

Badania geotechniczne w ocenie budowy geologicznej fragmentu Skarpy Warszawskiej w rejonie ulicy Tamka

Geotechnical tests for estimation of geological conditions of the escarpment zone of “Skarpa Warszawska” in the vicinity of Tamka Street

Marek Bajda, Tomasz Falkowski

Katedra Geoinżynierii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, marek_bajda@sggw.pl

Zarys treści: Badania prowadzono w strefie przyskarpowej plejstocenijskiej wysoczyzny morenowej, na granicy z doliną Wisły. Powierzchnia terenu jest tu w dużym stopniu przeobrażona antropogenicznie. Wielokrotna przebudowa obejmująca budynki mieszkalne oraz trasy komunikacyjne zatarła pierwotne cechy rzeźby obszaru, utrudniając konstrukcję modelu jego morfogenezy. W ramach prac terenowych wykonano wiercenia geologiczne oraz sondowania geotechniczne CPTU i DMT. Przeprowadzono też laboratoryjne badania właściwości próbek gruntów (próbki klasy 1, 3 i 4) pobranych w czasie badań terenowych. Wyniki prac pozwoliły na wydzielenie w obrębie analizowanej strefy serii utworów koluwalno-deluwialnych, aluwii okresowych cieków, a także serii utworów podłoża czwartorzędowego zbudowanych z osadów ilastych pliocenu. Przebieg granic poszczególnych wydzieleni litogenetycznych, włączając w to zróżnicowaną pod względem gruntoznawczym warstwę antropogeniczną, uszczegóławiano w oparciu o wyniki sondowań geotechnicznych oraz oznaczone właściwości fizyczno-mechaniczne budujących je gruntów.

Słowa kluczowe: sondowanie geotechniczne, Skarpa Warszawska, ropy, utwory stokowe

Abstract: Investigations were carried out in the escarpment zone of the Pleistocene moraine upland, on the border zone of Vistula River Valley. Surface of this area is transformed due to the human activity. Features of original morphology have been hidden by the repeated engineering works, consist of construction of houses and traffic routes and have made that the morphogenesis of this area is difficult to be identified. Field works consisted of geological drilling and geotechnical soundings CPTU (cone penetrating testing) and DMT (Marchetti dilatometer) as well as collecting soils samples (quality class 1, 3 and 4). Soil properties were determined also during the laboratory works. Results of investigations enabled the distinguishing in geological profile sections as: colluvial-deluvial section, alluvia of periodical streams, as well as direct Quaternary substratum, lacustrine Pliocene clays (so called “varicolored clay”). The courses and boundaries of each, particular layer, including the complex anthropogenic soils were specified on the base of the obtained measures of geotechnical parameters and physical-mechanical properties.

Key words: geotechnical sounding, Warsaw escarpment, varicolored clay, slope deposits

Wstęp

Głównym zadaniem dokumentowania warunków geologicznych, prowadzonych dla potrzeb określenia warunków posadowienia budowli, jest sformułowanie prognozy geologiczno-inżynierskiej, która opisuje interakcje pomiędzy obiektem (sposobem zagospodarowania) a środowiskiem geologicznym (Kowalski 1988). Zadanie to obejmuje oprócz precyzyjnego wyznaczania granic wychodni i poszczególnych warstw również identyfikację procesów

geodynamicznych czy hydrogeologicznych, których zainicjowanie albo akceleracja może być wywołana pracami inżynierskimi. Poza standardowo wykonywanymi badaniami geologicznymi, których wyniki umożliwiają interpretację przestrzennego układu warstw oraz określenie morfo- i litogenezy analizowanego obszaru (badania petrograficzno-gruntoznawcze, np. Myślińska 1984; badania sedimentologiczne, np. Boulton 1976, Miall 1996, Zieliński 1998), w trakcie dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich prowadzone są także badania



Ryc. 1. Lokalizacja terenu objętego badaniami na tle szkicu geomorfologicznego

Objaśnienia: 1 – wysoczyzna morenowa, 2 – taras nadzalewowy z pokrywą deluwialną, 3 – dna dolinek erozyjnych, 4 – taras zalewowy, 5 – stożek napływowy z pokrywą koluwalno-deluwialną, 6 – nasyp kolejowy, 7 – obszar badań

Fig. 1. Location of the investigated area displayed on a background of geomorphological sketch

Explanations: 1 – moraine upland, 2 – upper terrace with the deluvial cover, 3 – bottoms of gully valleys, 4 – floodplain, 5 – alluvial cone with colluvial-deluvial cover, 6 – railway embankment, 7 – analyzed polygon

