

Ana GABERC
mag., univ.dipl.inž.grad.

Janko LOGAR
doc.dr., univ.dipl.inž.grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

Alenka ROBAS
asist., univ.dipl.inž.grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

Bojan MAJES
prof.dr., univ.dipl.inž.grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

PRVE IZKUŠNJE Z UPORABO DILATOMETRA V SLOVENIJI

POVZETEK: Terenske preiskave temeljnih tal, ki jih je s ploščatim dilatometrom uvedel Marchetti (DMT preiskave), se v svetu uporabljajo zadnjih 20 let. Ugotavljanje geomehanskih parametrov s pomočjo te preiskave je v veliki meri izkustvenega značaja in v raziskovalnem smislu še ni končano. Pri nas smo s te vrste preiskavami začeli pred dobrim letom. To je »in situ« statični deformacijski test, s katerim je možno v prvi vrsti napovedati modul stisljivosti in posedanje drobnozrnatih tal, z nadaljnjimi korelacijami pa dobimo tudi podatke o sestavi tal, nedrenirani strižni trdnosti koherentnih zemljin oziroma strižnemu kotu pri peskih, o koeficientu mirnega zemeljskega pritiska in prekonsolidacijskem indeksu pri glinah, o napetostno-deformacijskih sovisnostih za horizontalno obremenitev pilotov ter informacijo o koeficientu konsolidacije. V članku so prikazane primerjave rezultatov DMT glede na nekatere, pri nas že »klasične« preiskave zemljin, tako z vrtnami, z rezultati laboratorijskih preiskav modula stisljivosti, kot tudi s terenskimi preiskavami CPT in krilnimi sondami.

FIRST EXPERIENCES WITH DILATOMETER TESTS IN SLOVENIA

SUMMARY: In situ testing by the flat dilatometer was developed by Marchetti and is currently used all over the world during the last 20 years. Empirical derivation of geotechnical parameters by means of the DMT needs further research to be verified in local conditions. In Slovenia first DMT tests were performed in the beginning of 2003. DMT represents in situ static deformability test, suitable for the determination of stiffness for settlement prediction of fine grained soils. Many other correlations were elaborated for assessment of soil classification and stress history, such as overconsolidation ratio and coefficient of earth pressure at rest k_0 , strength parameters such as undrained shear strength c_u for cohesive soils and friction angle for sands, and furthermore P-y curves for laterally loaded piles. The dissipation test can be performed and the coefficient of consolidation c_v can be obtained. The paper presents some comparisons of DMT results to other soil investigation techniques, including laboratory and in situ tests, like vane test and CPT.

UVOD

Preiskava je hitra, kontinuirna terenska preiskava, ki temelji na merjenju tlakov v tleh pri značilnih, standardiziranih deformacijah membrane na sondi. Ploščata sonda (slika 1) se vtiskuje v tla s pomočjo vrtnega ali CPT drogovja. Meritev se izvaja na vsakih 20 cm globine. Sonda med meritvijo v tleh miruje. Vtiskanje se vrši običajno s površine, lahko pa tudi z dna vrtnice. Pri tej deformacijsko vodeni preiskavi gre za izrazito tro-dimenzionalni problem. Prednost DMT je v majhni invazivnosti preiskave, ki izvira iz ploščate oblike konice. Poleg tega ploščata sonda prodira v tla v vertikalni smeri, meritve pa se izvajajo v bočni smeri. Sama sonda ne vsebuje merilnih elementov. Ti se nahajajo v prenosni kontrolni enoti na površju, kar prispeva k ekonomičnosti in dolgi življenjski dobi najdražjih sestavnih delov. Sonda deluje kot električno stikalo, ki vzpostavi ali prekine kontakt v dveh značilnih položajih membrane.

Dilatometrsko preiskava je uporabna za širok razpon vrst zemljin, od zelo mehkih zemljin do polhribin, neprimerna je samo za grobozrnate nevezljive materiale (debele peske in gramoze). Preiskava je zelo občutljiva, oziroma natančna, rezultati so ponovljivi. Po drugi strani pa je oprema robustna, saj je možno konico vtiskovati v tla s silo do 250 kN.

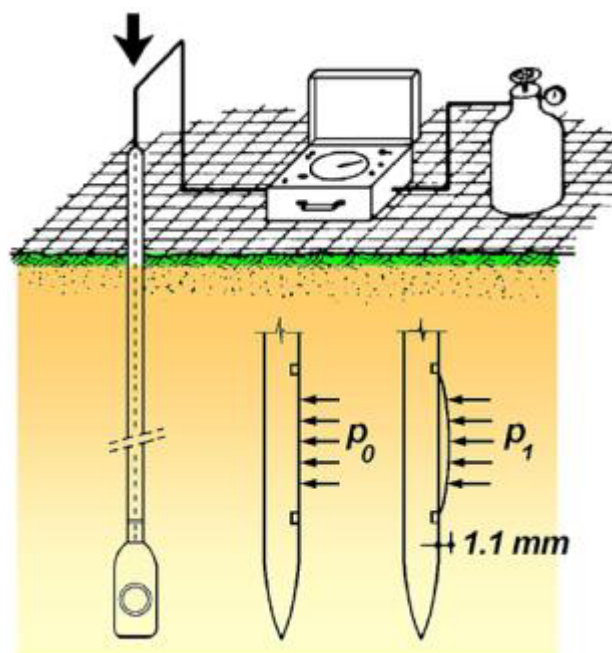
Preiskave se izvajajo po priporočilih ISSMGE, tehničnega komiteja 16 za terenske preiskave iz leta 2001, v pripravi pa je mednarodni standard prCENTS/ISO 22476-11.

Najpomembnejši rezultati interpretacije dilatometrskih meritev so: sestava tal, modul stisljivosti M_{DMT} , nedrenirana strižna trdnost c_u pri vezljivih zemljinah, strižni kot φ pri peskih, koeficient mirnega zemeljskega pritiska K_0 , količnik prekonsolidacije OCR ter v primeru izvedbe disipacijskega testa koeficient konsolidacije c_h ter količnik vodoprepustnosti k_h (v horizontalni smeri).

OPIS IZVEDBE IN VREDNOTENJA DILATOMETRSKE PREISKAVE

Na sliki 1 so prikazani sestavni deli dilatometra. Sestavljajo ga:

- ploščata sonda dimenzij 95*225*15 mm s pločevinasto membrano premera 60 mm in debelino 0,2 mm,
- kontrolna enota,
- izvor tlaka (jeklenka s plinom),
- cev za dovod plina iz kontrolne enote do sonde, ki vsebuje tudi električni kabel.



