



ПРИФАТЛИВИ КОРЕЛАЦИИ МЕЃУ ТЕРЕНСКИ И ЛАБОРАТОРИСКИ ИСПИТУВАЊА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕН ПЕСОК

Сашка Велковска¹, Јован Бр. Папиќ², Игор Пешевски³

Резиме

Хидројаловиштата, како комплексни објекти, треба да бидат третирали со голема сериозност бидејќи се покажало дека последиците од несоодветно димензионирање и одржување може да бидат катастрофални. Под тоа се подразбира и испитување на материјалите, било во фаза на нивно проектирање и формирање или користење и оскултација. Така, во текот на експлоатацијата е неопходно редовно да се земаат примероци за да се одредат геомеханичките карактеристики, а се препорачува повремено да се вршат и теренски опити, со цел да се контролираат својствата на материјалите застапени на површината и во длабочина. Во отсуство на повеќе мерења, може да се врши корелирање меѓу постигнатите резултати, при што на располагање се многубројни врски, но за природно настанати почвени материјали. Во овој труд се анализирани вакви корелации меѓу теренски и лабораториски геомеханички испитувања наспроти резултатите добиени со опити во хидројаловиштен песок и на хидројаловиштен песок, за добивање параметри потребни за проверка на стабилноста на хидројаловиште.

Клучни зборови: хидројаловиште, корелации, теренски и лабораториски опити

ACCEPTABLE CORRELATIONS BETWEEN FIELD AND LABORATORY TESTS OF TAILING DAMS' SAND

Sashka Velkovska¹, Jovan Br. Papic², Igor Peshevski³

Summary

As complex structures, tailing dams should be treated with great seriousness, since the experience has shown that the consequences of improper design and treating can be catastrophic. This includes examination of materials, either at the stage of their design and formation or maintenance and monitoring. Thus, during the exploitation, it is necessary to regularly take samples to determine their properties, and it is recommended to conduct field tests on a regular basis, in order to control the properties of materials present on the surface and at the depth of the tailing dams. In absence of more results, it is possible to make correlation between achieved results, for which there are certain equations, but for natural soil materials. This paper presents analyses of correlations between field and laboratory tests routinely performed against results obtained from tests in and on sand from tailing dam, necessary for obtaining parameters for determination of the stability of the tailing dam.

Key words: Tailing dam, correlation, field and laboratory tests

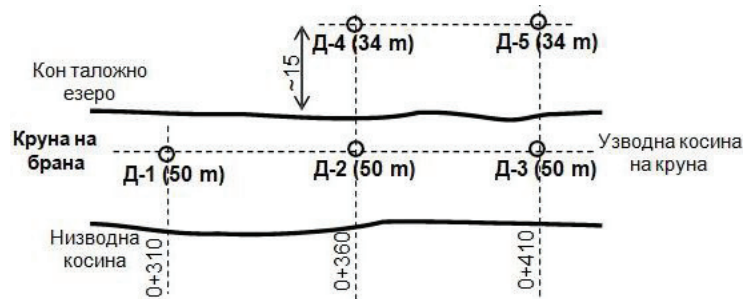
¹М-р, Гранит АД, Димитрије Чуповски 8, Скопје, velkovskasaska@gmail.com

²В. Проф .д-р, Градежен факултет, бул. Партизански одреди бр. 24, Скопје, papic@gf.ukim.edu.mk

³Доц. д-р, Градежен факултет, бул.Партизански одреди бр.24, Скопје, pesevski@gf.ukim.edu.mk

1. ТЕРЕНСКИ ИСТРАЖНИ РАБОТИ

За потребите за испитување на условите кај хидројаловишната брана и за проучување на материјалниот состав кај истата, во пределот и околината на круната и нејзиниот највисок дел направено е геотехничко истражно дупчење, при што се извршени следниве теренски активности: машинско бушење на истражни дупнатини; стандарден опит на пенетрација; опит на конусна пенетрација; тест за водопрпусност; земање соодветен број примероци за лабораториски испитувања. На предметната локација е извршена изведба на геомеханички дупнатини со машина за изведба на ваков тип дупнатини со поединечна длабочина од по 50 m за Д-1, Д-2 и Д-3 и од по 34 m за Д-4 и Д-5, како што е дадено на сликите 1 и 2.



