

Samardaković,S.,Samardaković,M.,Folić,R.(2013): Dinamička penetraciona ispitivanja i međusobne korelacije, *Zbornik radova V naučno-stručnog savetovanja „Geotehnički aspekti građevinarstva“*, SGIS i dr., Sokobanja, str.205-212.

ДИНАМИЧКА ПЕНЕТРАЦИОНА ИСПИТИВАЊА И МЕЋУСОБНЕ КОРЕЛАЦИЈЕ

Слободан Самардаковић*, Мирољуб Самардаковић*, Радомир Фолић**

* "GeoSol" ДОО за грађевинску геотехнику, Ниш, geosolnis@yahoo.com

** Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду

РЕЗИМЕ: Имајући у виду развој метода и увећавање обима испитивања тла *in situ*, ови методи се у новије време систематизују и у различитим државама и регионима стандардизују у циљу поузданије интерпретације резултата испитивања, уз примену мноштва корелација. Само један резултат (*N*) опита SPT или динамичке пенетрације није довољан за добијање бројних параметара тла али се ови опити због своје рационалности обилато користе, због чега су стандардизовани у EN 1997-2:2007 и EN ISO 22476:2005. Уз сажети приказ метода према овим стандардима, у раду су анализиране могућности међусобног корелисања њихових резултата и изведена корелација SPT и динамичке пенетрације лаком опремом DPM30-20 (Pagani), која се последњих година користи у домаћој пракси. Тиме је омогућена процена параметара тла на основу опита DPM30-20, коришћењем бројних корелација са најстаријим опитом SPT.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: SPT, динамичка пенетрациона испитивања, корелације резултата.

DYNAMIC PENETRATION TESTING AND MUTUAL CORRELATIONS

ABSTRACT: Given the development of methods and increasing the volume of soil testing *in situ*, these methods are recently systematized and in different countries and regions in order to standardize reliable interpretation of test results, with the use of a multitude of correlation. Only one result (*N*) of SPT or dynamic penetration is not sufficient to obtain a number of soil parameters but because of its rationality these tests are being widely used and standardized in EN 1997-2:2005 and EN ISO 22476:2009. In addition to a summary of the methods according to these standards, the paper analyzes the possibilities of mutual correlating their results and derived correlations between SPT and dynamic penetration of light penetrometer DPM30-20 (Pagani), used in domestic practice. This allows estimation of soil parameters on the basis of experience DPM30-20, using a number of correlations with the oldest experiment SPT.

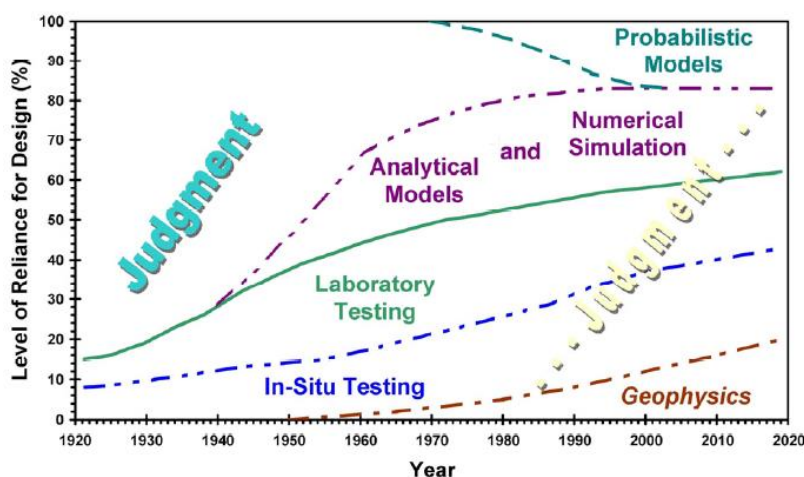
KEYWORDS: SPT, dynamic probing, correlation results.

УВОД

За проверу грађе (састава и склопа) терена и процену стања и својстава тла у слојевима терена планираних или постојећих објеката, како је познато, уз дубинска истраживања изводе се и *дубинска испитивања* опитима *in situ*, чији методи се у новије време систематизују и у различитим државама и регионима стандардизују, уз напоре да се методи и њихове корелације унапреде и уједначе – у циљу поузданијег и рационалнијег планирања, извођења, интерпретације и примене резултата испитивања.