Slika 1. Shematski prikaz dilatometrijskega preizkusa

Meritve z dilatometrom potekajo kontinuirno z globino vsakih 20 cm. Vtiskanje se lahko izvaja s CPT opremo ali vrtalno garnituro. Preiskavo lahko izvajamo v glinastih do peščenih tleh (premer zrnja do cca 2 mm) in v mehkih kamninah. S sondo je možno prodreti tudi skozi kompaktnije sloje prodov in mehkih kamnin.

Na vsaki testni globini se sonda ustavi, nato se izvedeta dva, lahko pa trije odčitki tlaka:

- odčitek A: tlak, ki zravnja pločevinasto membrano – izenači okoliški tlak zemljine
- odčitek B: tlak, ki središče membrane izboči za 1,1 mm
- odčitek C: tlak, ko je membrana med razbremenitvijo zopet v položaju odčitka A.

Odčitek C ni nujno potreben za vrednotenje osnovnih parametrov, govori pa o tlaku vode v peščenih slojih oziroma posredno o prepustnosti (drenažni sposobnosti) posameznih slojev tal.

Odčitki se izvajajo glede na zvočni signal: dilatometrsko sonda deluje kot električno stikalo: je v stiku (A), ko tlak zemljine pritiska membrano k sondi in (B), ko je membrana izbočena za 1,1 mm. Hitrost izvedbe meritve (čas med posameznimi odčitki) mora biti v predpisanih mejah.

Pred in po preiskavi je potrebno izvesti kalibracijo sonde glede odpora membrane. Določiti je potrebno tlaka ΔA in ΔB , ki pri zračnem tlaku postavita membrano v položaj odčitka A oziroma B. Pri vrednotenju se najprej ti dve vrednosti upoštevata za korekcijo merjenih vrednosti tlakov A, B in C. Iz korigiranih vrednosti merjenih tlakov: p_0 nedeformirane membrane (v začetni legi), p_1 deformirane membrane ter ob upoštevanju prvotnih efektivnih vertikalnih napetosti σ'_{v0} v tleh in hidrostatskega pornega tlaka u_0 na globini preiskave, dobimo osnovne dilatometrične količine:

materialni indeks:	$I_D = (p_1 - p_0) / (p_1 - u_0),$
indeks horizontalnega tlaka:	$K_D = (p_1 - u_0) / \sigma'_{v0}$ in
dilatometrski modul:	$E_D = 34.7(p_1 - p_0).$

Hidrostatski porni tlak določimo z ugotovitvijo nivoja proste talne vode, kar v slučaju dobro prepustnih preplavljenih zemljin omogoča tudi dilatometer preko odčitka C.

Dalje se računajo ostali parametri tal po enačbah iz Preglednice 1. Količine, ki nastopajo v preglednici, pa tam niso pojasnjene, so:

- Z_M odčitek na manometru pri zračnem tlaku (Največkrat vzamemo 0, saj je isti manometer uporabljen tudi za čitanje korekcij ΔA in ΔB , tako da je morebitno odstopanje začetnega odčitka od 0 že s tem upoštevano.)
- t_{flex} čas pri prevojni točki diagrama disipacijskega testa, če ponavljajoči odčitek A rišemo v odvisnosti od logaritma časa
- γ_w prostorninska teža vode.

Disipacijski test poteka na izbrani globini dalj časa, kar je odvisno od vodoprepustnosti zemljine. Pri tem se opazuje časovno spreminjanje odčitka A, kar pomeni upadanje pornega nadtlaka, ki ga povzroči vtiskanje sonde v tla.

Vsi rezultati meritev oziroma iz njih izračunane materialne lastnosti se dobijo tako v tabelarni kot tudi v grafični obliki po globini izvedenih preiskav, kar omogoča programska oprema proizvajalca naprave. Primer rezultatov DMT preiskave je prikazan na sliki 2.

PRIMERJAVA REZULTATOV DMT Z DRUGIMI PREISKAVAMI

Sestava tal

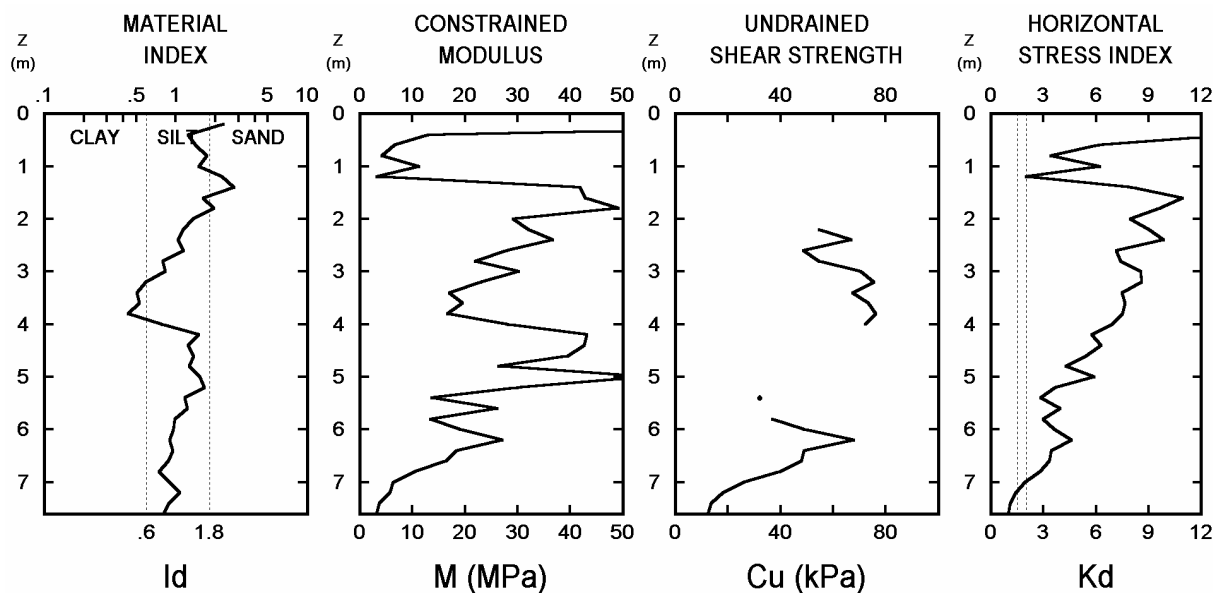
Z dilatometrsko preiskavo so zemljine v grafični predstavitvi klasificirane kot peski, melji ali gline. Klasifikacija se izvaja na podlagi materialnega indeksa I_d . V tabelarnem izpisu se za židke do lahko gnetne koherentne zemljine uporablja izraz »blato ali šota«. Poudariti je potrebno, da je pri DMT preiskavi klasifikacija izvedena »nazaj« iz merjenih mehanskih lastnosti, zato včasih odstopa od prave klasifikacije preiskanih zemljin.