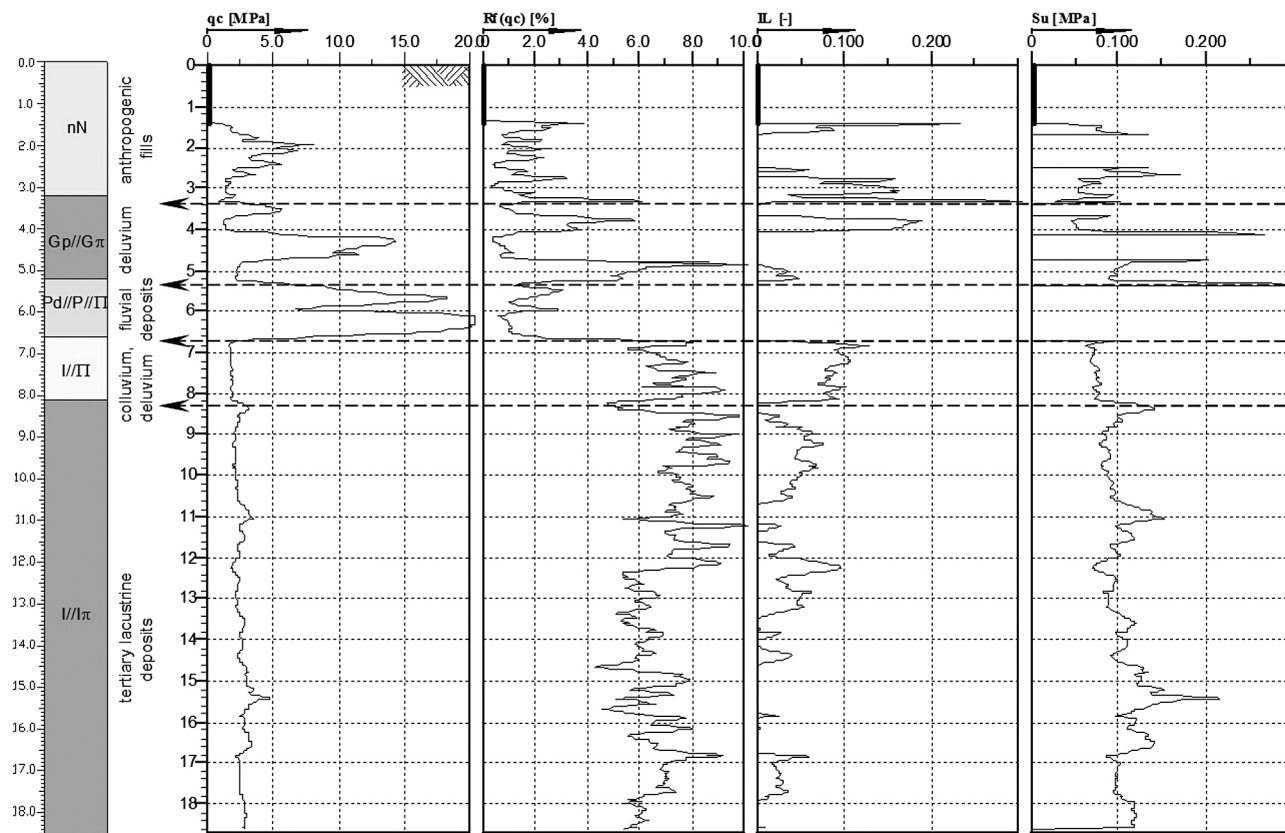
właściwości mechanicznych i fizycznych gruntów. Są one zazwyczaj realizowane oddzielnym torem (Bażyński i in. 1999), ale w praktyce ich wspólna analiza z wynikami badań geologicznych umożliwia uszczegóławianie tworzonych modeli budowy geologicznej. Z drugiej strony uwzględnianie zmian paleogeografii i związanych z nimi zmian warunków diagenety osadu zwiększa precyzję projektów geotechnicznych (np. Wierzbicki 2010).

W artykule przedstawiono przykład badań budowy geologicznej, jakie prowadzono w ramach dokumentowania warunków posadowienia budynku mieszkalnego, zlokalizowanego w strefie skarpy wysoczyzny morenowej w Warszawie, w sąsiedztwie skrzyżowania ulic Tamka i Kruczkowskiego (Koda i in. 2012, Bajda, Koda 2013) (ryc. 1).

Analizowany obszar obejmuje strefę zbocza wysoczyzny morenowej o spadkach rzędu 1:5 oraz leżącą poniżej strefę skłonu stożka napływowego, nachyloną na północny zachód (o rzędnych od ok. 9,00 do 7,30 m n. p. „0” Wisły). Powierzchnia ta przechodzi łagodnie w holoceniową równię zalewową. Od północy analizowany obszar ogranicza obniżenie głęboko wciętej dolinki daw-

niego cieków okresowych, której dnem biegnie ulica Tamka (ryc. 1). Ze względu na zabudowę/przebudowę terenu badań, przebieg granic morfologicznych jest obecnie słabo czytelny.

Głównym elementem budowy geologicznej tej strefy jest fałd zbudowany z osadów jeziornych pliocenu (tak zwanych ilów pstrych; Różycki 1972, Wyrwicki 1974, Kaczyński 2002). Iły pstry tworzą w strefie skarpowej lewobrzeżnej wysoczyzny w Warszawie zespół fałdów nazywanych „fałdami warszawskimi”. Ich genezę wiązał Różycki (np. 1972) z procesami spływowymi. Domosławska-Baraniecka (1961) oraz Brykczyński i Brykczyńska (1974) wiązali ich powstanie z procesami glacictonicznymi. Brykczyńska i Brykczyński (1974) datują wiek tych zaburzeń na stadiał maksymalny – radomki zlodowacenia środkowopolskiego (wg podziału Różyckiego 1972). W obrębie serii zaburzonej znajdują się także utwory glacialne stadiału radomki (Należyty 1972, Watycha 1973). Osady kolejnego stadiału – warty (obecnie zlodowacenia warty według Lindnera 1988) – leżą poziomo na zrównanej powierzchni osadów zaburzonych. Fałdy warszawskie zanikają w kierunku północ-



Ryc. 2. Wyniki sondowania CPTU-2 w strefie przykrawędziowej z zaznaczonym wydzieleniem poszczególnych warstw

Objaśnienia: I – il (Cl), Π – pył (Si), Iπ – il pylasty (siCl), Gπ – glina pylasta (saClSi), Gp – glina piaszczysta (clSa), P – piasek (Sa), Pd – piasek drobny (FSa), Pπ – piasek pylasty (siSa), nN – nasyp (F), // – przeławienia, / – „na pograniczu”

Fig. 2. Results of the CPTU-2 sounding, carried out in the escarpment zone with the limits of each layer

Explanations: I – clay (Cl), Π – silt (Si), Iπ – silty clay, Gπ – sandy clayey silt (saClSi), Gp – clayey sand (clSa), P – sand (Sa), Pd – fine sand (FSa), Pπ – silty sand (siSa), nN – fill (F), // – intercalations, / – “on the border”

nym i południowo-zachodnim. W obrębie doliny Wisły znaczna część tych struktur została zniszczona w efekcie erozji rzecznej (Sarnacka 1992). Wschodnie iłów pstrych występują w skarpie wysoczyzny w Warszawie od rejonu Cytadeli (Żoliborz) do rejonu Królikarni (Mokotów; Sarnacka 1992).