Према савременим прегледима и ознакама ових метода (нпр. Clayton и др.,1995, Robertson,2006, Маупе и др.,2009), то су опити SPT (стандардне пенетрације), DPT (динамичке пенетрације, бројним различитим опремама), CPT (пенетрације конусом, тзв. статичке пенетрације механичким, електричним, пиезо или сеизмичким конусом), PMT (пресиометром), DMT (дилатометром), FVT (крилном сондом) и бројни други, новији и мање познати.

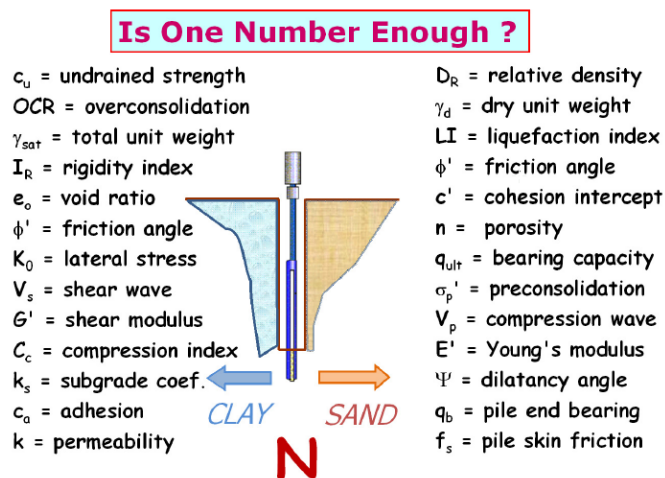
Од почетка двадесетог века, када се у САД почело са применом SPT (1902), обим и методи испитивања *in situ* се увећавају и за одређивање показатеља тла данас донекле превазилазе обим лабораторијских испитивања (Сл.1), захваљујући развоју и умножавању метода, корелација њихових резултата са показатељима састава, стања и својстава тла и напорима да се релевантни методи стандардизују, на националним, регионалним и интернационалним нивоима.



Сл.1. Обим примене метода за одређивање параметара тла

Fig.1. Evolution curve for geometerial parameters evaluation in design (Mayne at al.,2009 after Lacasse,1985)

Опит SPT – најстарији (креиран у САД 1902), са првим објављеним корелацијама (Terzaghi, Peck, 1948), први пут стандардизован у САД (1930, 1958) а затим у Енглеској и другим земљама – у пракси се и данас значајно и корисно примењује иако се једним резултатом (N) ове или друге динамичке пенетрације не може проценити већина бројних показатеља потребних за савремене рачунске анализе деформација и стабилности тла (Сл.2).



Сл.2. Нереалност одређивања рачунских параметара тла једним резултатом N
Fig.2. Unrealistic overreliance on the single N -value for design (Mayne at al.,2009)

Примена SPT још увек опстаје и уз напредније савремене варијанте CPT и других опита *in situ*, посебно у сиромашнијим подручјима, пре свега због једноставније и јефтиније опреме, обимних искустава и деценијама усавршавањих корелација са показатељима тла – какав је случај и у домаћој геотехничкој пракси.

Један резултат (N_{DPT}) добија се и различитим методима динамичке пенетрације (DPT), којима је са SPT заједничко што се пенетрација врши ударима маља, при чему се отпор тла исказује бројем удараца за прираштај утискивања прописан стандардом или препоручен од стране бројних произвођача опреме а битна је разлика што се при DPT у тло утискује конус а при SPT 'кашика' у виду заострене цеви, која се по потреби замењује конусом једнаког пречника (као у домаћој пракси) – чиме DPT и SPT постају сродни по врсти енергије утискивања и облику тела које се утискује па је тако корелација њихових резултата олакшана а тиме и корелације DPT–SPT–параметри тла.

Овај рад представља покушај прегледа метода динамичке пенетрације и могућности међусобног корелисања њихових резултата, са примером корелације SPT и 'средњег' динамичког пенетрометра DPM30-20 италијанског произвођача *Pagani* (Самардаковић, 2007), чија моторизована опрема стаје у путнички аутомобил и више година се корисно примењује у условима где тежи пенетрометар или камионска бушаћа гарнитура немају приступ, пре свега за пескове и ситнозрнија мешовита тла.

