

**CHARAKTERYSTYKA
WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH
PODŁOŻA KRAKOWA
Z UWZGLĘDNIENIEM NAWARSTWIEN HISTORYCZNYCH**

**Engineering-geological characteristic of the Krakow area subsoil,
including historical deposits**

**Stanisław RYBICKI, Piotr KROKOSZYŃSKI
& Janusz HERZIG**

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: rybicki@geol.agh.edu.pl, krokosz@uci.agh.edu.pl, herzig@uci.agh.edu.pl*

Treść: W pracy przedstawiono krótką charakterystykę właściwości podłoża gruntowego na obszarze Krakowa. Zamieszczono informacje o zmienności i przeciętnych wartościach parametrów istotnych dla budownictwa, ze szczególnym uwzględnieniem iłów trzeciorzędowych. Warunki geologiczne i geologiczno-inżynierskie obszaru Krakowa należy uznać za względnie skomplikowane. Podłoże dla konstrukcji podziemnych tworzą trzy zasadnicze serie: jurajsko-kredowe wapienie i margle, iły miocenijskie oraz czwartorzędowe osady piaszczysto-gliniaste. Utrudnienia w wykonawstwie podziemnych obiektów inżynierskich powoduje morfologia stropu formacji jurajsko-kredowej, bardzo skomplikowana, tworząca strukturę zrębowo-blokową, wypełnioną ilami miocenijskimi, oraz pokrywa gruntów antropogenicznych osiagających miąższość 6–8 m na obszarze historycznej zabudowy miasta Krakowa.

Słowa kluczowe: podłoże gruntowe, właściwości gruntów, iły trzeciorzędowe, grunty czwartorzędowe, warunki posadowienia

Abstract: In the article short characteristics of geological conditions and some physico-mechanical properties of soils are presented. Characteristic include information's about variability and average values of geotechnical parameters significant for civil engineering, with a special consideration to the tertiary clays. Geological and engineering-geological conditions of Krakow area are relatively complicated. This subsoil in the deep range of underground constructions are generally built of three soils series. These are limestones and marls of Jurassic-Cretaceous formations, Miocene clays and Quaternary sandy-clay soils. Morphology of top surface of Jurassic-Cretaceous formation is very complicated. It create elevated structures like fault blocks and cave forms, filled by Miocene clays. On the area of old historical part of Krakow very important role in engineering geological conditions play anthropogenic soils, reach thickness up to 6–8 m.

Key words: subsoil, soil properties, Tertiary clays, Quaternary soils, building conditions

WSTĘP

Warunki geologiczno-inżynierskie podłoża Krakowa są bardzo skomplikowane. Wynika to nie tylko z naturalnej historii geologicznej tego terenu, lecz w pewnej mierze związane jest też z historyczną działalnością gospodarczą człowieka.

Podłoże na terenie Krakowa pozostające w zasięgu zainteresowań budownictwa, w tym budownictwa podziemnego (tunele, podziemne parkingi, garaże itp.), zbudowane jest z utworów mezozoicznych jury i lokalnie kredy (wapienie, margle), utworów trzeciorzędowych (iły mioceńskie) oraz utworów czwartorzędowych (piaski, żwiry, gliny).

UTWORY MEZOZOICZNE – WAPIENIE I MARGLE

Utwory mezozoiczne, głównie wapienie, są silnie spękane, szczelinowate i częściowo skrasowiałe oraz poprzecinane licznymi uskokami, co powoduje, że w morfologii stropu utworów mezozoicznych zaznaczają się liczne wypiętrzenia (zręby) sięgające w niektórych miejscach powierzchni terenu, pomiędzy nimi zaś zagłębienia w formie rowów tektonicznych (Fig. 1). Wytrzymałość wapieni jurajskich jest duża i waha się w granicach 16–90 MPa – średnio 47 MPa (Pinińska 2000).

