

## SONDOWANIA STATYCZNE I DYNAMICZNE W BADANIACH PODŁOŻA GRUNTOWEGO BUDOWLI DROGOWYCH

### STATIC AND DYNAMIC SOUNDINGS IN THE SOIL INVESTIGATION FOR ROAD CONSTRUCTIONS

STANISŁAW RYBICKI<sup>1</sup>, PIOTR KROKOSZYŃSKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule omówiono wstępne wyniki regionalnych badań przeprowadzonych w rejonie przebiegu trasy autostrady A4 na odcinku Kraków–Korczowa (wschodnia granica kraju). Badania polegały na wykonaniu stu pięćdziesięciu sondowań statycznych (CPTU) oraz po sześćdziesiąt sondowań sondą dynamiczną (DPL) i sondą obrotową (FVT) w kilku typach litologiczno-genetycznych gruntów badanego rejonu. W wyniku badań określono średnie wartości oraz rozrzut parametrów sondowań dla poszczególnych typów litologiczno-genetycznych, tj. utworów lessowych, glin zwałowych zlodowacenia południowopolskiego, namulów i mad rzecznych oraz w mniejszym zakresie piasków i żwirów rzecznych oraz lodowcowych. Porównano parametry poszczególnych sondowań, stwierdzając ich wyraźne związki korelacyjne, zwłaszcza dla lessów i glin zwałowych oraz ilów mioceńskich. Może to pozwolić na zamienne stosowanie poszczególnych rodzajów sondowań.

**Słowa kluczowe:** sondowania statyczne i dynamiczne gruntów, geotechniczna ocena podłoża gruntowego.

**Abstract.** The paper presents preliminary results of regional studies carried out along the Kraków–Korczowa (eastern state border) section of designed A4 highway. The studies included: one and a half hundred cone penetration tests (CPTU), sixty dynamic soundings (DPL) and sixty field vane tests (FVT) executed in various lithologic and genetic soil types. The results provided mean values and distribution of measured parameters obtained for particular lithologic and genetic soil types: loesses, boulder clays originating from the Southern Polish Glaciation, alluvial muds, fluvisols and minor alluvial, glacial sands and gravels. Mutual correlations between measured parameters were calculated and clear dependencies were disclosed, especially for loesses, boulder clays and Miocene clays. These results may allow the researches to interchange various types of soundings.

**Key words:** static and dynamic soundings, geotechnical evaluation of soils.

### WSTĘP

Obecna budowa autostrad i dróg szybkiego ruchu stawia pytanie o metody, koszty i czas rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych podłoża budowli drogowych. Zakres tego rozpoznania, oprócz odpowiedniego Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich, reguluje zwłaszcza „Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych

i mostowych” (Kłosiński i in., 1998). Zaleca się w niej stosowanie między innymi różnych sondowań, a w tym sondowania statyczne sondą wciskaną CPT lub CPTU.

Autorzy przeanalizowali wyniki sondowań statycznych archiwalnych i własnych, wykonanych na odcinkach budowanej autostrady A4 pomiędzy Krakowem i wschodnią granicą kraju. Własne badania geologiczno-inżynierskie (wiercenia

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; rybicki@geol.agh.edu.pl; krokosz@uci.agh.edu.pl

rozpoznawcze, pobór i badania próbek gruntu), konfrontowane z wynikami sondowań statycznych, dynamicznych i obrotowych, były realizowane w ramach projektu badawczego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (nr N-R09 0017 04), a ich wyniki nadal są analizowane. Zamyślem tych badań jest

regionalna ocena związków pomiędzy parametrami sondowań a parametrami geotechnicznymi gruntów określonymi w laboratorium. Ma to na celu częściowe zastąpienie rozpoznania podłoża np. za pomocą otworów badawczych szybszym i tańszym sondowaniem.

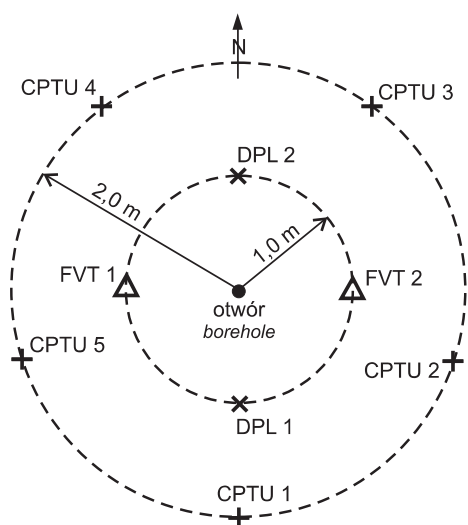
## OPIS ARCHIWALNYCH ORAZ WŁASNYCH WYNIKÓW SONDOWAŃ NA TLE WIERTNICZEGO ROZPOZNANIA PODŁOŻA I MAKROSKOPOWEJ OCENY PROFILI GRUNTOWYCH

Archiwalne wyniki sondowań statycznych obejmują odcinek autostrady A4 pomiędzy Przeworskiem a wschodnią granicą kraju. Sondowania wykonywano tu w pobliżu otworów wiertniczych o głębokości 20–30 m, realizowanych głównie dla oceny warunków geotechnicznych w miejscach budowy mostów i wiaduktów. Badania własne nawiązywały zaś do terenów występowania różnych typów litologiczno-genetycznych gruntów na trasie przebiegu autostrady A4, wytypowanych na podstawie Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, a także Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000. Objęły one odcinek autostrady A4 Kraków–Korczowa, a ściślej biorąc jej fragment od Kłaja do Jarosławia. Badania te obejmowały wykonanie otworu wiertniczego do głębokości 10 m, a wokół otworu pięciu sondowań statycznych (CPTU) oraz po dwa sondowania lekką sondą dynamiczną (DPL) oraz sondą obrotową (FVT) – [figura 1](#). Badania wykonywano głównie na obszarze występowania lessów (gruntów lessopodobnych) na Wysoczyźnie Wielicko-Gdowskiej (rejon miejscowości Kłaj) oraz na Podgórzu Rzeszowskim (rejon miejscowości Świlcza oraz Mirocin i Jankowice). Ponadto badania wykonano także na te-

renach występowania utworów glacialnych i fluwioglacjalnych (głównie gliny zwałowe zlodowacenia południowopolskiego) na Wysoczyźnie Szczepanowskiej i Wysoczyźnie Tarnowskiej (rejon miejscowości Szczepanów i Borowa) oraz na terenach występowania osadów rzecznych (rejon miejscowości Ostra w dolinie Raby, Wokowice w dolinie Uszwicy i Zawierzbie w dolinie Wisłoki).