ОПРЕМА И МЕТОДИ У РЕГИОНУ И ПРЕМА ЕС7

Историјат SPT (нпр. Robertson, 2006, Rogers, 2006) показује да је овај метод деценијама усавршаван и стандардизован, тако што се (са занемаривим разликама у разним државама) у дно бушотине утискује 45 cm 'кашика' спољашњег/унутрашњег пречника 51/35 mm, ударима тега масе 63,5 kg који (што слободније) пада са висине 76,2 cm (30 in) а резултат опита је број удараца (N) за последњих 30 cm утискивања. Резултат (N) се коригује за случај замене кашике конусом пречника 51 mm са врхом под 60° и – ради поређења са другим опитима SPT а зависно од односа унете и остварене енергије утискивања, начина издизања тега, пречника бушотине и дужине наставака шипке – своди на вредност N_{60} (за просечни губитак енергије 40%) а затим на вредност $N_{1(60)}$ која би била добијена да је опит урађен у условима ефективног вертикалног напона 100 kPa на дубини испитивања (што у незасићеном тлу приближно одговара дубини 5 m). Детаљи опита и корекција нису предмет овога рада а наведене масе и димензије дате су ради лакшег поређења са опремом за опите динамичке пенетрације (DPT).

Пошто SPT још увек није (могао бити?) комплетно стандардизован, интернационалне базе података и корелације са показатељима тла треба користити опрезно, са познавањем варијација опреме, оштећења тла при бушењу и врсте тла у коме се ради опит (нпр. Clayton, 1995 или Becker, Moore, 2006), имајући у виду два кључна проблема: варирање енергетске (не)ефикасности и прешироко коришћење резултата SPT (Сл.2).

Опити динамичке пенетрације (DPT) изводе се у свету опремама различитих конструкција и величина, са истим циљевима као SPT, али још увек уз знатно мањи обим стандардизације него SPT, што знатно отежава релевантну интерпретацију резултата различитих DPT, њихово поређење и корелацију са параметрима тла. У циљу усаглашења метода, Европски подкомитет за опите пенетрације, у оквиру Међународног друштва за Механику тла и Фундирање (ISSMFE), сачинио је (1977) и објавио (1989) преглед главних карактеристика европских динамичких пенетрометара (Сл.3), а последњих деценија учињен је запажени напредак на неким националним нивоима, према увиду аутора пре свега у Немачкој, где DIN 4094 (2001, 2002) у деловима 1-5 даје спецификацију опреме, описује употребу и поређење са другим пенетрационим опитима у разним материјалима (нпр. Melzer, Bergdahl, 2002).

На европском нивоу, за примену према EN 1997-2:2007 (Eurocode 7) усвојен је и стандард за сва савремена теренска испитивања EN ISO 22476:2005 – 2009. преведен и у Русији а 2012/2013. у Србији – чији део 3 регулише SPT а део 2 (Dynamic probing) стандардне методе, опрему и примере интерпретације за опите DPT, специфициране као DPL, DPM, DPH и DPSH (Сл.4).

Country	Kind of penetrometer				Tip		Rods			Hammer (kg)	Drop (cm)
	DPL	DPM	DPS	DPSH	Diameter (mm)	Angle (°)	Ø Inner (mm)	Ø External (mm)	Length (m)		
Belgium	x				22,5 25,2 35,7	60	0	20	1	10	50
Denmark				x	51	90		32	1,0-2,0	63,5	75
Finland	x			x	35,7 45	90 90		22 32	1 1	10 63,5	50 50
France		x x x		x x x	62 70 45 35,7 43,7	90 90 90 90 90		40 40 32 22 32	1 1 1 1 1	32; 64; 96; 120 30; 60; 90 63,5 30 50-100	76 40 50 20 50
Germany	x x		x		25,2; 35,7 35,7 35,7; 43,7	90 90 90	6 6; 9 9	22 22; 32 32	1 1,0-2,0 2	10 30 50	50 20; 50 50
Italy	x			x x	35,7 51 50,5	60; 90 60 60	0; 14 0 14; 18	20; 28 34 28; 34	1 1,2 1,0-1,5	30; 20 73 63,5	20 75 75
Norway				x	51	90	0	32	1,0-2,0	63,5	75
Spain	x			x x	35,7 45 62	90 90 90	0 0	22 32 40/32	1 1 1,0-2,0	10 63,5 63,5	50 50 75
Switzerland		x	x	x	35,7 43,7 62,5-60	30-90 30 90	0 155 26	22; 25 32 42; 38	1-0-2,0 1,0-2,0 1,5-2,0	30; 20 50 63; 60	20; 50 50 76; 50