Слика 1. Шематски приказ на изведените дупнатини

Од ископаниот материјал пакувани се проби кои се доставени до лабораторијата за геотехника при Градежен факултет.



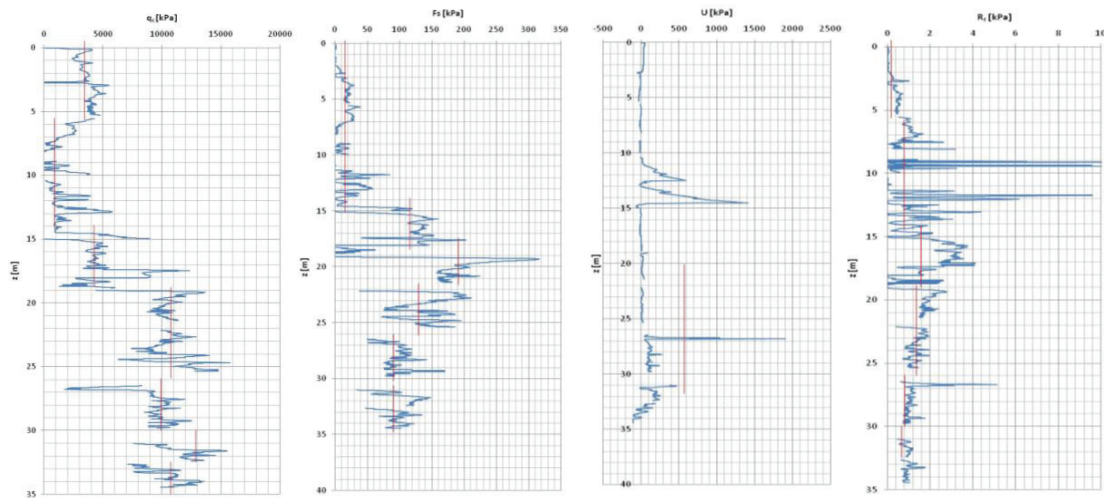
Слика 2. Изведба на геотехничка дупнатина Д-2

1.1. Стандарден опит на пенетрација

Стандардниот опит на пенетрација (SPT) е еден од најчесто користените in-situ опити за одредување на физичко-механичките карактеристики на почвата. Кај хидројаловишните брани, „телото“ е составено од ситнозрнест водозаситен песок, потенцијално подложно на ликвидација, што треба да се проверува.

1.2. Опит на конусна пенетрација

CPT и неговите напредни верзии (CPTu и SCPT) имаат широк дијапазон на употреба, при што во текот на испитувањето може да се мери и порниот притисок u . Подолу се прикажани типични дијаграми од анализирани испитувања добиени со претставување на резултатите од конусната пенетрација.



Слика 3. Резултати добиени кај дупнатина Д5

2. ПРЕГЛЕД НА РЕЗУЛТАТИ ОД ЛАБОРАТОРИСКИ ИСПИТУВАЊА

Во согласност со програмата за испитувања, составена според потребите за вршење истражување кај објект од ваков тип, за доставениот материјал се изведени опити со кои се дефинирани физичко-механичките, јакосните и деформабилните карактеристики во преработена состојба: гранулометриски состав, специфична волуменска тежина, волуменска тежина во природна состојба, влажност, релативна збиеност, порозност и коефициент на порозност, коефициент на водопропусност, јакост на смолкнување и модул на стисливост.

3. ТОЛКУВАЊЕ И КОРЕЛИРАЊЕ НА ДОБИЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

3.1. Одредување тип на почва

Една од главните употреби на опитот на конусна пенетрација е за одредување на типот на почвата. Со CPT не може да се обезбедат точни физички карактеристики, како што се големина на зрната на почвата, меѓутоа се добиваат податоци за механичките карактеристики на почвата, како што се јакост, стисливост, цврстина на почвата или,

како што уште може да се наречат, податоци за однесувањето на почвата. Еден од најреномираните истражувачи за толкување на резултатите од опитот на конусна пенетрација е Robertson, кој има извршено голем број анализи на оваа тема. За одредување на типот материјал од податоците добиени од СРТ се користат ненормализирани и нормализирани табели и дијаграми, при што се користат само основните податоци од отпор на конусот и триењето.