Podstawowym obiektem badań był tzw. węzeł badawczy jako fragment terenu składający się z otworu wiertniczego i rozmieszczonych wokół niego sondowań. W danym rejonie, dla danego typu litologiczno-genetycznego gruntu wykonywano z reguły 4 (czasami 2 lub 3) otwory wiertnicze (cztery węzły badawcze) w odległości około 5–10 m. Pozwoliło to na scharakteryzowanie oporów sondowań dla danego typu utworów, nie tylko w małym zasięgu od rozpoznanego otworu profilu gruntowego, lecz i na nieco większym obszarze. Ogółem wykonano 30 otworów badawczych oraz 150 sondowań statycznych (CPTU) i po 60 sondowań sondą dynamiczną oraz obrotową. W otworach badawczych pobierane były cylindryczne próbki gruntów o nienaruszonej strukturze do badań laboratoryjnych. Badania te nie zostały jeszcze w pełni zinterpretowane oraz porównane z wynikami sondowań i nie są tu przedmiotem rozważań.

W artykule interpretację wyników sondowań archiwalnych i własnych sprowadzono do oceny wartości oporów sondowań statycznych ( $q_c$ ) i oporów tarcia na poboczniczy sondy ( $f_s$ ), a także oporów sondowania dynamicznego (DPL) i sondowania sondą obrotową (FVT) w nawiązaniu do poszczególnych typów litologiczno-genetycznych gruntów i stanu tych utworów, określonego makroskopowo w trakcie wierceń. Uznano, że powiązanie oporów sondowań statycznych z typami litologiczno-genetycznymi utworów wydzielonych na mapach geologicznych, a nie tylko z rodzajami granulometrycznymi gruntów (jak to jest w interpretacji Robertsona wg PN-B-04452 Geotechniczne badania polowe), ułatwi i wzbogaci interpretację sondowań w szerszym ujęciu terytorialnym, uwzględniającym też genezę gruntów i historię geologiczną obszaru. Zestawienia tak potraktowanych wyników przedstawiono w [tabelach 1 i 2](#). Podobne podejście do problemu prezentują też inni autorzy, np. Wysokiński i in. (2009). Określono też wstępnie związki korelacyjne pomiędzy wynikami przeprowadzonych sondowań statycznych, dynamicznych i obrotowych dla poszczególnych typów litologiczno-genetycznych gruntu.



**Fig. 1. Schemat rozmieszczenia sondowań wokół otworu badawczego**

The scheme of test points arrangement around geological borehole

## ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Analizując dane zestawione w tabeli 1 stwierdza się, że opory sondowania statycznego można powiązać z litologiczno-genetycznymi typami gruntów. Spoiste osady rzeczne (pod względem składu granulometrycznego są to różne rodzaje glin, a zwłaszcza glin i glin pylastych zwięzłych) mają przeciętnie najmniejsze opory sondowania ( $q_c$ ) spośród badanych gruntów (grunty organiczne 0,79 MPa, mady gliniaste 2,15 MPa). W rozbiciu na poszczególne stany konsystencji opory te w gruntach organicznych rosną od 0,63 MPa dla stanu miękkoplastycznego do 1,45 MPa dla stanu twardoplastycznego, a w madach gliniastych odpowiednio od 1,03 MPa dla stanu miękkoplastycznego do 5,25 MPa dla stanu półzwartego. Ponieważ w około 80% przypadków spoiste osady rzeczne pozostawały w miękkoplastycznym i plastycznym stanie konsystencji, ich opory sondowania nie przekraczają w większości wartości  $q_c$  w granicach 1,0–1,8 MPa. Są to więc z geotechnicznego punktu widzenia grunty słabe i jako podłoże budowli drogowych na ogół wymagają wymiany na grunty o lepszych właściwościach.

Piaski i żwiry rzeczne to grunty o wysokich oporach sondowań (przeciętnie 9–17 MPa), stanowiące bardzo dobre, nośne podłoże budowlane. Rzadko występują w stanie luźnym, zwłaszcza żwiry, i wówczas ich opory sondowań nie przekraczają przeciętnie około 4,0 MPa, co wymaga ewentualnego ich dogęszczania w podłożu budowli drogowych.

Spoiste osady glacialne i interglacialne na badanym terenie to głównie gliny zwałowe zlodowacenia południowopolskiego oraz lessy (utwory lessopodobne). Gliny zwałowe (pod względem składu granulometrycznego są to różne rodzaje glin, a zwłaszcza gliny i gliny zwięzłe, makroskopowo najczęściej gliny laminowane piaskiem drobnym lub/i pyłem piaszczystym) mają spośród gruntów czwartorzędowych najwyższe przeciętne opory sondowania statycznego  $q_c = 3,98$  MPa. Dla glin w stanie plastycznym  $q_c = 1,94$  MPa, a w półzwartym  $q_c = 10,93$  MPa. W około 85% przypadków gliny pozostawały w stanie twardoplastycznym i półzwartym, stąd stosunkowo wysokie przeciętne opory sondowania. Gliny zwałowe stanowią więc dobre, nośne podłoże budowli drogowych.