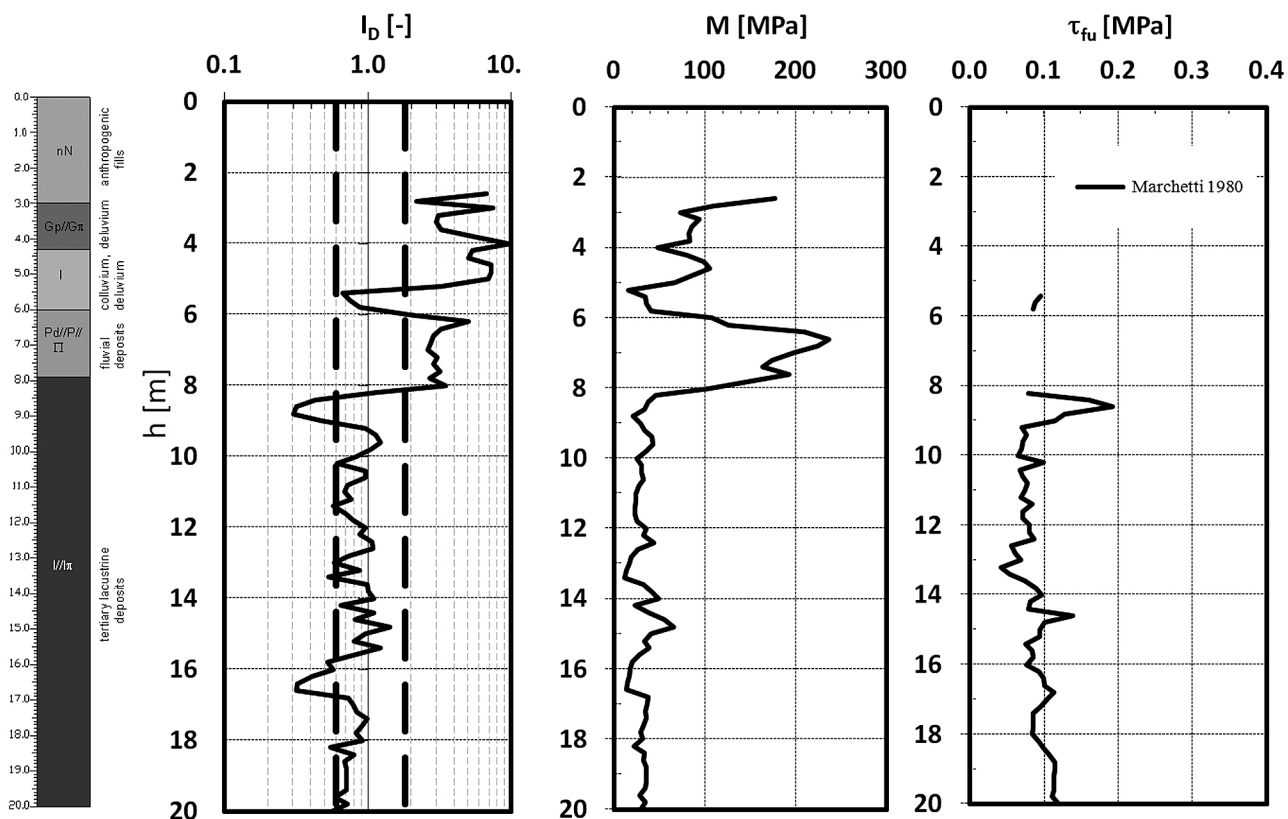
Morfologia analizowanej strefy została w znaczącym stopniu zmieniona w wyniku wielokrotnej przebudowy. Prace te doprowadziły też do przykrycia badanego obszaru warstwą różnowiekowych nasypów o zmiennych miąższościach. Budują je zarówno grunty naturalne, jak i antropogeniczne (Wysokiński i in., 1999).

Celem badań było uszczegółowienie położenia granic geologicznych w konstruowanym modelu budowy geologicznej strefy podnóża skarpy. W szczególności celem badań było wyznaczenie granicy przebiegającej w obrębie serii osadów spoistych pliocenu. Na podstawie opisu makroskopowego próbek tego gruntu stwierdzono, że budują go dwie różniące się genazą serie utworów spoistych: seria iłów plioceńskich *in situ* oraz seria koluwalno-deluwialna powstała w wyniku ich przemieszczenia po zboczu. W praktyce opis makroskopowy grunty tworzących te warstwy był bardzo podobny i niewystarczający do jednoznacznego ich rozdzielenia. W literaturze dotyczącej petrologii iłów plioceńskich (np. Wyrwicki 1974 czy Bo-

jakowska i in. 2010) zwraca się uwagę na fakt występowania w ich obrębie zróżnicowania nie będącego efektem procesów sedymentacyjnych, ale także procesów późniejszych: prekonsolidacji i wietrzenia (Kaczyński 2002). Opinię taką potwierdza nie tylko opisywane zróżnicowanie parametrów mechanicznych gruntów (cech gruntoznawczych), lecz również zróżnicowanie parametrów fizycznych (Kaczyński 2003, Bojakowska i in. 2010). Opierając się na wynikach badań gruntów spoistych z innych regionów kraju (np. Kaczyński, Muchowski 1987), przyjęto, że przemieszczenie prekonsolidowanych iłów pstrych po zboczu wpłynęło na zmiany strukturalne osadów ilastych, których efekty będą czytelne w ciągłym zapisie sondowania statycznego (CPTU, DMT).

