

GEOTEHNIKA V LUKI KOPER NA ZAČETKU 21. STOLETJA – 1. DEL: RAZISKAVE TAL

GEOTECHNICAL ENGINEERING IN THE PORT OF KOPER AT THE BEGINNING OF 21ST CENTURY – Part 1: Ground investigations

izr. prof. dr. Janko LOGAR, univ. dipl. inž. grad.
Katedra za mehaniko tal z laboratorijem
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana

Strokovni članek
UDK: 624.13:627.3

Povzetek | Članek predstavlja sestavo in lastnosti tal v prostoru Luke Koper na podlagi zbranih rezultatov preiskav v celotnem obdobju razvoja Luke Koper, predvsem pa na podlagi novjših rezultatov zadnjih let, pridobljenih z uporabo sodobne raziskovalne opreme. Predstavljeni so tudi specifični pogoji za gradnjo v prostoru Luke, ki izhajajo iz njene dejavnosti in trendov mednarodnega trgovanja. Drugi del članka govori o aktualnih infrastrukturnih projektih v Luki Koper zadnjih petih let iz geotehničnega vidika. Pri tem je izpostavljen vidik medsebojnih vplivov obstoječe in na novo grajene pristaniške infrastrukture ter primeri uporabe geosintetičnih materialov v značilnih pogojih mehkih tal koprškega zaliva.

Summary | The paper presents the ground composition and soil properties within the Port of Koper based on the ground investigation results collected throughout the history of the development of the Port of Koper and especially in the last years using up-to-date investigation techniques. Some specific conditions for the infrastructural development of harbours are addressed, which arise from harbour daily activities and from the trends of international trading. The second part shows some examples of recent projects in the Port of Koper from geotechnical perspective. The emphasis is given on the mutual influence of the existing structures and structures under construction and selected examples of the use of geosynthetic materials in specific soft ground conditions so characteristic for the bay of Koper.

1 • UVOD

Razvoj Luke Koper se je začel sredi petdesetih let prejšnjega stoletja z ustanovitvijo Pristanišča Koper leta 1957 in pristankom prve prekoceanske ladje Gorica na prvem privezu. Prvi privez dolžine 135 m je bil zgrajen kot težnostna obalna konstrukcija, saj je na severnem robu starega mestnega jedra, kjer je bil postavljen tedanji zameetek današnje Luke Koper, podlaga iz eocenskega fliša plitvo pod površjem tal.

Da bi lahko v celoti izkoristili prednost koprškega pristanišča v primerjavi z drugimi pristanišči severnega Jadrana, mu je bilo treba omogočiti razvoj v smislu povečanja dolžine operativnih obal (danes znaša njihova skupna dolžina preko 3300 m) in hkrati širitev skladiščnih površin ter specialnih objektov za skladiščenje posameznih vrst tovarov. Tak razvoj je potekal bolj ali manj intenzivno vse do danes in se še nadaljuje. Večji del današnjih

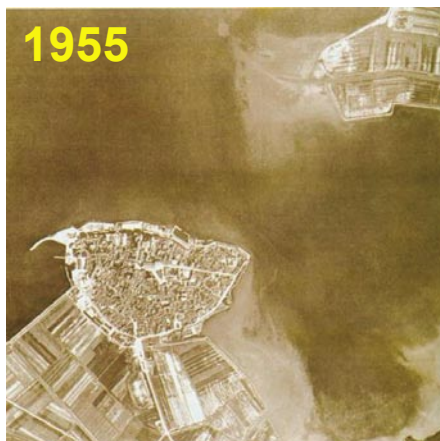
272 ha kopnih površin, namenjenih pretovoru, skladiščenju in transportu raznovrstnih tovarov je bilo iztrganih morju, kot to nazorno prikazujejo spodnje fotografije (slike 1 do 5). Tak razvoj infrastrukture, ki sledi trendom svetovne trgovine, omogoča nenehno rast obsega pretovora v Luki Koper (slika 6). Zaradi izrazito zahtevnih geotehničnih pogojev (glej naslednje poglavje) je bilo treba že zelo kmalu po izgradnji prvih operativnih obal najti rešitve za številna zahtevna razvojna vprašanja, ki so bila v veliki meri pogojena z geotehničnimi rešitvami. Za te ključne odločitve je imelo koprsko pristanišče vse od

začetka razvoja sogovornika in svetovalca iz vrst naše stroke v prof. Sovincu, ki je v nelahkih pogojih poiskal rešitve za gradnjo in temeljenje raznovrstnih objektov, ki jih Luka potrebuje za svojo dejavnost. V veliki meri se tehnološke rešitve, ki sta jih utemeljila prof. Sovinc in njegov sodelavec dr. Vogrinčič, uporabljajo še danes, le oplemenitene z novjšimi materiali in tehnologijami.

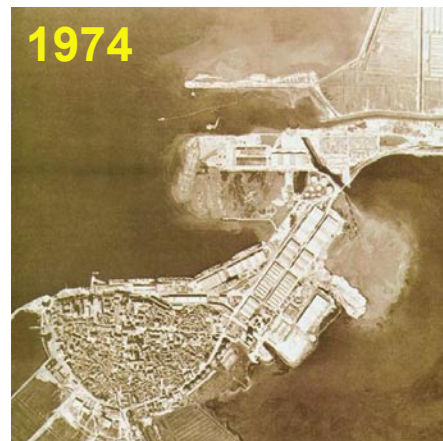
Če so bile v začetku največje težave povezane z gradnjo luške infrastrukture na izrazito mehkih morskih sedimentih, katerih debelina sega do 30 m, pa se danes srečujemo še z dodatnimi pogoji.

- Po celotnem prostoru Luke se izvaja njena primarna dejavnost in vsaka novogradnja se mora prilagoditi obstoječim objektom: ne sme povzročati prekomernih vplivov na obstoječe objekte in mora čim manj motiti dejavnost Luke. Del novogradenj že zdaj poteka v neposredni bližini objektov drugih lastnikov, kar je z vidika medsebojnih vplivov še posebej občutljivo.
- Objekti, grajeni v zgodnjem obdobju koprsk Luke, so bili dimenzionirani na velikosti tedanjih ladij, na obtežbe in velikosti tedanjih dvigal, na tedanji obseg pretovora. S povečanim obsegom svetovne trgovine se povečujejo gabariti in obtežbe plovil, dvigal in druge opreme, kar zahteva ustrezne prilagoditve gradbenih objektov.
- Spreminja se delež posameznih tovorov, pojavljajo se novi, nekateri tovari se opuščajo, kar lahko pomeni, da bodo površine, danes namenjene skladiščenju tekočih tovorov, v prihodnosti prekrile denimo s kontejnerji.
- Novejši predpisi in zakonodaja zagotavljajo višjo raven zanesljivosti, kakovosti ter uporabnosti konstrukcij, kar prav tako zahteva nadgradnje že usvojenih rešitev, zaostreje pa se tudi vidik odgovornosti.
- Višji standardi varovanja okolja dodatno pogojujejo gradnje ob in v morju, upravljanje z gradbenimi odpadki, postavljajo pa tudi nove zahteve pri dejavnostih Luke, ki je – le kot primer – zaradi zaščite okolja postavila visoko protiprašno ograjo okrog evropskega energetskega terminala.

