

# GEOTEHNIKA V LUKI KOPER NA ZAČETKU 21. STOLETJA – 2. DEL: NEDAVNO IZVEDENI PROJEKTI

Nadaljevanje iz aprilske številke

## GEOTECHNICAL ENGINEERING IN PORT OF KOPER AT THE BEGINNING OF 21ST CENTURY – PART 2: RECENT CASE HISTORIES

Continuation of paper published in the April issue

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

### 4 • PRIMERI

V nadaljevanju je na kratko opisanih nekaj primerov gradenj zadnjih petih let. Izbrani so tisti primeri, ki prikazujejo medsebojne vplive novih gradenj na obstoječe objekte (vplivi zabijanja pilotov za obstoječimi obalami, vplivi gradenj v pogojih časovnih in prostorskih omejitev), ter primeri, ki se nanašajo na uporabo geosintetičnih materialov.

#### 4.1 Vplivi zabijanja pilotov v zaledju obal

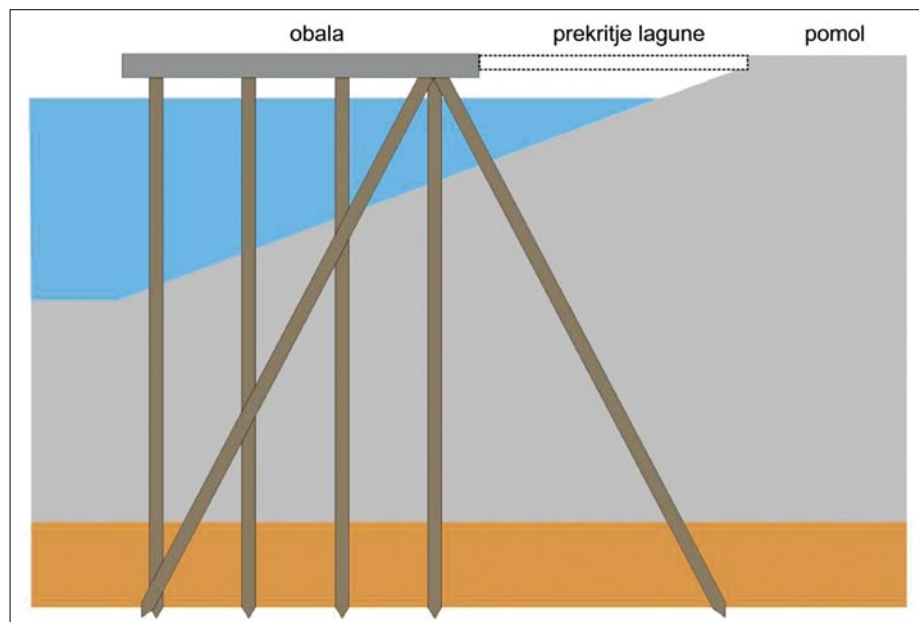
Zabijanje polnih pilotov ali votlih pilotov z zaprto konico v tla povzroči ustrezno volumsko deformacijo tal. V primeru obal, kjer je značilen raster pilotov okrog 6 x 4,5 m, pomeni vgradnja zaprtih pilotov premera 813 mm 2 % volumske deformacije. Dokler vgradnja pilotov poteka dovolj daleč od obstoječih objektov, ta podatek ni zaskrbljujoč, ko pa se pripravlja gradnja tik ob obstoječi obali, kjer nenehno poteka pretovor ladij, so potrebne prilagoditve.

Tak primer je prekrivanje zaledij obal. Značilna obalna konstrukcija je zaradi mehkih tal, ki zahtevajo položno podvodno brežino na eni in veliko globino zaradi vse večjih ladij na drugi strani, postavljena tako, da je med zaledno stranjo obalne konstrukcije in kopnim pomolom še približno 40 m širok pas morja.

Obale so s kopnim povezane z dostopnimi mostovi, ki omogočajo pretovor. Potreba po večjih dvigalih z razmikom tirnic 30 m bi zahtevala širitev obalnih konstrukcij, potreba po

skladiščnih površinah pa je dodatno prispevala k temu, da je Luka pristopila k zapolnitvi teh lagun s t. i. zalednimi konstrukcijami.

Že v preteklosti so bili izvedeni preizkusi različnih pilotov: z zaprto konico, votli, votli z jekleno membrano na globini, kjer pilot naleže na prodni sloj, piloti z navarjenimi krili T. Študija, ki sta jo vodila prof. Sovinc in dr.



