

WARUNKI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE W REJONIE KOŚCIOŁA ŚW. KATARZYNY W WARSZAWIE

Ryszard Kaczyński, Anna Bąkowska, Kamil Kiełbasiński
Uniwersytet Warszawski

Streszczenie. W pracy przedstawiono warunki geologiczno-inżynierskie w rejonie kościoła św. Katarzyny w Warszawie. Na podstawie analizy materiałów archiwalnych, badań terenowych (wiercenia, CPT, DMT, CSWS, BAT) oraz badań laboratoryjnych właściwości gruntów (próbki NNS, NW, NU) określono budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne oraz dokonano ilościowej i jakościowej oceny gruntów budujących rejon kościoła św. Katarzyny. Uwaga została skoncentrowana na właściwościach fizyczno-mechanicznych glin zwałowych, które mają największy udział w budowie geologicznej rejonu kościoła św. Katarzyny.

Słowa kluczowe: warunki geologiczno-inżynierskie, właściwości fizyczno-mechaniczne, gliny zwałowe

WSTĘP

Kościół św. Katarzyny, usytuowany na wzgórzu pomiędzy ulicą przy Grobli i ulicą Fosy na terenie gminy Warszawa Ursynów, jest najstarszą świątynią w obecnych granicach administracyjnych Warszawy, akt erygacyjny podpisał w 1238 roku Konrad Mazowiecki. Pierwotnie był to kościół drewniany, w dokumentach z 1598 roku wzmiankuje się już o budynku ceglanym, którego powstanie archeolodzy datują na XV wiek. Badania archeologiczne potwierdzają też przypuszczenia, że pierwszy, drewniany budynek, postawiono w miejscu dawnego kultu pogańskiego.

Budynek kościoła był wielokrotnie niszczone (zniszczenia wojenne i pożary w VII wieku). Był też w VIII i XIX wieku kilkakrotnie gruntownie przebudowywany, a swoją obecną, eklektyczną formę uzyskał w 1848 roku.

W latach osiemdziesiątych zaobserwowano uszkodzenia ścian kościoła w postaci spękań i zarysowań o kierunkach pionowych i ukośnych. W latach dziewięćdziesiątych uszko-

dzenia budowli powiększyły się. Od 1985 roku trwają nieprzerwanie prace remontowe i konserwacyjne we wnętrzu świątyni.

Przyczyny powstania uszkodzeń mogą leżeć w budowie podłoża gruntowego budynku, w samej jego konstrukcji, a także we wpływach parasejsmicznych od ruchu ciężkich pojazdów. Zdaniem Ciesielskiego i innych [1997] powiększenie uszkodzeń budowli w latach dziewięćdziesiątych wskazuje, że najbardziej prawdopodobną przyczyną uszkodzeń jest właśnie postępująca intensyfikacja ruchu kołowego w pobliżu świątyni, związana z biegnącą równolegle do ulicy Fosa sześciopasmową, ruchliwą ulicą Rzymowskiego, stanowiącą, po przebudowanym w tych latach układem komunikacyjnym południowej części Warszawy, fragment obwodnicy Centrum.

W niniejszej pracy przeanalizowano wyłącznie warunki geologiczno-inżynierskie w celu oceny podłoża budowlanego w rejonie świątyni.

ZAKRES BADAŃ POLOWYCH I LABORATORYJNYCH

Po analizie materiałów archiwalnych, dotyczących budowy geologicznej rejonu Warszawy [Sarnacka 1992; Atlas... 2000] oraz opracowań inżynierskich dotyczących bezpośredniego otoczenia świątyni [Ciesielski i in. 1997; Dokumentacja... 1998], zaprojektowano i wykonano wiele badań w celu oznaczenia parametrów fizyczno-mechanicznych gruntów budujących wzgórze kościoła.

Prace polowe obejmowały: wiercenie do głębokości 25 m p.p.t., sondowanie statyczne CPT, sondowanie dylatometrem Marchettiego (DMT), badanie BAT oraz badania geofizyczne: CSWS (Continuous Surface Wave System) i tomografię elektrooporową.