Metodyka

Badania geologiczne obejmowały wiercenia, analizy makroskopowe i laboratoryjne gruntów oraz obserwacje hydrogeologiczne. Wiercenia prowadzono w dwóch etapach. W kwietniu 2012 r., u podnóża skarpy (aktualnie niezabudowanego) wykonano sześć wierceń rurowanych o głębokości od 15 do 22 m. Prace wykonywane były wiertnią mechaniczną, a średnica otworu wynosiła 200



Ryc. 3. Wyniki sondowania DMT w strefie przykrawędziowej. Objaśnienia na rycinie 2
 Fig. 3. Results of the DMT sounding in the escarpment zone. Explanations are given in Fig. 2

mm. W drugim etapie badań przeprowadzono wiercenia na powierzchni skłonu skarpy (poza analizowanym terenem) (Falkowski i in. 2013). Ze względu na zabudowę terenu wiercenia wykonywano zestawem do wierzeń ręcznych rurowanych o średnicy 90 mm firmy Eijkelkamp. W ten sposób wywiercono 8 otworów geologicznych o głębokościach od 2,95 do 7,35 m p.p.t. W ramach prac laboratoryjnych przeprowadzono analizy granulometryczne wybranych, reprezentatywnych dla dokumentowanych warstw próbek osadów.

Badania geotechniczne obejmowały: sondowania statyczne CPT i CPTU wykonywane do głębokości 19 m p.p.t. oraz sondowania dylatometrem Marchettiego (DMT) do głębokości 20 m p.p.t. Wykonano 2 badania sondą statyczną CPT, 2 sondą CPTU oraz 4 badania dylatometrem Marchettiego.

Sondowanie statyczne CPT/CPTU wykonano z wykorzystaniem stożka mechanicznego Begemanna oraz piezostożka zgodnie z wymogami normy PN-B-04452:2002 i PN-EN 1997-2: 2009. Podczas pogrążania sondy określano wartości oporu stożka (q_c), tarcia na tulei (f_s), ciśnienia wody w porach w trakcie penetracji (u_2) oraz pośrednio współczynnik tarcia $R_f = f_s/q_c$ umożliwiającą wstępną identyfikację rodzaju gruntu w podłożu. Wartości te wykorzystano do identyfikacji warstw geotechnicznych oraz określenia stanu gruntów niespoistych (stopień zagęszczenia I_D) i spoistych (stopień plastyczności I_L), a także wyznaczenia parametrów wytrzymałościowych gruntów (s_u (τ_{fu}) – dla gruntów spoistych i ϕ' – dla gruntów niespoistych). W obliczeniach posługiwano się

zależnościami podanymi przez Robertsona (1990), Lunne i in. (1997), Mayne (2001), Młynarka (2007) oraz Jamiólkowskiego i in. (2011).

Na rycinie 3 przedstawiono wyniki sondowania CPTU w formie wykresów wartości oporu stożka q_c , współczynnika tarcia R_f , stopnia plastyczności I_L oraz rozkład obliczonej wytrzymałości na ścinanie s_u z głębokością.

Badania DMT przeprowadzono, stosując dylatometr Marchettiego według standardowej procedury (Marchetti 1980). Pomierzone wartości ciśnienia p_0 i p_1 wykorzystano do identyfikacji warstw geotechnicznych i określenia zwłaszcza geotechnicznych parametrów odkształceniowych analizowanych gruntów. W przypadku badań DMT w obliczeniach posługiwano się zależnościami podanymi przez Marchettiego (1980), Marchettiego i Crappa (1981), Lechowicza i in. (2011) oraz Młynarka i in. (2012, 2013).

Na rycinie 4 przedstawiono przykładowe wyniki sondowania DMT w formie wykresów rozkładu wartości wskaźnika materiałowego I_D , modułu ściśliwości M , oraz obliczonej wytrzymałości na ścinanie c_u z głębokością.

Wyniki sondowań CPT/CPTU oraz DMT wykorzystano do identyfikacji warstw gruntów niezagęszczonych, gruntów uplastycznionych oraz określenia stanu gruntów budujących serię ilów trzeciorzędowych. Dodatkowo wartości parametrów geotechnicznych rejestrowane podczas sondowań dostarczały informacji na temat położenia granic poszczególnych wydzieleni litologicznych.

Rozkład wartości q_c i R_f w profilach sondowań statycznych oraz wyniki badań DMT wyraźnie wskazują na

duże zróżnicowanie litologiczne (rodzaju i stanu gruntów), szczególnie w obrębie serii osadów stokowych (koluwiów/deluwiów). Zwłaszcza zróżnicowanie parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych wskazuje na występowanie licznych przewarstwień w tych utworach.