Slika 29 • Značilen prerez obalnih konstrukcij v Luki Koper; nekatere lagune v zaledjih obal so predvidene za prekritje s konstrukcijami AB na pilotih in nekaj od njih je že izvedenih

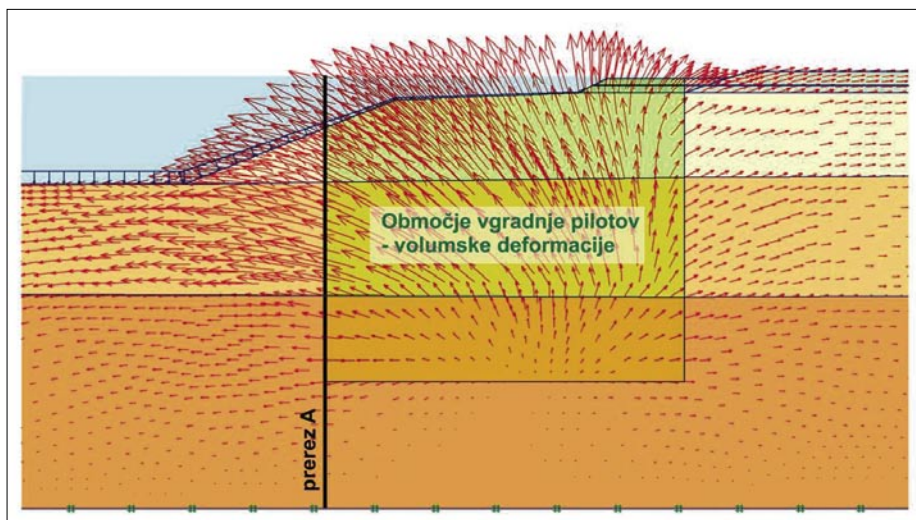
Vogrinič (Sovinc, 1985), ni pokazala izrazitih odstopanj med nosilnostmi navedenih vrst pilotov, pa vendar so opazni ugodni vplivi jeklene membrane ali privarjenih kril T. Seveda pa obstaja bistvena razlika v povzročeni volumnski deformaciji med vgradnjo pilotov različnih vrst. Te informacije so bile s koristjo uporabljene pri prekrivanju zaledij obal na vezih 7 in 11.

#### 4.1.1 Zaledje veza 7b

Pri načrtovanju zaledja 7b smo denimo računsko preverjali, kaj pomeni vgradnja pilotov z zaprto konico (2 % volumnske deformacije v prostoru vgradnje pilotov) v primerjavi z vgradnjo enakih cevi brez konice. Slednja možnost pomeni teoretično 0,13 % volumnske deformacije, ker pa zabijanje gotovo povzroči nekaj dodatnega razrivanja, smo računsko preverili še dvakrat večjo vrednost ( $\epsilon_v = 0,25\%$ ). Slika 30 prikazuje računske premike v prečnem profilu (Plaxis 2D v8). Vpliv obstoječe obalne konstrukcije na premike ni upoštevan. Zemljina je modelirana z modelom Soft soil oziroma prodno peščena plast z modelom Hardening soil. Slika 31 prikazuje samo vodoravne premike v prerezu A, kjer smo imeli v pilotu prve linije zaledne konstrukcije med gradnjo vgrajen inklinometer. Pokazalo se je, da je merjena velikost vodoravnih premikov podobne velikosti, kot jo izračunamo z 0,13 do 0,25 % volumnske deformacije. Če bi vgrajevali pilote z zaprto konico, bi bili premiki bistveno večji in bi ogrozili obalno konstrukcijo.

Pred odločitvijo o vgrajevanju votlih jeklenih cevi premera 813 mm sta bila izvedena statična obremenilna testa takih pilotov. Da nas morebitna premajhna izmerjena nosilnost jeklene cevi brez konice ne bi presenetila, smo za test pripravili še pilot alternativne oblike z navarjenimi profili HEA30 (slika 32). Podrobnosti o izvedbi in rezultatih preiskave lahko preberete v članku Strniše (2009). Naj povzamem le, da je votli cevi brez konice, vgrajeni do kote -42 m, izmerjena nosilnost 4,9 MN, pilotu s krili HEA pa 5,5 MN. Kljub temu da je razlika relativno majhna, smo rezultat pri dokončnem projektiranju konstrukcije koristno uporabili, saj so bile računske obremenitve določenih pilotov konstrukcije nekoliko večje, kot jih dovoljuje nosilnost same jeklene cevi, in na teh mestih smo uporabljali cevi s krili HEA.