Próbki gruntów o nienaruszonej strukturze pobrane podczas wiercenia za pomocą próbników SHELBY poddano analizom laboratoryjnym, wykorzystując najnowszą aparaturę badawczą, m.in. konsolidometr Rowe'a, talerze ciśnieniowe (do pomiaru ciśnienia ssania gruntu) czy SEM (skaningowy mikroskop elektronowy). Analizom poddano też próbki gruntów o strukturze naruszonej (NW, NU). Oznaczono skład granulometryczny gruntów, podstawowe właściwości fizyczne oraz parametry wytrzymałościowe i deformacyjne gruntów.

W niniejszej pracy przedstawiono tylko podstawowe właściwości geologiczno-inżynierskie omawianych glin zwałowych. Pełną analizę wyników przeprowadzonych badań znaleźć można w opracowaniach Zakładu Geologii Inżynierskiej UW [Kaczyński i in. 2006].

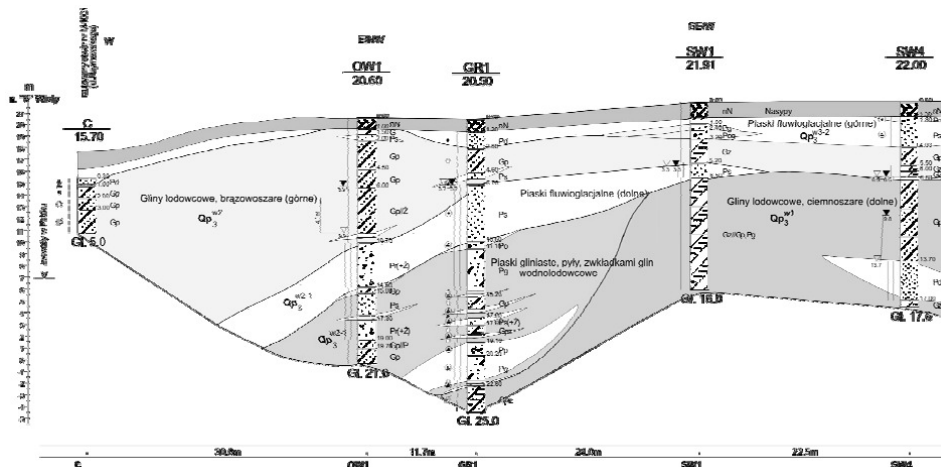
BUDOWA GEOLOGICZNA

Morfologicznie badany obszar należy do strefy krawędziowej wysoczyzny gliny lodowcowej. Budynek kościoła usytuowany jest na szczycie wzniesienia wysokości około 22 m nad „0” Wisły. Zbocze wschodnie – dość strome, stanowi krawędź wysoczyzny i opada w kierunku płaskich terenów tarasu nadzalewowego niższego (tzw. tarasu praskiego). Zbocze zachodnie, podparte skarpią wzdłuż ulicy Fosa, opada łagodnie w kierunku Doliny Służewieckiej.

Badany obszar budują utwory lodowcowe – gliny zwałowe i piaski fluwioglacjalne oraz utwory koluwalne i aluwialne.

Warstwę powierzchniową stanowią nasypy o miąższości do 1 m. Pod nimi leżą piaski fluwioglacjalne (górne) – piaski drobne i średnie, o miąższości od kilkudziesięciu centymetrów do 3 m. Poniżej znajduje się ciągły poziom gliny lodowcowej brązowszarej – gliny zwałowej zlodowacenia Warty o miąższości od 2,6 m (w środkowej części wzgórza) do prawie 10 m (na zboczu zachodnim i wschodnim). Jest to glina silnie piaszczysta, barwy brązowej do brązowszarej, z niewielką zawartością materiału zwirowego. Głina ta odsłania się w skarpię wschodniej wzgórza.

