

# OCENITEV ZAČETNIH USEDKOV MORSKIH GLINASTIH SEDIMENTOV ESTIMATION OF IMMEDIATE SETTLEMENT OF MARINE CLAY SEDIMENTS

IVAN SOVINC, upok. univ. profesor  
Laboratorij za mehaniko tal IMFM

## POVZETEK:

V referatu je podana ocenitev začetnih usedkov tal pri gradnji večnamenskega terminala v Luki Koper, predobremenjenega s 3-4 m visokim nasipom in ustrezne meritve posedanja na površju normalno konsolidiranih morskih glin postavljenih posedalnih plošč. Ta vzporeditev je primerjana z običajnimi geomehanskimi računi, pri čemer so uporabljene karakteristike tal, kot sledijo iz laboratorijskih edometriških preiskav in iz hitrih penetracijskih preiskusov (CPT).

## SUMMARY:

In the paper the estimation of immediate settlement is discussed. The settlement measured at the surface of normally consolidated marine sediments at the site of mansided terminal preloaded by 3-4 m high embankment at the Port of Koper were compared with the calculated ones, based on laboratory edometer tests as well as on quick penetration conus tests (CPT).

## UVOD

Pri gradnji nekaterih večjih infrastrukturnih objektov (avtocest, železniških nasipov, velikih prometnih terminalov, športnih objektov itd.) podrobnejše laboratorijske geotehnične preiskave zemljin, pogosto zaostajajo za prvim informativnim sondiranjem. V takih primerih se pred izvajalce in investitorje predvsem pri sklepanju pogodb "na ključ" postavlja vprašanje, s kakšnimi začetnimi usedki tal (posebno pri nasipnih delih), je treba računati, da ne pride do prevelikih razlik pri obračunu kubatur nasutega materiala med izvajalcem in investitorjem.

V tem prispevku želimo nakazati aproksimativno pot, kako oceniti velikostno stopnjo začetnih usedkov tal, ki se razvijajo med prvim nasipavanjem za dosego določene višine nivelete, ali pa usedke tal, ki se razvijajo v času predobremenitve tal, predvsem dokler še niso zaključene laboratorijske preiskave vzorcev tal.

O tovrstnih preiskavah, računih in meritvah na področju Luke Koper smo poročali v več razpravah:

(Sovinc, 1963), (Šuklje in Sovinc, 1968), (Sovinc, 1968), (Sovinc, 1968), (Sovinc in Vidmar, 1973), (Sovinc in Vogrinčič, 1974), (Sovinc, 1976), (Sovinc in Vogrinčič, 1994).