Наодите од овие табели, а чиишто изводи се дадени во табела 1, се во прилично добра корелација со оние од лабораториските испитувања на гранулометрискиот состав и понатамошна класификација на присутните материјали во хидројаловиштето.

Табела 1. Класификација на почвата од анализираниот случај направена според табелите за класификација на Robertson et al.

Дупнагина	Длабочина	q_c од дијаграм [kPa]	Q_t [q_c / p_a]	R_f	Тип на почва (ненормализирана табела)	Тип на почва (нормализирана табела)	Опис
Д-1	30.0÷32.35	4500	44.55	2.5	4/5	5	Мешавини од песок – прашест песок до песоклива прав
	43.15÷45.5	11100	109.90	0.58	6	6	Песок – чист песок до прашест песок
Д-2	33.2÷36.85	1099	10.88	1.15	4	4	Мешавини на прав – заглинета прав до прашеста глина
	40.37÷42.04	13200	130.69	1.15	6	6	Песок – чист песок до прашест песок
Д-3	33.0÷35.0	5400	53.47	2.26	5	5	Мешавини од песок – прашест песок до песоклива прав
	42.0÷44.25	12850	127.23	1.18	6	6	Песок – чист песок до прашест песок
Д-4	15.0÷18.53	3100	30.69	3.4	4	4	Мешавини на прав – заглинета прав до прашеста глина
	34.0÷37.0	11800	116.83	0.9	6	6	Песок – чист песок до прашест песок
Д-5	0÷8.15	3350	33.17	0.25	5/6	5	Мешавини од песок – прашест песок до песоклива прав
	8.91÷14.97	1000	9.90	0.85	4	4	Мешавини на прав – заглинета прав до прашеста глина
	15.0÷18.86	4100	40.59	1.8	5	5	Мешавини од песок – прашест песок до песоклива прав
	19.0÷25.36	10900	107.92	1.5	6	6	Песок – чист песок до прашест песок
	26.45÷29.77	9980	98.81	0.8	6	6	Песок – чист песок до прашест песок
	31.0÷32.40	12900	127.72	0.7	6	6	Песок – чист песок до прашест песок
	32.64÷34.43	10800	106.93	0.7	6	6	Песок – чист песок до прашест песок

3.2. Одредување хидраулична спроводливост

Приближна вредност за износот на хидраулична спроводливост или коефициент на водопрпусност, k , може да се добие од увидот во типот на почва со користење на нормализираните и ненормализираните табели за однесување на почвените материјали. Тие табели даваат дијапазон на можни вредности за овој параметар, кои проценки се базирани на резултатите добиени од опитот на конусна пенетрација, класификација на материјалите, расположиви податоци во литературата и резултати од испитувања за определување коефициент на водопрпусност во вертикален правец во лабораториски

услови. На таков начин, служат како водич за распонот во кој се движат вредностите за водопропусност.

Со спроведените наменски лабораториски испитувања на материјал од хидројаловишна брана, констатирано е дека материјалот е песок, чијашто водопропусност се наоѓа во граници $k=2 \times 10^{-5} \div 1 \times 10^{-3}$ m/s. По извршениот увид во табелите на Robertson, констатирано е дека резултатите кореспондираат, со што се дава препорака за нивна примена кај овие материјали.

3.3. Корелации за одредување агол на внатрешно триење

Јакоста на смолкнување кај нецементирани, крупнозрнести почви е најчесто изразена во однос на вршниот секантен агол на триење, ϕ' . Значајни подобрувања биле направени со теориите за развивање модел за конусната пенетрација во песоци (Yu and Mitchell, 1998). Robertson and Campanella (1983) сугерираат корелација за проценка на вршниот агол за неврзан, умерено компресивен, претежно кварцен песок врз основа на резултатите од тест за калибрациска комора. Kulhawy and Mayne (1990) предложиле алтернативен однос за чисти, заоблени, нецементирани кварцни песоци и ја оцениле врската со користење висококвалитетни податоци добиени од теренски испитувања.