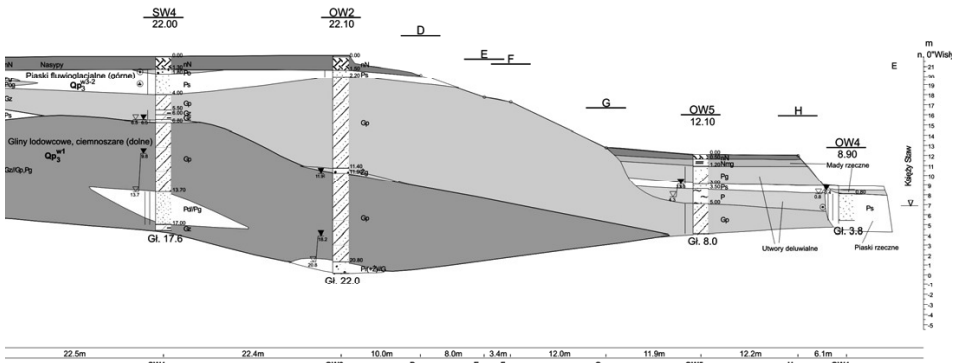
W części zachodniej wzgórza (rys. 1) glinę brązowszarą podścielają piaski średnie i grube, ze żwirem, fluwioglacjalne (dolne) o miąższości od 1,3 do 5,0 m. Pod nimi znajdują się wodnolodowcowe piaski gliniaste, z wkładkami gliny piaszczystej i licznymi soczewkami piasków średnich i grubych, często zawodnionych (woda o zwierciadle napiętym). Miąższość tego gliniasto-piaszczystego kompleksu wodnolodowcowego sięga 12 m.



Rys. 1. Przekrój geologiczno-inżynierski przez wzgórze kościoła św. Katarzyny (część zachodnia); profil otworów OW1, SW1, SW4 według Geoteko: nN – nasyp niebudowlany, Nmg – namuł, Po – pospółka, Pog – pospółka gliniasta, Ż – żwir, Pr – piasek gruby, Ps – piasek średni, Pd – piasek drobny, Pg – piasek gliniasty, Pp – pył piaszczysty, P – pył, Gp – glina piaszczysta, Gpz – glina piaszczysta zwięzła, Gz – glina zwięzła

Fig. 1. Geological-engineering cross-section through the St. Catharine church hill (western part); SW4, OW2, OW4, OW5 profiles by Geoteko: nN – embankment, Nmg – mud, Po – sand-gravel mix, Pog – clayey sand-gravel mix, Ż – gravel, Pr – coarse sand, Ps – medium sand, Pd – fine sand, Pg – clayey sand, Pp – sandy silt, P – silt, Gp, Gpz, Gz – sandy clay; Qp3w3-2 – fluvio-glacial (upper) sands, Qp3w2 – brown-grey (upper) tills, Qp3w2-1 – fluvio-glacial (lower) sands and clayey sands, Qp3w1 – grey (lower) tills

W środkowej i zachodniej części wzgórza (rys. 2) glinę brązowszarą podściela warstwa gliny lodowcowej ciemnoszarej (dolnej) – gliny zwałowej zlodowacenia Odry. Jest to glina piaszczysto-iłasta, barwy ciemnoszarej, z nielicznymi dobrze obtoczonymi głazikami. W glinie tej stwierdzono soczewkę zawodnionych piasków drobnych.



Rys. 2. Przekrój geologiczno-inżynierski przez wzgórze kościoła św. Katarzyny (część wschodnia); profil otworów SW4, OW2, OW4, OW5 według Geoteko

Fig. 2. Geological-engineering cross-section through the St. Catharine church hill (eastern part) SW4, OW2, OW4, OW5 profiles by Geoteko

U podnóża skarpy wschodniej występują utwory koluwalne (pyły, piaski gliniaste i piaski drobne) oraz utwory aluwialne (namuły wraz z podścielającymi je piaskami średnimi).