Preglednica 1. Enačbe za izračun parametrov dilatometrijske preiskave in pomen simbolov

Oznaka	Pomen	Enačba
<i>Korigirane vrednosti odčitkov</i>		
p_0	Korigirana vrednost A	$p_0 = 1,05(A - Z_M + \Delta A) - 0,05(B - Z_M + \Delta B)$
p_1	Korigirana vrednost B	$p_1 = B - Z_M - \Delta B$
p_2	Korigirana vrednost C	$p_2 = C - Z_M + \Delta A$
<i>Osnovne dilatometrijske količine</i>		
I_D	Materialni indeks	$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$
K_D	Indeks horizontalnega tlaka	$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0}$
E_D	Dilatometrijski modul	$E_D = 34,7(p_1 - p_0)$
<i>Lastnosti zemljine</i>		
K_0	Koeficient mirnega zemeljskega pritiska	$K_{0,DMT} = (K_D / 1,5)^{0,47} - 0,6$
OCR	Količnik prekonsolidacije	$OCR_{DMT} = (0,5K_D)^{1,56}$
c_u	Nedrenirana strižna trdnost	$c_{u,DMT} = 0,22\sigma'_{v0}(0,5K_D)^{1,25}$
φ	Strižni kot (previdna ocena)	$\varphi_{safe,DMT} = 28^\circ + 14,6^\circ \log K_D - 2,1 \log^2 K_D$
c_h	Koeficient konsolidacije (iz disipacijskega testa)	$c_{h,DMTA} \approx 7 \text{ cm}^2 / t_{flex}$
k_h	Koeficient vodoprepustnosti	$k_h = c_h \gamma_w / M_h \dots (M_h \approx K_0 M_{DMT})$
γ	Prostorninska teža	Iz diagrama na osnovi I_D in E_D
u_0	Hidrostatski porni tlak v prepustnih zemljinah	$u_0 = p_2$
U_D	Indeks pornega tlaka (=0 v prepustnih tleh in =0,7 v neprepustnih, sicer vmes)	$U_D = (p_2 - u_0) / (p_0 - u_0)$
M	Edometrijski modul pri σ'_{v0}	$M_{DMT} = R_M E_D$ če je $I_D \leq 0,6$ $R_M = 0,14 + 2,36 \log K_D$ če je $I_D \geq 3$ $R_M = 0,50 + 2,00 \log K_D$ če je $0,6 \leq I_D \leq 3$ $R_M = R_{M,0} + (2,5 - R_{M,0}) \log I_D$ $R_{M,0} = 0,14 + 0,15(I_D - 0,6)$ če je $K_D \geq 10$ $R_M = 0,32 + 2,18 \log K_D$ če je $R_M \leq 0,85$ $R_M = 0,85$

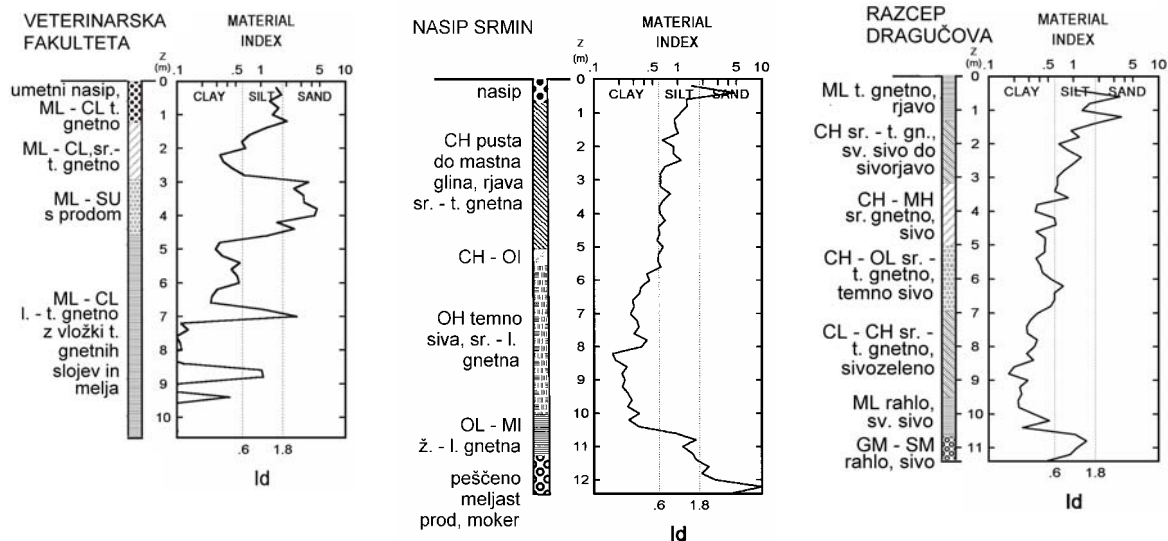
Na sliki 3 je podanih nekaj primerov popisa sestave tal kot so bili dobljeni z DMT ter z bližnjimi vrtninami. Pri analiziranju rezultatov je potrebno upoštevati, da vrtnine v splošnem niso bile izvedene tik ob dilatometrijski sondi, pač pa tudi nekaj deset metrov stran, kar vpliva na odstopanje v sestavi tal (spreminjanje debeline slojev). Na podlagi podanih, povsem običajnih rezultatov in ostalih izkušenj, lahko trdimo, da DMT popis zemljin kvalitativno popolnoma ustreza dejanskemu stanju. Seveda v polni meri ne more nadomestiti klasičnega klasificiranja zemljin, s katerim dobimo še druge pomembne podatke (obstoje organskega primesa, barvo zemljin, konsistenco, vlago). Ugodna je zveznost in s tem dokaj natančno registriranje slojevitosti.