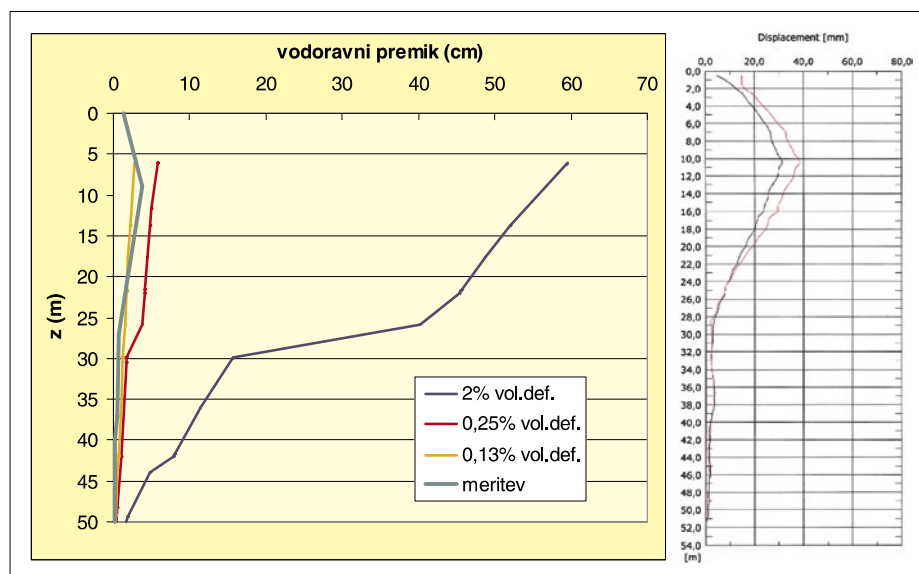
Za pilote s krili HEA smo po drugi strani predvidevali, da lahko povzročajo pomembno velike bočne deformacije, torej prav tiste, ki smo se jim hoteli izogniti z opustitvijo konice. Zato smo predvideli ob začetku vgradnje testno polje, kjer smo na delu zaledne konstrukcije,



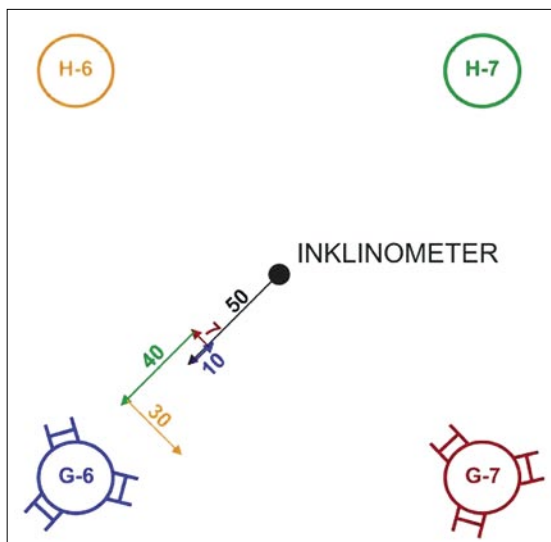
Slika 30 • Računske deformacije tal zaradi vgradnje pilotov v prikazanem območju; obalna konstrukcija v računu ni upoštevana; računske deformacije v prerezu A (zaledna linija obalne konstrukcije) so prikazane na sliki 31 za različne velikosti predpostavljene volumnske deformacije

ki je daleč od obalne konstrukcije, v sredini med štirimi piloti vgradili inklinometer in ga spremljali med vgradnjo sosednjih pilotov. Meritve so presenetljivo pokazale, da je vpliv pilotov s profili HEA celo manjši od vpliva zabijanja votlih pilotov (slika 32). Zabijanje večjega števila pilotov vzhodno od testnega polja (pred zabijanjem prikazanih 4 pilotov okoli inklinometra) je povzročilo skupno 50 mm premika v smeri jugozahoda. Sledilo je zabijanje pilotov s profili HEA, ki sta postavljena

južno od inklinometra. Njun vpliv na inklinometer je bil 7 oziroma 10 mm v pričakovani smeri (SZ oziroma SV). Zabijanje severnih dveh pilotov brez profilov HEA pa je povzročilo večje pomike – 30 in 40 mm, smer pa je bila pričakovana – JZ oziroma JV. Delno lahko pojasnimo nepričakovano manjši vpliv pilotov s krili s tem, da je inklinometer lociran na vrhu brežine in je tendenca premikov po padnici proti morju, torej proti jugu, pilota s profili HEA pa sta odpravila inklinometer proti severu. Na



Slika 31 • Računske vodoravne deformacije tal v prerezu A (glej sliko 30) zaradi vgradnje pilotov za zaledno konstrukcijo obale veza 7b pri različnih predpostavljenih vrednostih volumnske deformacije; zelena črta prikazuje meritev v inklinometru, ki je bil pred zabijanjem vgrajen v pilot prve linije zaledne konstrukcije; izvirknik te meritve prikazuje desna slika (Meritve in interpretacija: Terras, s. p.)