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNE I CHARAKTERYSTYKA MIKROSTRUKTURALNA GLIN ZWAŁOWYCH ZŁODOWACENIA WARTY

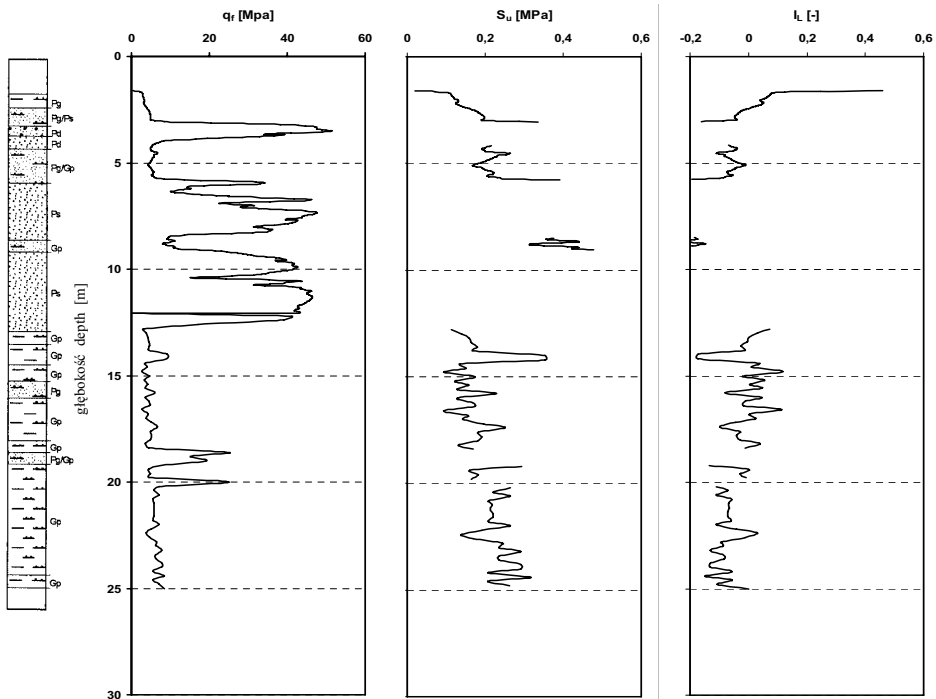
Na podstawie przeprowadzonych badań terenowych stwierdzono, że gliny zwałowe złodowacenia Warty występują w stanie twardoplastycznym i półzwartym (rys. 3).

Sondowanie CPT wykazało, że grunty te charakteryzują się dużymi wartościami parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych, co wynika m.in. z ich historii geologicznej (obciążenie lądolodem, zmiany strukturalne w wyniku wysychania). Wartości wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu (S_u) wahają się w granicach od 150 do 250 kPa (rys. 3).

Badania laboratoryjne wykazały, że gliny brązowszare są to (według normy PN 86/B-02480) gliny piaszczyste zwięzłe i gliny piaszczyste, o gęstości objętościowej od 2,67 do 2,68 Mg \times m $^{-3}$. Ich wilgotność naturalna (w_n) mieści się w przedziale 12,1–16,6%. Granice konsystencji badanych glin przyjmują następujące wartości: granica plastyczności (w_p) 11,3–17,3%, granica płynności (w_L) 22,6–48,9%. Wskaźnik plastyczności (I_p) waha się w granicach 11,3–30,8%, a stopień plastyczności (I_L) –0,02–0,18. Wyniki badań laboratoryjnych potwierdzają więc wyniki badań polowych: gliny złodowacenia Warty występują w stanie półzwartym i twardoplastycznym.

Badania wytrzymałościowe glin w aparacie skrzynkowym wykazały, że ich kąt tarcia wewnętrznego (φ) oscyluje w granicach 20,4–31,7°, a spójność (c_u) od 120 do 136 kPa.