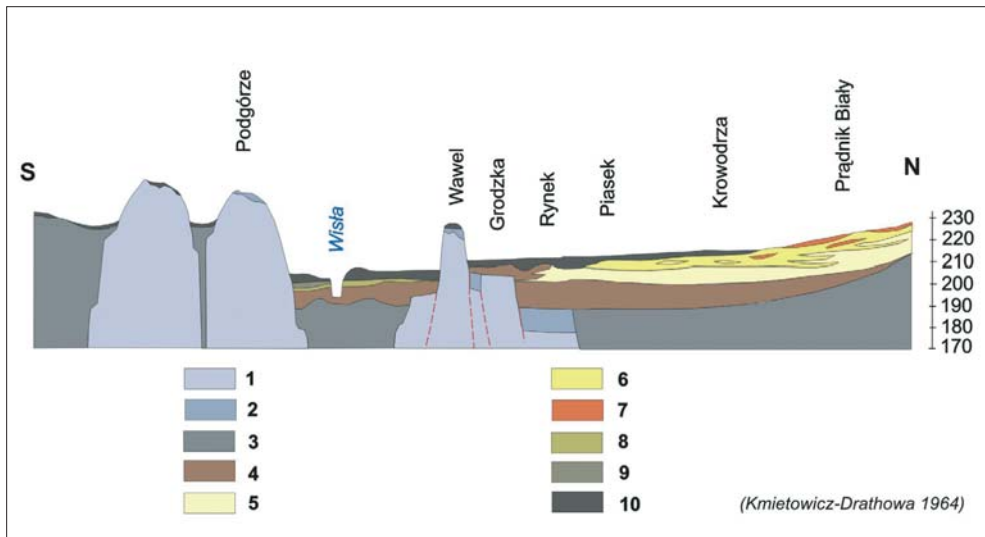


Fig. 1. Schematyczny przekrój geologiczny przez podłoże Krakowa: 1 – wapienie jurajskie, 2 – margle kredowe, 3 – iły mioceńskie, 4 – żwiry karpackie, 5 – żwiry wapienne stożka Prądnika, 6 – piaski pleistoceni, 7 – lessy, 8 – piaski holoceni, 9 – gliny holoceni, 10 – nasypy

Fig. 1. Schematic geological cross section through subsoil of Krakow: 1 – Jurassic limestones, 2 – Cretaceous marls, 3 – Miocene clays, 4 – Carpathian gravels, 5 – limestone gravels of Prądnik Stream, 6 – Pleistocene sands, 7 – less, 8 – Holocene sands, 9 – Holocene loam, 10 – anthropogenic fill

UTWORY KENOZOICZNE – IŁY MIOCEŃSKIE

Na utworach mezozoicznych, zwłaszcza w zagłębieniach rowów tektonicznych, zalegają utwory mioceni. Strop utworów mioceni w podłożu Krakowa występuje na bardzo różnych głębokościach, najczęściej jednak około 10–30 m pod powierzchnią terenu. Miąższość utworów mioceni jest zróżnicowana, zredukowana na wyniesieniach podłoża i większa (około 40–70 m) w jego zagłębieniach.

Utwory miocenu w podłożu Krakowa to głównie ropy, ropy, rzadziej mułowce na ogół margliste, barwy jasnoszarej do ciemnoszarej. Sporadycznie zawierają one cienkie wkładki piaszczysto-pylaste oraz wkładki tufitów, niekiedy silnie zbentonizowanych (Rutkowski 1989). Ropy i ropy są lokalnie laminowane, co powoduje ich poziome rozwarstwianie, zwłaszcza po wyschnięciu. Wykazują one także spękania i zlustrowania, głównie w stropowej części serii, co można wiązać z glacitektoniką i większym odprężeniem ropy w części stropowej. Spękania i strefy zbrekcjonowania głębiej występujące w serii ropy wydają się być związane z obecnością uskoku. Pod względem stratygraficznym utwory te przynależą do warstw skawińskich i chodenickich miocenu (Alexandrowicz 1964, Rutkowski 1989).