Slika 32 • Shema meritev vpliva vgradnje pilotov z in brez profilov HEA na vodoravne premike tal ter rezultati teh meritev (levo); začetni pomik, 50 mm (črna puščica), je posledica vgradnje bolj oddaljenih pilotov, pretežno vzhodno od inklinometra, nadaljnji premiki inklinometra so označeni z vektorji, ki se barvno ujemajo z ustreznimi piloti, ki so pomike povzročili (Meritve in interpretacija: Terras, s. p.); desno je fotografija pilota s konico in s profili HEA

vsak način pa rezultat tega preskusa pove, da krila ne povečajo pomembno večjega vodoravnega vpliva v primerjavi z navadno votlo cevjo.

Dejanski skupni vplivi na premike obalne konstrukcije so bili majhni. Izmerjeni vodoravni pomik obalne konstrukcije je znašal približno 1 cm, za skoraj 3 cm pa se je ob dilataciji premaknil tisti del obale, na katerega je naslonjen dostopni most. Velika stisljivost tal in prva linija pilotov za obalo, ki je bila prva vgrajena, in to do flišne podlage, sta torej ublažila vplive vgradnje pilotov. Na mestu, kjer se je deformacija tal prenašala na obalo preko

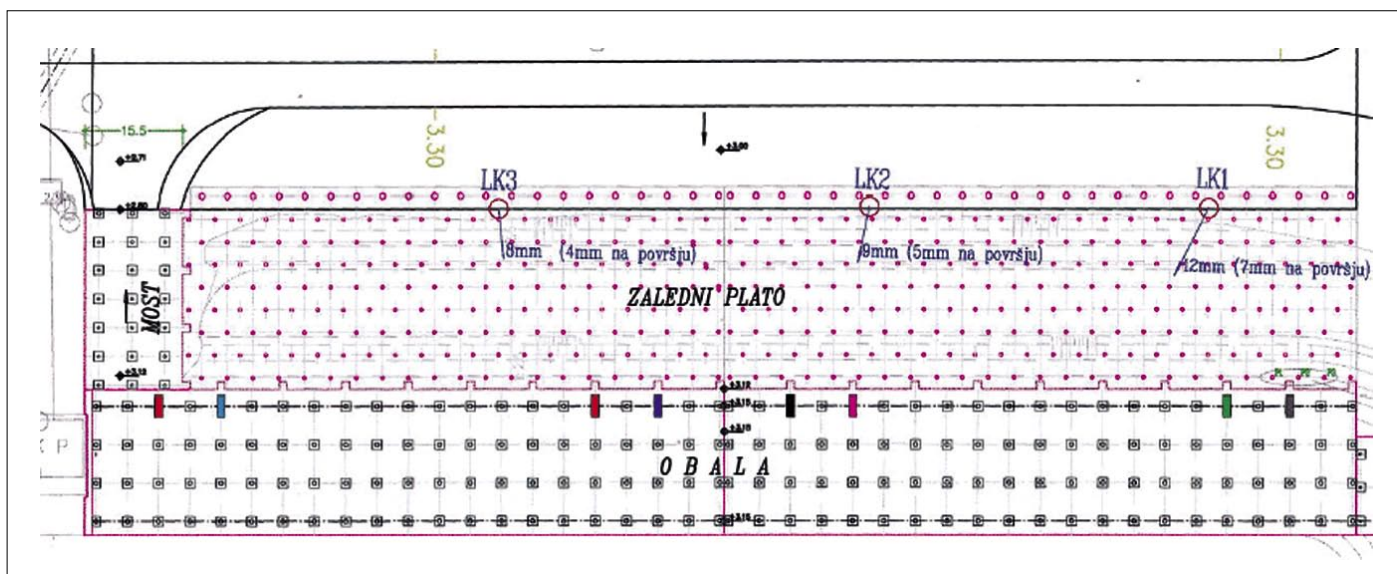
pilotov in toge konstrukcije dostopnega mostu, so bili vplivi večji.

Po vgrajenem večjem številu pilotov brez konice so izvajalci z večletnimi izkušnjami pri zabijanju pilotov v Luki Koper izpostavili nekatere pomembne operativne prednosti pred piloti z zaprto konico:

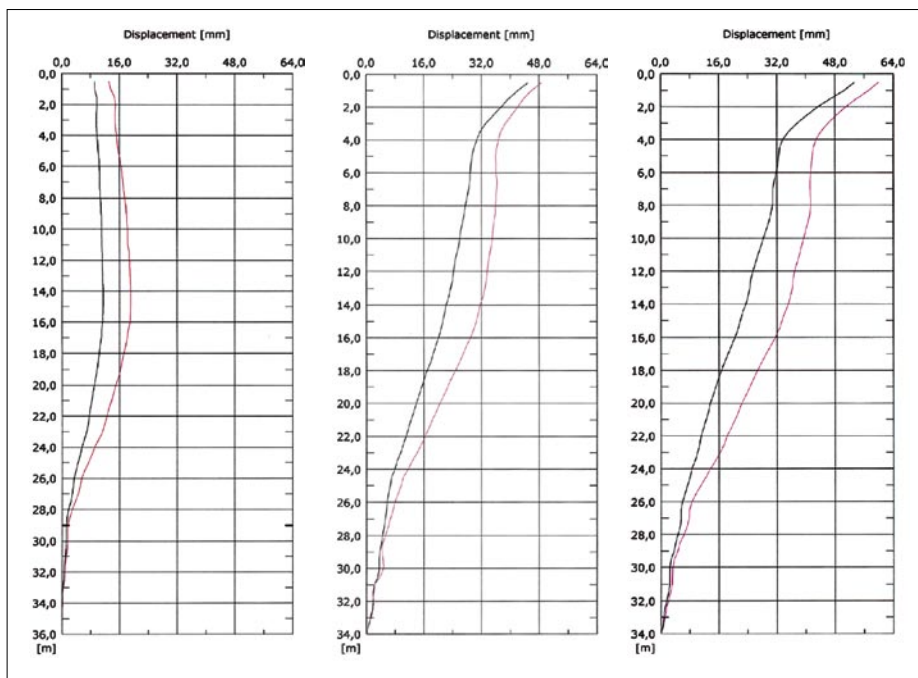
- hitrejša priprava pilota, saj odpadeta priprava in varjenje konic (to ne velja za pilote s profili HEA),
- hitrejša zabijanje,
- geometrijsko natančnejša izvedba, saj konica v mehkih tleh lahko na oviri spremeni smer pilota.

#### 4.1.2 Zaledje veza 11

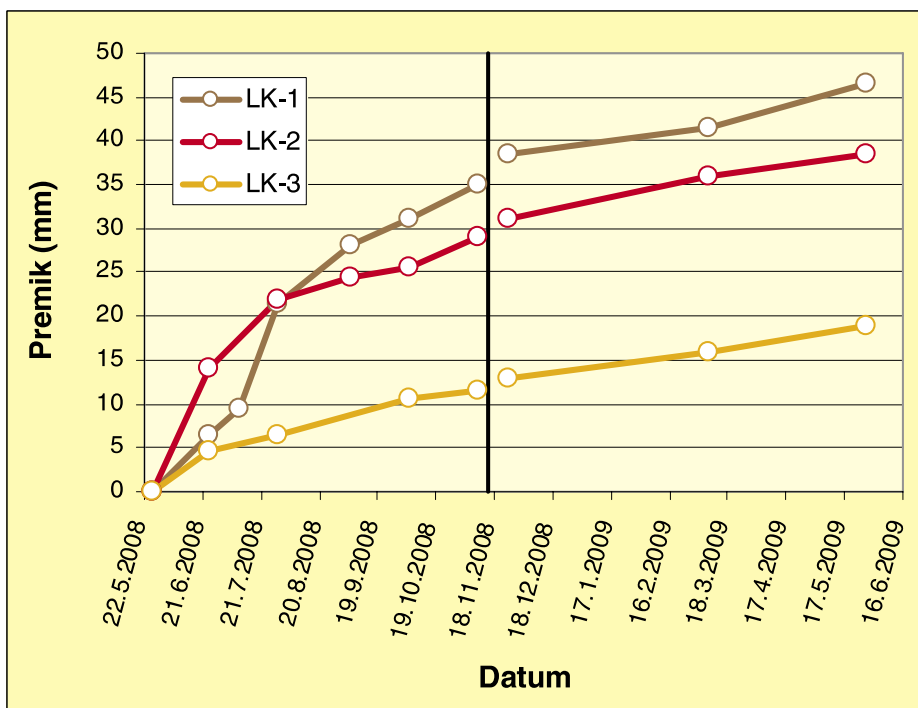
Prva tovrstna gradnja (prekritje lagune za obalno konstrukcijo) je bila zaledje veza 11. Tu so bili uporabljeni piloti premera 508 mm s kovinsko membrano (podrobnejši opis najdemo v (Štrniša, 2009)). Tudi na tej konstrukciji smo v zaledju spremljali vodoravne premike v treh inklinometrih, in sicer med zabijanjem pilotov ter po tem. Tu so bili inklinometri vgrajeni na zaledni strani in ne pri obalni konstrukciji kot za vezom 7b (slika 33, ki prikazuje tudi merjene vektorje premikov), rezultati meritev pa so prikazani še na sliki 34. S slike 35 lahko



Slika 33 • Situacija veza 11 z lokacijami inklinometrov LK3, LK2 in LK1 ter vektorji izmerjenih premikov (Meritve in interpretacija Terras, s. p.)