Odgovorni za razvoj v Luki Koper so imeli vselej velik posluš za argumentirane zahteve geotehnične stroke, istočasno pa se zavedajo, da v pogojih tal, kjer se razvija ta poslovno-logistični velikan (ki je po velikosti že davno prerasel staro mestno jedro Kopra), ni mogoče pričakovati (ali bolje rečeno – pogosto ni smiselno investirati v) konstrukcije enake trajnosti in uporabnosti kot v pogojih



Slika 1 • Koper in Koprski zaliv leta 1955



Slika 2 • Luka Koper leta 1974



Slika 3 • Luka Koper leta 1995



Slika 4 • Luka Koper leta 2005

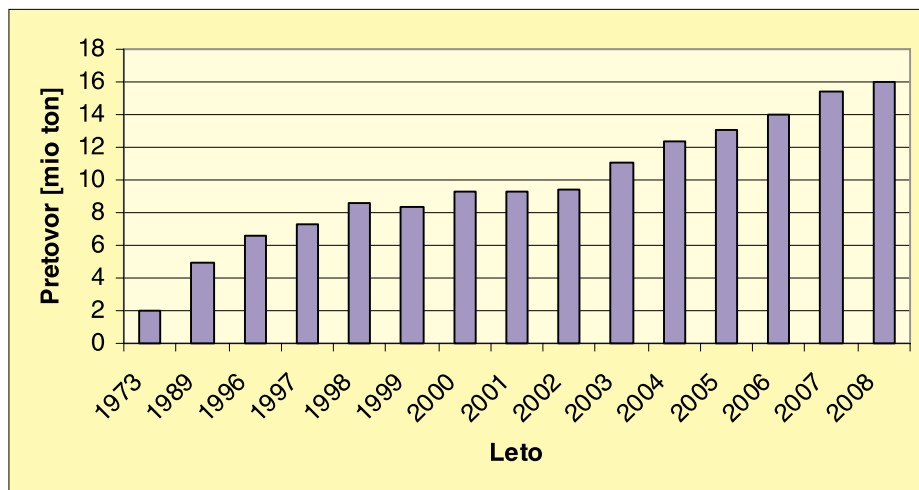


Slika 5 • Luka Koper danes (vse fotografije: Luka Koper)

bolje nosilnih in malo deformabilnih tal. Tako je že v začetku razvoja koprškega pristanišča Sovinc (Sovinc, 1994) uveljavil nekatera načela dobre geotehnične prakse, ki jih lahko danes kot standard beremo v Evrokodu 7:

- za vsak objekt se izdelajo raziskave s tipično mrežo vrtn in rastru največ 50 m,

- izdelata se ločeno poročilo o geotehničnih raziskavah in ločeno poročilo o geotehničnih vidikih projektiranja,
- kjer je to pomembno, je treba vzpostaviti sistem meritev in zanj pripraviti ustrezen projekt,
- kjer z računskimi analizami ni mogoče zanesljivo napovedati obnašanja konstruk-



Slika 6 • Obseg pretovora v Luki Koper od leta 1973 do 2008

cije, lahko projektiramo na podlagi rezultatov obremenilnih preizkušanj.

Tako je danes npr. na voljo katalog statičnih obremenilnih preizkušanj, ki ga je kot del

svoje disertacije pripravil Vogrinčič (Vogrinčič, 1992) in poleg drugih vsebuje podrobne podatke o statičnih obremenilnih preizkusih osno obremenjenih pilotov iz prostora Luke Koper. Tudi ta(k) dokument ima v duhu Evrokoda veliko vrednost, saj predstavlja »dokumentirane pretekle izkušnje«.

Razvoj Luke Koper se nadaljuje. Trenutno poteka javna obravnava državnega prostorskega načrta, ki definira prihodnje gabarite Luke Koper in rabo njenih posameznih površin ter objektov.

Pričujoči članek bo v nadaljevanju prikazal sestavo tal v prostoru Luke Koper, predstavil nekaj novejših metod raziskav tal (presometer, dilatometer, seizmični dilatometer), ki smo jih v zadnjem času s koristjo uporabljali tudi v Luki Koper, kasneje pa prikazal izbrane primere gradenj zadnjih let s poudarkom na študiji vpliva novih gradbenih posegov na obstoječe objekte ter delno na uporabi novih materialov.

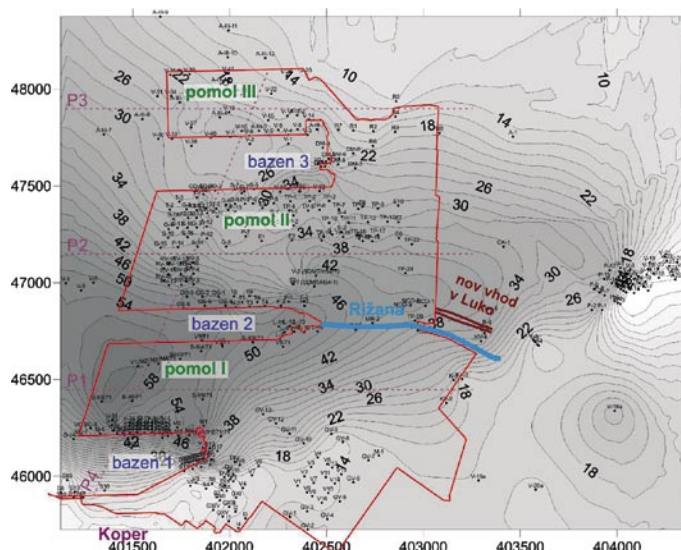
2 • SESTAVA TAL V PROSTORU LUKE KOPER

Za potrebe dosedanjega razvoja Luke Koper in nekaterih objektov v neposredni bližini (Instalacija Srmin, cestne navezave Luke Koper) je bilo izvrtanih preko 560 vrtin, kar je morda videti veliko, a pomeni le 1 vrtino na 5000 m² kopnega terena Luke ali, drugače, 11 izvedenih vrtin na leto. Iz podatkov teh vrtin so pripravljene slike 7 do 13, ki prikazujejo sestavo tal

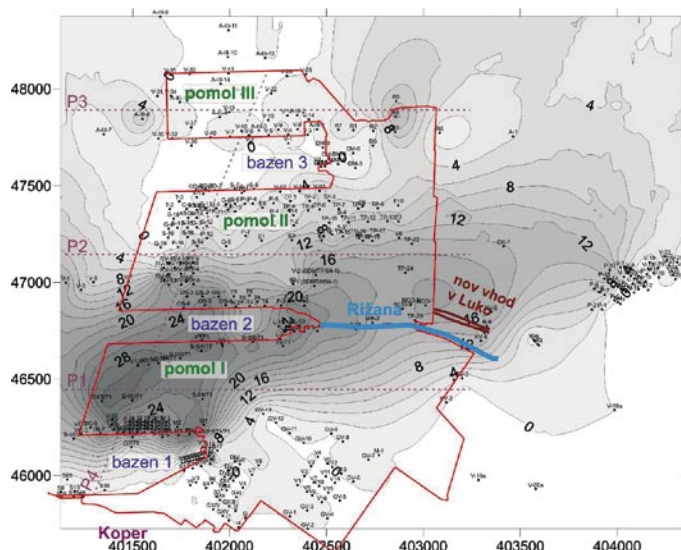
najprej situativno (koto dna morskih sedimentov, debelino proda ter koto flišne podlage) in nato še v 4 profilih preko osi vsakega od 3 pomolov ter še profil preko koprškega zaliva (P4 na sliki 13). Slike 7 do 9 so izdelane na podlagi vrtin, ki so na slikah tudi označene. Na mestih z vrtinami je prikazana sestava tal (kota ali debelina posameznega prikazanega

sloja) dobro določena, na vmesnih področjih (brez označenih vrtin) pa gre za matematično interpolacijo in dejanska sestava tal lahko odstopa od prikazane. Prikazani profili so nastali na podlagi podatkov s slik 7 do 9 in zato tudi zanje velja enak komentar. Zelo verjetno prikazana sestava tal na desni (vzhodni) polovici profila P1 odstopa od dejanskega stanja, saj tam ni podatkov.