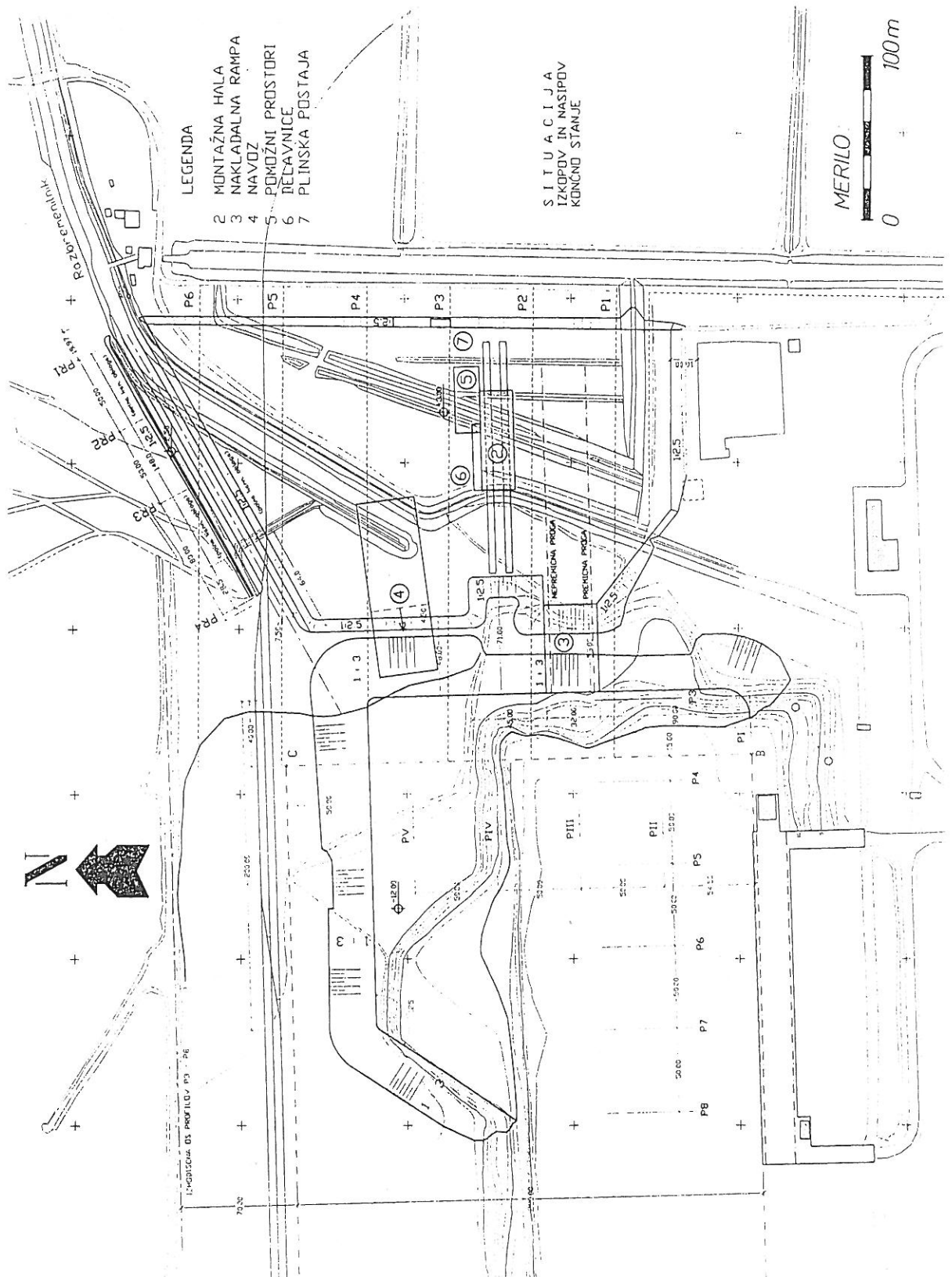
V tem sestavku bomo prikazali in analizirali velikost začetnih usedkov tal, kot so bili registrirani leta 1992 in 1993 pri gradnji platoja za večnamenski terminal v Luki Koper.

SESTAV TAL NA LOKACIJI VEČNAMENSKEGA  
TERMINALA V LUKI KOPER

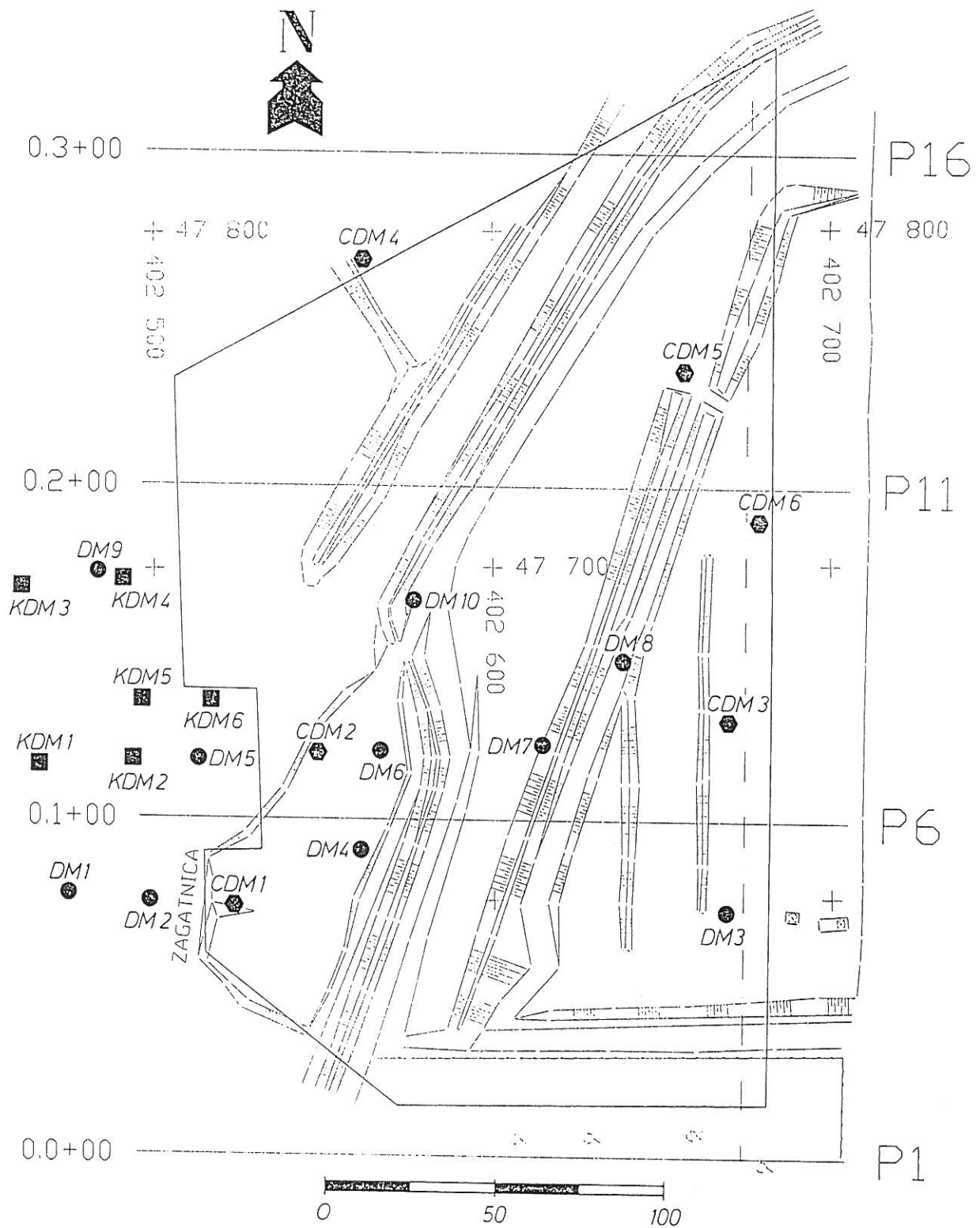
Leta 1992 so se v Luki Koper odločili, zgraditi na obstoječem površju tal za obstoječim obrambnim nasipom na zapadnem delu Ankaranske ravnice, na koti med  $\pm 0,00$  do  $-1,00$  m, do kote večinoma  $+3,00$  m, torej skupne višine preko 3 m, plato in postaviti na njem plitvo in globoko temeljene objekte, kot so vpisani v legendi na situaciji (slika 1). Izvajalec nasipnih del je postavil vprašanje, kakšni bodo usedki tal med gradnjo tega razmeroma visokega nasutega platoja: nasutje je iz apnenega gruščja frakcij 0 - 200 mm, čas gradnje okrog 6 mesecev (ta čas se je dejansko zmanjšal na 2 meseca).