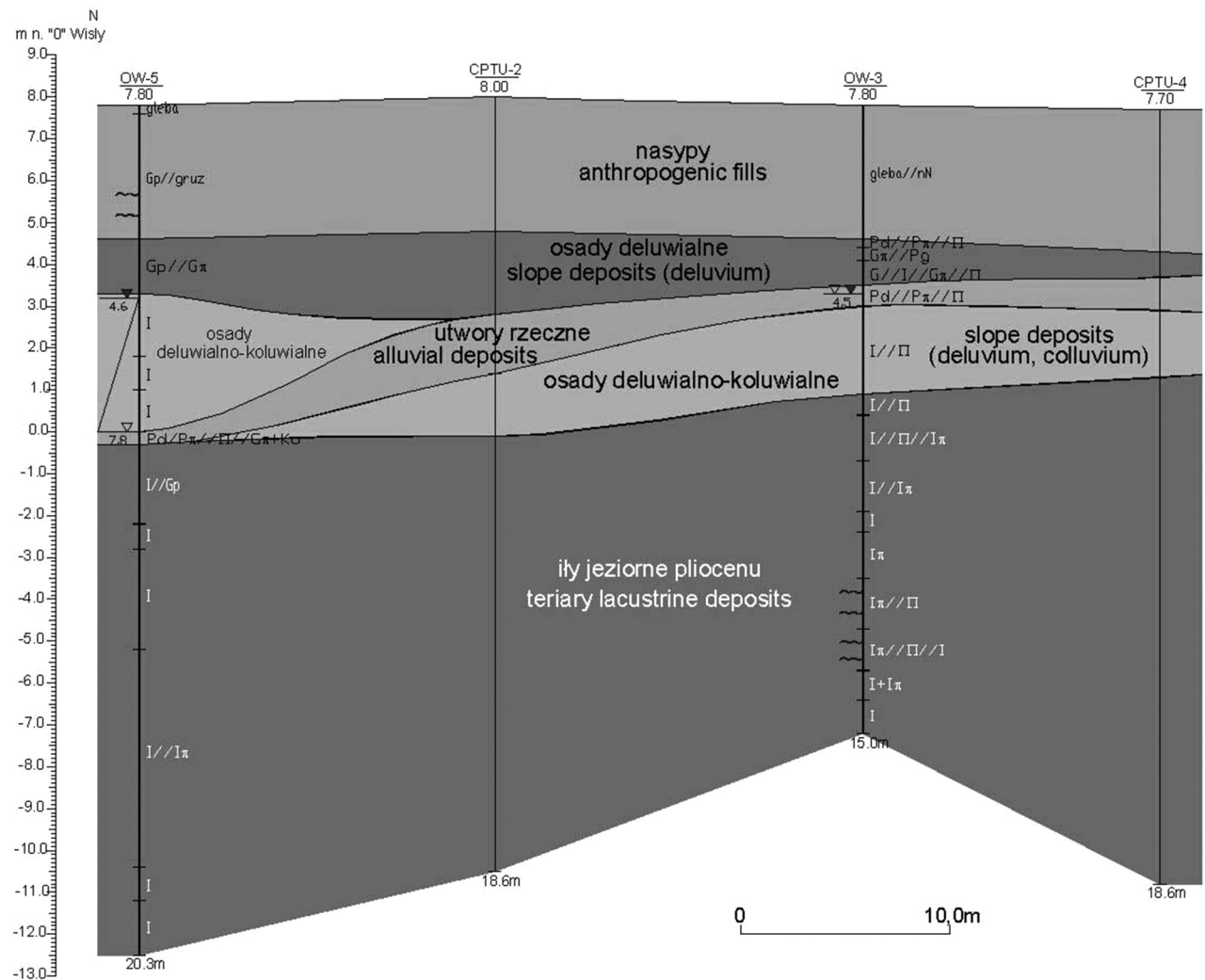
Wyniki i dyskusja

Na podstawie wykonanych profili gruntowych można stwierdzić, że w okresie schyłku plejstocenu w strefie tej dominowała depozycja osadów ilastych i pylastych, pochodzących z niszczenia fałdu zbudowanego z pstrych ilów plioceńskich. Procesowi temu sprzyjało wietrzenie (głównie mrozowe), powodujące zmniejszanie spistości tych gruntów. Splywy błotne zwietrzliny ilów pstrych były w czasie większej wilgotności wzbogacane depozycją osadów gruboziarnistych – piasków i żwirów – przez okresowe ciekł. Utwory te zawierają przeławicenia pyłów i piasków pylastych świadczące o ich genetycznym związku z procesami przemieszczeń zboczowych. Prze-

obrażenia teksturalne przemieszczanych osadów spowodowały także zwiększenie możliwości infiltracji wód. Świadectwem takich zmian jest występowanie w serii redeponowanych osadów ilastych licznych, niewielkich kongrecji węglanowych. Same ily pstry są osadem bezwęglanowym (Różycki 1972, Wyrwicki 1974).

W holocenie wraz z ociepleniem klimatu zmniejszyła się dynamika procesów zboczowych (Mojski 2005). W osadach leżących na serii deluwialno-koluwalnej, którą można wiązać ze zlodowaceniem wisły, znajduje się seria glin piaszczystych i glin pylastych z przeławiczeniami ilów i piasków gliniastych z domieszką substancji humusowej. Warstwa ta powstała głównie na skutek procesu ablacji deszczowej. Powierzchnia stropowa tej części profilu została przeobrażona (wyrównana) w efekcie zalewów holoceniowej Wisły. Ostatnim elementem profilu osadów analizowanej strefy są gliniaste nasypy antropogeniczne.