Značilen profil tal v Luki sredi koprškega zaliva sestavlja podlaga iz eocenskega fliša na koti med -30 in -60 m. Nad njo je do



Slika 7 • Absolutne kote flišne podlage v prostoru Luke Koper



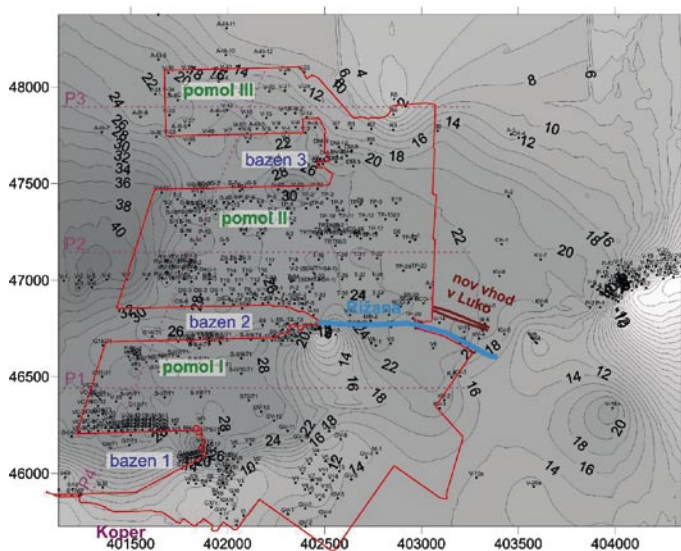
Slika 8 • Debelina prodno peščenih nanosov reke Rižane, ki lahko vsebujejo tudi do nekaj metrov debele leče gline, v prostoru Luke Koper

nekaj metrov debel sloj flišne preperine, ki ga prekrivajo različno debeli sloji pretežno prodnih in peščenih nanosov reke Rižane, ki so ponekod na različnih globinah prekinjeni z do 5 m debelimi sloji gline. Na vzhodu so to pretežno prodi, razmeroma čisti, medtem ko proti zahodu postaja ta sloj vse bolj peščen in zaglinjen. Slika 8, ki prikazuje debelino teh rečnih nanosov, lepo prikazuje njihovo lego na iztoku iz ustja Rižane, hkrati pa se največje debeline rečnih sedimentov ujemajo z lego flišne kotanje (slika 7). Na sloj rečnih sedimentov je odložen dominan-

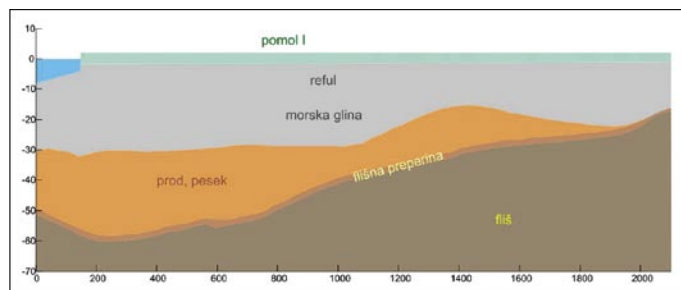
ten sloj mehkih morskih glin pretežno sive barve, ki sega pretežno do absolutne kote –26 do –30 m, le na zahodnem čelu pomola II seže do kote preko –40 m (slika 9). Med slojem morskih sedimentov in podlago se pogosto nahaja tanjši sloj organskega melja in šote.

Južni (proti mestu Koper) in severni del (proti Ankaranu) koprskoga zaliva sta značilna po tem, da je flišna podlaga tu plitvejša, prodnih sedimentov Rižane tu praviloma ni, tako da je na sloj preperelega fliša neposredno odložen sloj mehke morske gline.

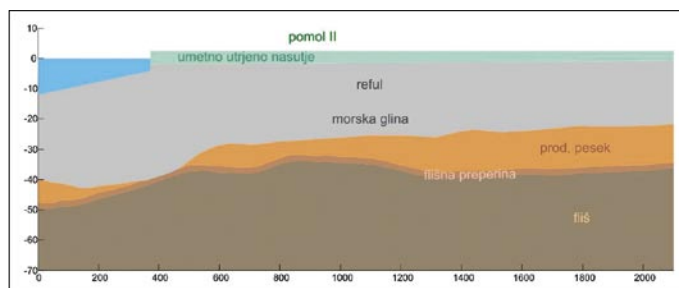
Na pomolih I in II, ki sta umetno zgrajena z materialom (refulom), pridobljenim s poglobljanjem plovnihi poti s črpalnim bagrom, so na površini utrjena umetna nasutja iz flišnih in karbonatnih kamnin pretežno v debelini 2 do 4 m. Reful najdemo pretežno do največje globine 12 m (kota –10 m). Njegove lastnosti so podobne lastnostim morskih glin, le da je zaradi prečrpavanja nekoliko heterogen, saj se menjavajo tanjši sloji bolj glinastih in bolj meljno peščenih slojev. Morska glina izkazuje zelo homogen profil fizikalnih in mehanskih lastnosti z globino (glej slike 14, 16 in 17 v nadaljevanju).



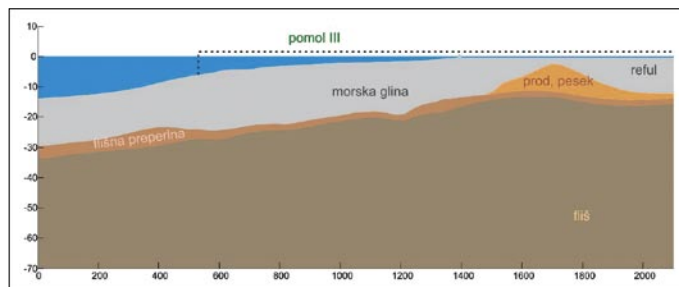
Slika 9 • Absolutne kote dna sloja mehkih morskih glin v prostoru Luke Koper