Naša cenitev (na podlagi izkustev) je bila okrog 30 cm začetnih usedkov (če bo trajala gradnja do 6 mesecev). Situacija terminala pred pričetkom gradnje je razvidna s slike 2. Označene so "klasične" vrtine (DM, 10 kom.), statične sonde CPT (CDM, 6 kom.) in krilne sonde (KDM, 6 kom.). Sondirali so poleti 1992, laboratorijske geomehanske preiskave na odvzetih neporušenih vzorcih pa smo delali v Laboratoriju za mehaniko tal IMFM Univerze v Ljubljani jeseni in pozimi 1992/93. Ob pričetku nasipalnih del konec oktobra 1992 torej še niso bili na voljo rezultati laboratorijskih geomehanskih raziskav v vrtinah odvzetih vzorcev tal. Tudi podrobnejša geodezija je bila narejena šele konec oktobra 1992.

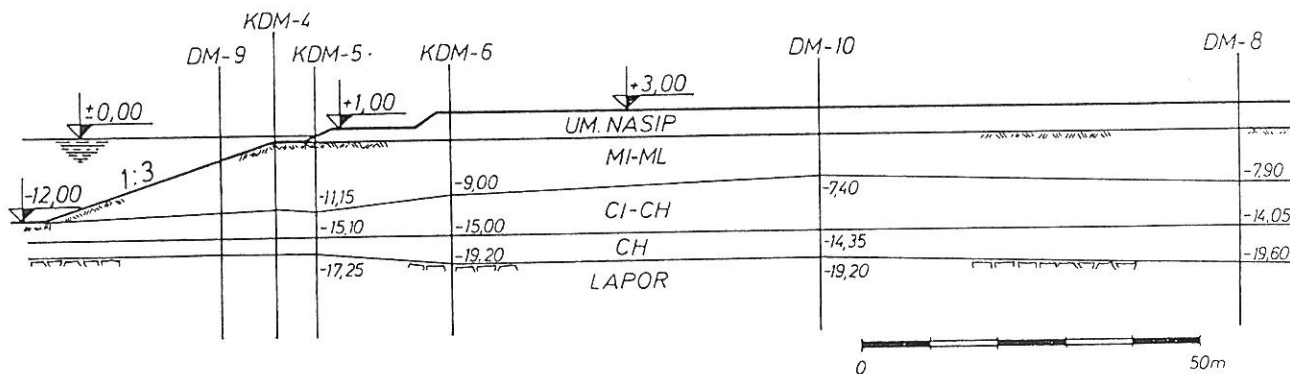
Na sliki 3 podajamo prečni profil tal, katerega približna lega je razvidna s slike 2. Vrisane so vrtine (v profilu ali nanj projicirane), površje tal pred nasipavanjem in po njem ter podatki o debelinah posameznih talnih