Од добиените резултати може да се забележи дека, кога станува збор за корелирање на резултатите добиени од CPT со резултатите постигнати во лабораторија, најблиски вредности во анализираниот случај се добиваат преку корелацијата на Kulhawy & Mayne (1990), додека при корелирање на резултатите од SPT, најблиски вредности се добиваат според препораките од EC 7-2.

Табела 2. Приказ на вредности за проценети агли на внатрешно триење добиени преку корелации од резултатите од CPT и SPT

Дупна тина	Длабочина	q_c [MPa]	Корелации од CPT							Корелации од SPT			
			Robertson	Kulhawy and Mayne	Jefferies	Noville	$\phi = 13$	EC 7-2	Labo	Kulhawy and Wolf	EC 7-2		
Д-1	30.0 ÷ 32.35	4.5	24.52	31.80	28.56	28.00	/	34	36.5	25.9	28.8	34	
	43.15 ÷ 45.5	11.1	29.77	35.66	34.13	30.00	/	37	35.5	27.2	29.4	34	
Д-2	40.37 ÷ 42.04	13.2	30.79	36.43	35.23	37.00	/	38	32.1	28.4	29.9	34.5	
Д-3	33.0 ÷ 35.0	5.4	26.18	32.76	29.95	/	/	35	33.4	21.7	28.2	29	
	42.0 ÷ 44.25	12.85	30.34	36.21	34.91	34.00	/	38	36.2	27.1	29.5	34	
Д-4	15.0 ÷ 18.53	3.1	28.14	32.07	28.95	22.00	/	33	29.9	24.7	28.2	29	
	34.0 ÷ 37.0	11.8	28.17	35.27	33.57	/	/	37	36.6	25.7	29.9	33	

3.4. Корелации на резултатите од CPT и SPT со резултати од едометарски опит

Едометарскиот опит се изведува во лабораториски услови, во апарат со спречено бочно ширење, со кој се испитувани деформабилните карактеристики на материјалите вградени со волуменска тежина определена од количината задржана во цилиндарот од SPT. Материјалот е консолидиран во текот на 24 часа до оптоварувања што одговараат на длабочината од која е земен. Воедно, дотичните длабочини се искористени и при пресметување на оптоварувања до таа длабочина за да тоа оптоварување се примени за избор или проценка на постигнат модул на стисливост, доколку таков износ не постои во типичниот низ при опитот. Постигнатите/проценетите вредности за овие оптоварувања се применети како репери за споредување со вредностите што би се пресметале според одредени постојни изрази во литературата за корелирање податоци од CPT и SPT со едометарски опит: истите се дадени во продолжение.

Во најголем дел споредбите се направени меѓу лабораториски мерења и коригирани податоци од SPT, при што се користени два изрази. Од даденото во табела 3 може да се види дека изразот Шулице-Менценбах речиси редовно ги потценува лабораториските мерења, па, можеби, за негова применливост во конкретниот случај би се барало користење на вредноста за N_{60} , иако со неа се очекува да се преценат лабораториските мерења. Во однос на него, покоректни резултати дава изразот на Bowles.

Што се однесува до споредбите со CPT, истите се направени со примена на расположиви изрази за песок на De Beer и Buisman, а во кои просечниот отпор на конус се зголемува 50-200 % за да се процени лабораторискиот модул на стисливост. За жал, поради варирање на вредностите, но и отсуство на податоци од одредени мерења, не може да се извлече заклучок за тоа кој процент е валиден. Но, се проценува дека оној од $1,5 (1,5 \cdot q_c)$ е секако прифатлив за испитуваниот материјал и на страна на сигурноста и брзината.