Najliczniej na badanym terenie występują w strefie przy powierzchniowej grunty lessowe (lessopodobne). W ocenie makroskopowej są to pyły i gliny pylaste, jednak według badań laboratoryjnych określano je w większości przypadków jako gliny pylaste. Grunty te charakteryzują się przeciętnymi oporami sondowania statycznego  $q_c = 2,85$  MPa dla pyłów oraz  $q_c = 2,34$  MPa dla glin pylastych. Średnio dla utworów lessowych, bez wydzielenia rodzajów gruntu, opory sondowania wynoszą 2,71 MPa. Podobnie jak w innych gruntach, wartości  $q_c$  rosną ze spadkiem wartości stopnia plastyczności (stanu konsystencji), od około 0,85 MPa dla stanu miękkoplastycznego do przeciętnie 5,0 MPa dla stanu półzwartego. Podobne zakresy i wartości oporów sondowań statycznych CPTU dla lessów lubelskich podają Frankowski i Grabowski (2006) oraz Frankowski i inni (2010). Przy niższych

stanach konsystencji (twardoplastyczny, półzwarty) lessy stanowią dość nośne podłoże budowli drogowych. Jednak jako grunt mało i średnio spoisty łatwo ulegają rozmyciu i upłynięciu, co stwarza różne problemy w budownictwie drogowym.

W niektórych rejonach sondowania statyczne prowadzone do głębokości 10 m sięgnęły do utworów mioceńskich, podścielających serie gruntów czwartorzędowych na całym badanym terenie. Pod względem składu granulometrycznego są to głównie łyły pylaste, rzadziej łyły lub gliny pylaste zwięzłe. W ocenie makroskopowej określano je jako łyły laminowane piaskiem drobnym i pyłem piaszczystym. Grunty te pozostają głównie w stanie twardoplastycznym (stropowa 2–3 m partia miocenu) oraz półzwartym. Opory sondowania statycznego są dla tych utworów największe spośród wszystkich badanych gruntów spoistych i wynoszą przeciętnie 5,6 MPa (dla stanu plastycznego 1,25 MPa, a dla półzwartego 7,26 MPa).

Odnosząc wyniki przeprowadzonych sondowań statycznych zestawione w tabeli 1 do stosowanych w naszym kraju diagramów interpretacyjnych (Wiłun, 1982; PN-B-04452:2002; Sikora 2006), wiążących opory całkowite stożka sondy ( $q_c$ ) lub opory netto stożka ( $q_n$ ) z wartościami stopnia plastyczności ( $I_L$ ) sondowanych gruntów spoistych, można stwierdzić, że związki te dla badanych typów litologiczno-genetycznych gruntów bardzo dobrze wpasowują się w te diagramy (fig. 2). Lepsze dopasowanie występuje na diagramie wg Wiłuna niż wg normy PN-B-04452:2002. Dla sondowanych gruntów przyjęto tu średnie wartości stopnia plastyczności dla danego typu litologiczno-genetycznego uzyskane z badań laboratoryjnych i średnie wartości oporów sondowań z tabeli 1.

Interpretację pozwalającą określać rodzaje sondowanych gruntów, opartą na wartości współczynnika tarcia  $R_f = f_t/q_t$  i samych wartościach skorygowanego oporu ( $q_t$ ), przedstawiono na figurze 3. Są one generalnie zgodne z makroskopowymi i laboratoryjnymi ocenami rodzaju granulometrycznego badanych gruntów.

Wyniki sondowań sondą dynamiczną DPL i obrotową FVT zestawione w tabeli 2 pozwalają stwierdzić, że i tutaj opory sondowań związane są nie tylko ze stanami konsystencji gruntów, lecz częściowo i ich typem litologiczno-genetycznym, a zatem warunkami i środowiskiem ich powstawania, stopniem skonsolidowania itp. Dla tych samych stanów konsystencji gruntów spoistych (przy niewielkich różnicach średnich wartości ich stopnia plastyczności) największe opory sondowań sondą udarową (DPL), a także obrotową (FVT) wykazują łyły mioceńskie oraz gliny zwałowe, odpowiednio mniejsze opory dają lessy i mady gliniaste, najmniejsze zaś namuły rzeczne. Przeciętne opory sondowań dynamicznych i obrotowych gruntów spoistych badanego obszaru dla poszczególnych stanów ich konsystencji (bez względu na typ litologiczno-genetyczny) zestawiono w tabeli 3.

Próba skorelowania wyników trzech rodzajów sondowań – statycznego (CPTU), dynamicznego (DPL) i obrotowego

Tabela 1

**Wyniki sondowań statycznych (CPTU) dla różnych typów litologiczno-genetycznych gruntów występujących w rejonie badanego odcinka autostrady A4 Kraków–Korczowa – średnie ważone (na podstawie badań archiwalnych oraz badań własnych w latach 2009–2010)**

The results of static soundings (CPTU) for different lithogenetic types of soils in investigated part of A4 highway Kraków–Korczowa – weighted average (according to archival and own 2009–2010 investigations results)