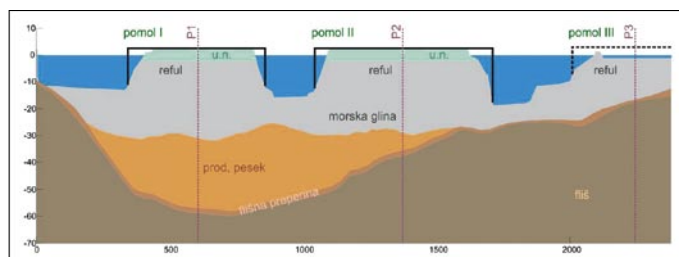
Slika 10 • Sestava tal v profilu P1 (preko pomola I); merilo višin 10-krat večje od merila dolžin



Slika 11 • Sestava tal v profilu P2 (preko pomola II); merilo višin 10-krat večje od merila dolžin



Slika 12 • Sestava tal v profilu P3 (preko pomola III); merilo višin 10-krat večje od merila dolžin



Slika 13 • Sestava tal v profilu P4; merilo višin 10-krat večje od merila dolžin

3 • RAZISKAVE LASTNOSTI TAL

Možnosti terenskih in laboratorijskih raziskav tal se nenehno širijo. V naših laboratorijih je v zadnjih 10 letih triosna preiskava postala rutin-

ska dostopna, posodobljeni so direktni strižni aparati in z dovolj majhnimi hitrostmi striženja lahko izmerimo drenirane strižne parametre

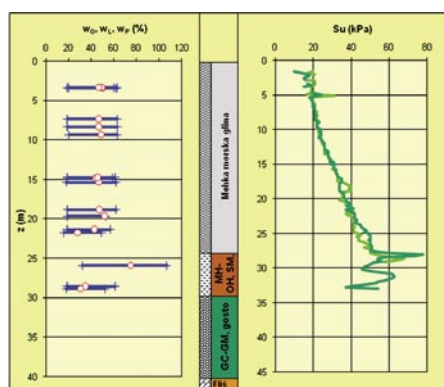
tudi zelo malo prepustnim glinam, kakršne so morske gline v prostoru Luke Koper. Hkrati se uvajajo tudi postopki izvedbe preiskav skladno z najnovejšimi mednarodnimi standardi.

V zadnjih 10 letih smo v domači prostor pripeljali tudi nove metode terenskih meritev raziskav tal. CPT je dostopen in tudi v Luki

Koper uporabljan že od konca 80 let, od leta 2003 pa v Luki uporabljamo Marchettijev dilatometer in Ménardov presiometer. Seizmični dilatometer smo v Luki prvič uporabili leta 2006.

Pri raziskavah lastnosti tal za potrebe projektiranja in gradnje posameznih objektov v Luki Koper je vselej velika pozornost posvečena lokalnim lastnostim sloja morskih sedimentov, ki bistveno vpliva na stabilnost, posedanje tal in vplive na sosednje objekte, ter lastnostim nosilnega sloja (prodnopščenege sloja rečnih sedimentov ali flišne podlage) zaradi projektiranja morebitnega globokega temeljenja objektov.

Dominanten sloj tal je sloj morske gline. Morska glina je normalno konsolidirana, visokoplastična glina z značilnimi mehanskimi lastnostmi, kot jih podajata preglednica 1 in slika 14, ki predstavlja profil tal na jugozahodnem delu pomola I. Nedrenirana strižna trdnost narašča z globino in ima plitvo pod površjem značilno vrednost okrog 15 kPa ter naraste do dna tega sloja na vrednosti preko 40 kPa. Podatki (Sovinc, Vogrinčič, 1994), ki se nanašajo na severni del pomola II, kažejo nekoliko bolj heterogeno sestavo mehkih morskih sedimentov, ugotovljene mehanske lastnosti so skladno s tem nekoliko bolj razpršene, a zelo podobnega reda velikosti.



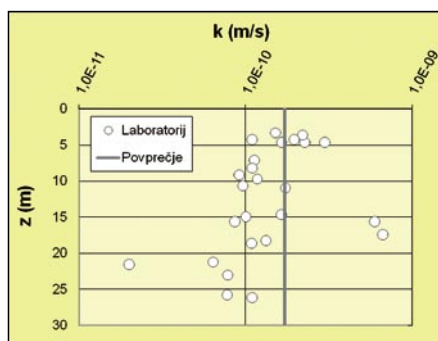
Slika 14 • Značilni profil tal v Luki Koper (JZ del pomola I) s prikazom profila vlažnosti in leznih mej (levo) ter profilom nedrenirane strižne trdnosti (desno)

3.1 Dilatometer

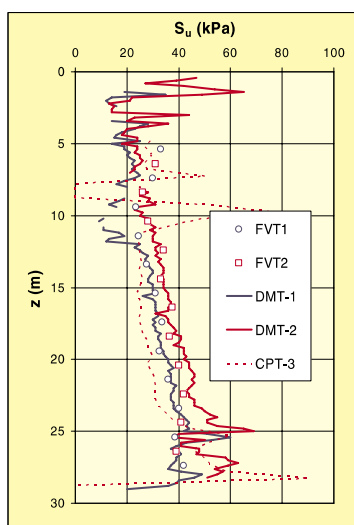
Ko smo leta 2003 prvič izvajali meritve z Marchettijevim dilatometerom (Marchetti, 1980), smo te meritve primerjali z rezultati že uveljavljenih meritev CPT in meritev s krilno sondo. Prednost dilatometra je v tem, da poleg zanesljivih podatkov o nedrenirani strižni trdnosti daje še zelo dobre podatke o modulu stisljivosti.

Lastnost	Vrednost
Prostorninska teža γ (kN/m ³)	17,0–18,0
Meja židkosti w_L (%)	61
Indeks plastičnosti I_p (%)	42
Indeks konsistence I_c (%)	0,1–0,6
Vlažnost w (%)	45–50
λ	0,17
κ	0,05
Strižni kot φ' (°)	24–26
Prepustnost k (m/s)	10^{-10}

Preglednica 1 • Značilne mehanske lastnosti sloja morske gline



Slika 15 • Izmerjene vrednosti prepustnosti sloja morske gline; podatki z jugozahodnega dela pomola I



Slika 16 • Primerjava nedrenirane strižne trdnosti, izmerjene z dilatometerom, krilno sondo in statičnim konusnim penetrometrom na jugovzhodnem delu pomola II; desno je shematska situacija sond

3.1.1 Nedrenirana strižna trdnost

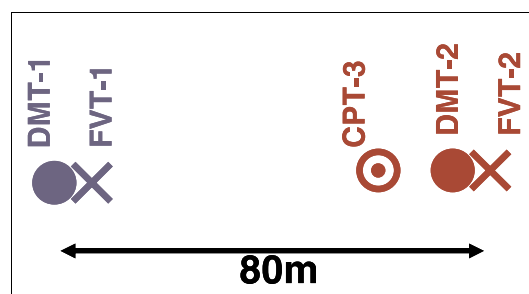
Primerjava nedrenirane strižne trdnosti je bila izvedena na podatkih iz jugozahodnega dela pomola II, kjer sta bila na medsebojni razdalji 80 m izvedena dva para meritev z dilatometerom in krilno sondo, 20 m od druge lokacije pa še meritev s statičnim konusnim penetrometrom (slika 16 desno). Razdalja med lokacijama meritev z dilatometerom in krilno sondo je znašala 3 oziroma 5 m. Graf na sliki 16 prikazuje primerjavo rezultatov z globino. Barve posameznih črt na grafu se ujemajo z barvami sond na shematski situaciji. Tako je treba medsebojno primerjati »modre« podatke za lokacijo 1 in »rdeče« za lokacijo 2. Ujemanje rezultatov krilne sonde in dilatometra je odlično, še posebej med globinama 12 do 23 m, kjer se nahaja homogen sloj morske gline. Višje se iz grafa razbere bolj heterogen material sicer podobnih lastnosti, kar je značilno za reful.