Табела 3. Табела со вредности добиени за M_v од лабораториски испитувања и преку корелации со мерења при CPT и SPT

Дупнаг иша	Длабочина [m]	q_c [MPa]	M_v [MPa] $1.5 \div 3q_c$	M_v [MPa] Bowles $0,32N+4,8$	M_v [MPa] Schulze-Menzenbach $0,49N_{I(60)}+7,9$	Меродавен M_v - лабораторија [MPa]
Д-1	30			12.2	10.75	9.4
	30.0÷32.35	4.5	6.75÷13.5			>11
	33			11.0	10.19	>12
	36			12.9	10.82	>13
	39			14.3	11.22	16.9
	43.15÷45.5	11.1	16.65÷33.3			>18
	45			16.1	11.65	>18
Д-2	50			17.8	12.07	>18
	40.37÷42.04	13.2	19.8÷39.6			>17
	44.5			15.7	11.24	>17
Д-3	50			14.0	10.66	>13
	33.0÷35.0	5.4	8.1÷16.2			13.8
	36			9.7	9.99	13.8
	39			12.6	10.35	17.2
	42.0÷44.25	12.85	19.3÷38.6			>17
Д-4	48			12	10.04	>16
	2.5			6.5	11.17	1.1
	5			6.4	9.91	3.5
	7.5			7	9.86	3.9
	10			8.4	10.69	8.3
	12.5			7.9	9.78	2.6
	15.0÷18.53	3.1	4.65÷9.3			8.5
	21			12.5	11.16	14.3
	24			12.5	10.96	10.22
	27			14	11.34	12
	30			12.8	10.81	14.7
34.0÷37.0	11.8	17.7÷35.4			>15	

3.5. Корелации на резултати од CPT за добивање еквивалентни SPT N_{60} профили

SPT е еден од најчесто користените тестови за теренско испитување на почвите. Поради неговата едноставност и обемноста на добиени податоци, при појавата на CPT е почувствувана нужност да се направат корелации помеѓу овие два теста, односно пројавена е идеја резултатите од CPT да се видат преку еквивалентни SPT N_{60} резултати. Оттука и потребата за веродостојни CPT/SPT корелации, така што податоците од CPT ќе

може да се исползуваат во постојни проекти базирани на податоци добиени од SPT. Низ годините се направени многубројни студии за да се прикажат корелациите помеѓу SPT N вредноста и отпорот на продирање на конусот, q_c .

Од резултатите прикажани во табела 4 може да се забележи дека резултатите пресметани според формулата на Jefferies and Davies за овој хидројаловишен песок се речиси идентични со тие што се добиени од SPT. Што се однесува до втората постапка, резултатите добиени по формулата на Robertson се со одредена отстапка, односно мала разлика, па може да се заклучи дека не се сосема погодни да се користат во вакви случаи, односно кај ваков тип материјали: песок од руда за бакар, сребро и злато.

Табела 4. Вредности добиени за SPT со корелација преку вредности од CPT

Дуплатина	Длабочина	Опис	Jefferies and Davies (1993) N_{60}	Robertson (2012) N_{60}	Вредности за N_{60} од SPT
Д-1	30÷32.35	Мешавини од песок – прашест песок до песоклива прав	12.06	17.97	12.23
	43.15÷45.5	Песок – чист до прашест песок	18.08	19.19	18.71
Д-2	33.2÷36.85	Мешавини на прав – заглинета прав до прашеста глина	31.71	48.31	
	40.37÷42.04	Песок – чист до прашест песок	24.22	29.02	24.81
Д-3	33÷35	Мешавини од песок – прашест песок до песоклива прав	11.35	15.09	10.81
	42÷44.25	Песок – чист до прашест песок	21.19	22.81	21.55
Д-4	15÷18.53	Мешавини на прав – заглинета прав до прашеста глина	9.10	13.87	9.17
	34÷37	Песок – чист до прашест песок	21.65	25.94	13.32
Д-5	0÷8.15	Мешавини од песок – прашест песок до песоклива прав	7.89	11.19	
	8.91÷14.97	Мешавини на прав – заглинета прав до прашеста глина	3.52	5.37	
	15÷18.86	Мешавини од песок – прашест песок до песоклива прав	9.66	13.70	
	19÷25.36	Песок – чист до прашест песок	20.00	23.96	
	26.45÷29.77	Песок – чист до прашест песок	18.31	21.94	
	31÷32.40	Песок – чист до прашест песок	23.67	28.36	
	32.64÷34.43	Песок – чист до прашест песок	19.82	23.74	