Typ litologiczno-genetyczny gruntu wg oceny makroskopowej	Liczba pomiarów	Średni opór stożka sondy $q_c$ [MPa]	Średni opór poboczny sondy $f_s$ [MPa]	Opory stożka ( $q_c$ ) i poboczny sondy ( $f_s$ ) dla stanów konsystencji (zagęszczenia) gruntów										
				stan miękkoplastyczny (luźny)			stan plastyczny (średniozagęszczony)			stan twardoplastyczny (zagęszczony)				
				$q_c$ [MPa]	$f_s$ [MPa]	N	$q_c$ [MPa]	$f_s$ [MPa]	N	$q_c$ [MPa]	$f_s$ [MPa]	N	$q_c$ [MPa]	$f_s$ [MPa]
I. Osady rzeczne (plejstocen/holocen) A – osady organiczne (namuły, torfy)	32	0,79 0,30 – 2,20	0,03 0,01 – 0,08	0,63 0,30 – 0,156	0,023 0,01 – 0,05	18	0,91 0,40 – 2,20	0,031 0,01 – 0,08	2	1,45 0,70 – 2,20	0,07 0,05 – 0,08	–	–	–
B – mady gliniaste	116	2,15 0,40 – 8,50	0,061 0,01 – 0,30	1,03 0,40 – 1,50	0,018 0,01 – 0,06	16	1,81 0,74 – 4,30	0,049 0,01 – 0,15	33	3,15 1,18 – 7,00	0,094 0,026 – 0,3	7	5,25 1,20 – 8,50	0,079 0,015 – 0,13
C <sub>1</sub> – piaski	88	8,94 1,26 – 35,00	0,104 0,01 – 0,45	4,26 1,26 – 12,00	0,06 0,01 – 0,25	18	8,70 3,50 – 30,00	0,11 0,026 – 0,6	19	14,03 10,29 – 35,0	0,125 0,036 – 0,45	–	–	–
C <sub>2</sub> – żwity	39	16,91 5,60 – 50,0	0,135 0,022 – 1,00	3,30 –	0,023 –	1	12,09 5,60 – 18,30	0,067 0,022 – 0,034	16	24,40 17,0 – 50,0	0,236 0,066 – 1,0	–	–	–
II. Osady glacialne, interglacialne (plejstocen) D – osady eoliczne pyły ( $\pi$ , $\pi$ /Gr)	269	2,85 0,80 – 10,00	0,082 0,012 – 0,32	–	–	–	1,58 0,80 – 2,62	0,051 0,021 – 0,12	35	2,49 0,90 – 6,00	0,082 0,012 – 0,32	78	4,85 2,36 – 10,0	0,086 0,019 – 0,3
gliny pylaste (G $\pi$ , G $\pi$ / $\pi$ )	97	2,34 0,60 – 10,0	0,098 0,011 – 0,35	0,85 0,70 – 1,00	0,014 0,011 – 0,017	2	1,63 0,60 – 3,0	0,074 0,035 – 0,108	31	2,42 1,20 – 4,60	0,104 0,027 – 0,22	3	8,73 8,0 – 10,0	0,35 0,25 – 0,35
lessy ( $\pi$ +G $\pi$ ), średnia ważona	366	2,71	0,086	0,85	0,014	2	1,60	0,062	66	2,47	0,088	81	5,00	0,096
E – gliny (zwałowe)	125	3,98 1,17 – 23,00	0,145 0,017 – 0,99	–	–	–	1,94 1,17 – 2,91	0,070 0,017 – 0,15	20	3,19 1,82 – 8,65	0,128 0,047 – 0,25	16	10,93 5,66 – 23,0	0,331 0,102 – 0,99
F – piaski	65	7,00 2,097 – 28,0	0,053 0,01 – 0,60	3,26 2,97 – 4,00	0,021 0,015 – 0,03	8	6,98 3,66 – 8,97	0,036 0,01 – 0,069	53	14,62 8,50 – 28,0	0,380 0,27 – 0,60	–	–	–
G – żwity	9	7,86 3,20 – 17,70	0,055 0,014 – 0,957	3,20 –	0,014 –	1	7,12 5,62 – 10,73	0,46 0,027 – 0,063	7	17,20 –	0,157 –	–	–	–
III. Osady morskie (iły miocenijskie)	66	5,60 1,00 – 12,50	0,188 0,04 – 0,35	–	–	–	1,25 1,00 – 2,00	0,07 0,04 – 0,10	4	4,94 1,80 – 9,58	0,174 0,07 – 0,28	25	7,26 4,0 – 12,50	0,229 0,10 – 0,35

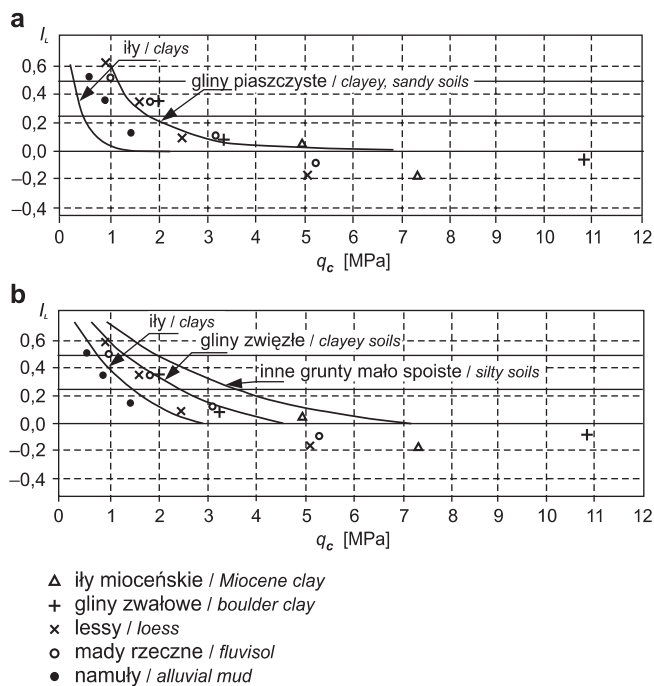


Fig. 2. Związek uśrednionych wartości oporów sondowania statycznego ( $q_c$ ) i uśrednionych wartości stopnia plastyczności ( $I_L$ ) dla wydzielonych typów litologiczno-genetycznych gruntów: a – diagram wg PN-B-04452:2002, b – diagram wg Wiłuna (1982)

Relation between mean values of cone resistance ( $q_c$ ) from CPTU test and mean values of liquidity index ( $I_L$ ) for different lithogenetic types of soils: a – diagram according to PN-B-04452:2002 standard, b – diagram according to Wiłun (1982)