Сл.3. Карактеристике европских динамичких пенетрометара (за Италију осенчен *DPM30-20 Pagani*)
Fig.3. Principal characteristics of the European dynamic penetrometers (ISSMFE, 1989)

EN ISO 22476-2								ISO 22476-3	Pagani
Dynamic penetration service	Symbol	Units	DPL (light)	DPM (middle)	DPH (heavy)	DPSH (very heavy)		SPT(C)	DPM30-20
						DPSH-A	DPSH-B		
Drive block weight, new one	m	kg	10 ± 0,1	30 ± 0,3	50 ± 0,5	63,5 ± 20	63,5 ± 0,5	63,5	30
Drop height	h	mm	500 ± 10	500 ± 10	500 ± 10	500 ± 100	750 ± 20	760	200
Anvil									
Diameter	d	mm	50 < d < 0,5 Dh a	50 < d < 0,5 Dh a	50 < d < 0,5 Dh	50 < d < 0,5 Dh	50 < d < 0,5 Dh a	> 50	> 50
Weight (max) (including guide rod)	m	kg	6	18	18	18	30	≈ 30	24
90° Cone								60°	60°
Nominal area of base	A	cm²	10	15	15	16	20	20,4	10
Diameter of base, new	D	mm	35,7 ± 0,3	43,7 ± 0,3	43,7 ± 0,3	45,0 ± 0,3	50,5 ± 0,5	51	35,7
Diameter of base, worn (min)		mm	34	42	42	43	49		
Surface length (mm)	L	mm	35,7 ± 1	43,7 ± 1	43,7 ± 1	45,0 ± 0,3	51 ± 2		
Cone tip length		mm	17,9 ± 0,1	21,9 ± 0,1	21,9 ± 0,1	22,5 ± 0,1	25,3 ± 0,4		
Max permitted tip wear		mm	3	4	4	5	5		
Driving rods c									
Mass (max)	m	kg/m	3	6	6	6	8	≤ 10	2,4
OD diameter (max)	dr	mm	22	32	32	32	35	> 35	20
Rod deviation d									
Lowest 5 m		%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
Rest		%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
Specific work per stroke	mgh/a En	kJ/m²	50	100	167	194	238	232	59

Legend:

a - Dh - the drive block diameter; in case of a square shape the minor drive block dimension is reflected as identical with the diameter

b - only for a cone disposable

c - the maximum rod length may not exceed 2 m

d - the rod deflection of the vertical

NOTE The given tolerances are manufacturing tolerances.

Сл.4. Димензије и масе динамичких и SPT(C) пенетрометара према EN ISO 22476 и DPM30-20(Pagani)
Fig.4. Dimensions and masses of dynamic and SPT(C) penetrometers (EN ISO 22476) and DPM30-20(Pagani)

Према овом стандарду, конус се утискује уз што мање бочно трење шипки и региструје број удараца (N_{10}) на сваких 10 cm утискивања за лаки (DPL), средњи (DPM) и тешки (DPH) пенетрометар а за супертешки (DPSH) на 10 или 20 cm, при чему се резултати изван интервала $N_{10} = 3-50$ и $N_{20} = 5-100$ приказују као веза N -утискивање (за јако меко или тврдо тло).

Како се може видети, у табели на Сл.4 приказане су опреме које треба користити за стандардне опите динамичке пенетрације (DP у варијантама L, M, H и SH), као и за (давно назван) стандардни опит пенетрације SPT(C), где додатна ознака C означава опит са утискивањем конуса уместо 'кашике'.