Sl. 1 Situacija večnamenskega terminala v Luki Koper



Sl. 2 Situacija večnamenskega terminala z lokacijami vrtin



Sl. 3 Prečni profil tal s klasifikacijskimi oznakami AC

slojev, označenih s simboli klasifikacije AC. Vidimo, da so v tem profilu na zapadnem delu do kote okrog -10 m melji MI-CI, na vzhodnem delu segajo melji le do kote okrog -6 m, nato pa sledijo gline srednje do visoke plastičnosti CI-CH in končno vse do površja preperelega fliša na koti -20 m siva masna, zelo stisljiva in drsljiva glina z oznako CH. Laboratorijske in terenske preiskave so bile zastavljene tako, da se dobijo predvsem strižne karakteristike, potrebne za račun stabilnosti podmorske brežine (glej referat G.Vogriniča), ter deformacijske značilnosti za kasnejši račun dolgotrajnejšega posedanja površja platoja ter objektov, ki bodo na njem zgrajeni.

#### MERITVE POSEDANJA MED GRADNJO

Na osnovi podatkov popisanih v prejšnjem poglavju smo ugotovili dokaj homogen sestav tal na obravnavani lokaciji. Pri tem pa ne gre prezreti, da smo z laboratorijskimi preiskavami ugotovili, da so mestoma tanki vložki nekoliko odpornejšega materiala. Površje tal je bilo pred pričelkom del precej neravno, prepreženo s kanali, nasipi in prometnimi polmi.

Na sliki 4 so označena mesta posedalnih plošč za merjenje posedanja med in neposredno po nasipavanju. Pet posedalnih plošč je bilo postavljenih na površje prirodnih tal (oznake s kvadrati), ostale pa so bile postavljene šele tedaj, ko je nasip dosegel koto +1,00 m (oznake s polnimi krožci). Usedke za višino od raščeneh tal do kote +1,00 m smo nato prištevali k usedkom, izmerjenim na posedalnih ploščah, postavljenih na koti +1,00 m. Postavitev večine točk na koto +1,00 m je pogojeval razmeroma hiter tempo nasipavanja s čim manj ovir pri delu.

Na sliki 5 so podani izmerjeni posedki posedalnih plošč v različnih obdobjih (nasipavati so pričeli 26.10.1992, končali pa konec meseca decembra, torej je trajalo nasipavanje le dva meseca). Ko je bil končan nasip do kote +1,00 m tudi vzhodno od obrambnega nasipa (glej situacijo na sliki 4), so pričeli nasipavati del, kjer je bilo tedaj še morje. Na tem odseku so z deli pričeli na jugozapadnem robu in nasipavali so proti