Pod względem składu granulometrycznego ropy mioceni reprezentowane są głównie przez ropy pylaste, gliny pylaste zwięzłe, ropy i gliny. Obserwuje się pewne zróżnicowanie składu granulometrycznego w profilu pionowym serii ropy. W części środkowej serii (głębokość średnia około 40 m) osady są najbardziej jednorodne i wykształcone głównie jako ropy pylaste i ropy, w części dolnej (głębokość średnia około 58 m) przeważają różne odmiany glin, w części górnej (głębokość średnia około 25 m) obok ropy pylastych występują też gliny pylaste i gliny pylaste zwięzłe. Zaznacza się też pewne regionalne zróżnicowanie składu granulometrycznego osadów ilastych. W otworach wiertniczych w części wschodniej Krakowa stwierdzono większą piaszczystość osadów niż w części zachodniej.

Wilgotność ropy mioceni waha się od około 11 do 25%, a najczęściej wynosi około 21–23%. Stwierdza się wyraźne zróżnicowanie wilgotności w profilu pionowym ropy mioceni. W części górnej profilu (strefa głębokości około 17–35 m) jest ona największa i wynosi średnio 22.3%, w części środkowej (strefa głębokości od około 35 do 50 m) – średnio 19.6%, a w części dolnej (strefa głębokości od około 44 do 78 m) – średnio 17.3%. Wyniki badań zawarte w różnych dokumentacjach inżyniersko-geologicznych wykazują, że w stropowej części serii ropy przy kontakcie z zawodnionym czwartorzędem ich wilgotność jest podwyższona i wynosi średnio 29.3% (19.0–54.3%). Strefa podwyższonej wilgotności ma tu grubość około 1–3 m. Pionowe zróżnicowanie wilgotności serii ropy mioceni związane jest częściowo ze zróżnicowaniem składu granulometrycznego i ze stopniem ich skonsolidowania, na co wskazuje wzrost ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego ropy wraz z głębokością. Z uwagi na wartości granic konsystencji ropy mioceni: granica plastyczności średnio 31.2% (21.8–56.5%), granica płynności średnio 82.0% (44.7–195.6%), granica skurczu średnio 19.9% (13.0–26.0%), pozostają one w strefie górnej najczęściej w stanie półzwardym, a w części środkowej i dolnej w stanie na ogół zwardym. Jedynie w przystropowej strefie o podwyższonej wilgotności ropy występują najczęściej w stanie twaroplastycznym, lokalnie nawet plastycznym. Średnia wartość wskaźnika plastyczności ropy wynosi 50.5%.

Wskaźnik aktywności ilów (wg Skempton) wynoszący średnio 1.41 (0.74–1.91) świadczy o tym, że należą one ogólnie do gruntów aktywnych, sporadycznie mało aktywnych. Wskazuje na to również ich skład mineralogiczny – stwierdzono dominujący udział smektytu wśród minerałów ilastych.

Ciężar objętościowy ilów mioceńskich jest pochodną ich stopnia kompaktacji, wilgotności, składu granulometrycznego i mineralnego. Wynosi on średnio 20.8 kN/m^3 , wahając się od 18.6 do 22.4 kN/m^3 . Zaznacza się wzrost ciężaru objętościowego z głębokością, zgodnie ze wzrostem stopnia kompaktacji i zmniejszaniem się wilgotności ku spągowi serii ilastej. W części górnej serii wynosi on średnio 20.2 kN/m^3 , w środkowej – 21.1 kN/m^3 , a w dolnej – 21.4 kN/m^3 .