За увид и поређење, на Сл.4 су придодате и карактеристике моторног динамичког пенетрометра DPM30-20 *Padani* (осенчене у табели на Сл.3), чија ознака M означава средњу тежину али је његов специфични рад по ударцу (59 kJ/m^2) јако близак ефектима DPL (50 kJ/m^2) – што га сврстава у лаке пенетрометре али увећава могућности његове интерпретације дозвољено приближним коришћењем објављених корелација N_{10L} са другим опитима и показатељима тла.

МЕЋУСОБНО КОРЕЛИСАЊЕ РЕЗУЛТАТА

Сасвим је извесно да број удараца за стандардно утискивање зависи од бројних фактора – како од конструкције, маса и димензија пенетрометра тако и од грађе (састава и склопа) терена, састава, стања и својстава материјала који се пенетрира, ефективних напона и порних притисака и др., што је теоријски тешко обухватити – тако да се не могу очекивати боље међусобне корелације од оних које се могу добити систематизацијом и анализом довољно бројних паралелних испитивања различитим опремама у довољно сличним материјалима и условима. На пример, у једном од корисних информативних додатака EN ISO 22476-2 показује се да, под једнаким осталим условима, шири конус пенетрира кроз шљунак теже од ужег конуса, док је у песку обрнуто (што може да упути на тражење везе између пенетрационог отпора и односа димензија конуса и просечног пречника зрна испитиваног тла).

Уз таква експериментална корелисања, бројни аутори су тражили релације између броја удараца и енергије (рада) утрошене за задату пенетрацију, исказујући је различито, из чега је произашао закључак да се практично линеарна зависност броја удараца и утрошеног рада (енергије) за задату пенетрацију добија тзв. *холандском формулом* (Sanglerat, 1972), примењеном и у напред наведеном стандарду, по којој се улазна енергија једног ударца маља или тзв. *јединични отпор пенетрацији* (r_d) коригује (због губитка дела енергије услед инерције опреме) на излазну енергију или тзв. *динамички отпор пенетрацији* (q_d) услед једног ударца маља

$$q_d = \left(\frac{m}{m + m'} \right) r_d = \left(\frac{m}{m + m'} \right) \frac{mgh}{Ae} = \left(\frac{m}{m + m'} \right) \frac{mgh}{A \frac{\delta}{N}} = N \left(\frac{m}{m + m'} \right) \frac{mgh}{A\delta} \quad (a)$$

при чему су: m [kg] маса маља
 m' [kg] маса наковња, водеће шипке маља и шипки до дубине испитивања
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ убрзање због дејства гравитације
 h [m] висина пада маља
 A [m²] површина основе конуса
 $e = \delta/N$ [m] дубина утискивања услед једног ударца
 δ [m] дубина утискивања за коју је регистровано N удараца
 q_d [kNm/m³] = [kJ/m³] = [kPa] отпор тла при пенетрацији услед једног ударца

У додатку Е стандарда EN ISO 22476-2, на основу примера са дијаграмима DPT пенетрације исказаних преко N_{10} и q_d за DPL, DPM, DPH (делом и DPSH) у зависности од дубине у крутој

преконсолидованој глини и преконсолидованом крупнозрном наносу оцењује се да се за сва четири метода профили q_d врло слични – што упућује на оправдану могућност да се односи N добијених различитим DPT методама на једнакој дубини у датом тлу могу (бар оријентационо) тражити изједначавањем њихових укупних отпора $N \cdot q_d$ за једнаке дубине утискивања (δ), нпр. из $N_{10L} q_{d10L} = N_{10H} q_{d10H}$ или $N_{10H} q_{d10H} = (N_{20SH}/2) q_{d20SH}$.

КОРЕЛАЦИЈА SPT И DPM30-20 (Pagani)

Малим моторним динамичким пенетрометром DPM30-20 (Pagani) у тло се утискује конус са базом пречника 35,7 mm (10 cm^2), који остаје на дну пенетрационе бушотине, а испитивање се врши континуално, на сваких 10 cm регистровањем броја удараца N_{10DPM} маља масе 30 kg који се хидрауличком пумпом издиже и низ вођицу пада са висине 20 cm (Sl.5).



Сл.5. Пенетрационо испитивање са DPM30-20 (Pagani)

Fig.5. Penetration testing with DPM30-20 (Pagani)

Овим методом добија се континуалан профил отпора N_{10DPM} по дубини терена, из кога се добро уочавају његова слојевитост и локалне промене, за разлику од напред описаног SPT чији меродаван резултат N_{30SPT} важи за 30 cm утискивања на жељеним дубинама (са 'кашиком' најгушће на 1,5 m).