Na sliki 14 prikazan profil nedrenirane strižne trdnosti z druge lokacije (jugozahodni del pomola I) pokaže podoben red velikosti nedrenirane strižne trdnosti, poleg tega pa dokazuje odlično ponovljivost rezultatov meritev z dilatometerom.

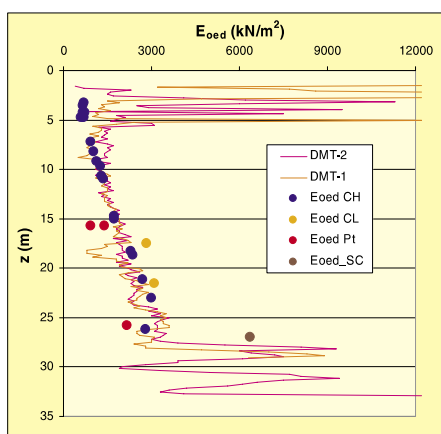
3.1.2 Togost (modul stisljivosti)

Bistvena prednost dilatometra pred preiskavo CPT je v tem, da poleg nedrenirane strižne trdnosti daje zanesljiv profil modula stisljivosti tal.

Za potrebe širitve obale na kontejnerskem terminalu, ki je kompleksen projekt (vsebuje izgradnjo obale za pretovor, zaledne konstrukcije za skladiščenje kontejnerjev, del zaledja iz zemeljskega nasutja ter kaseto za reful), so bile izvedene natančne raziskave tal, kar je omogočilo primerjavo edometrijskih modulov, merjenih z dilatometerom, s tistimi iz laboratorijskih preiskav na 22 vzorcih. Zaradi velike površine, ki jo pokriva novogradnja, so bile



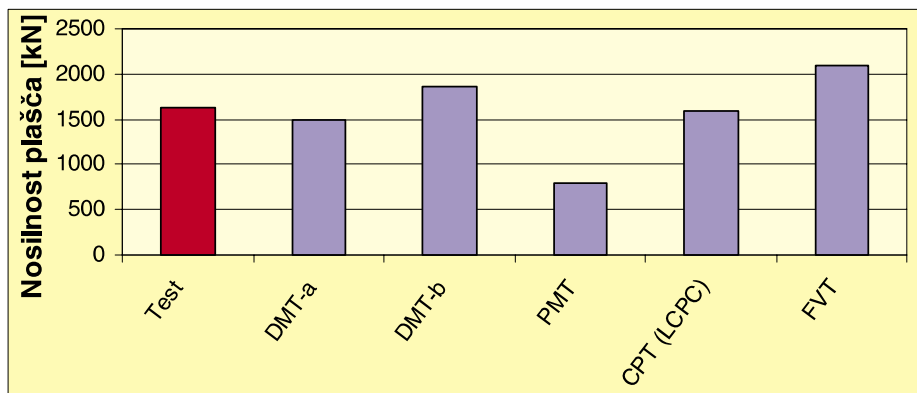
posamezne vrtnice z laboratorijsko preiskanimi vzorci tudi 200 m oddaljene od lokacij dveh dilatometrskih preiskav. Laboratorijski rezultati, prikazani na sliki 17, so interpretirani tako, da je modul izvednoten pri začetnem geološkem tlaku ob upoštevanju prirastka vertikalne napetosti 25 kPa. Primerjava teh vrednosti z dilatometrijskimi moduli stisljivosti kaže na izjemno dobro ujemanje, zlasti v sloju morske gline (modre točke na sliki 17). Če upoštevamo medsebojno prostorsko oddaljenost posameznih sond, lahko tudi za module stisljivosti, izmerjene vzorcem šote in nizkoplastične gline ter peska, ugotovimo, da dilatometer dobro opisuje togost zemljin v koprskem zalivu.



Slika 17 • Primerjava edometrijskih modulov E_{oed} , dobljenih z dilatometrom in z laboratorijskimi preiskavami (jugozahodni del pomola I)

3.1.3 Nosilnost plašča pilota

Dilatometer omogoča tudi izračun nosilnosti plašča pilota v glinenih tleh. Teoretične osnove je podal Powell s sodelavci (Powell, 1991), in sicer navajajo dve možni metodi za oceno nosilnosti plašča – metodo a) za tlačno ali natežno obremenjene pilote ter metodo b) za izključno tlačno obremenjene pilote. Slika 18 prikazuje primerjavo nosilnosti plašča jeklenega pilota premera 813 mm v sloju gline, izračunano po obeh metodah Powella (DMT-a in DMT-b), na podlagi meritev s presiometrom (PMT), po metodi LCPC na podlagi CPT meritev ter na podlagi meritev s krilno sondo po enačbi $q_s = \alpha S_u$ (FVT). Opazimo lahko veliko neskladje nosilnosti, ocenjene na podlagi presiometrijskih meritev, kar je predvsem posledica slabe natančnosti meritev v mehki morski glini in ne računskih metod. Tu prideta do izraza dobra ponovljivost meritev in majhna odvisnost od operaterja pri izvedbi



Slika 18 • Merjena in računsko ocenjena nosilnost plašča pilota v sloju morske gline

meritev DMT in CPT. Nekoliko več podrobnosti je navedenih v članku Logarja in sodelavcev (Logar, 2007).

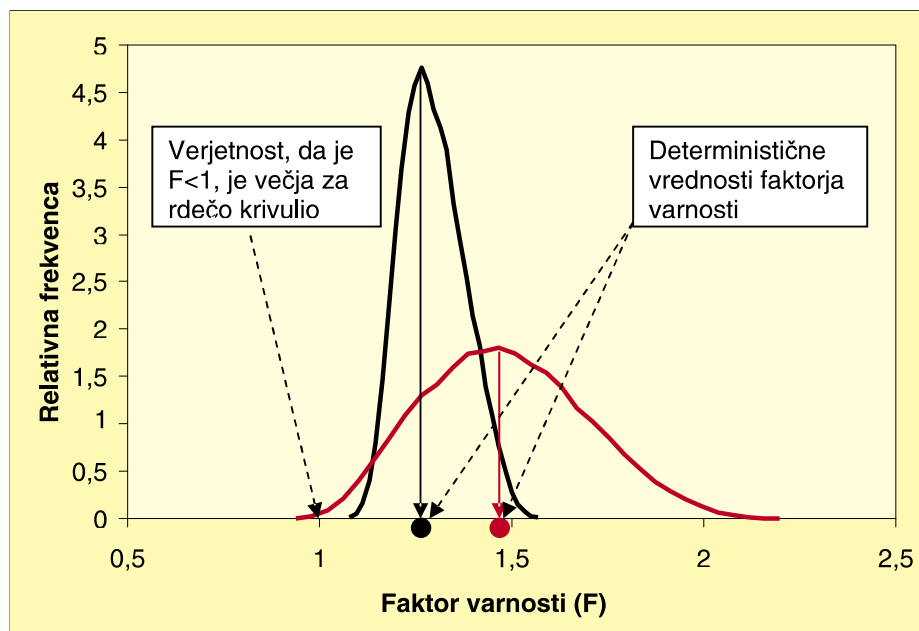
3.1.4 Probabilistična analiza stabilnosti