W porównaniu do wartości parametrów fizycznych i mechanicznych gliny złodowacenia Warty rejonu Warszawy [Atlas... 2000] gliny brązowszare charakteryzują się stosunkowo małymi wartościami stopnia plastyczności oraz dużo większymi wartościami spójności. Porównanie wartości parametrów fizyczno-mechanicznych glin zwałowych złodowacenia Warty rejonu kościoła św. Katarzyny do wartości glin zwałowych tego złodowacenia obszaru Warszawy przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 3. Wyniki sondowania statycznego CPT: Ps – piasek średni, Pd – piasek drobny, Pg – piasek gliniasty, Gp – glina piaszczysta

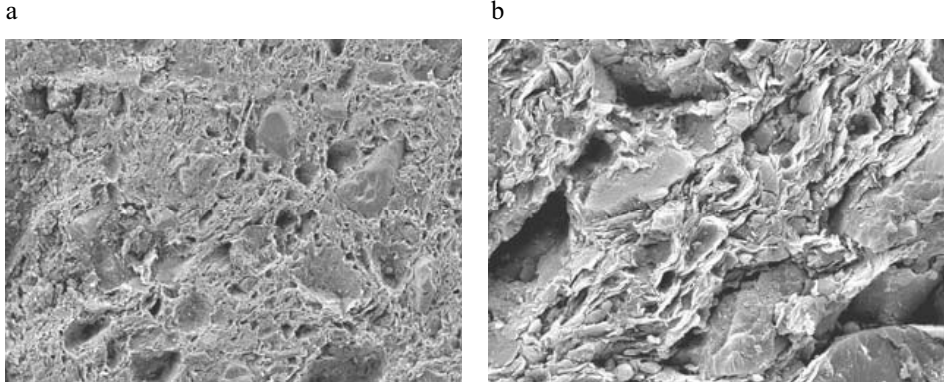
Fig. 3. CPT test results: Ps – medium sand, Pd – fine drobny, Pg – clayey sand, Gp – sandy clay

Tabela 1. Wartości parametrów fizyczno-mechanicznych glin zlodowacenia Warty rejonu kościoła św. Katarzyny na tle wartości glin zwałowych zlodowacenia Warty rejonu Warszawy [Atlas... 2000): min – wartość minimalna parametru, max – wartość maksymalna parametru

Table 1. Comparison of physical and mechanical parameters of middle polish glaciations tills: St. Catharine church area and Warsaw area: min – minimal parameter value, max – maximal parameter value

Gliny zwałowe zl. Warty Middle polish glaciations tills	Wilgotność w_n [%] Water content		Granica plastyczności w_p [%] Plastic limit		Granica płynności w_L [%] Liquid limit		Wskaźnik plastyczności I_p [%] Plasticity index		Stopień plastyczności I_L [-] Liquidity index		Spójność c_u [kPa] Cohesion		Kąt tarcia wewnętrznego φ [°] Angle of internal friction	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Rejon Warszawy Warsaw area	7,24	26,6	9,2	23,6	10,1	53,1	2,69	29,47	0,0	0,79	9	90	2	42
Rejon kościoła św. Katarzyny St. Katarzyna Church area	12,1	16,6	11,3	17,3	22,6	48,9	11,3	30,8	-0,02	0,18	120	136	20,4	31,7

Gliny zwałowe charakteryzują się mikrostrukturą matrycową: pojedyncze ziarna piaszczyste i pylaste tkwią w matrycy – masie ilastej, która szczelnie wypełnia przestrzeń między ziarnami (rys. 4). Mikroagregaty kontaktują się ze sobą według płaszczyzna-płaszczyzna oraz płaszczyzna-krawędź. Przestrzeń porową tworzą głównie mezopory i mikropory, dominują pory anizometryczne i szczelinowate. Przestrzeń porowa jest słabo zorientowana. Wyniki analizy ilościowej glin zestawiono w tabeli 2.