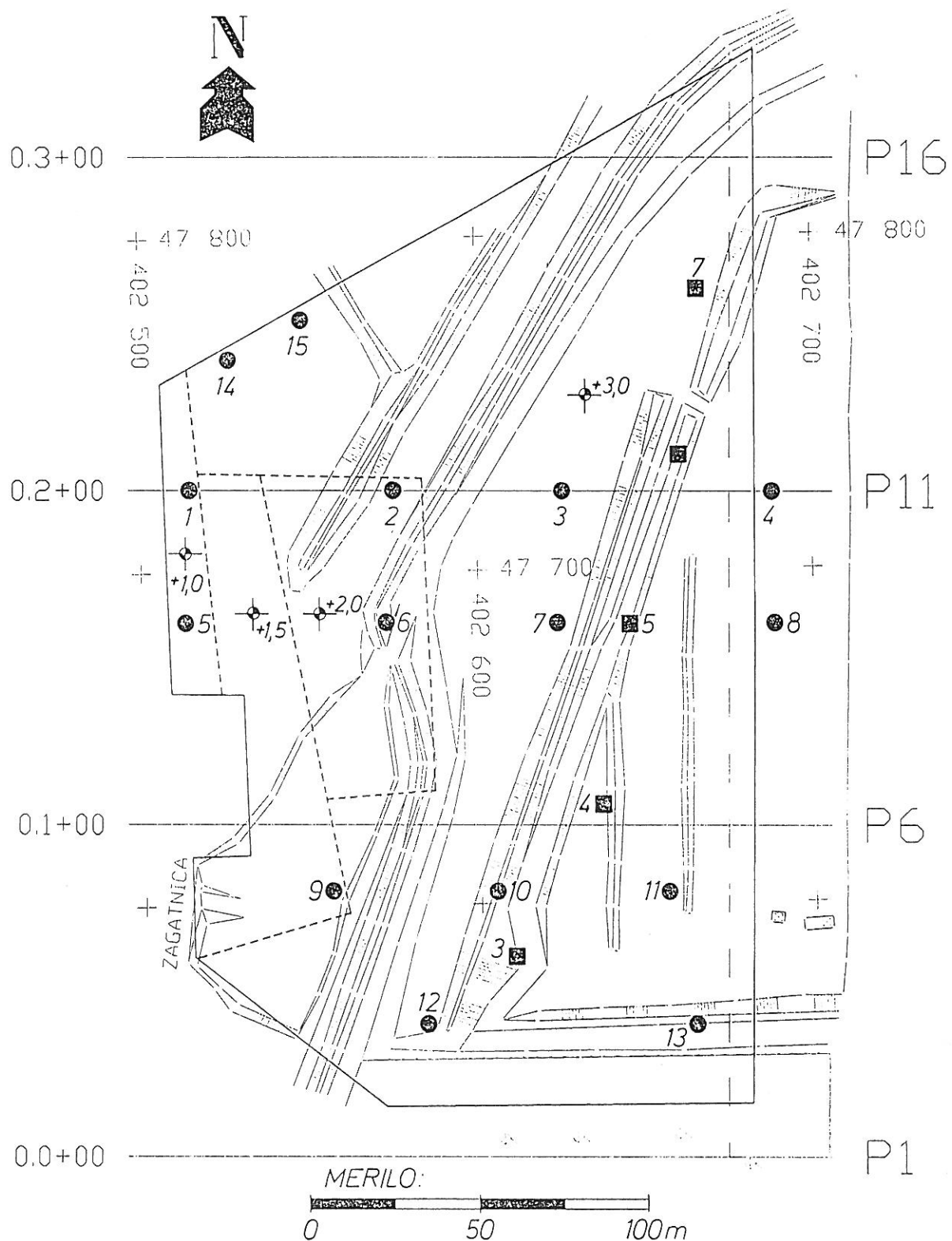
severu z vodilnim nasipom širine okrog 5 m. Po zaključku del na vodilnem nasipu so pričeli nasipavati v smeri proti zaledju. Morsko stran vodilnega nasipa so takoj obložili s kamnetom in sicer povsod, kjer niso predvideni objekti. Podani posedki veljajo za naslednje točke (povprečje): 3,4,7,8,10,11,12 in 13) za koto nasipa +3,00 m, 2 in 6 za koto nasipa +2,00 m, 9 za koto nasipa +1,5 m ter 1 in 5 za koto nasipa +1,00 m. Na sliki 5 je podano višinsko stanje nasipanege platoja, torisno stanje pa na sliki 4.