Пошто за SPT, као најстарији опит, постоје бројне корелације за процену параметара тла, од дијаграма N_{10DPM} би се до ових параметара могло стићи преко корелације N_{10DPM} и N_{30SPT} , применом напред описане холандске формуле (а) и изједначењем укупних отпора тла овим ударцима за једнака утискивања ($\delta = 10 \text{ cm}$) на референтној дубини 5 m ($\sigma'_{v0} \approx 100 \text{ kPa}$) и за податке са Сл.4, како следи:

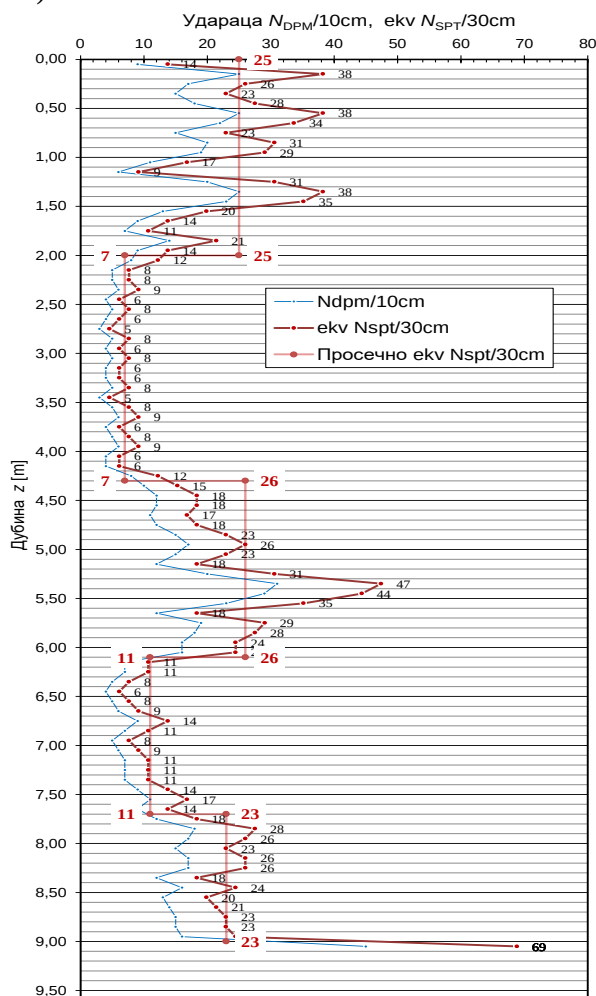
$$(N_{30SPT}/3)q_{d30SPT} = N_{10DPM}q_{d10DPM}$$

$$\frac{N_{30SPT}^2}{3} \left(\frac{63,5}{63,5 + (30 + 5 \cdot 10)} \right) \frac{63,5 \cdot 9,81 \cdot 0,76}{20,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,30} = N_{10DPM}^2 \left(\frac{30}{30 + (24 + 5 \cdot 2,4)} \right) \frac{30 \cdot 9,81 \cdot 0,20}{10 \cdot 10^{-4} \cdot 0,10}$$

$$N_{30SPT} = 1,53N_{10DPM} \quad (b)$$

Из средње једначине може се уочити да су за наведене масе опреме (тачне за DPM30-20 и процењене за уобичајени SPT са ручним издицањем маља у домаћим условима, према Сл.4) вредности у заградама лево и десно скоро једнаке (0,44-0,45), што значи да су такви и односи излазне и улазне енергије за сваки од два упоређена опита.

Ако се изведена корелација (b) примени у интерпретацији опита пенетрације DPM30-20, добија се дијаграм као на Сл.6, са профилима отпора N_{10DPM} и $ekv N_{30SPT}$ (какав би се преко SPT добио за 30 cm утискивања у такво тло) и са просечним вредностима $ekv N_{30SPT}$ за зоне које се могу издвојити у виду слојева тла, као почетним вредностима N које се стандардно коригују на N_{60} и $N_{1(60)}$, на основу којих се процењују параметри тла према корелацијама наведеним у ранијем раду аутора (Самардаковић, 2007) или у примерима из додатака F (за SPT) и G (за DPT) европског стандарда EN 1997-2(2007).