Badania ilustrujące współdziałanie gruntu z wodą to pęcznienie i rozmakanie. Średnia wartość objętościowego wskaźnika pęcznienia wynosi w przypadku ilów mioceńskich 19.7%, wahając się od 2.9 do 54.3%. Można stwierdzić, że gliniaste odmiany w serii ilów mioceńskich mają mniejszy wskaźnik pęcznienia wynoszący 6–7%, podczas gdy odmiany ilaste przeciętnie 23%. Wilgotność gruntu po spęcznieniu wynosi średnio 34.7% (21.1–55.4%). Ciśnienie pęcznienia oznaczone metodą kompensacyjną wynosi średnio 130 kPa, wahając się od 28 do 367 kPa. Najwyższe wartości ciśnienia pęcznienia mają grunty o dużej zawartości minerałów mieszanopakietowych smektyt-montmorillonit.

Iły mioceńskie podłoża Krakowa charakteryzują się bardzo dużą agresywnością siarczanową w stosunku do stali i betonu, bowiem zawartość jonu SO_4^{2-} w wodach porowych odcisniętych z ilów przekracza wartość dopuszczalną (1000 mg/dm^3) i wynosi od 2900 do $14\,100 \text{ mg/dm}^3$. Sporadycznie stwierdzono, że pH wody porowej jest mniejsze od 7, co również wskazuje na agresywność gruntu (Rybicki & Lenduszek 1991).

Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie ilów mioceńskich wykazuje duży rozrzut: od 10 do 5226 kPa. Ogólnie małe wytrzymałości na ściskanie (do około 200 kPa) uzyskiwano dla ilów silniej zbrekcjowanych i zlustrowanych, większe (do około 1000 kPa) – dla ilów mniej zbrekcjowanych, z pojedynczymi powierzchniami osłabień. Próbkę ilów bez powierzchni osłabień (monolityczne) wykazują najwyższą wytrzymałość na ściskanie około 1000–5200 kPa, najczęściej około 2000–3000 kPa. Pochodziły one głównie z dolnej i środkowej części serii ilów mioceńskich. Moduł odkształcenia ogólnego (tylko dla prób monolitycznych) waha się od 11 000 do 83 000 kPa, a najczęściej przybiera wartość 24 000–28 000 kPa. Współczynnik Poissona wynosi średnio 0.26.

Parametry oporu ścinania ilów mioceńskich podłoża Krakowa są bardzo zmienne, zależne nie tylko od rodzaju granulometrycznego gruntu i jego stanu konsystencji, lecz również od ilości i charakteru powierzchni nieciągłości (spękań i zlustrowań). Zestawienie wyników badań według tego ostatniego kryterium, które najbardziej wpływa na parametry oporu ścinania, prezentuje tabela 1.

Przeciętnie dla całego masywu ilów mioceńskich podłoża Krakowa, uwzględniając różne rodzaje prób tych ilów, można przyjmować (w naprężeniach całkowitych) wartość kąta tarcia wewnętrznego 16.9° , a spójności – 228 kPa.

Tabela (Table) 1

Zestawienie średnich wartości parametrów oporu ścinania iłów miocenijskich podłoża Krakowa

Average values of shear strength parameters of tertiary clays from Krakow area subsoil

Rodzaj prób iłów miocenijskich <i>Kind of Miocene clays samples</i>	Średnia wilgotność naturalna <i>Average moisture contents W_n [%]</i>	Parametry oporu ścinania <i>Parameters of shear strength</i>			
		Naprężenia całkowite <i>Total stress</i>		Naprężenia efektywne <i>Effective stress</i>	
		Spójność <i>Cohesion c [kPa]</i>	Kąt tarcia wewnętrznego <i>Angle of friction ϕ [°]</i>	Spójność <i>Cohesion c [kPa]</i>	Kąt tarcia wewnętrznego <i>Angle of friction ϕ [°]</i>
Próbki z licznymi powierzchniami spękań i zlustrowań <i>Cracked and fissured samples</i>	22.3	71.6	8.6	–	–
Próbki z pojedynczymi spękaniem i zlustrowaniami <i>Samples slightly fissured and cracked</i>	19.5	205.0	9.1	–	–
Próbki iłów zbrekcjowanych (ił kostkowy) <i>Samples of brecciated clays (lumpy clay)</i>	18.2	250.0	24.5	373.0	18.4
Próbki monolityczne bez spękań <i>Monolithic (firm) samples without fissure and cracks</i>	15.2	287.0	25.3	402.6	25.4