V tabelarnem podajanju rezultatov so na podlagi ugotovljene vrste zemljin izkustveno navedene tudi prostorninske teže zemljin γ , ki so potrebne pri interpretaciji. Pri tem opažamo nekoliko nižje vrednosti kot jih dobimo na vzorcih v laboratoriju (do 10%), vendar je možno pri obdelavi rezultatov DMT uporabiti tudi laboratorijsko določene ali izkustvene prostorninske teže.



DMT2		LEGEND	INTERPRETED PARAMETERS	SOUNDING PARAMETERS																	
15.5.03	DMT2.dat	Z = Depth Below Ground Level P0, P1, P2 = Corrected A, B, C readings Id = Material Index Ed = Dilatometer modulus Ud = Pore Press. Index = (E2-U0)/(P0-U0) Gamma = Bulk unit weight Sigma' = Effective overb. stress U0 = Pore pressure	Phi = Safe floor value of Friction Angle Ko = In situ earth press. coeff. M = Constrained modulus (at Sigma') Cu = Undrained shear strength Ocr = Overconsolidation ratio (OCR = "relative OCR" - generally realistic. If accurate independent OCR available, apply suitable OCR Factor)	DeltaA = 13 kPa DeltaB = 36 kPa GammaTop = 19.0 kN/m ³ FactorEd = 34.7 Zm = 0.0 kPa Zabs = 0.0 m Zw > Zfinal																	
Univerza v Ljubljani, FGG GEOT Mednarodni mejni prehod Jelšane																					
Water Level below end of sounding Reduction formulae according to Marchetti, ASCE Geot. Jnl. Mar. 1980, Vol. 109, 299-321; Phi according to TC16 ISSMGE, 2001																					
Z (m)	A (kPa)	B (kPa)	C (kPa)	P0 (kPa)	P1 (kPa)	P2 (kPa)	Gamma (kN/m ³)	Sigma' (kPa)	U0 (kPa)	Id	Kd	Ed (MPa)	Ud	Ko	Ocr	Phi (Deg)	M (MPa)	Cu (kPa)	DMT2 DESCRIPTION		
0.2	360	1150		336	1114		18.6	4	0	2.32	88.4	27.0				48	123.2		SANDY SAND		
0.4	100	275		107	239		15.7	8	0	1.24	14.2	4.6							SANDY SILT		
0.6	57	195		66	159		15.7	11	0	1.43	6.1	3.2							SANDY SILT		
0.8	38	165		47	129		15.7	14	0	1.74	3.4	2.8				35			SANDY SILT		
1.0	100	300		105	264		15.7	17	0	1.50	6.2	5.5							SANDY SILT		
1.2	32	168		41	132		16.7	20	0	2.25	2.0	3.2				32			SANDY SAND		
1.4	200	748		188	712		17.7	23	0	2.79	8.0	18.2				39			SANDY SAND		
1.6	305	810		295	774		17.7	27	0	1.62	11.0	16.6				41			SANDY SILT		
1.8	308	905		294	869		18.6	30	0	1.96	9.6	20.0				40			SANDY SAND		
2.0	277	678		272	642		17.7	34	0	1.36	8.0	12.8							SANDY SILT		
2.2	346	763		341	727		17.7	38	0	1.13	9.0	13.4	1.7	10.5				55	SILT		
2.4	415	869		408	833		17.7	41	0	1.04	9.9	14.8	1.8	12.1					67	SILT	
2.6	326	728		321	692		17.7	45	0	1.15	7.2	12.9	1.5	7.3					49	SILT	
2.8	359	682		358	646		17.7	48	0	0.80	7.4	10.0	1.5	7.7					55	SILT	
3.0	450	853		445	817		17.7	52	0	0.83	8.6	12.9	1.7	9.7					30.3	71	SILT
3.2	477	796		477	760		17.7	55	0	0.59	8.6	9.8	1.7	9.8					23.1	75	SILTY CLAY
3.4	438	700		440	664		17.7	59	0	0.51	7.5	7.8	1.5	7.8					17.1	67	SILTY CLAY
3.6	477	767		478	731		17.7	62	0	0.53	7.7	8.8	1.5	8.1					19.5	74	SILTY CLAY
3.8	495	751		498	715		17.7	66	0	0.44	7.5	7.5	1.5	7.9					16.7	76	SILTY CLAY
4.0	487	900		482	864		17.7	70	0	0.79	6.9	13.3	1.5	7.0					28.2	72	CLAYEY SILT
4.2	438	1090		421	1054		17.7	73	0	1.50	5.8	22.0							43.2		SANDY SILT
4.4	498	1120		482	1084		17.7	77	0	1.25	6.3	20.9							42.7		SANDY SILT
4.6	450	1070		434	1034		17.7	80	0	1.38	5.4	20.8							39.6		SANDY SILT
4.8	368	850		359	814		17.7	84	0	1.27	4.3	15.8							26.4		SANDY SILT
5.0	538	1340		513	1304		19.1	87	0	1.54	5.9	27.4							54.6		SANDY SILT
5.2	349	930		335	894		17.7	91	0	1.67	3.7	19.4				36			30.0		SANDY SILT
5.4	270	618		268	582		16.7	95	0	1.17	2.8	10.9	0.75	1.7					13.7	32	SILT
5.6	397	898		387	862		17.7	98	0	1.23	4.0	16.5							26.1		SANDY SILT
5.8	305	638		304	602		17.7	101	0	0.98	3.0	10.3	0.78	1.9					13.4	37	SILT
6.0	387	788		382	752		17.7	105	0	0.97	3.6	12.8	0.92	2.6					19.1	49	SILT
6.2	510	990		501	954		17.7	108	0	0.90	4.6	15.7	1.1	3.7					27.1	68	SILT
6.4	392	792		387	756		17.7	112	0	0.95	3.5	12.8	0.88	2.4					18.4	49	SILT
6.6	388	760		385	724		17.7	116	0	0.88	3.3	11.8	0.85	2.2					16.4	48	SILT
6.8	332	618		333	582		17.7	119	0	0.75	2.8	8.6	0.74	1.7					10.4	40	CLAYEY SILT
7.0	235	488		238	452		16.7	123	0	0.90	1.9	7.4	0.53	0.96					6.3	26	SILT
7.2	176	410		180	374		16.7	126	0	1.08	1.4	6.7	0.38	<0.8					5.7	18	SILT
7.4	137	308		144	272		15.7	129	0	0.89	1.1	4.4	< 0.3	<0.8					3.8	14	SILT
7.6	126	278		134	242		15.7	132	0	0.81	1.0	3.8	< 0.3	<0.8					3.2	12	SILT