Čeprav imamo danes na voljo odlična komercialna orodja za analize stabilnosti, ki omogočajo probabilistične analize stabilnosti (izračun verjetnosti porušitve namesto determinističnega faktorja varnosti), se probabilistični računi stabilnosti v geotehnični praksi ne izvajajo. Najpogostejši racionalni razlog za to je, da imamo na voljo premajhno število materialnih podatkov iz preiskav tal za oceno statistične porazdelitve posameznega vplivnega parametra (npr. trdnosti). Odkar sta

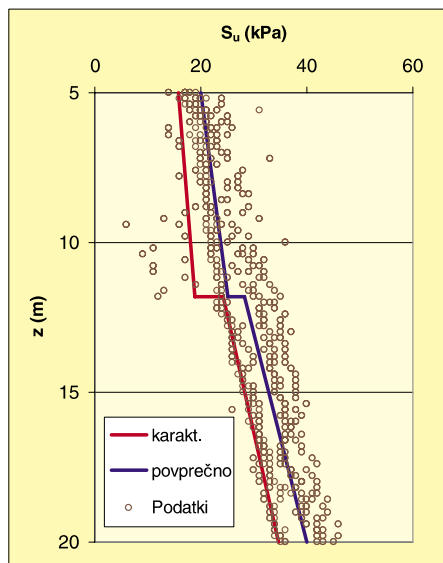
na voljo preiskavi, kot sta CPT in dilatometer, je tudi to le še izgovor.

Prednost probabilistične analize stabilnosti je v tem, da programsko orodje na podlagi ugotovljenih statističnih porazdelitev parametrov trdnosti (ali pa nivoja talne vode, prostorninske teže, obtežb ...) ponavlja račun stabilnosti za poljubno množico (več deset ali sto tisoč) naključnih kombinacij vseh relevantnih parametrov. Slika 19 prikazuje, da večji faktor varnosti še ne pomeni tudi manjše verjetnosti porušitve. S tem pa probabilistični račun pomeni boljši vpogled v zanesljivost geotehnične konstrukcije.

Za primer si pogledmo analizo stabilnosti nasutega zaledja nove kontejnerske obale



Slika 19 • Rezultata probabilistične analize stabilnosti. Rdeča krivulja je dobljena z materialnimi lastnostmi, za katere je značilen velik koeficient variacije (velik raztros rezultatov). Kakovostni materialni podatki in relativno homogene razmere v tleh pa vodijo do manjšega koeficienta variacije, in čeprav je povprečna vrednost nižja, je manjša tudi verjetnost porušitve (črna krivulja).

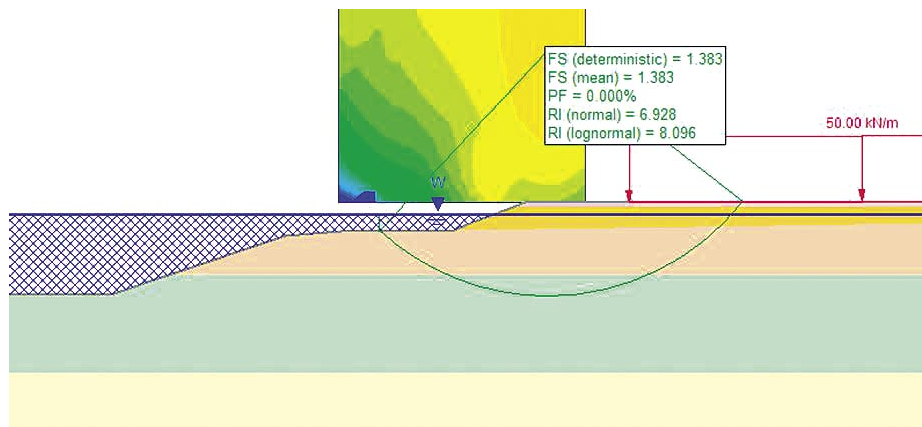


Slika 20 • Merjene vrednosti nedrenirane strižne trdnosti s prikazanimi linearnima aproksimacijama za povprečno (modro) in karakteristično vrednost s 95 % stopnjo zaupanja (rdeče)

na I pomolu Luke Koper. Na zaledju je še obtežba 50 kPa. Slika 20 prikazuje posamezne izmerjene vrednosti nedrenirane strižne trdnosti z dilatometrom na tej lokaciji. S pomočjo Excela smo določili povprečno (modro) in karakteristično (rdečo) linijo nedrenirane strižne trdnosti z globino. Nato smo s programom Slide (Rocscience) izvedli deterministično in probablistično analizo stabilnosti. Deterministična analiza stabilnosti s karakterističnimi vrednostmi strižne trdnosti izračuna varnostni faktor $F = 1,28$, kar v skladu z Evrokodom 7, ki za nedrenirano strižno trdnost zahteva $F = 1,4$, ni dovolj. Deterministična analiza tudi za povprečno vrednost trdnosti tal privede le do varnosti $F = 1,38$. Probablistična analiza z izračunano povprečno vrednostjo in koeficientom variacije pa kljub temu pri 100.000 simulacijah pokaže (slika 21), da je verjetnost porušitve 0 % z visokim indeksom zanesljivosti $RI = 6,93$ (običajno smo zadovoljni z rezultatom $RI > 3$, ki pomeni, da je rezultat za več kot tri standardne deviacije oddaljen od srednje vrednosti).

3.2 Seizmični dilatometer

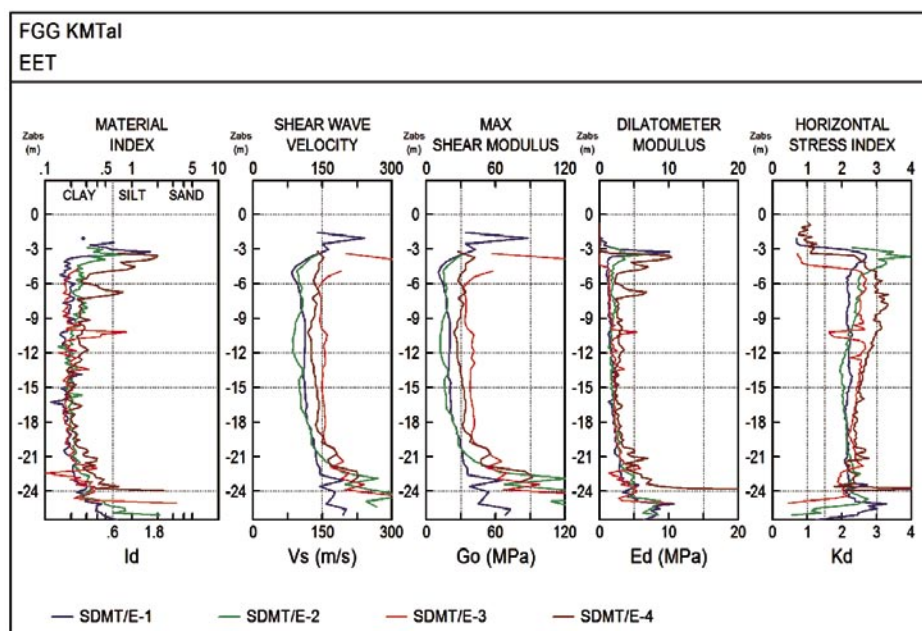
V letu 2007 so se izvajale preiskave tal na področju Evropskega energetskega terminala (EET), kjer smo lahko izkoristili tudi najnovejši razvojni dosežek Marchettija – seizmični dilatometer (SDMT). O opremljenosti ter postopku