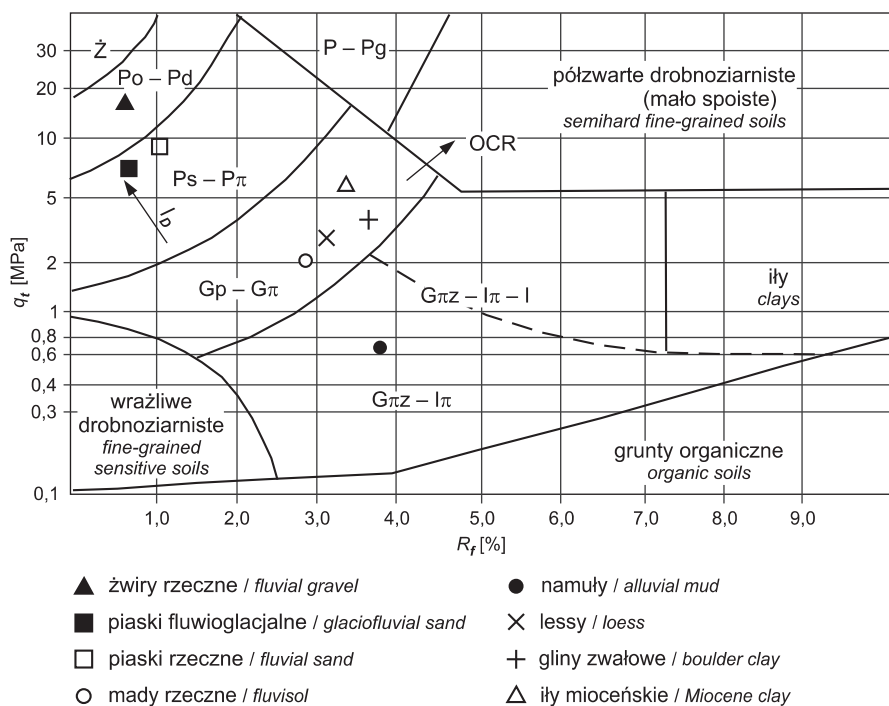


Fig. 3. Położenie punktów reprezentujących uśrednione wartości współczynników tarcia ( $R_f$ ) i skorygowanych oporów stożka sondy ( $q_t$ ) badanych typów litologicznych gruntów na tle diagramu klasyfikacyjnego wg PN-B-04452:2002

Arrangement of points representing mean values of  $R_f$  coefficients and corrected values of cone resistance ( $q_t$ ) from CPTU test for different lithogenetic types of soils on the diagram according to PN-B-04452:2002 standard

**Tabela 2**  
**Wyniki sondowań dynamicznych (DPL) oraz sondowań obrotowych (FVT) dla różnych typów litologiczno-genetycznych gruntów występujących w rejonie badanego odcinka autostrady A4 Kraków–Korczowa (na podstawie badań własnych w latach 2009–2010)**

The results of dynamic (DPL) and field vane test (FVT) soundings for different lithogenetic types of soils in investigated part of A4 highway Kraków–Korczowa (according to own 2009–2010 investigations results)

Typ litologiczno-genetyczny gruntu wg oceny makroskopowej	Liczba pomiarów	Opór son- dy obro- towej [kPa]	Liczba pomiarów	Liczba udarów sondą	Opory sondowań sondą obrotową (FVT) i udarową (DPL) dla stanów konsystencji (zagęszczenia)												
					stan miękkoplastyczny (luźny)			stan plastyczny (średnio zagęszczone)			stan twardoplastyczny (zagęszczone)						
N	N	FVT	N	DPL N <sub>10L</sub>	N	FVT	N	DPL	N	FVT	N	DPL	N	FVT	N	DPL	
I. Osady rzeczne (plejstocen/holocen) A – osady organiczne (namuły, torfy)	4	$\frac{36}{30-40}$	3	$\frac{8}{4-16}$	3	$\frac{37}{33-40}$	8	$\frac{9}{4-16}$	1	$\frac{30}{-}$	3	$\frac{6}{4-8}$	-	-	-	-	-
B – mady gliniaste	35	$\frac{97}{30-166}$	52	$\frac{12}{2-30}$	1	$\frac{22}{-}$	10	$\frac{10}{2-16}$	18	$\frac{88}{59-125}$	10	$\frac{13}{4-30}$	10	$\frac{106}{53-148}$	6	$\frac{12}{8-21}$	$\frac{127}{55-166}$
C <sub>1</sub> – piaski	20	$\frac{83}{50-160}$	55	$\frac{24}{6-49}$	1	$\frac{60}{-}$	4	$\frac{8}{6-12}$	19	$\frac{84}{50-160}$	48	$\frac{24}{6-40}$	-	-	3	$\frac{44}{22-49}$	-
C <sub>2</sub> – żwirny	2	$\frac{205}{110-300}$	21	$\frac{29}{12-81}$	-	-	1	$\frac{10}{-}$	2	$\frac{205}{110-300}$	17	$\frac{30}{12-81}$	-	-	3	$\frac{30}{25-35}$	-
II. Osady glacialne, Interglacialne (plejstocen) D – osady eoliczne pyły ( $\pi$ , $\pi$ /G $\pi$ )	138	$\frac{94}{25-175}$	224	$\frac{16}{4-60}$	-	-	-	-	14	$\frac{67}{39-105}$	23	$\frac{10}{5-15}$	62	$\frac{72}{22-155}$	120	$\frac{13}{4-32}$	$\frac{120}{67-175}$
gliny pylaste (G $\pi$ , G $\pi$ / $\pi$ )	37	$\frac{69}{31-112}$	52	$\frac{13}{5-26}$	2	$\frac{31}{31-31}$	2	$\frac{6}{6-6}$	19	$\frac{69}{45-106}$	21	$\frac{13}{5-26}$	16	$\frac{75}{45-112}$	29	$\frac{13}{5-22}$	-
lessy ( $\pi$ +G $\pi$ ), średnia wazona	175	89	276	15	2	31	2	6	33	68	44	11	78	73	149	13	-
E – gliny (zwałowe)	44	$\frac{154}{43-300}$	82	$\frac{22}{5-93}$	-	-	-	-	2	$\frac{136}{115-157}$	10	$\frac{14}{6-30}$	36	$\frac{151}{43-300}$	65	$\frac{22}{5-93}$	$\frac{176}{145-195}$
F – piaski	7	$\frac{125}{43-170}$	35	$\frac{13}{4-55}$	-	-	1	$\frac{6}{-}$	7	$\frac{125}{43-170}$	34	$\frac{13}{4-55}$	-	-	-	-	-
G – żwirny	-	-	9	$\frac{9}{4-18}$	-	-	1	$\frac{7}{-}$	-	-	8	$\frac{9}{4-18}$	-	-	-	-	-
III. Osady morskie (iły miocenijskie)	3	$\frac{233}{200-300}$	15	$\frac{59}{27-88}$	-	-	-	-	-	-	-	-	3	$\frac{233}{200-300}$	15	$\frac{59}{27-88}$	-