Slika 34 • Meritve v inklinometrih LK3, LK2 in LK1 v zaledju veza 11; prikazani so v navedenem vrstnem redu od leve proti desni; ker je gradnja potekala od LK3 proti LK1, inklinometri pa so bili vgrajeni in merjeni sočasno, je v LK3 nekaj premikov zamujenih; črna linija kaže premike med gradnjo, rdeča pa 6 mesecev po izgradnji (Meritve in interpretacija: Terras, s. p.)



Slika 35 • Časovni diagram največjih izmerjenih premikov v posameznih inklinometrih; po koncu gradnje (november 2008) imajo vsi pomiki zelo podoben trend; med gradnjo je hitrost pomikov večja, umiri pa se, ko so piloti v vplivnem območju inklinometra vgrajeni (Meritve: Terras, s. p.)

razberemo spremembe hitrosti premikov v posameznem inklinometru s časom oziroma z napredovanjem del.

Mnogokrat nas meritve, ki jih izvajamo, neka-ko presenetijo. V primeru zaledja veza 11 smo pričakovali, da se bodo premiki v inklinometrih umirili hitreje in bodo premiki manjši. V pogojih, kakršni vladajo v prostoru Luke Koper, takšno obnašanje seveda ni pravo presenečenje. Zanimivo bo opazovati te premike skozi daljše časovno obdobje. Šele to bo pokazalo, ali so bili premiki pretežno posledica gradnje zaledja veza 11 ali posledica obremenitev zaledja, morda še vedno počasne konsolidacije (lezenja) celotnega pomola II v prvi bazen. Inklinometri so vgrajeni na tak način, da jih bomo lahko opazovali še daljši čas.

## 4.2 Uporaba geosintetikov

### 4.2.1 Okrepitev podlage na odlagališču premoga

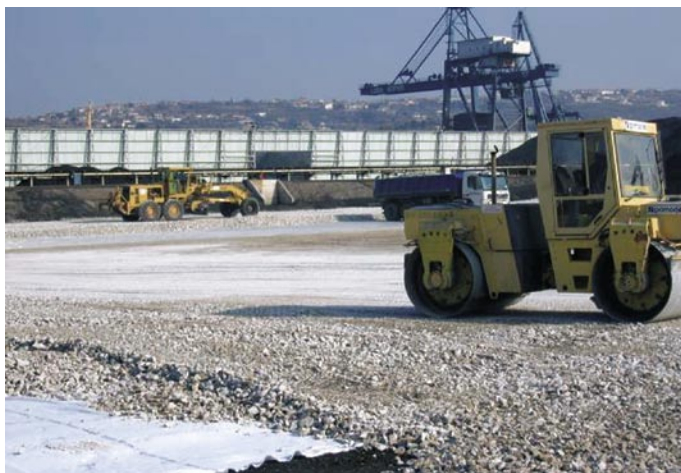
Utrjeno umetno nasutje pod odlagališčem premoga je izpostavljeno izjemnim obremenitvam, nihanjem obremenitev ter delovanju težke mehanizacije. Večje neravnine tega platoja za skladiščenje in pretovor premoga onemogočajo optimalno uporabo površine. Na delu odlagališča premoga se je Luka odločila preizkusiti pripravo tega platoja z uporabo geosintetikov.

Na očiščeno in poravnano površino sloja dobro zgoščenega nasutja je bil položen ločilno-filtracijski geosintetik, prekrit s 30 cm kamnitega nasutja (0–100 mm), nanj pa je bila položena močnejša armaturna geomreža. Konstrukcija je bila zaključena s 40 cm kamnitega materiala (0–100 mm). Izvedbo tega platoja prikazuje slika 36.

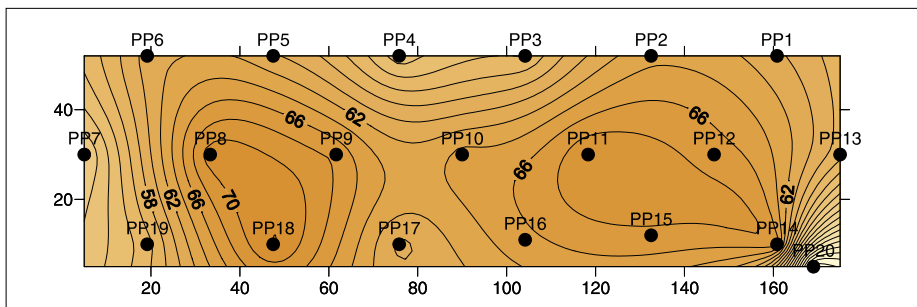
Po zagotovilih uporabnikov tako pripravljene površine se ta obnaša odlično.