#### VZPOREDITEV RAČUNSKIH IN IZMERJENIH USEDKOV TAL NA OSNOVI EDOMETRSKIH PREISKAV

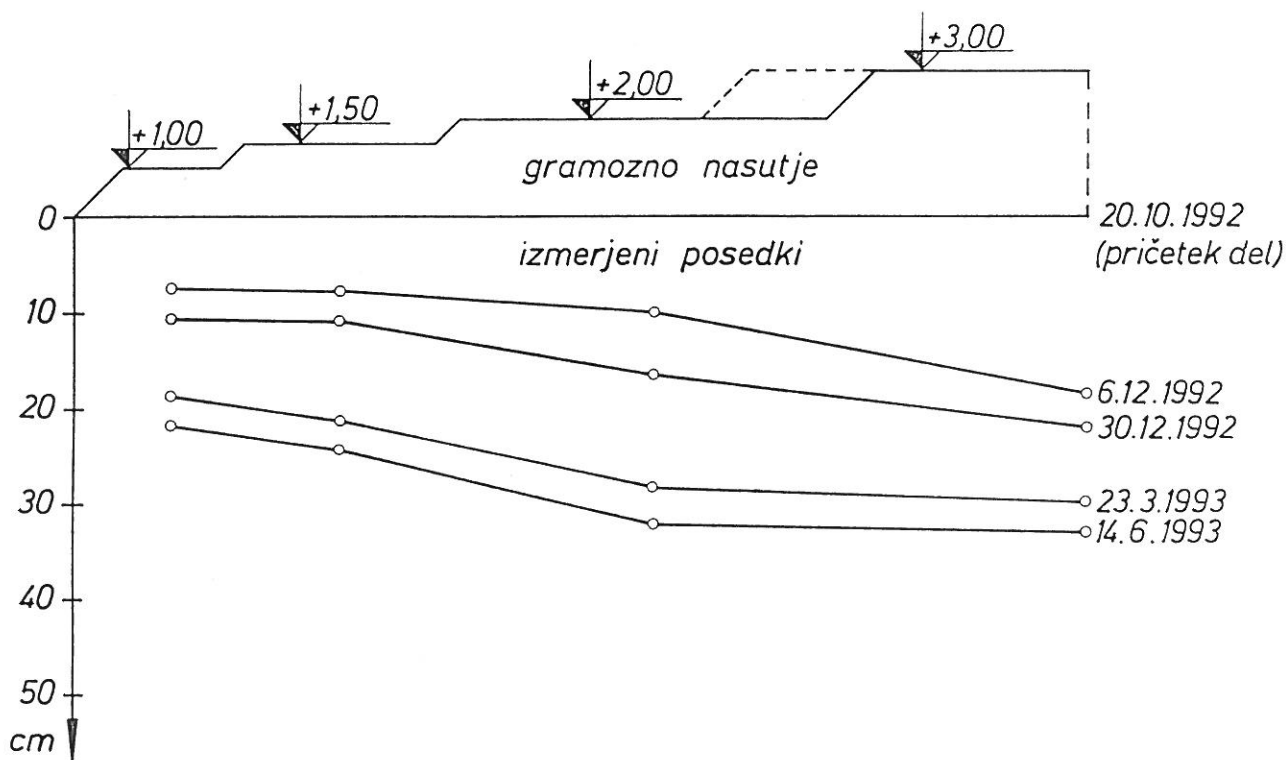
Natančen izračun deformacijskega procesa je zaradi postopnega obremenjevanja tal z neenakomerno naraščajočo obtežbo, zaradi nepoznanja začetnih distorzijskih modulov  $G$  ter spremenljivih količnikov prepustnosti, zelo kompliciran in težko izvedljiv. Tako smo morali n.p.r. strižni modul  $G$  za postavljeno nalogo samo oceniti. Zadovoljili smo se torej z aproksimativnim računom, ki je osnovan med drugim na naslednjih supozicijah:

- Usedke zasičenih tal zaradi deformacij pri nespremenljivem volumnu računamo po rešitvah, ki se dobijo po Boussinesque-ovih enačbah za polprostor za Poissonov količnik  $\nu = 0,50$ .
- Debelina stisljive plasti pod dnem nasipa je 20 m in ta plast je glede na stisljivost in prepustnost homogena. Pod njo ležeči prodno-peščeni materiali so v primerjavi z vrhno plastjo praktično nestisljivi, enako kot spodnja plast fliša (laporja).

K uporabljeni metodi oddvojitve distorzijskega dela usedkov, to je tistih komponent usedkov, ki niso v zvezi s spremembo volumna, le kratko pojasnilo: pri določeni spremembi napetostnega stanja so distorzijske deformacije odvisne samo od distorzijskega modula  $G$  in niso odvisne od kompresijskega modula  $K$ . Vrednosti modulov  $G$  in  $K$  se ugotavljajo s triosnimi laboratorijskimi deformacijskimi preiskavami, s hitrimi nedreniranimi enoosnimi preiskavami ali s poiskusnimi preiskavami "in situ". Po računih, narejenih z navidezno



Sl. 4 Lokacije posedalnih plošč



Sl. 5 Izmerjeni posedki posedalnih plošč v različnih časovnih obdobjih

vrednostjo Poissonovega količnika  $\nu = 0,5$ , sledi navidezna vrednost modula linearne deformacije  $E_d$

$$E_d = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G = 3 \cdot G$$

$$\text{i.j. } G = E_d / 3$$

Ker ob začetku nasipalnih del še nismo imeli na voljo edometriških preiskav vzorcev tal, smo module  $G$  lahko le ocenili in to na osnovi izkustev s sosednjih pomolov in objektov. Naša cenitev usedkov je bila 30 cm (glej poglavje 2) za čas gradnje terminalnega platoja do kote +3,00 m, 6 mesecev. Omenili pa smo že, da je bilo nasipavanje zaključeno že v dveh mesecih. Za vertikalno deformacijo 30 cm bi ustrezal modul  $G = 0,387$  MPa. Na sliki 6 podajamo rezultate laboratorijskih edometriških preiskav za preiskane neporušene vzorce tal. Izvrednotili smo jih za konec primarne faze konsolidacije v intervalu prirodnih tlakov. Vidimo, da ustreza povprečni vrednosti  $M_v = 1,4$  MPa strižni modul  $G = E_d / 3 = 0,35$  MPa, kar je v dobrem soglasju z meritvami, posebno če upoštevamo krajši rok nasipalnih del kot je bil predviden.