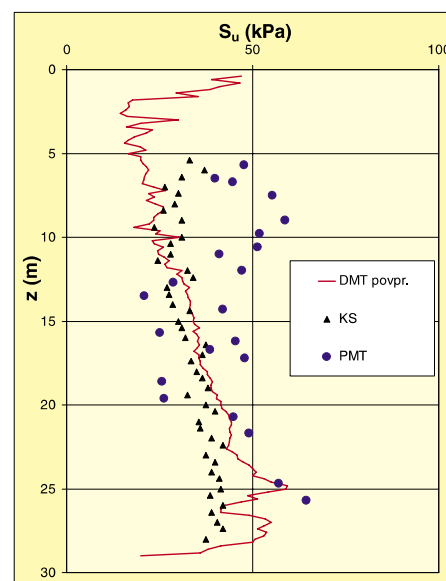
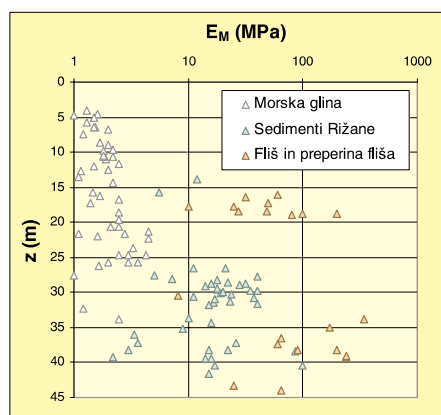
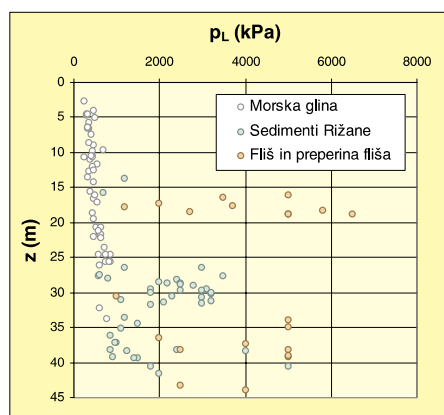
Slika 21 • Rezultat probablistične globalne stabilnostne analize



Slika 22 • Situacija Evropskega energetskega terminala z lokacijami izvedenih meritev SDMT



Slika 23 • Rezultati meritev s seizmičnim dilatometrom na Evropskem energetskega terminalu



Slika 24 • Rezultati presiomerskih meritev z Ménardovim presiometrom v Luki Koper: izmerjene vrednosti mejnega tlaka p_L (levo) in presiomerskega modula E_M (desno) za posamezne značilne sloje tal

meritve in analize smo že poročali (Robas, 2008). Seizmični dilatometer meri hitrosti strižnega valovanja tal in s tem omogoča izračun togosti tal pri zelo majhnih deformacijah (G_0).

Slika 22 prikazuje situacijo terminala z lokacijami štirih izvedenih meritev. Rezultati meritev so prikazani na sliki 23. Rezultati pokažejo, da se pod različnimi mesti deponije dilatometrijski moduli bistveno ne razlikujejo med seboj. Nasprotno pa začetni strižni modul (G_0) pokaže vpliv obremenitve tal na stanje sloja mehke morske gline: deponija se je začela uporabljati in širiti z vzhodne strani. Najdlje in z največjo trenutno obtežbo je obremenjen del deponije v okolici sonde SDMT-3 in v smeri proti SDMT-4. Trajanje in intenziteta obremenitve se manjšata proti zahodu – proti sondi SDMT-1. Temu dejstvu sledijo tudi merjene vrednosti hitrosti strižnega valovanja oziroma začetnega strižnega modula.

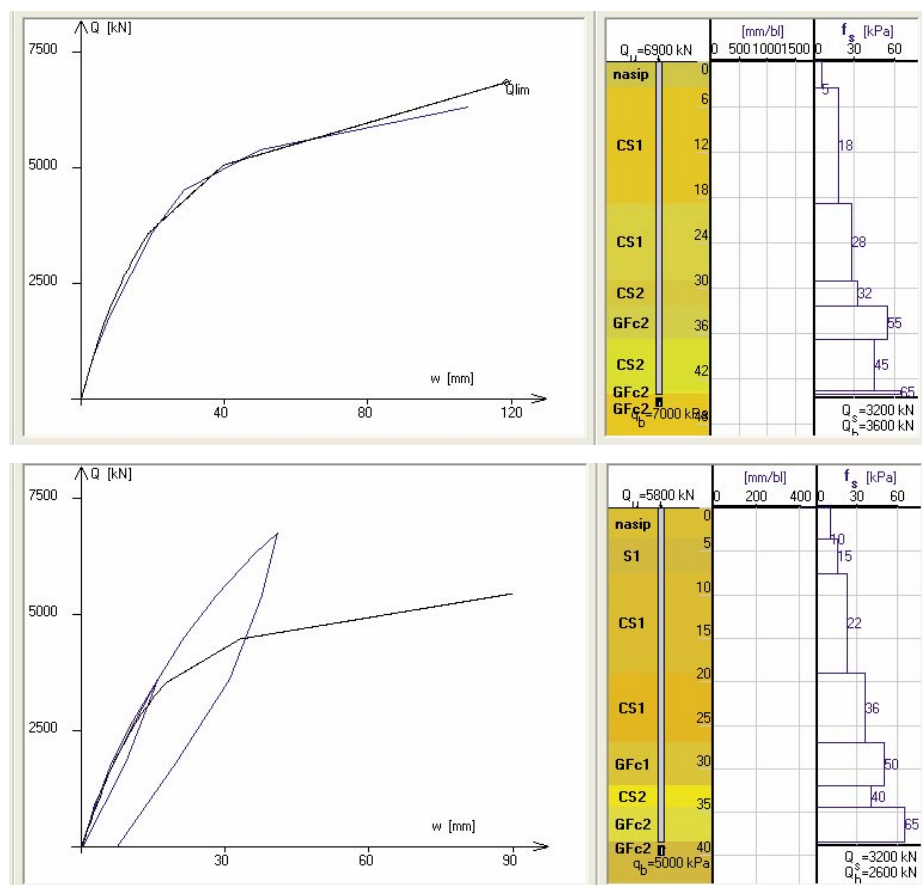
3.3 Presiometer

Ménardov presiometer smo v Luki Koper prvič uporabili leta 2004 in do danes izvedli meritve na lokacijah osmih objektov. Skupno je bilo izvedenih 118 meritev (51 v morskih sedimentih, 46 v prodnopoščenih sedimentih Rižane in 21 v flišni podlagi in njeni preperini). Rezultate meritev prikazuje slika 24, in sicer izmerjene vrednosti mejnega tlaka (p_L) in presiomerskega modula (E_M).