Wykonanie sondowań statycznych CPTU z wykorzystaniem piezostopka pozwoliło na dokładne rozpoznanie złożonej budowy osadów koluwialno-deluwialnych

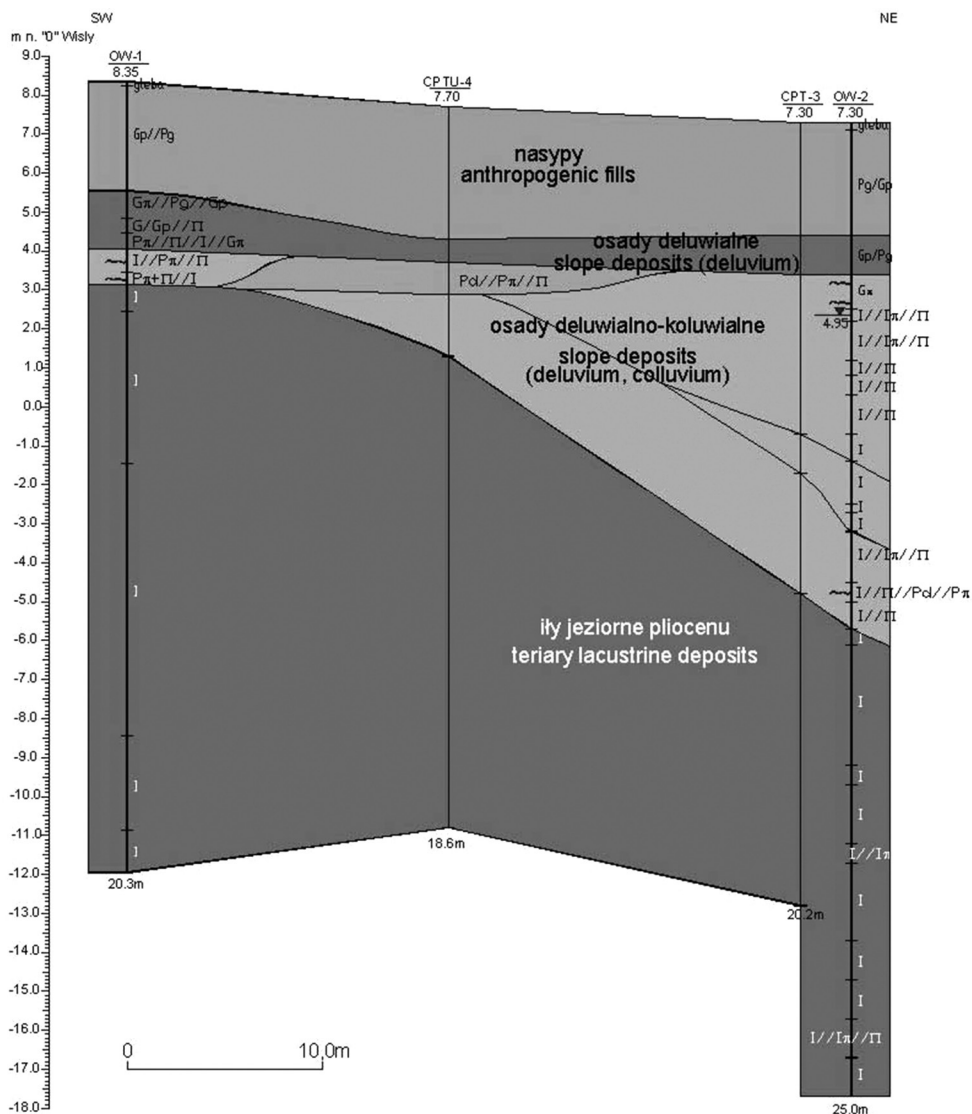


Ryc. 4. Przekrój geologiczny w rejonie badań zlokalizowany równolegle do skarpy

Objaśnienia: ▽ – zwierciadło nawiercone, ▼ – zwierciadło ustabilizowane, ~ – sączenia

Fig. 4. Geological cross-section of the analyzed polygon, accomplished parallel to the escarpment course

Explanations: ▽ – groundwater table met during drilling, ▼ – groundwater table (stabilized), ~ – seepage



Ryc. 5. Przekrój geologiczny podłoża w rejonie badań zlokalizowany prostopadle do Skarpy. Objasnienia na rycinach 2 i 4
Fig. 5. Geological cross-section of the analyzed polygon, accomplished perpendicularly to the escarpment course. Explanations are given in Figs 2 and 4

zalegających w strefie przyskarpowej. Dzięki ciągłemu zapisowi wyników sondowań możliwe było zarejestrowanie przewarstwień nawet o niewielkiej miąższości (układ pomiarowy umożliwia rejestrację mierzonych parametrów co 0,02 m). Badania te pozwoliły także na określenie położenia granicy pomiędzy serią redeponowanych ilów a serią *in situ*. Głębokość występowania tej granicy jest istotna z punktu widzenia bezpieczeństwa posadowienia obiektów budowlanych w strefie przykrawędziowej Skarpy Warszawskiej. Rozdzielenie tych dwóch serii utworów spoiстых w trakcie wiercenia może być w praktyce trudne i niejednoznaczne. Wykorzystanie kompleksowych badań terenowych, obejmujących zarówno wiercenia, jak i sondowania statyczne oraz dylatometryczne, umożliwiło precyzyjne określenie położenia granic poszczególnych warstw w profilu oraz parametrów mechanicznych tych warstw. Budowę analizowanej strefy przedstawiono na przykładowych przekrojach (ryc. 4, 5). Wartości parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw podano w tabeli 1.

Wnioski

Przeprowadzone w obrębie rozpoznawanej strefy wiercenia oraz badania geotechniczne pozwoliły na wydzielenie pięciu pakietów o zróżnicowanej genezie:

- pakiet pierwszy – iły jeziorne pliocenu (^tTp),
- pakiet drugi – seria osadów deluwialno-koluwialnych powstałych u schyłku plejstocenu w warunkach klimatu peryglacjalnego (^{d/k}Qp),
- pakiet trzeci – seria osadów okresowych cieków (^fQp),
- pakiet czwarty – seria osadów deluwialnych holocenu (^dQh),
- pakiet piąty – antropogeniczne utwory nasypowe (^NQh).