4. ЗАКЛУЧОК

Предмет на истражувањето е хидројаловиште на кое се спроведени обемни испитувања. Со тоа, задача е да се одредат физичко-механичките карактеристики на материјалот во теренски и лабораториски услови, а цел е да се изнајдат начини за нивно корелирање. Имено, за да се воспостават корелации, потребно е да се испитаат постојните кои би користеле за добивање максимален број резултати со минимална изведба на теренски опити, односно рационално искористување на опитите и

резултатите добиени од нив. На таков начин би се заштедиле време и финансии, а резултатите би биле во рамки на барана точност.

Истражувањето е спроведувано паралелно од аспект на воспоставување корелации меѓу теренски и лабораториски испитувања, како и за воспоставување корелации меѓу два различни вида теренски опита или лабораториски испитувања. Кај повеќето од изразите што постојат во литературата, овие корелации се испитани за ситнозрнест песок, меѓутоа не се проверени за хидројаловиштен песок. Така, цел беше истите да се проверат, а воедно и подобрат, т.е. да бидат функционални за вакви средини во кои преобладава ситен и прашест/калив материјал, добиен со преработка на рудни минерали. Ова претставува специфичен инженерски проблем кој воедно е и несекојдневен, па бара и посебно внимание. Со таа цел извршено е геотехничко истражување со богата проектна програма, односно извршени се многубројни потребни теренски и лабораториски опити во доволен обем. Од теренските направени се опит на стандардна пенетрација SPT и опит на конусна пенетрација CPT, при што резултатите што се добиени од нив се искористени за поврзување и добивање како на меѓусебна релација, односно поврзаност, така и релација со резултатите добиени од лабораторија. При користење на овие резултати направен е осврт и на препораките што ги нуди Eurocode 7-2. Од SPT, кој е изведен во четири од дупнатините, низ целата должина на истите добиени се информации како што се тип на материјал, збиеност на материјалот, агол на внатрешно триење, а се добиени и податоци, како што се влажност, волуменска тежина и гранулометриски состав во лабораториски услови од материјалот земен со лопатката за изведба на SPT. Од CPT, односно од резултатите добиени од истиот (отпор на конус, триење на обвивка и порен притисок), е направена класификација на материјалот според стандардизирана и нестандардизирана табела на Robertson: исходите од нив претежно соодветствуваат со резултатите од лабораторија, а разлика меѓу заклучоците од овие два типа табели за класификација речиси нема.

Информации за водопрпусноста се добиваат од табелите за класификација на почвата на Robertson et al. Имено, со одредување на типот на почвата се одредува и опсегот во кој се движи водопрпусноста на почвата, но се нагласува дека оваа информација треба да се користи само за добивање генерална слика за водопрпусноста, а за какви било подетални износи потребно е да се спроведат како теренски, така и лабораториски опити за водопрпусност. Сепак, со спроведените лабораториски испитувања констатирано е дека материјалот е песок, со релативно типични вредности на коефициент на водопрпусност, што е соодветно на прикажаното во посочените табели и ја дава препораката за нивна примена кај овие материјали.

За одредување на аголот на внатрешно триење користени се резултатите од SPT и CPT. При одредување на аголот на внатрешно триење преку резултатите од CPT користени се препораките на повеќе автори, чиишто износи се споредени со резултатите добиени во лабораторија. Најблиски вредности до лабораториските се оние од формулите на Kulhawy and Maune, па постигнатите со формулата на Jefferies and Been, а прифатливи се и препораките од Eurocode 7, додека, пак, препораките на Robertson & Campanella и Nonveiller се со поголеми девијации, па не се препорачува да се користат кај ваков тип објекти и материјали.

Кога станува збор за агол на внатрешно триење добиен преку цилиндарот од SPT, овде единствено прифатливи се препораките на Eurocode 7, додека останатите се со одредена отстапка.