Slika 2. Primer podajanja rezultatov DMT grafično in tabelarično



Slika 3. Primerjava sestave tal po DMT in z vrtnami

Modul stisljivosti

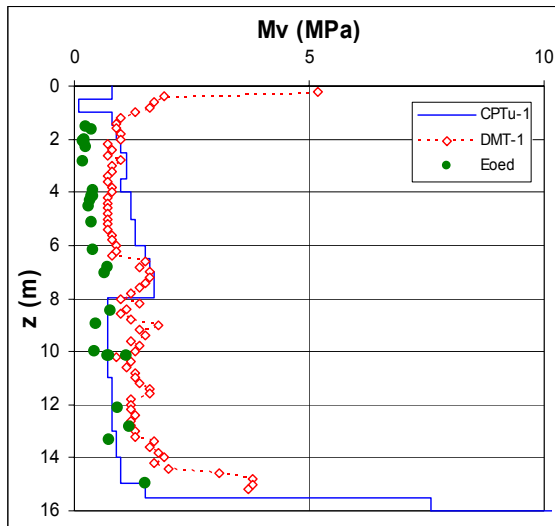
V primerjavi (slike 4 do 10) podajamo velikosti modulov stisljivosti M_v na podlagi dilatometrskih preiskav, na podlagi CPT preiskav ter preiskav stisljivosti na intaktnih vzorcih v edometrih (tangenti modul pri efektivni geološki obtežbi) E_{oed} .

Podatki meritev so iz lokacij AC Dobruška vas – Smednik, AC Maribor – Lenart (razcep Dragučova), Ljubljansko barje, Veterinarska fakulteta v Ljubljani, Luka Koper.

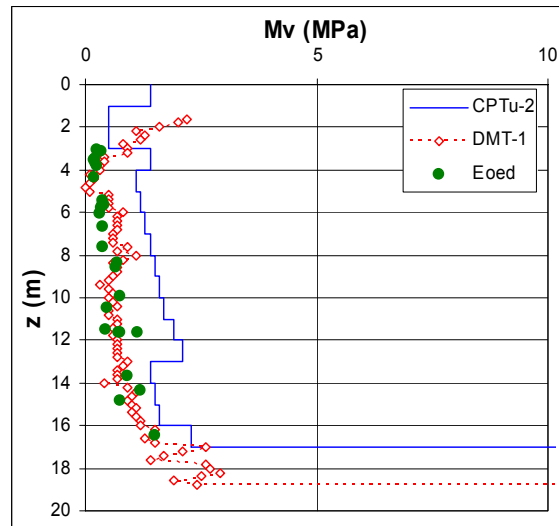
Pri tem je seveda potrebno poudariti, da s CPT ravno tako izkustveno ugotavljamo stisljivost zemljin, referenčne so samo laboratorijske preiskave. Pri teh vrednotimo module ob upoštevanju pričakovanih napetostnih sprememb, česar metode za vrednotenje modulov iz terenskih preiskav v osnovi ne upoštevajo.

Na podlagi podanih primerov moremo ugotoviti:

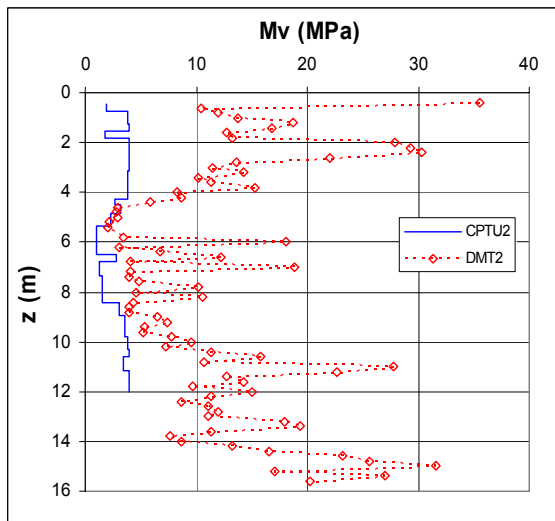
- Dilatometrski moduli stisljivosti se bolje ujemajo z laboratorijskimi kot moduli, določeni iz CPT testa. Največkrat so moduli, določeni z dilatometrom nekoliko večji. Razlogi so naslednji:
 - laboratorijski moduli so v podani primerjavi izvedeni pri geološkem tlaku, modul iz DMT testa pa je določen ob predpostavki določenega prirastka obtežbe,
 - vrednotenje modula iz DMT testa nadalje upošteva izključno posedek primarne konsolidacije, sekundarno lezenje in distorzija nista upoštevana,
 - modul, določen iz DMT preiskave je modul pri relativno majhni deformaciji.
- Moduli, določeni na osnovi CPT testa so enkrat večji, drugič manjši od laboratorijskih in z dilatometrom določenih modulov stisljivosti.
- Tanjši sloji manj deformabilnih tal na odpor CPT konice in s tem na izvedeni modul nimajo pomembnega učinka. Dilatometer, ki izvaja meritve v horizontalni smeri pa tak sloj »zazna« in mu izmeri ustrezen modul (sliki 6 in 7).
- Slika 10, kjer sta na bližnjih lokacijah izvedena dva dilatometrski testa, kaže na dobro ponovljivost rezultatov, še zlasti če upoštevamo, da sta lokaciji 100 m narazen, na sicer zelo podobnih tleh. V tem primeru je podana le primerjava z edometrijskimi moduli.
- Sodba o večji ustreznosti enih ali drugih modulov je mogoča le na osnovi uspešnosti napovedanih posredkov. Pri tem ima dilatometer pred laboratorijskimi meritvami to prednost, da je preiskava praktično kontinuirna, pred CPT preiskavo pa to, da je s CPT testom modul priznano slabše določen kot z dilatometrom. Za bolj stisljive zemljine je vrednotenje modula stisljivosti na osnovi CPT meritev obširneje podano v Gaberc, Ajdič, Vogrinčič (1995).



