEWIÓRA A., WYRWICKI R., 1974 — Minerale ilaste poziomu ilów płomienistych serii poznańskiej. *Kwart. Geol.*, **18**, 3: 615–634.
- WYRWICKI R., 1988 — Analiza derywatograficzna skał ilastych. Wyd. UW, Warszawa.

## SUMMARY

Swelling is a phenomenon that occurs in the expansive soil massifs under the influence of the impact of water and pore solutions. With the increased access of water to clay minerals, containing smectite and illite, they tend to increase their volume. In a situation where the free volume increase of the clay is confined, the pressure, named as the swelling pressure, on the limiting surface is exerted. The scale of swelling and swelling pressure of soil depends on the chara-

cteristic of the soil massif, i.e. grain-size, and especially the clay fraction, its mineralogical composition and microstructure, as well as the natural moisture content and bulk density and structural features.

In the area of Poland, the soils, which have expansive properties are primarily Mio-Pliocene clays of Poznań series, Oligocene clays from the area of Szczecin, glacial-limnic clays of central Poland and of the cliff of the southern Baltic and

finally some glacial clays. This article presents the characteristics of expansive features of Mio-Pliocene clays from the area of Bydgoszcz, the city situated in northern Poland, on the basis of two selected pits in the central part of the city.

The diffractograms (Fig. 2), the graphs of thermal analysis (Fig. 3), and the water sorption tests (WST) (Tab. 3) show, that the mineralogical composition is dominated by smectite-illite type minerals and divalent cations in the natural exchangeable complex. The size of the external specific surface of tested clay, identified by water sorption test (WST) and BET method (Tab. 2), also shows a significant mineral content of the smectite group minerals and high dispersion of the particles. The composition of cations in the natural exchangeable complex was examined by extraction of ammonium chloride, confirm-

ing the significant proportion of divalent ions  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ . For tested clays it was obtained at a relatively high value of plasticity and liquidity limits (Tab. 4).

The investigations on the effect of physical parameters on free swelling and swelling pressure were performed on clays of different initial moisture content from 19 to 41%. Free swelling index values for the studied samples are 5–60% (Fig. 5). Swelling pressure is as at an average of 100–400 kPa, reaching up to 2000 kPa for the clay samples with moisture close to shrinkage limit (Fig. 6).

As concluded, clays of Poznań series from the region of Bydgoszcz, on the background of the entire complex, are characterized by extreme ability to expand (to increase their the volume).