#### VZPOREDITEV IZMERJENIH ZAČETNIH USEDKOV TAL Z MODULI, DOBLJENIMI S STATIČNIMI "in situ" PREISKAVAMI CPT

Raziskovalna enota GIP Gradis, Ljubljana, je naredila vrtnice, označene na sliki 2 z oznako CDM. Iz odpora

penetracije  $q$  so izračunali ekvivalentne module stisljivosti  $M_v$  in sicer za materiale z oznako ML-CL-CH in CL-CH z uporabo naslednjih eksperimentalnih relacij:

za odpor  $q > 2,2$  je modul  $M_v = q \cdot 1,5$  MPa in  
za odpor  $q \leq 2,2$  je modul  
 $M_v = q \cdot (5,3 - 1,73 \cdot q)$  MPa.

Dobljene vrednosti modulov  $M_v$  v odvisnosti od globine pod dnom platoja podajamo na sliki 7. Modul  $G$  ima povprečno vrednost 0,45 MPa, kar je glede na izmerke previsoka vrednost.

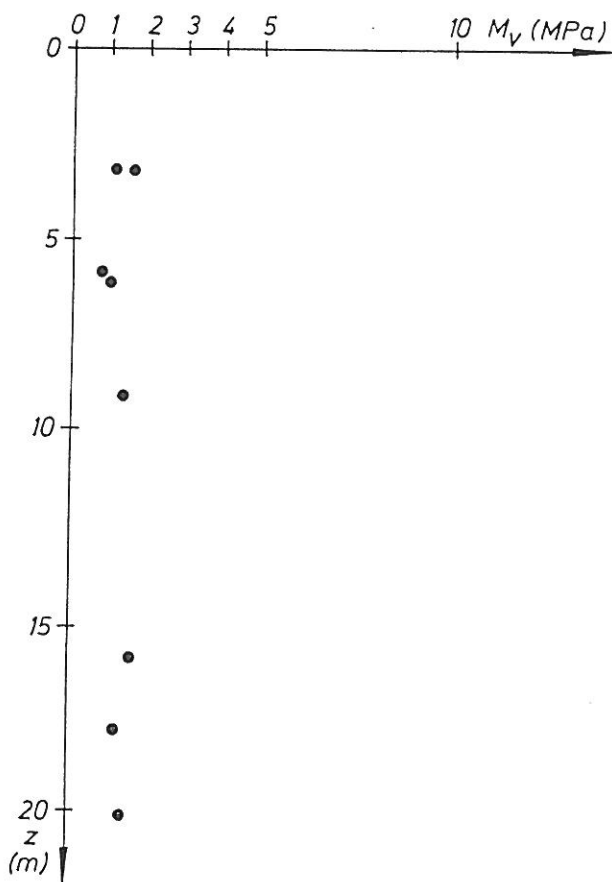
Iz tega zaključujemo, da v glinastih tleh morskih sedimentov iz Kopra sledijo po preiskavah CPT moduli, katerih vrednost je glede na vzporeditev z izmerki previsoka (verjetno je hitrost penetracije prevelika).

#### ZAKLJUČKI

Za ocenitev začetnih usedkov tal, predvsem takrat, ko še niso zaključene laboratorijske preiskave vzorcev tal, se je s podrobnimi meritvami posedanja med gradnjo nasipnega platoja za večnamenski terminal v Luki Koper, izkazala kot primerna metoda oddvajitev distorzijskega dela usedkov in račun z navideznimi vrednostmi modula linearne deformacije  $E_d = 3 \cdot G$  oz. strižnega modula  $G = E_d / 3$

V kolikor se želi podana metoda uporabljati tudi na drugačnih tleh kot so koprška, podajamo naslednje vrednosti modulov linearne deformacije (po še vedno

veljavnih tehničnih predpisih za temeljenje iz leta 1968).