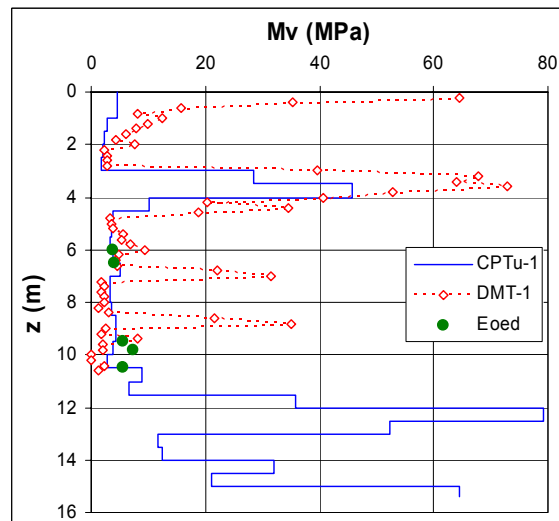
Slika 4. Lokacija A



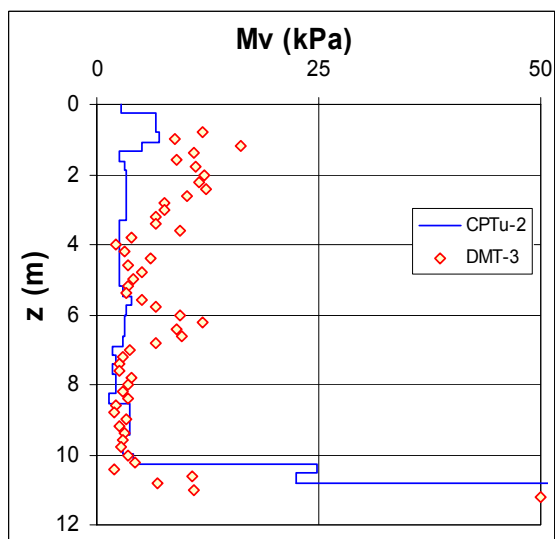
Slika 5. Lokacija B



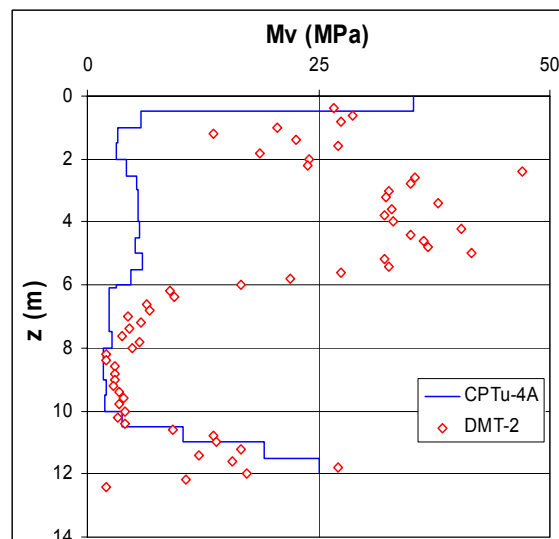
Slika 6. Lokacija C



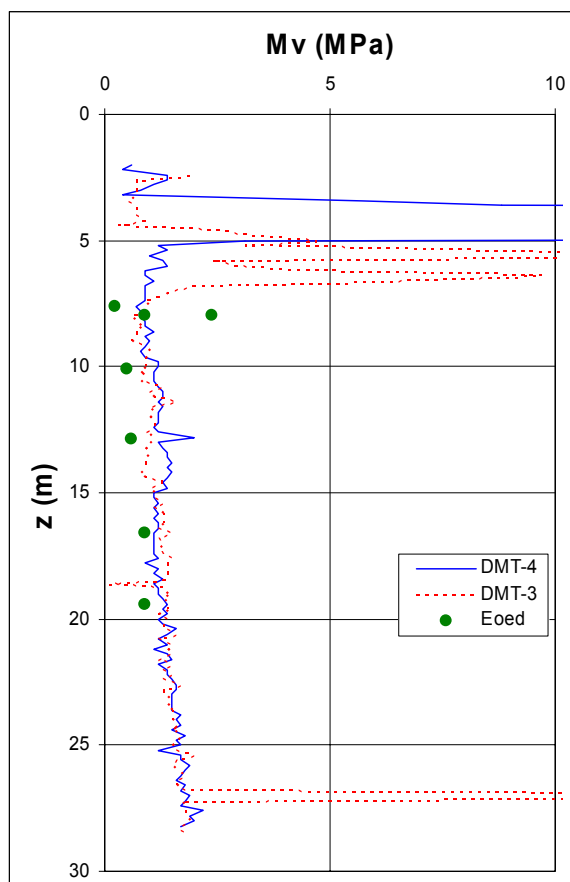
Slika 7. Lokacija D



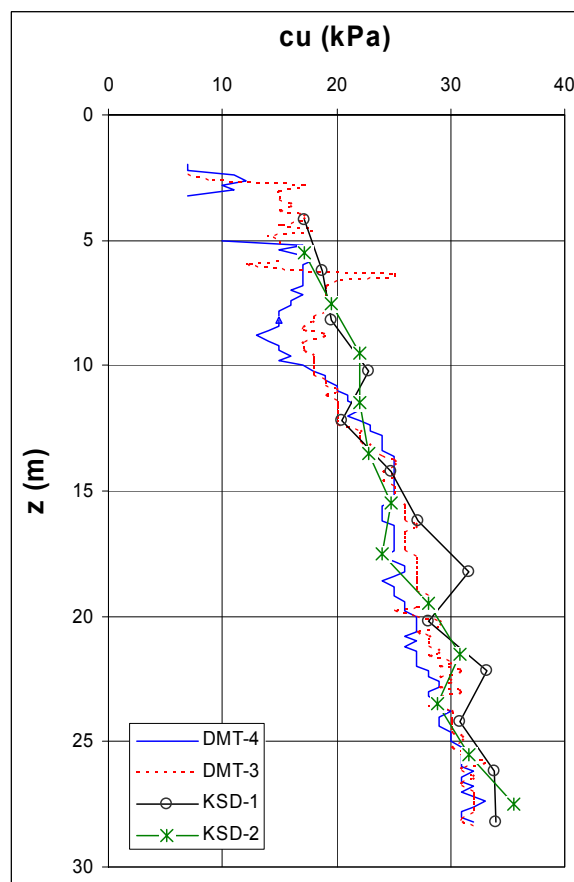
Slika 8. Lokacija E



Slika 9. Lokacija F



Slika 10. Lokacija G – modul stisljivosti



Slika 11. Lokacija G – nedrenirana striž. trdnost

Nedrenirana strižna trdnost

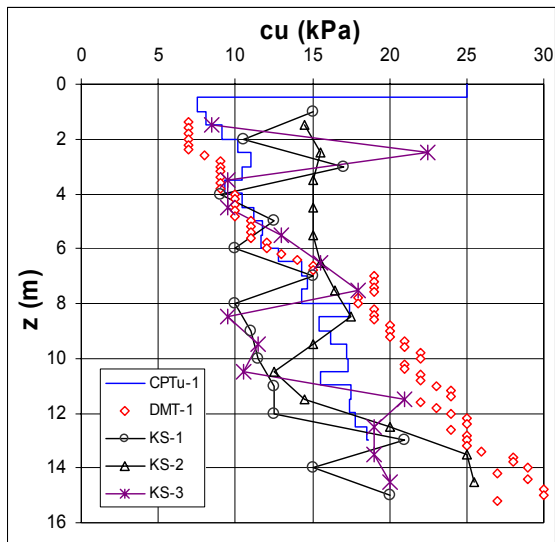
Primerjali bomo nedrenirano strižno trdnost c_u iz treh terenskih preiskav: DMT, CPT ter krilne sonde. Podatki meritev so iz lokacij AC Dobruška vas – Smednik, AC Maribor – Lenart (razcep Dragučova), Ljubljansko barje, Veterinarska fakulteta v Ljubljani, Luka Koper.

Na podlagi podanih primerov (slike 11 do 17) moremo ugotoviti:

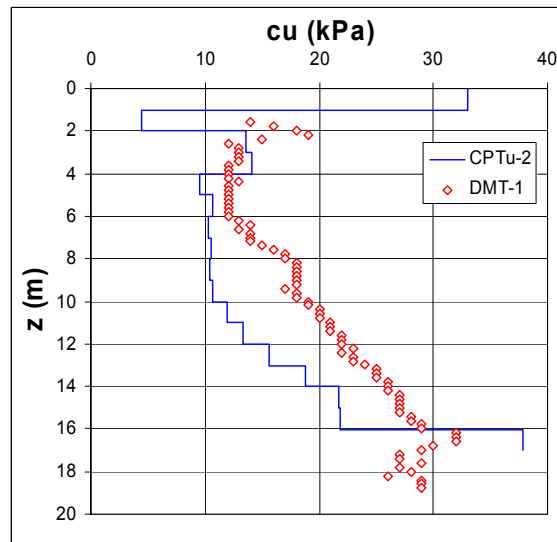
- Nedrenirana strižna trdnost se v podanih primerih večinoma še boljše ujema s podatki drugih preiskav kot modul stisljivosti.
- Ponovljivost (slika 11) je, upoštevajoč rahlo odmaknjeni lokaciji, tudi tu zelo dobra.