W tabeli podano łączną liczbę pomiarów (N) uzyskaną z odczytów sond co 0,5 m głębokości oraz liczby odczytów średnich wartości oporów w warstwach wydzielonych wg zbliżonych oporów sondowań (tzw. opory sifrowe)

(FVT) – wykazała, że istnieją dobre związki korelacyjne, zwłaszcza pomiędzy wartościami oporów stożka ( $q_c$ ) w sondowaniu statycznym i liczbą uderów  $N_{10L}$  w sondowaniu dynamicznym (fig. 4a). Na dobrą korelację pomiędzy wynikami takich sondowań w lessach wskazują też Frankowski i inni (2010). Dla lessów istnieją również dobre korelacje pomiędzy wartościami oporów stożka ( $q_c$ ) i oporów sondy FVT, a także pomiędzy wartościami  $N_{10L}$  z sondy DPL i wartościami oporów z sondy FVT (fig. 4b, c). Spośród gruntów spoistych najlepsze związki korelacyjne stwierdzono właśnie w lessach. Są to bowiem grunty stosunkowo jednorodne i w profilach pionowych, i w rozprzestrzenieniu poziomym. W innych gruntach spoistych (gliny zwałowe, mady gliniaste, namuły oraz ily mioceńskie), a także w gruntach sypkich (piaski i żwiry rzeczne oraz utwory lodowcowe) korelacje pomiędzy wynikami sondowań są na ogół słabsze (tab. 4) lub niemożliwe do wiarygodnego ustalenia ze względu na małą liczbę wyników badań. Gorsze od innych korelacje pomiędzy wynikami poszczególnych sondowań uzyskano dla spoistych osadów rzecznych (mady gliniaste, namuły), co można tłumaczyć dużą zmiennością ich wykształcenia, nawet na krótkich, metrowych odcinkach. W tabeli 4 zestawiono dane o sile związków korelacyjnych pomiędzy poszczególnymi sondowaniami dla różnych typów litologiczno-genetycznych gruntów badanego obszaru (wzięto pod uwagę tylko związki o większej liczbie danych). Korelacje o wartoś-

Tabela 3

**Przeciętne wartości oporów sondowania spoistych gruntów czwartorzędowych w rejonie autostrady A4 Kraków–Korczoza**

Average values of penetration resistance in Quaternary cohesive soils of Kraków–Korczoza part of A4 highway

Stan konsystencji	Opory sondowania dynamicznego (DPL) $N_{10L}$	Opory sondowania sondą obrotową (FVT) [kPa]
Miękkoplastyczny	$\frac{8}{6-10}$	$\frac{30}{22-37}$
Plastyczny	$\frac{11}{6-14}$	$\frac{80}{30-136}$
Twardoplastyczny	$\frac{13}{12-14}$	$\frac{110}{73-151}$
Półzwały	$\frac{24}{15-33}$	$\frac{143}{120-176}$

W liczniku podano wartość średnią, w mianowniku – zmienność parametrów

Arithmetic mean is given as numerator, in denominator – range of parameters

ciach współczynnika w granicach  $r = 0,5-0,7$  uznaje się za słabe, dla  $r \geq 0,7$  uznaje się za wyraźne, przy  $r \geq 0,9$  za bardzo wyraźne.