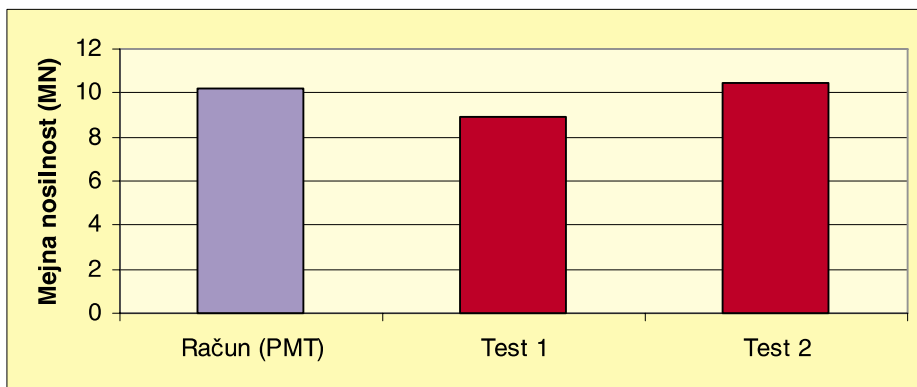
Slika 25 prikazuje še enkrat podatke s slike 16 s tem, da so dodane še ocene nedrenirane strižne trdnosti morske gline, dobljene na podlagi presiomerskih meritev (PMT). Jasno je videti, da je red velikosti tega parametra na osnovi presiomerskih meritev sicer pravi, a raztros rezultatov prevelik. Razlog je v premajhni občutljivosti presiometra za tako mehke

materiale oziroma v zahtevni izvedbi meritev v tovrstnih materialih. Zato smo meritve s presiometrom v sloju morskih glin izvajali le v nekaj prvih nizih raziskav, kasneje pa presiometer uporabljali le za meritve lastnosti sedimentov reke Rižane in flišne podlage.

Slika 25 • Raztros rezultatov nedrenirane strižne trdnosti, ocenjene iz presiomerskih meritev (PMT), v primerjavi z rezultati krilne sonde (KS) in dilatometra (DMT)



Slika 26 • Rezultata napovedi obnašanja dveh pilotov, na katerih je bila kasneje izvedena statična obremenilna preizkušnja. Računsko napoved prikazuje črna črta, z modro je prikazan rezultat meritve



Slika 27 • Napovedana in merjena nosilnost (z dinamičnim obremenilnim testom) uvrtnih pilotov premera 118 cm in globine 40 m na nadvozu čez železnico

Presiometriške meritve smo uporabljali izključno za analizo nosilnosti in posredkov osno obremenjenih pilotov. Čeprav je metodologija za analizo nosilnosti in posredkov pilotov na podlagi presiometriških meritev dobro znana in uveljavljena, je bilo možno na podlagi 17 izvedenih statičnih obremenilnih testov v Luko Koper izdelati podrobnejša pravila za obnašanje stika med zemljino in pilotom posebej za jeklene pilote in za zemljine iz koprkega zaliva ((Kuder, 2007), (Kuder, 2008)). Za opis obnašanja plašča so uporabljeni bilinearni diagrami (trenje–pomik), za opis obnašanja konice pa trilinearni diagrami (odpor–posedek). Na tak način smo v letu 2007 pripravili slepo napoved obnašanja dveh jeklenih pilotov premera 813 mm s konico v prodnem sloju, ki sta bila pripravljena za statični obremenilni test. Rezultata prikazuje slika 26. Ena napoved se popolnoma ujema s kasnejšo meritvijo,

druga se ujema le v začetnem območju, ko je obnašanje bistveno odvisno od plašča pilota, kasneje, ko obtežbo prevzema še konica, pa je račun podcenil dejansko nosilnost. Tak rezultat je ugoden, saj lokalno boljših razmer ob konici, ki lahko pomembno vplivajo na obnašanje pilota pri večjih obtežbah, ne gre posploševati in upoštevati pri projektiranju. Obnašanje obeh pilotov v območju delovnih obtežb pa je z računsko metodo dobro napovedano. Rezultate presiometriških meritev smo uporabili tudi za dimenzioniranje uvrtnih pilotov. Prvič so bili uvrtni piloti v večjem obsegu uporabljeni na objektu za skladiščenje avtomobilov, ki je za tak način temeljenja primeren, saj je flišna podlaga tu relativno plitva (nad abs. koto –15 m). Na dovozni rampi na garažni objekt, ki se od garaže oddaljuje v smeri proti morju, pa se flišna podlaga naglo spušča. Uvrtni piloti so na zadnjih podporah tako pri dolžinah

preko 40 m ostajali v flišni preperini ali celo v prodnopoščenem nanosu Rižane. Tu so bile preizkušane tehnološke meje opreme, saj je izvedba uvrtnih pilotov premera 150 cm do globin ca. 43 m vse prej kot vsakdanje delo. Ker pilot ni segel v flišno podlago, je bila z dinamičnim obremenilnim testom preverjena njegova nosilnost. Konservativna ocena nosilnosti z analizo CAPWAP je pokazala mejno nosilnost preko 12 MN, kar je zadoščalo projektnim zahtevam.

Za uvrtno pilote premera 118 cm, ki so bili predvideni za temeljenje nadvoza preko železnice na cestni navezavi na nov glavni vhod v Luko, je bilo na osnovi presiometriških meritev in projektnih zahtev ugotovljeno, da morajo segati vsaj 13 m v prodni nanos Rižane, kar pomeni, da morajo biti piloti globoki 40 m, saj sega glineni sloj do globine 25–27 m. Pri takih pogojih je bila računsko mejna nosilnost 10,2 MN. Z dinamičnima obremenilnima testoma je bila dokazana nosilnost 8,9 oziroma 10,5 MN (slika 27). Ker je bila pri tem ocenjena relativno nizka nosilnost konice (2,5 oziroma 2,7 MN ali 2,3 oziroma 2,5 MPa), je zelo verjetno, da bi s statično obremenilno preizkušnjo dokazali še nekoliko večje nosilnosti. Vsekakor je napoved na podlagi presiometriških meritev dobra.

Presiometer se je tudi v prostoru Luke Koper izkazal kot zanesljiv pripomoček za preiskave lastnosti nosilnih slojev tal z namenom dimenzioniranja globokega temeljenja.

(Se nadaljuje v majski številki)





KONFERENCA
**TRAJNOSTNO
GRADBENISTVO
& ZELENA JAVNA
NAROCILA**

RAZVOJNE IN POSLOVNE
PRILOŽNOSTI

18.05.2010
Konferenčni center
BRDO PRI KRANJU

ORGANIZIRA:
Inženirska zbornica Slovenije
Jarška cesta 10/b,
1000 Ljubljana, Slovenija

POD POKROVITELJSTVOM: **MOP**
V SODELOVANJU Z: **GZS, ZAG in GI
ZRMK**

Več na www.izs.si.

www.izs.si