UTWORY KENOZOICZNE – OSADY CZWARTORZĘDOWE

Na utworach trzeciorzędowych, lokalnie wprost na podłożu mezozoicznym, zalegają utwory czwartorzędowe. Ocena warunków geologiczno-inżynierskich podłoża Krakowa w najmłodszej przypowierzchniowej serii utworów czwartorzędowych, zwłaszcza na obszarze starej części Krakowa, wymaga uwzględnienia przekształceń historycznych w mieście.

Związane są one z dawnym budownictwem mieszkaniowym, działalnością wynikającą z ochrony przed powodzią, przekształceniami sieci wodnej (rzeki, starorzecza, młynówki, stawy, fosy), budową fortyfikacji, traktów komunikacyjnych itp. (Fig. 2). Znajomość charakteru i miejsca tej działalności na podstawie źródeł historycznych pozwala na lepsze interpretowanie danych z rozpoznania geologicznego podłoża oraz prawidłową ocenę warunków geotechnicznych.

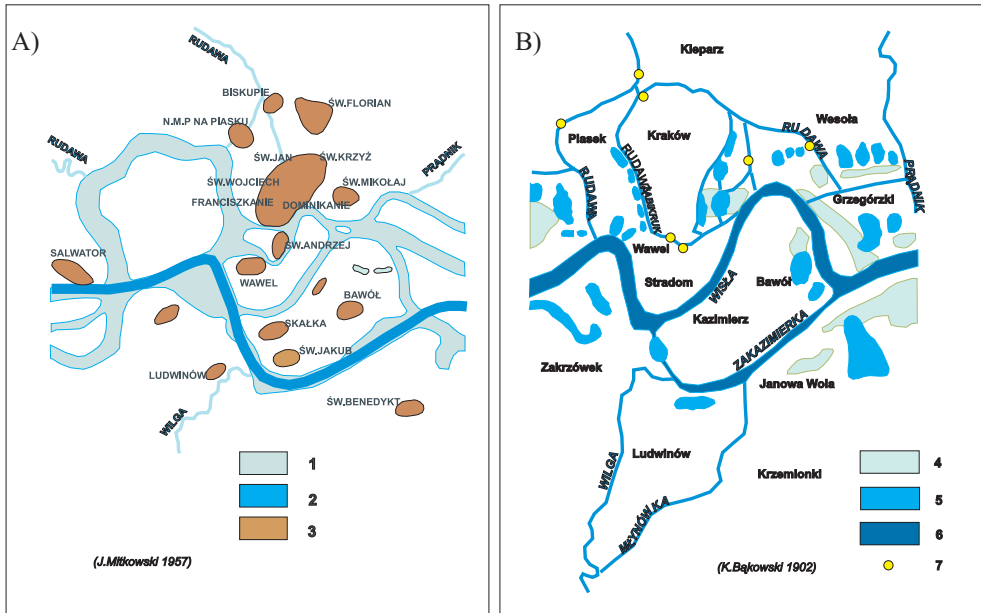


Fig. 2. Starorzecza Wisły i osadnictwo przedlokacyjne (A). Hydrografia rejonu Krakowa w średniowieczu (B); 1 – starorzecza, 2 – obecny nurt Wisły, 3 – osadnictwo przedlokacyjne, 4 – tereny podmokłe, 5 – stawy, 6 – rzeki, 7 – młyny

Fig. 2. Old river beds of Vistula River and first man settlements (A). Hydrography of Krakow region in middle ages (B); 1 – old river bed, 2 – Vistula River, 3 – old historic settlements, 4 – waterlogged terrains, 5 – ponds, 6 – rivers, 7 – mills

Utworki czwartorzędowe to różnego rodzaju piaski, żwiry, gliny, namuły organiczne i lessy genezy wodno-lodowcowej, aluwialnej oraz eolicznej. Miąższość utworów czwartorzędowych jest zmienna i wynosi na ogół 10–20 m, dochodząc do około 30 m w dolinach rzecznych.