Najbardziej przydatne do dokładnego określenia głębokości występowania stropu poszczególnych warstw geologicznych były wyniki uzyskane z sondowania sondą statyczną z końcówką piezoelektryczną CPTU.

Obserwacja w profilu sondowania rozkładu wartości oporu stożka q_c oraz współczynnika tarcia R_f umożliwi-

Tabela 1. Wartości parametrów geotechnicznych gruntów analizowanego podłoża
Table 1. Geotechnical parameters values of analyzed basement

Profil litologiczny	Opis litologiczno-genetyczny	Rodzaj gruntu	Stopień zagęszczenia/plastyczności	Wilgotność naturalna	Gęstość objętościowa	Moduł ściśliwości z badań DMT	Wytrzymałość na ścinanie z badań CPT i DMT		
			I_p/I_L [-]	Wn [%]	ρ [t/m ³]	M [MPa]	τ_{fu} [kPa]		
Czwartorzęd	Holocen	^N Q _h	Antropogeniczne utwory nasypowe	Gp, Pg+gruz	0,25–0,35	–	–	20–80	50–100
		^d Q _p	Osady deluwialne	Gπ, Gp, Pg	0,20–0,25	13–37	2,20	10–20	20–60
	Plejstocen	^f Q _p	Utwory rzeczne	Pd, Pπ, Pr, Ps	0,35–0,45	15–31	1,95	100–150	50–70
		^{d/k} Q _p	Osady deluwialno-koluwalne	I, Π, Iπ I I, Pπ, Π	0,05–0,10 0,10–0,15 0,15–0,20	28 17–25 14–39	2,10 2,00 1,90	– 30–40 15–20	70–80 60–70 40–60
Trzeciorzęd	Pliocen	^J T _p	Osady jeziorne	I, Iπ	0,00–0,05	20–40	2,10	20–50	60–130

ła przeanalizowanie ciągłości przebiegu poszczególnych warstw geologicznych. Najistotniejsza z punktu widzenia warunków posadowienia, a także morfo- i litogenezy analizowanej strefy była możliwość odróżnienia kompleksu osadów pliocenkich tworzących glacictoniczny fałd od utworów pliocenu przemieszczonych po powierzchni zbocza. Procesy denudacyjne doprowadziły do wyraźnego osłabienia tych gruntów. Samo występowanie przewarstwień pylastych, a nawet piaszczystych nie jest w tym przypadku rozstrzygające, ponieważ brak jednorodności granulometrycznej jest cechą serii osadów jeziornych pliocenu (Różycki 1972, Wyrwicki 1974, Wysokiński i in. 2004).

Grunty z obu tych warstw mają podobne uziarnienie, dlatego rozdzielenie ich na podstawie badań makroskopowych i laboratoryjnych jest trudne. Analiza wyników sondowania CPTU pozwala też na stwierdzenie, że w zakresie głębokości rozgraniczenia nienaruszone osady pliocenu charakteryzują się wartościami $q_c \cong 3$ MPa i $R_f \cong 8$, natomiast osady pliocenu przemieszczone wskutek procesów zboczowych cechują się wartościami $q_c \cong 2$ MPa i $R_f \cong 7$ (ryc. 2). Zmienia się również stan tych gruntów oraz ich parametry mechaniczne. Grunty przemieszczone są w stanie twardeplastycznym o $I_L = 0,1$ i wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu $s_u \cong 0,6$ MPa, zaś warstwy naturalne (nieprzemieszczone) są warstwami mocniejszymi w stanie twardeplastycznym o $I_L = 0,05$ (lokalnie półzwardym i zwardym) i $s_u \geq 0,9$ MPa.

Analiza zmienności parametrów q_c i R_f uzyskana z sondowań CPTU może być przydatna w identyfikowaniu granic litogenetycznych. Może zatem być dodatkowym kryterium w rozpoznawaniu różnowiekowych warstw utworów czwartorzędowych.

Podziękowania

Autorzy dziękują anonimowym recenzentom za wnikliwe uwagi do wcześniejszej wersji artykułu.