### 4.2.2 Predobremenitev zaledja podaljška veza 11

Pozitivna izkušnja iz odlagališča premoga je bila v nekoliko drugačni obliki prenesena tudi v pripravo zaledne površine načrtovanega podaljška veza 11. Podaljšanje veza 11 s pripadajočo zaledno površino proti vzhodu bo služilo za pretovor in začasno skladiščenje težjih tovorov, zato je zahtevano, da tako obala kot zaledje varno in brez prekomernih deformacij obratujeta do obremenitev 80 kN/m<sup>2</sup>. Pripravljalna dela za ta projekt so bila izvedena v letih 2007 in 2008 z vgradnjo vertikalnih drenažnih trakov širine 10 cm v kvadratnem rastru s stranico 1,0 m.



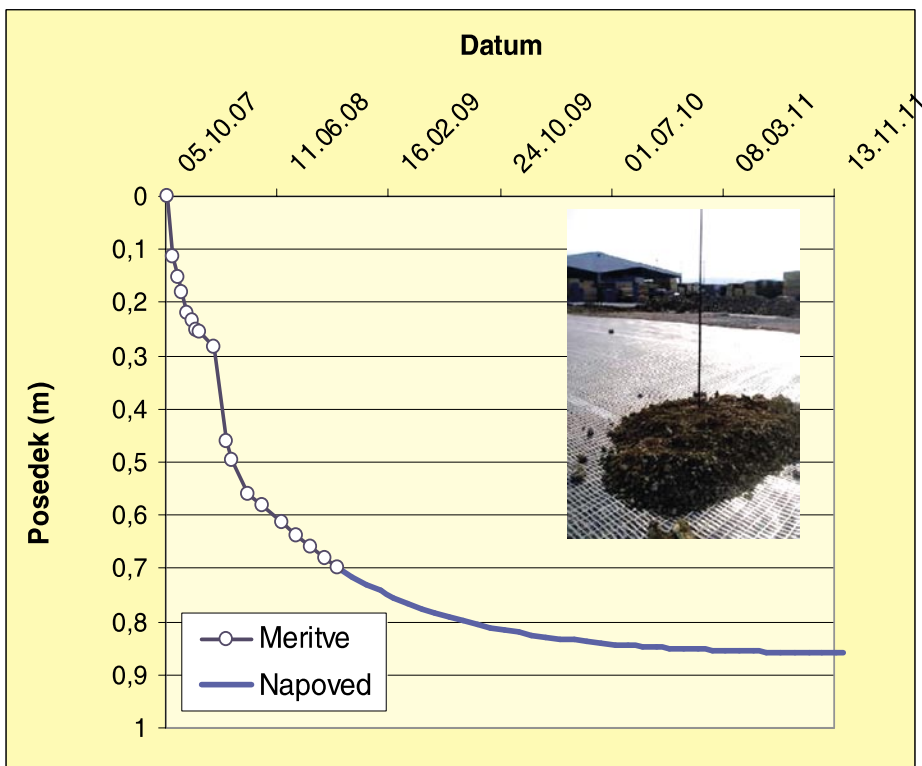
Slika 36 • Izgradnja zgornjega ustroja površine za skladiščenje in pretovor premoga z dvema slojema geosintetičnih materialov (fotografiji: Roberto Levanič, Luka Koper)



Slika 37 • Izolinije merjenih posedkov na predobremenjenem delu zaledja podaljška 11. veza od oktobra 2007 do oktobra 2008 (Meritve: Primorje, d. d.)

Predobremenitev tlorisne razsežnosti 180 x 60 m je bila izdelana v dveh korakih višine po 2 m. Pod predobremenilni nasip je bila položena močnejša armaturna geomreža. Ta se bo posedla skupaj s predobremenilnim nasipom in bo po odstranitvi predobremenitve sodelovala z zgornjim ustrojem pri prevzemu predvidenih obtežb.

Po enem letu od začetka obremenjevanja znaša posedek, izmerjen na posedalnih ploščah, od 50 do 70 cm (slika 37). Analiza posedanja na eni od posedalnih plošč (slika 38) pokaže, da se bo posedanje predvidoma nadaljevalo do blizu 90 cm.