Utworki czwartorzędowe z uwagi na dużą zmienność swojego wykształcenia charakteryzują się najbardziej zróżnicowanymi właściwościami geologiczno-inżynierskimi (Rutkowski 1989, Rybicki & Lendusko 1991, Sanecki 1991, Pinińska 2000). Grunty piaszczysto-żwirowe pozostają najczęściej w stanie średnio zagęszczonym i częściowo zagęszczonym ($I_D = 0.5-0.7$). Ich współczynniki filtracji wynoszą najczęściej $2.1-9.2 \cdot 10^4$ m/s, średnio $4.5 \cdot 10^4$ m/s. Grunty spoiste pozostają najczęściej w stanie twardoplastycznym, rzadziej

plastycznym. Parametry wytrzymałościowe tych gruntów wahają się w szerokich granicach, zależnie od rodzaju gruntu i jego stopnia plastyczności. Ważną grupę rodzimych gruntów czwartorzędowych w podłożu Krakowa stanowią grunty organiczne związane głównie ze starorzeczami (namuły, torfy) i z obszarem zalewowym Wisły. Wilgotność tych gruntów jest dość wysoka i pozostają one na ogół w miękkoplastycznym oraz plastycznym stanie konsystencji. Ich parametry oporu ścinania są niewielkie, spójność namułów jest rzędu 20–30 kPa, a torfów 6–10 kPa (Pinińska 2000). Spójność gruntów organicznych wynosi 5–55 kPa, a kąt tarcia wewnętrznego 4–28° (Dubiel & Górnikowski 2006, Waclaw 2007).

Istotną rolę w kształtowaniu warunków geologiczno-inżynierskich w starej części Krakowa odgrywają nasypy, których grubość dochodzi do kilkunastu metrów (Fig. 3). Są to najczęściej mieszaniny gruntów rodzimych, takich jak piaski, piaski próchnicze, gliny itp. ze składnikami antropogenicznymi, takimi jak fragmenty cegieł, zaprawy wapiennej, gruzu, betonu, składników organicznych (drewno, kości) itp. o bardzo zmiennej miąższości. Nasypy są na ogół słabo zagęszczone. O ich małym zagęszczeniu, dużej ściśliwości i niskiej wytrzymałości mechanicznej świadczą między innymi małe opory sondowań (Fig. 4). Nasypy z założenia, ze względu na ich niejednorodność, nie mogą być traktowane jako dobre, nośne podłoże dla budowli. Rewaloryzacja obiektów w zakresie wzmacniania ich części podpowierzchniowych (fundamentów) oraz budowa nowych (plombowych) obiektów budowlanych na obszarze starej części Krakowa wymaga zatem bardzo wnikliwego rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich podłoża z uwzględnieniem ich przekształceń w procesach historycznego rozwoju miasta.