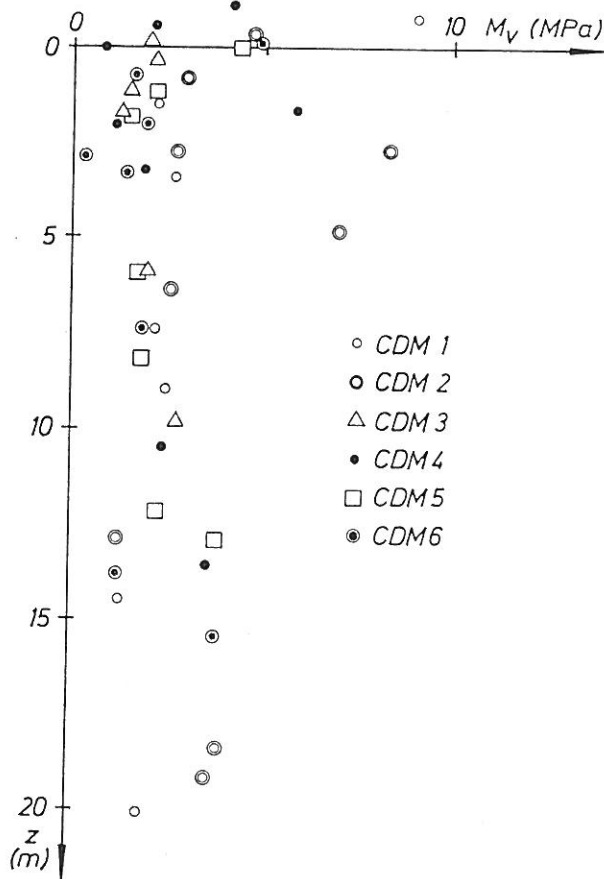


Sl. 6 Rezultati laboratorijskih edometrijskih preiskav

vrsta zemljine		linearni modul deformacije $E_d$ (MPa)
drobni in sred. rahel pesek	rahel	5,6
	srednje zbit	5,6-11,25
	zbit	11,25-22,50
	zelo zbit	preko 22,50
debel pesek in prod	rahel	11,25
	srednje zbit	11,25-22,50
	zbit	22,50-45,00
	zelo zbit	preko 45,00
glina +	zelo mehka	pod 0,375
	mehka	0,375-1,50
	srednje pl.	1,50-3,75
gline in melji	trmo plast.	3,75-7,60
	poltrdne	7,60-15,00
	trdne	preko 15,00

+ za melje z  $I_c$  pod 0,75 se priporočajo za 25% manjše vrednosti.

Iz gornje preglednice se vidi, da je razpon vrednosti  $E_d$  za posamezne vrste materialov zelo velik. Iz tega sledi priporočilo, da se distorzijski usedki in njihov časovni razvoj sproti merijo, in dalje, naj se vzporejujejo penetracije CPT z "in situ" meritvami, ker CPT lahko zelo koristno služi za ocenitev začetnih usedkov in ker se poskusi CPT delajo navadno pred pričetkom zemeljskih del.



Sl. 7 Moduli  $M_v$  po rezultatih CPT-preizkusov RE GIP Gradis, Ljubljana

#### ZAHVALA

Pisec tega poročila se zahvaljuje Laboratoriju za mehaniko tal IMFM za pomoč pri njegovi izdelavi, Luki Koper za dovoljenje o njegovi objavi, RE GIP Gradis za podatke o CPT-preiskavah in Cestnemu podjetju Koper za vsestransko pomoč pri geodetskih meritvah.

## LITERATURA

Sovinc, I. (1963): O nekim geotehničnim osobinama recentnih obalnih i barovitih glina. Gradjevinar, Zagreb, 15, 223-234

Šuklje, L., Sovinc, I. (1968): An Applied Analysis of Distortional Displacements of Normally Consolidated Clays, Europaeische Baugrundtagung, Wiesbaden, 193-198

Sovinc, I. (1968): Messungen der wagrechten Spannungen auf die auf Biegung beachpruchte Spundwand, Wien, DEK, 185-195

Sovinc, I. (1968): Analiza distorzijskih deformacij pri poizkusni obremenitvi in v prvi fazi konsolidacije glinastih tal pod temelji skladišč v luki Koper, Saopštenja IX. Savetovanja JDMTF, Skopje, 303-324

Sovinc, I., Vidmar, S. (1973): Preloading Effects on Deviatoric Soil Displacements, VIII. ICSMFE, Moscow, 389- 395

Sovinc, I., Vogrinčič, G. (1974): Temeljenje jeklenih rezervoarjev s predobremenitvijo tal, 4th DEC, Bled, 221- 231

Sovinc, I. (1976): Fundiranje objekata na malo nosivom tlu metodom preopterećenja, Biro za gradjevinarstvo, Beograd, sv. 2, 1-24

Sovinc, I., Vogrinčič, G. (1994): Geotechnical Properties of Marine Sediments from Koper Bay, v tisku za XIII.ICSMFE, New Delhi