Rys. 4. Mikrostruktura glin zwałowych, obraz SEM: a – powiększenie 200x; b – powiększenie 1600x

Fig. 4. Microstructures of tills, study in SEM: a – magnification 200x; b – magnification 1600x

Tabela 2. Ilościowe parametry mikrostrukturalne gliny zwałowej [Trzciniński 1998]

Table 2. Microstructure parameters of tills [Trzciniński 1998]

Wyszczególnienie Specification	Gliny zwałowe brązowoszare (górne) Brown-grey (upper) tills
Porowatość n [%] Porosity	36,6
Średni współczynnik formy porów, K_{fav} Average form index of pores	0,557
Pory izometryczne [%] Isometric pores	15,0
Pory anizometryczne [%] Anisometric pores	43,3
Pory szczelinowate [%] Fissure-like pores	41,7
Ultrapory [%] Ultrapores	1,0
Mikropory [%] Micropores	44,7
Mezopory [%] Mesopores	54,3
Wskaźnik anizotropii mikrostruktury, K_a [%] Microstructure anisotropy index	5,4
Przeważający kierunek orientacji porów, α [°] Dominating orientation direction of pores	147,9

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań rejon kościoła św. Katarzyny zaliczyć należy do obszarów o dobrych warunkach geologiczno-inżynierskich.

Budowę wzgórza charakteryzuje swoista dwudzielność geologiczna i morfologiczna – łagodne zbocze zachodnie jest znacznie bardziej zróżnicowane litologicznie niż strome zbocze wschodnie. Podłoże budowlane stanowią grunty nośne – półzwarne i twar doplastyczne gliny piaszczyste oraz średnio zagęszczone i zagęszczone piaski.

Występowanie w obrębie glin zwałowych nawodnionych soczewek piaszczystych (zwierciadła napięte), mogących mieć kontakt hydrauliczny z przypowierzchniową strefą wód, może powodować deformacje filtracyjne, szczególnie w części zachodniej wzgórza znajdującej się w strefie wpływu drgań komunikacyjnych. Predyspozycje do lokalnych ruchów osuwiskowych może mieć natomiast stroma skarpa wschodnia.

Podziękowania

Przeprowadzenie niniejszych badań było możliwe dzięki finansowemu wsparciu Dziekana Wydziału Geologii – w ramach badań własnych (BW-1761/7), oraz Komitetu Badań Naukowych – w ramach Projektu Badawczego nr 4 T12B 062 28 „Stan skonsolidowania i mikrostruktury glin zlodowacenia środkowopolskiego rejonu Warszawa-Służew na tle ich geologiczno-inżynierskich właściwości”. Za udzielone wsparcie składamy serdeczne podziękowania.

PIŚMIENNICTWO

- Atlas geologiczno-inżynierski Warszawy, 2000. PIG, Warszawa.
- Ciesielski R., Szypuła K., Abratański A., 1997. Wpływ drgań komunikacyjnych na zabytkowy kościół św. Katarzyny w Warszawie. Mat. VIII Symp. „Wpływy sejsmiczne i parasejsmiczne na budowie”. Kraków, listopad 1997, 213–221.
- Dokumentacja geologiczno-inżynierska podłoża kościoła pw. św. Katarzyny w Warszawie, 1998. Geoteko, Warszawa.
- Kaczyński R. i inni, 2005–2008. Stan skonsolidowania i mikrostruktury glin zlodowacenia środkowopolskiego rejonu Warszawa – Służew na tle ich geologiczno-inżynierskich właściwości. Sprawozdanie z projektu badawczego nr 4 T12B 062 28.
- Sarnaacka Z., 1992. Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego CXXXVIII. PIG, Warszawa.
- Trzciniński J., 1998. Mikrostruktury a właściwości geologiczno-inżynierskie glin lodowcowych. Rozprawa doktorska – załączniki. Biblioteka Wydziału Geologii UW, VI 53 –VI 54.

GEOLOGICAL AND ENGINEERING CONDITIONS OF THE ST. KATARZYNA CHURCH AREA IN WARSAW

Abstract. Geological and engineering conditions of the St. Catherine Church area in Warsaw were analyzed in the paper. Description of geology and hydrogeology was based on the field investigation and the archives documents analysis. Extensive spectrum of in-situ testing (including CPT, SL, DMT, CSWS, BAT) and standard laboratory testing was used

to determine physical and mechanical properties of soils. Quaternary tills build majority of the analyzed area so its physical and mechanical properties were taken into particular consideration.

Key words: geological and engineering conditions, physical and mechanical properties, Quaternary tills

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.03.2008