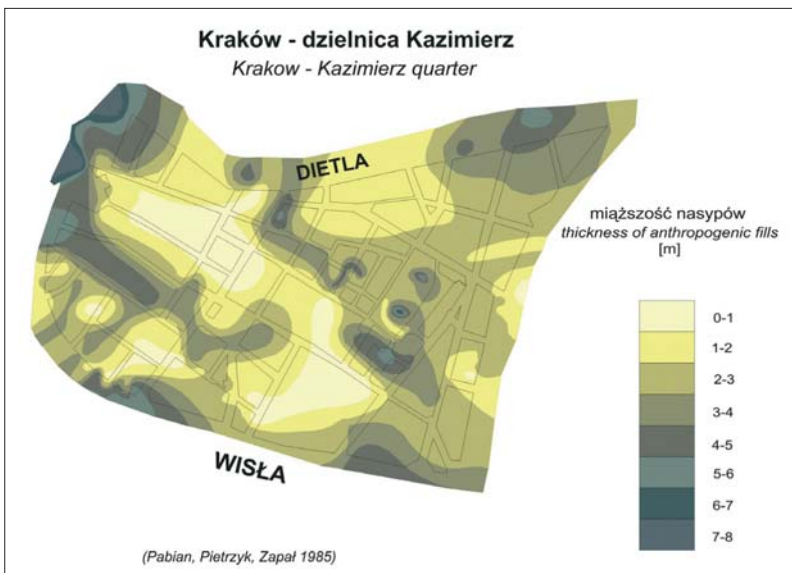


Fig. 3. Miąższość nasypów w rejonie dzielnicy Kazimierz w Krakowie

Fig. 3. Thickness of anthropogenic deposits on Kazimierz district in Krakow

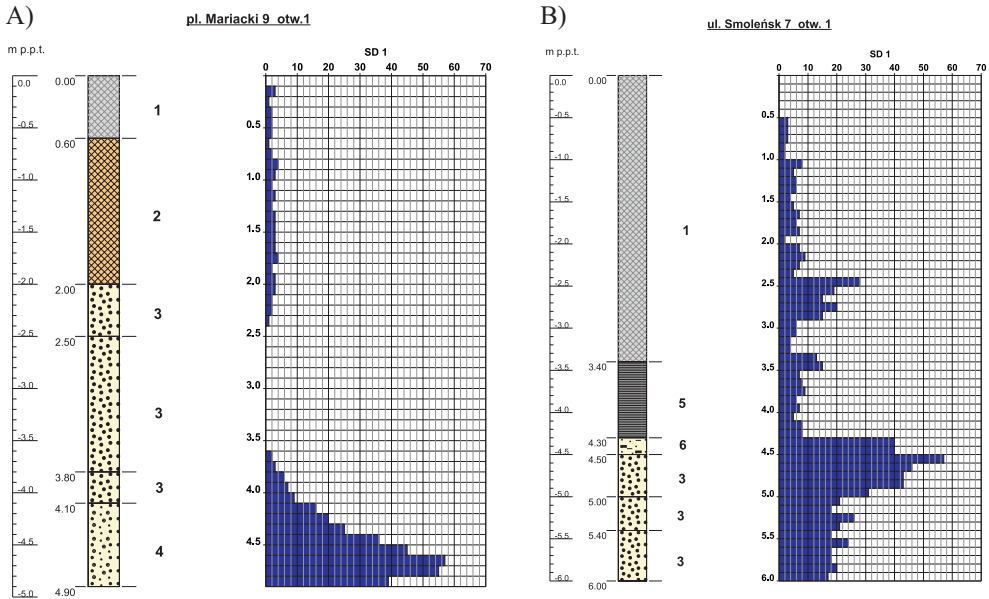


Fig. 4. Przykłady wyników sondowań sondą dynamiczną stożkową w nasypach niekontrolowanych w Krakowie: A) rejon placu Mariackiego; B) rejon ul. Smoleńsk; 1 – nasyp niekontrolowany, 2 – nasyp – piaski, 3 – piasek grubzy, 4 – pospółka, 5 – namuł, 6 – piasek gliniasty

Fig. 4. Examples of cone penetration tests in anthropogenic deposits in Krakow: A) Mariacki Square; B) Smoleńsk Street; 1 – anthropogenic deposits, 2 – artificial soil – sands, 3 – coarse sand, 4 – sand and gravel, 5 – mud, 6 – clayed sand

Praca została zrealizowana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.140.292.