Tabela 4

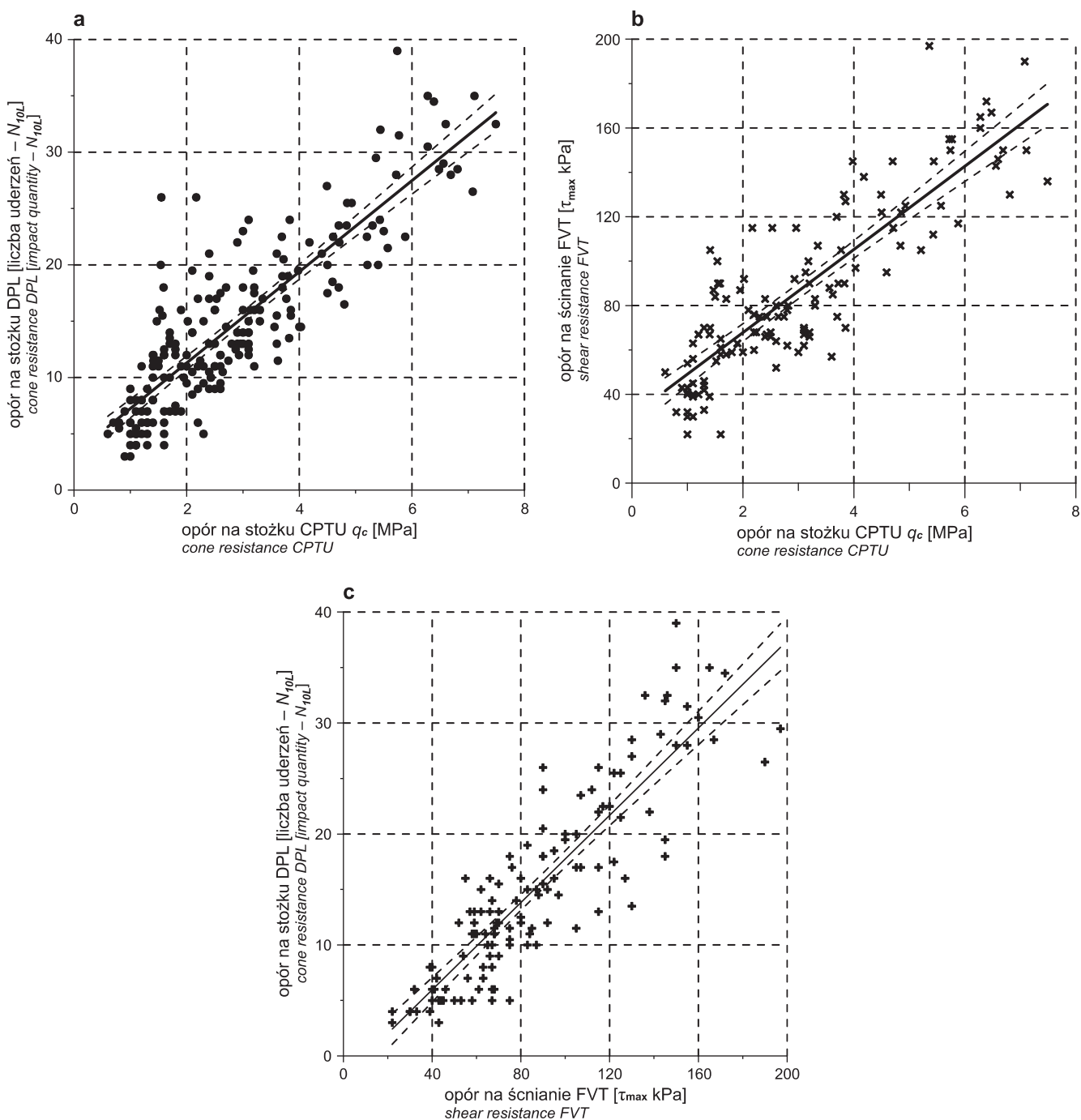
**Współczynniki korelacji i determinacji dla oporów sondowań w poszczególnych typach badanych gruntów**

Correlation and determination coefficients of penetration resistance for different lithogenetic types of soils

Typ gruntu	Korelacje								
	Liczba pomiarów N	$q_c/DPL - N_{10L}$		Liczba pomiarów N	$q_c/FVT$		Liczba pomiarów N	FVT/DPL - $N_{10L}$	
		$r^2$	r		$r^2$	r		$r^2$	r
Lessy	198	0,734	0,857	125	0,737	0,858	125	0,785	0,886
Gliny zwałowe	51	0,538	0,733	25	0,519	0,720	24	0,435	0,659
Piaski glacialne	23	0,550	0,742	4	–	–	4	–	–
Żwiry glacialne	6	0,465	0,682	0	–	–	0	–	–
Namuły rzeczne	7	0,144	0,379	2	–	–	2	–	–
Mady gliniaste	40	0,010	0,316	25	0,018	0,135	25	0,267	0,517
Piaski rzeczne	36	0,294	0,542	12	0,334	0,578	11	0,720	0,848
Żwiry rzeczne	15	0,047	0,216	2	–	–	2	–	–
Iły mioceńskie	10	0,705	0,839	0	–	–	0	–	–

$r^2$  – współczynnik determinacji / determination coefficient

r – współczynnik korelacji / correlation coefficient



**Fig. 4.** Porównanie związku oporów sondowania dla lessów badanego rejonu (z odczytów co 0,5 m głębokości sondowania): **a** – związek oporów sondowania dynamicznego ( $N_{10L}$ ) i oporów stożka sondy dynamicznej ( $q_c$ ), **b** – związek oporów sondowania sondy obrotowej FVT ( $\tau_f$ ) i oporów stożka sondy statycznej ( $q_c$ ), **c** – związek oporów sondowania sondy dynamicznej ( $N_{10L}$ ) i oporów sondy obrotowej FVT ( $\tau_f$ )

Comparison of penetration resistance for loess soil in investigated area (0.5 m interval): **a** – relation of penetration resistance ( $N_{10L}$ ) from DPL and cone resistance ( $q_c$ ) from CPTU, **b** – relation of shear resistance ( $\tau_f$ ) from FVT and cone resistance ( $q_c$ ) from CPTU, **c** – relation of penetration resistance ( $N_{10L}$ ) from DPL and shear resistance ( $\tau_f$ ) from FVT



## PODSUMOWANIE

Sondowania podłoża budowli drogowych, w tym zwłaszcza sondowanie statyczne (CPTU), a także sondowanie dynamiczne (DPL) i sondowanie sondą obrotową (FVT) są bardzo przydatnym, szybkim i tanim sposobem oceny warunków geotechnicznych podłoża tych budowli. Dla liniowych budowli drogowych przebiegających na długich odcinkach terenu o różnych warunkach geologicznych celowe jest dla oceny tych warunków wykorzystanie map geologicznych, zwłaszcza szczegółowych w skali 1:50 000, podających rozmieszczenie (zasięg) oraz charakter litologiczno-genetyczny gruntów strefy przypowierzchniowej. Ustalenie związków pomiędzy parametrami sondowań a typami litologiczno-genetycznymi gruntów oraz ich cechami fizyczno-mechanicznymi pozwala na ograniczenie zakresu wierceń badawczych i analiz próbek gruntowych, przyspieszając etap badań geotechnicznych i zmniejszając ich koszty.