Literatura

- Bajda M., Koda E., 2013. Badania geotechniczne do oceny warunków posadowienia w strefach przykrawędziowych Skarpy Warszawskiej. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 22(2)/60: 126–136.
- Bażyński J., Drągowski A., Frankowski Z., Kaczyński R., Rybicki S., Wysokiński L., 1999. *Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich*. Ministerstwo Środowiska, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Bojakowska I., Brański P., Iwasińska-Budzyk I., Retka J., 2010. Zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych w ilach poznańskich. *Górnictwo i Geologia* 5(4): 31–40.
- Boulton G.S., 1976. A genetic classification of tills and criteria for distinguishing tills of different origin. *Geografia* 12: 65–80.
- Bryczyńska E., Bryczyński M., 1974. Geologia przekopu Trasy Łazienkowskiej na tle problematyki osadów trzeciorzędu i czwartorzędu w Warszawie. *Prace Muzeum Ziemi* 22: 199–218.
- Domosławska-Baraniecka M.D., 1961. Outline of the stratigraphy of Warsaw. W: *Quaternary Abstracts of papers INQUA VIth Congress*, Poland: 20–21.
- Falkowski T., Bujakowski F., Ostrowski P., Wierzbicki G., Sieradz A., Kałmykow-Piwińska A., 2013. Dokumentacja geologiczna określająca wpływ projektowanego budynku mieszkalnego wielorodzinnego z częścią usługową na parterze i garażami podziemnymi przy ulicy Tamka w Warszawie na dynamikę przepływu wód podziemnych. *Katedra Geoinżynierii SGGW, Warszawa*.
- Jamiolkowski M., Lo Presti D., Manassero M., 2011. Evaluation of relative density and shear strength of sands from CPTU and DMT. *C.C. Ladd Symposium Oct. 2011, M.I.T, Cambridge, Mass.*
- Kaczyński R., 2002. Engineering-geological evaluation of Mio-Pliocene clays in the Warsaw area, central Poland. *Acta Geologica Polonica* 52(4): 437–448.
- Kaczyński R., 2003. Overconsolidation and microstructures in Neogene clays from the Warsaw area. *Geological Quarterly* 47(1): 43–54.
- Kaczyński R., Muchowski J., 1987. Ruchy masowe na zboczach zbudowanych z ilów krakowieckich (na przykładzie dolin rzecznych Wisły i Sanu). *Kwartalnik Geologiczny* 31: 405–420.
- Koda E., Bajda M., Falkowski T., Lech L., Matusiewicz W., Wdowska M., Osiński P., Bujakowski F., Czerniszewska M., Wierzbicki G., 2012. Dokumentacja geologiczno-inżynierska określająca warunki geologiczno-inżynierskie na potrzeby posadowienia budynku mieszkalnego wielorodzinnego z częścią usługową na parterze i garażami podziemnymi przy ulicy Tamka w Warszawie. *Katedra Geoinżynierii SGGW, Warszawa*.
- Kowalski W.C., 1988. *Geologia inżynierska*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Lechowicz Z., Rabarjelo S., Galas P., Kiziewicz D., 2011. Settlement evaluation of spread foundations on heavily preconsolidated cohesive

- soils. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclam.* 43(2): 113–120.
- Lindner L., 1988. Zarys stratygrafii plejstocenu rejonu Białej Podlaskiej wraz z próbą korelacji z przyległymi obszarami Związku Radzieckiego. *Przegląd Geologiczny* 11: 637–647.
- Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J., 1997. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Academic & Professional, London.
- Marchetti S., 1980. In situ tests by flat dilatometer. *Journal of the Geotechnical Engineering Division ASCE*. 106, GT3, Paper 15290: 299–321.
- Marchetti S., Crapps D., 1981. *Flat Dilatometer Manual*. Schmertmann and Crapps Inc.
- Mayne P., 2001. Stress-strain-strength-flow parameters from enhanced in-situ tests. *Int. Conf. on: In situ Measurements of Soil Properties and Case Histories*, Bali.
- Miall A.D., 1996. *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*, Springer: 1–582.
- Młynarek Z., 2007. Site investigation and mapping in urban area. *Proceedings of 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* 1.
- Młynarek Z., Gogolik S., Sanglerat G., 2013. Interrelationship between deformation moduli from CPTU and SDMT tests for overconsolidated soils. *Proc. of 18th ICSMGE*, Paris: 583–586.
- Młynarek Z., Wierzbicki J., Stefaniak K., 2012. Deformation characteristics of overconsolidated subsoil from CPTU and SDMT tests., *Proceedings of 4th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization (ISC'4)* Porto de Galinhas, Recife.
- Mojski J.E., 2005. *Ziemia Polski w czwartorzędzie. Zarys morfogenezy*. Państwowy Instytut Geologiczny.
- Myślińska E., 1984. Kryteria oceny inżyniersko-geologicznych właściwości mad. *Kwartalnik Geologiczny* 28: 143–162.
- Należyty W.Z., 1972. Przekrój geologiczny trasy mostowej „Łazienkowskiej” w Warszawie. *Przegląd Geologiczny* 2: 93–97.
- PN-B-04452: 2002. *Geotechnika – Badania polowe*.
- PN-EN 1997-2: 2009. Eurokod 7. *Projektowanie geotechniczne. Cz. 2. Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego*.
- Robertson P.K., 1990. Soil classification using the cone penetration tests. *Canadian Geotechnical Journal* 27(1): 151–158.
- Różycki S.Z., 1972. *Plejstocen Polski środkowej na tle przeszłości w późnym trzeciorzędzie*. PWN, Warszawa.
- Sarnacka Z., 1992. *Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic*. *Prace PIG* 138: 36.
- Schmertmann J.H., 1978. *Guidelines for cone penetration tests performance and design*. Federal Highways Administration. Washington. D.C. Report FHWA-TS-78-209.
- Watycha L., 1973. Uwagi o budowie geologicznej „Trasy Łazienkowskiej” w Warszawie. *Przegląd Geologiczny* 8/9: 458–465.
- Wierzbicki J., 2010. Ocena prekonsolidacji podłoża metodami in situ w aspekcie jego genezy. *Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Rozprawy Naukowe* 410.
- Wyrwicki R., 1974. Osady ilaste serii poznańskiej jako surowce ceramiczne. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 280: 107–121.
- Wysokiński L. i in., 1999. *Warszawska Skarpa Śródmiejska od Al. Jerozolimskich do ul. Sanguszki*. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- Wysokiński L., Godlewski T., 2004. Parametry geotechniczne i ich wykorzystanie w projektowaniu. *Seminarium: Ily plioceńskie* Warszawa, ITB: 51–71.
- Zieliński T., 1998. Litofacyjna identyfikacja osadów rzecznych. W: E. Mycielska-Dowgiałło (red.), *Struktury sedymentacyjne i post-sedymentacyjne w osadach czwartorzędowych i ich wartość interpretacyjna*. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW: 193–260.