LITERATURA

- Alexandrowicz S.W., 1964. Stratygrafia mikropaleontologiczna iłów miocenijskich na obszarze Krakowa. *Sprawozdanie z Posiedzenia Komitetu Nauk Geologicznych PAN*, Kraków, 8, 1, 274–277.
- Bąkowski K., 1902. Dawne kierunki rzek pod Krakowem. *Rocznik Krakowski*, 5, 138–172.
- Chlebuś R. & Jachowicz M., 2004. *Geologiczno-inżynierska charakterystyka podłoża gruntowego rejonu i podziemi klasztoru oo. Reformatów w Krakowie*. WGGiOŚ AGH, Kraków (praca dyplomowa).
- Dubiel P. & Górnikowski M., 2006. *Warunki geologiczno-inżynierskie fragmentu dzielnicy Kazimierz w Krakowie*. WGGiOŚ AGH, Kraków (praca dyplomowa).
- Kmietowicz-Drathowa I., 1964. Rys budowy geologicznej czwartorzędu okolic Krakowa. *Sprawozdania z Posiedzeń Komisji Naukowych Polskiej Akademii Nauk, Oddział w Krakowie*, 269–274.

- Pietrzyk K. & Wojtowicz Z., 1991. Próba oceny warunków geologiczno-inżynierskich na obszarze byłej dzielnicy „Kazimierz” w Krakowie. *Materiały Konferencji „Budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne i geotechniczne podłoża Krakowa”*, Wyd. AGH, Kraków, 79–87.
- Mitkowski J., 1957. Dawne warunki geograficzne jako podłoże, na którym rozwinął się zespół osad krakowskich. W: Dąbrowski J. (ed.), *Kraków. Studia nad rozwojem miasta, Biblioteka Krakowska*, 111, 117–139.
- Pabian Z., Pietrzyk K & Zapał A., 1985. Budowa geologiczna oraz warunki geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne na obszarze byłej dzielnicy Kazimierz w Krakowie. *Czasopismo Techniczne*, 5, 7–13.
- Pinińska J., 2000. *Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Cz III: Jura krakowsko-częstochowska*. Zakład Geomechaniki, Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Rutkowski J., 1989. *Badania geologiczne związane z pracami wstępnymi dla potrzeb metra w Krakowie*. Archiwum Biura Rozwoju Krakowa, Kraków.
- Rybicki S. & Lenduszek P., 1991. *Warunki geologiczno-inżynierskie w utworach mioceńskich podłoża Krakowa. Materiały Konferencji „Budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne i geotechniczne podłoża Krakowa”*, Wyd. AGH, Kraków, 59–67.
- Sanecki L., 1991. Cechy gruntów organicznych występujących na obszarze Krakowa. *Materiały Konferencji „Budowa geologiczna, warunki hydrogeologiczne i geotechniczne podłoża Krakowa”*, Wyd. AGH, Kraków, 89–96.
- Węclaw E., 2007. *Warunki geologiczno-inżynierskie fragmentu dzielnicy Stare Miasto w Krakowie*. WGGiOŚ AGH, Kraków (praca dyplomowa).

Summary

Geological and engineering-geological conditions of Krakow area subsoil are relatively complicated. This subsoil in the deep range of underground constructions are generally built of three soils series (Fig. 1). These are limestones and marls of Jurassic-Cretaceous formations, Miocene clays and Quaternary sandy-clay soils. Morphology of top surface of Jurassic-Cretaceous formation is very complicated. It create elevated structures like fault blocks and cave forms, filled by Miocene clays. In the Krakow area are very important soil serie for underground constructions like metro, underground parkings and others. Shear strength parameters of Miocene clays are presented in table 1. For civil engineering requirements very important serie of soils are Quaternary deposits (Fig. 2). Their thickness usually vary between 10–20 m, and they are the most differentiated soils from granulometric contend and consistency.

On the area of old historical part of Krakow very important role in engineering geological conditions play anthropogenic soils. Their thickness reach up to 6–8 m (Fig. 3). Their origin is connected with historical man activity in building of new river beds, canals, moats, fortifications and other. Geotechnical parameters of anthropogenic soils are very different. Usually that soils are relatively loose (Fig. 4) and their bearing capacity is very low, inconvenient for new buildings foundations.