Przeprowadzone badania wykazały, że dla niektórych gruntów istnieją wyraźne korelacje pomiędzy parametrami sondowań statycznych, dynamicznych i obrotowych, co pozwala na ewentualne zamienne ich stosowanie, zarówno

w gruntach spoistych, jak i sypkich. Można tu zwłaszcza korzystać z badań sondą dynamiczną (DPL) dla oceny warunków geotechnicznych podłoża, zwłaszcza do określania głębokości (i zasięgu) podłoża nośnego, co w budownictwie drogowym determinuje też głębokość prowadzenia prac ziemnych i wymiany lub wzmocnienia gruntów.

Wstępnie, na podstawie przeprowadzonych badań można przyjąć, że wartości parametrów poszczególnych sondowań, identyfikujące słabe podłoża budowli drogowych w badanym obszarze, wynoszą w gruntach spoistych: opór stożka sondy statycznej (CPTU)  $q_c$  od <1,0 do 1,8 MPa, liczba uderzeń sondy dynamicznej (DPL)  $N_{10L}$  od <10 do 15, a opór ścinania sondą obrotową (FVT)  $\tau_f$  <100 kPa. W gruntach sypkich (głównie piaski) ich luźny stan zagęszczenia charakteryzują następujące parametry sondowania: opór stożka sondy statycznej (CPTU)  $q_c$  <4,5 MPa, liczba uderzeń sondy dynamicznej (DPL)  $N_{10L}$  <10, a opór ścinania z badań sondą obrotową (FVT)  $\tau_f$  <50 kPa. Podane wstępne wartości będą weryfikowane po ostatecznym zinterpretowaniu całości wyników badań laboratoryjnych i terenowych.

## LITERATURA

- FRANKOWSKI Z., GRABOWSKI D., 2006 — Geologiczno-inżynierskie i geomorfologiczne uwarunkowania erozji wawozowej w lessach w rejonie Kazimierza Dolnego (wawóz Opolska Droga). *Prz. Geol.*, **54**, 9: 777–823.
- FRANKOWSKI Z., MAJER E., PIETRZYKOWSKI P., 2010 — Geological and geotechnical problems of loess deposit from south-eastern Poland. *Proc. of the Int. Geot. Conf. Geotechnical Challenges in Megacities*, vol. 2: 546–553. Moscow, Russia.
- KŁOSIŃSKI B., BAŻYŃSKI J., FRANKOWSKI Z., KACZYŃSKI R., WIERZBICKI S., 1998 — Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa.
- PN-B-04452:2002. Geotechnika. Badania polowe. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- SIKORA Z., 2006 — Sondowania statyczne – metody i zastosowanie w geoinżynierii. Wyd. Nauk.-Tech., Warszawa.
- WIŁUN Z., 1982 — Zarys geotechniki. Wyd. Kom. i Łącz., Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., GODLEWSKI T., WSZĘDYRÓWNY-NAST M., 2009 — Zależności regionalne parametrów geotechnicznych podłoża na podstawie sondowań CPTU i DMT. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. *Mat. XV Kraj. Konf. Mech. Grunt. i Inż. Geot.*: 235–242. Bydgoszcz.

## SUMMARY

An intensive construction of many roads and highways in Poland requires large-scale but time-consuming and expensive, geological-engineering investigations. Relatively quick and cheap methods are: cone penetration test (CPTU) as well as dynamic sounding (DPL) and other methods, e.g. the field vane test (FVT). Hence, wide application of soundings should be one of the tasks of geological-engineering recognition of the subsoil. The paper provides preliminary results of regional studies which included 30 boreholes followed by penetration tests around them: 150 cone penetration tests (CPTU), 60 dynamic soundings (DPL) and 60 vane shear

tests (FVT). The macroscopic description of soils sampled from the boreholes, including their lithology (soil type, color, moisture content and consistency) was made as well as cylindrical samples of undisturbed soils were collected. The samples were analyzed in the laboratory in order to compare various physical and mechanical parameters with the results from soundings. The comparative studies are currently running, thus, the following paper presents only the raw results of tests related to lithological and genetic description of soils, occurring along the Kraków–Korczoza (eastern state border) section of A4 highway. The field tests were carried out

down to 10 meters below the surface, where the following soil types were identified: Quaternary loesses, glacial sediments (boulder clays from the Southern Poland Glaciation, sands and gravels), alluvial sediments (alluvial muds, clayey fluvisols, sands and gravels) of the Raba, Uszwica and Wisłoka rivers.

The soundings revealed that particular lithological and genetic types of the subsoil have the characteristic values of penetration resistance (Tab. 1, 2). The value depends on soil origin, grain-size distribution, consistency, state of consolidation, etc. Consequently, if the lithology and genetic type of the subsoil are known, as recognized e.g. from the geological maps (particularly from 1:50,000 scale Detailed Geological Map of Poland), geotechnical parameters of the subsoil can be estimated from the results of soundings correlated with the results of laboratory analyses, supported by correlations known from the literature, various standards and instruc-

tions. In road construction soundings are crucial for solution of an important problem: determination of depth and range of so-called "firm subsoil", which controls the scale of earthworks including the subsoil replacement and/or reinforcement. The authors found that boundary values for determination of so-called "weak subsoil" of road composed of generally soft-plastic and plastic, cohesive soils as well as generally loose, non-cohesive soils are:  $q_c < 1.0\text{--}1.8$  MPa,  $N_{10L} < 10\text{--}15$  and  $\tau_f < 100$  kPa, despite their lithology and genetic type. For loose soils from the studied area (low number of analyses) these parameters are:  $q_c < 4.5$  MPa,  $N_{10L} < 10$  and  $\tau_f < 50$  kPa.

The results demonstrated high, mutual correlation of the test results (Tab. 4), particularly for loesses, Miocene clays and boulder clays. This allows to interchange various types of soundings.