- Odstopanja med rezultati dilatometra in CPT ali krilne sonde niso nič večja kot odstopanja med CPT in krilno sondo ali celo med istovrstnimi preiskavami na bližnjih lokacijah (Majes et al, 1993).
- V pogojih zelo mehkih tal je v dveh primerih (sliki 12 in 13) z DMT preiskavo interpretirana nedrenirana trdnost večja kot to kažejo vzporedne preiskave, v primeru s slike 11 pa je potrjeno dobro ujemanje rezultatov, izmerjenih z DMT in krilno sondo.
- Če smo pri modulu ugotavljali, da z dilatometrom izmerimo ustrezen modul v tanjšem sloju manjše deformabilnosti, pa so krivulje nedrenirane strižne trdnosti z globino bolj gladke. Nasprotno pa CPT kaže tu večja nihanja, kar lahko pomeni večjo občutljivost CPT meritve na lokalne spremembe nedrenirane strižne trdnosti.

Primerjava izmerjenih in na osnovi DMT meritev izračunanih posedkov

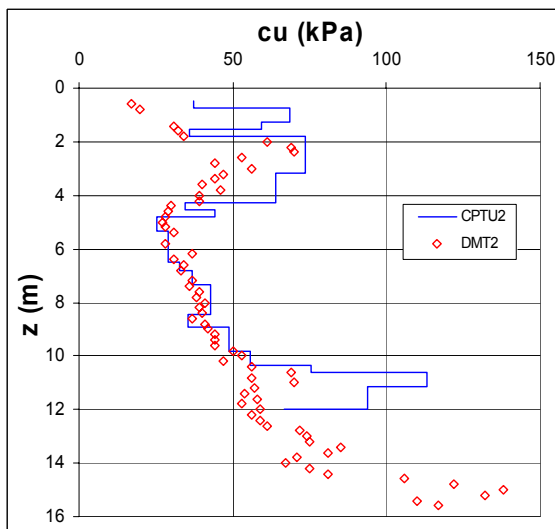
V kratkem času imamo možnost vsaj preliminarnih primerjav napovedanih in izmerjenih posedkov le na treh lokacijah. V sklopu gradnje AC Dobruška vas – Smednik se gradi 7 m visok predobremenilni nasip in merijo se posedko tal. Dilatometrski test je bil izveden v profilu 508, v profilu 507 so tri