Сл.6. Резултати пенетрационог испитивања са DPM30-20 и еквивалентне вредности N_{SPT}
Fig.6. Results of penetration tests with DPM30-20 and equivalent values N_{SPT}

Приказани пример дијаграма (Сл.6) добијен је приликом провере висине, стања и својстава материјала насуте бране у планинском подручју Србије, изграђене од глиновите стенске распадине, за коју је истражним бушењем и пенетрационим DPM30-20 испитивањем установљено смењивање песка заглињеног (већи отпор) и глине песковите (мањи отпор) до 9 m, на подини од више па мање оштећене чврсто везане стене.

ЗАКЉУЧАК

У савременој геотехничкој пракси, одређивање параметара тла за потребе пројектовања врши се у значајном обиму испитивањима *in situ* (Сл.1), бројним методима који се умножавају и усавршавају, тако да одређивање параметара на основу само једног резултата (Сл.2) – добијеног најстаријим опитом *стандардне пенетрације* (SPT) или опитима *динамичке пенетрације* (DPT) – остаје значајно, пре свега због цене и једноставности ових метода и великог броја корелација са параметрима тла, које се и даље истражују. На европском нивоу, ови методи (Сл.3) су стандардизовани у EN 1997-2:2007 и EN ISO 22476:2005 (Сл.4), уз корисна упутства и корелације у додацима стандарда, па би их као такве требало примењивати и у домаћој пракси.

Ради коришћења бројних корелација SPT са параметрима тла, у раду је изведена и теоријска корелација резултата SPT(C) са конусом и корисног опита континуалне динамичке пенетрације лаким пенетрометром DPM30-20 (Pagani) (Сл.5 и 6), који је у домаћој употреби, чиме је омогућена процена параметара тла на основу опита DPM30-20. Може се уочити да је рад по ударцу овом опремом близак стандардном DPL (Сл.4) и да су базе њихових конуса једнаке, па би се резултати DPM30-20 и DPL могли третирати једнако, користећи корелације за DPL у стандардима и литератури. Треба имати у виду да су најпоузданије корелације добијене експериментално, паралелним испитивањима у осталим приближно једнаким условима (врста и стање тла, дубина опита, ниво подземне воде и др.).

РЕФЕРЕНЦЕ

- Becker,D.E.,Moore,I.D.(ed.)(2006): *Canadian Foundation Engineering Manual*, 4th ed., Canadian Geotechnical Society
- Clayton,C.R.I. et al. (1995): *Site Investigation*, 2 ed., Wiley-Blackwell, London
- DIN 4094 (2001,2002): *Baugrund – Felduntersuchungen*, Teil 1-5.
- EN 1997-1(2004): *Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 1: General Rules*
- EN 1997-2(2007): *Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground investigation and testing*
- EN ISO 22476-2(2005): *Dynamic Probing*
- EN ISO 22476-3(2005): *Standard Penetration Test*
- Mayne,P.W. et al.(2009): Geomaterial behavior and testing, *Proceedings of the 17th Int.Conf. on SMGE* (Hamza,M. et al., eds.), IOS Press,
- Melzer,K.-J.,Bergdahl,U.(2002): Geotechnical Field Investigations, *Geotechnical Engineering Handbook* (Smoltczyk,U.,ed.), Ernst&Sohn, Berlin, Vol.1, 71-82.
- Robertson,P.K.(2006): *Guide to In-Situ Testing*, Gregg Drilling & Testing Inc., California
- Rogers, (2006): Subsurface Exploration Using the SPT and CPT, *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. XII, No. 2, 161–179
- Samardaković,M.(2007): Iskustva u primeni dinamičkog penetrometra DPM30-20 Pagani, *Geotehnički aspekti građevinarstva*, Zbornik radova sa drugog naučno-stručnog savetovanja (Folić,R., ed.), 51-56
- Sanglerat,G.(1972): *The Penetrometer and Soil Exploration*. Interpretation of penetration diagrams - theory and practice, Elsevier, Amsterdam.
- Terzaghi,K., Peck,R.(1948): *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley and Sons, New York