Споредба е направена и меѓу резултатите од едометарски опит и соодветни корелации со SPT и CPT. Притоа, констатирано е дека изразот на Bowles, за разлика од оној на Schulze-Menzenbach, дава солидна врска меѓу лабораториските испитувања и SPT, додека кај CPT, множењето на отпорот на конусот со 1,5, во согласност со

искуството на De Beer, ќе даде вредности на страна на сигурноста за модулот на стисливост за хидројаловишен песок.

Во продолжение, Jefferies и Davies и Robertson нудат можност резултатите од СРТ да се трансформираат во SPT N₆₀ вредност, како резултати од опит со подолга традиција. По извршените пресметки дојдено е до заклучок дека резултатите за овој песок добиени преку формулите на Jefferies and Davies се речиси идентични на оние што се добиени од SPT, додека формулите на Robertson даваат износи за нијанса повисоки.

Покрај изведените теренски испитувања, направени се и многубројни лабораториски испитувања, чиешто резултати служат како основа за корелирање на износите и опитите, па така и за потврдување на пресметките добиени од терен. Со реализацијата на ова истражување се дава придонес кон значително редуцирање на времето за селекција на формулите за користење при пресметување на резултатите потребни за проектирање, а воедно и контролирање на објект од ваков тип. Со тоа се овозможува значително олеснување во третирањето на овој објект, а воедно, со користењето на овие податоци при менаџирање со други објекти, би се збогатила литературата од оваа област.

При натамошни редовни или наменски теренски и лабораториски истражувања и испитувања кај објекти од овој тип се препорачува да се следат дадените препораки, но и повторно да се испитаат со цел да се потврди нивната функционалност и провери генералноста, а перспективно и да се вклучат во литературата како инструкции за да постепено се земат во поширока употреба и да се обезбедат бенефити од повеќе аспекти.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Campanella, R.G., Gillespie, D., and Robertson, P.K., (1982), "Pore pressures during cone penetration testing" In Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, ESPOT II. Amsterdam. A.A. Balkema, pp. 507-512.
- [2] Eurocode 7 – Geotechnical Design – Part 2: Ground investigation and testing, Ref. No. EN 1997 2- 2007: E
- [3] Idriss I. M., Boulanger R. W. (2010), "SPT based liquefaction triggering procedures" December 2010
- [4] Jarushi F. et al. (2015) "A New correlation between SPT and CPT for Various Soils", World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering Vol:9, No:2, 2015
- [5] Jefferies, M.G., and Davies, M.P., (1993) "Use of CPTU to estimate equivalent SPT N₆₀", Geotechnical Testing Journal, ASTM, 16(4): 458-468.
- [6] Jefferies, M.G. and Been, K., (2006) "Soil Liquefaction – A critical state approach." Taylor & Francis, ISBN 0-419-16170-8, 478 pages
- [7] Mayne, P.W., (2005) "Integrated Ground Behavior: In-Situ and Lab Tests, Deformation Characteristics of Geomaterials", Vol. 2 (Proc. Lyon), Taylor & Francis, London, pp. 155-177.
- [8] P.K. Robertson and K.L. Cabal (Robertson) (2014) "Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, 6th Edition, December 2014
- [9] P.K. Robertson and K.L. Cabal (Robertson) (2010) "Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, 4th Edition, December 2010
- [10] P.K. Robertson (2010) "Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength Using the Cone Penetration Test", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, June 2010
- [11] Robertson, P.K., (2010) "Estimating in-situ state parameter and friction angle in sandy soils from the CPT. 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10, Huntington Beach, CA, USA."
- [12] Robertson, P.K., (1990), "Soil classification using the cone penetration test" Canadian Geotechnical Journal, 27(1): 151-158.
- [13] Велковска С., (2019) „Корелации помеѓу резултати од теренски и лабораториски геотехнички испитувања на хидројаловишен песок“, магистерска теза
- [14] Wroth, C.P., (1984) "The interpretation of in-situ soil tests", Rankine Lecture, Geotechnique(4)