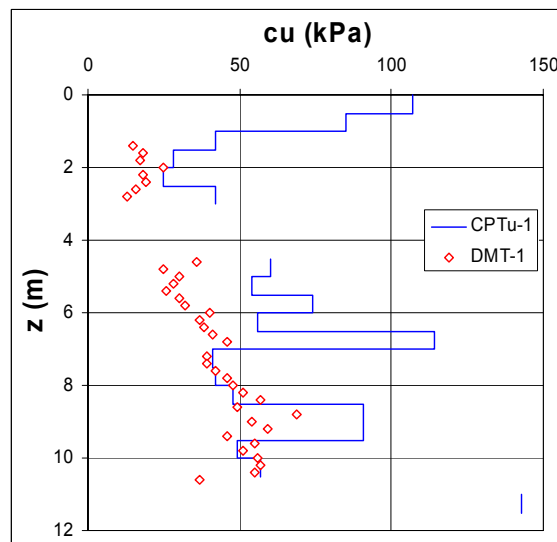
Slika 12. Lokacija A



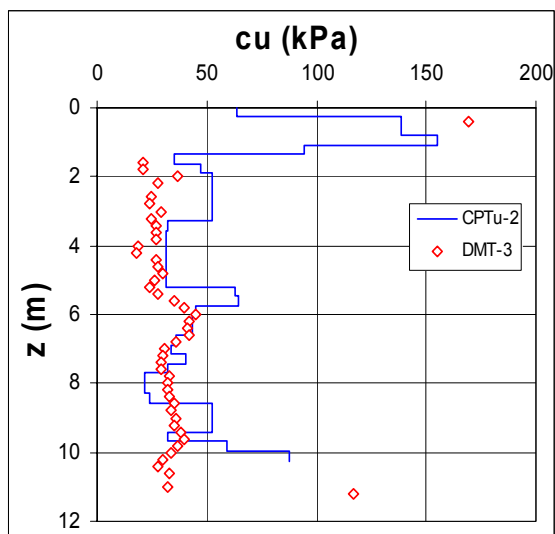
Slika 13. Lokacija B



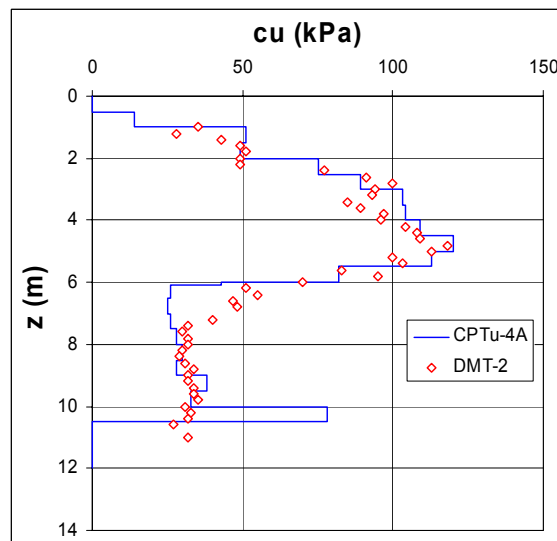
Slika 14. Lokacija C



Slika 15. Lokacija D



Slika 16. Lokacija E



Slika 17. Lokacija F

posedalne plošče. Ena v osi bodoče AC, ki je še v vplivnem območju obstoječega nasipa. Zaradi dolgotrajne predhodne obtežbe z nasipom ta točka ni primerna za primerjavo. Preostali posedalni plošči pa sta: ena v sredini novega nasipa in ena pod brežino nasipa. V preglednici 2 so primerjave izmerjenih in izračunanih posedkov. Meritve posedkov pod zadnjo bremensko stopnjo se izvajajo šele kratek čas, zato je ocena končnega posedka nekoliko manj zanesljiva. Preglednica podaja zadnji izmerjeni in na osnovi metode Asaoka ocenjeni končni posedek.

Preglednica 2. Primerjava izmerjenih in na osnovi rezultatov DMT izračunanih posedkov nasipa

	Sredina nasipa	Rob nasipa
Napoved z DMT (razred A)	23,5 cm	13,6 cm
Zadnji izmerjen	20,6 cm	11,6 cm
Ocenjen končni (Asaoka)	23,6 cm	13,5 cm

Ujemanje je presenetljivo dobro, tudi če bodo končni izmerjeni posedki nekoliko večji. Manj vzpodbuden je rezultat analize posedkov na visokem nasipu Srmin, kjer smo na osnovi treh DMT sond izračunali pod 11,5 m visokim nasipom 40 cm posedka brez upoštevanja učinka gruščnatih kolov. Dejansko bo izvršen posedek okrog 70 cm. Res je, da so bile DMT sonde izvedene tik ob nasipu potem, ko je nasip že dosegel višino 9 m. Del razlike gre tudi na račun distorzije, ki je dilatometrski modul ne upošteva. Opazna pa je razlika v modulih med edometriškimi preiskavami in DMT testi v zgornjem, težko gnetnem do poltrdnem sloju, kjer so dilatometrski moduli mnogo višji od edometriških.

DMT test je bil izveden tudi ob južni ljubljanski obvoznici na mestu, kjer je bil izmerjen posedek ob koncu počasne gradnje in ob predhodni vgradnji vertikalnih drenaž 2,3 m. V projektu je bilo na osnovi poskusnih nasipov ugotovljeno, da znaša delež distorzijskih posedkov med 40 in 50% konsolidacijskih. S projektom je bil skupni posedek na osnovi edometriških preiskav ocenjen na 2,1 m. Kasneje pridobljeni dilatometrski podatki v neposredni bližini nasipa pa dajo pod dejansko obtežbo 1,46 m konsolidacijskega posedka, kar ob dodanem vplivu distorzije pomeni končni posedek 2,05 do 2,20 m.

ZAKLJUČKI

V času dobrega leta smo izvedli preko 500 m dilatometriških sond, ki glede na hitrost preiskave in preprosto vrednotenje nudijo množico uporabnih rezultatov. Rezultati so na voljo takoj po izvedeni preiskavi, se dobro ujemajo z laboratorijskimi in drugimi terenskimi meritvami in so ponovljivi. Predstavljene so bile le najbolj osnovne aplikacije. Z uporabo v raznovrstnih geotehničnih primerih se bodo nabirale dragocene izkušnje, kar bo dilatometer zaradi svojih nesporno dobrih lastnosti naredilo še bolj uporaben in zaželen. Pridobivanje izkušenj pa pomeni izvajanje meritev na izvedenih objektih.

Priznanje

K uvajanju dilatometra v slovenski prostor so vsak po svoje a pomembno prispevali kolegi Tomaž Schrott, Luka Schrott, Gorazd Strniša, Ivan Lesjak in Igor Špacapan. Pri vtiskanju dilatometra v tla smo si najpogosteje pomagali s CPT sistemom Gradisa TEO in z izkušnjami Rada Trkova.

LITERATURA

- (1) Marchetti S., et al, 2002. The Flat Dilatometer Test (DMT) in soil investigations. A Report by the ISSMGE Committee TC 16. Priopćenja 3. svetovanja HUMTGI Geotehnika kroz Eurocode 7, Hvar, str. 79 do 120
- (2) Gaberc, A., Ajdič, I., Vogrinčič, G. (1995). Experimental study of compression moduli obtained by the CPT. Proc. 11th Eur. Conf. Soil mech. Fndn. Eng., Copenhagen, 28 May – 1 June. Danish geotechnical Society, Bulletin 11, Vol, pp. 1.121 – 1.126
- (3) Majes, B., Gaberc, A., Ajdič, I., Fašalek, M., Schrott, T. (1993). Preverjanje nedrenirane strižne trdnosti na Južni obvoznici Ljubljane, raziskovalna naloga
- (4) Poročilo o geotehničnih raziskavah na območju severozahodnega dela pomola II, v podaljšku obale TRT2 v Luki Koper, Geoinženiring d.o.o. avgust 2003
- (5) Poročila SLP o rezultatih izvedenih CPT preiskav
- (6) Poročila Gradisa TEO o rezultatih izvedenih CPT preiskav
- (7) Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 11: Flat dilatometer test (ISO/DTS 22476-11:2004), Final draft, April 2004