Slika 38 • Časovni potek posedkov na predobremenilnem nasipu: meritve in nato napoved na podlagi meritev (Meritve: Primorje, d. d., fotografija: L. Battelino)

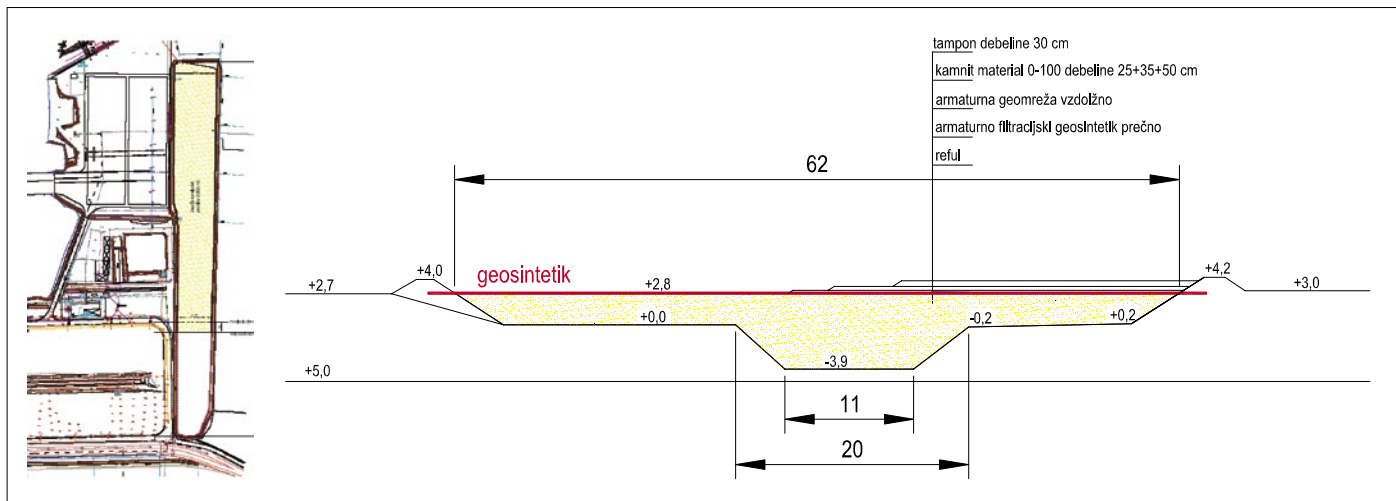
#### 4.2.3 Prekritje kanala 8-8

Nekdanji kanal 8-8 je bil pred leti uporabljen kot kasetna za deponiranje izkopanega materiala pri poglobljanju morskega dna (refula). Potrebe po površinah za skladiščenje avtomobilov so zahtevale ustrezno pripravo te površine v času, ko površina še ni bila pohodna.

Zaradi velike deformabilnosti podlage smo pripravili predlog za zasutje te površine s ca. 1,1 m debelim slojem kamnitega materiala ter 20 cm tampona tako, da smo neposredno na reful položili filtracijski geosintetik, pravokotno nanj pa še armaturno geomrežo. Nasipavanje kamnitega materiala je moralo potekati postopno v majhnih debelinah slojev, da bi se izognili pretiranemu izrivljanju refula.

#### 4.2.4 Kaseti na čelih pomola I in II

Odlaganje materiala, pridobljenega pri poglobljanju morskega dna v plovnih poteh, zahteva predhodno pripravo ustreznega prostora – kaset. Tradicionalno so se obodni nasipi kaset gradili iz malo prepustnega flišnega materiala.



Slika 39 • Situacija (levo) in prečni prerez (desno) kanala 8-8 s shematskim prikazom postopka prekrivanja refula



Slika 40 • Prekrivanje kanala 8-8 med izvedbo



Slika 41 • Lokaciji kaset na čelih pomola I in II (levo) ter s filtracijskim geosintetikom obložena notranja brežina obodnega nasipa kasete na čelu pomola II (desno)



Slika 42 • Armirana (levo) in s kamnom v betonu obložena (desno) brežina nasipa ceste

Pri gradnjah dveh kaset v morju (ena manjša in poskusna v sklopu gradnje zaledja veza 7c na I. pomolu, druga večja na čelu pomola II) pa smo za obodne nasipe uporabili prepusten kamnit material, ki smo ga pred polnjenjem kasete s hidravlično transportiranim muljem obložili s filtracijskim geosintetikom. Ta je preprečeval, da bi mulj odtekal nazaj v morje, hkrati pa skupaj s kamnitim obodnim nasipom zagotavljal hitro odtekanje odvečne vode med polnjenjem kasete in kasneje razmeroma hitro konsolidacijo in osuševanje v kaseto odloženega mulja.

#### 4.2.5 Armiran cestni nasip

Dragocenost prostora v sicer obsežnem področju Luke Koper kaže tudi slika 42 (levo), kjer vidimo, kako je priključna cesta na novo cestno povezavo do novega glavnega vhoda v Luko stisnjena prav do carinske ograje in grajena v strmem naklonu s pomočjo armaturnega geosintetika. Na drugi (vidni)

strani istega nasipa je stabilen strm nagib brežine zagotovljen s kamnito oblogo v betonu. Prednost armirane brežine je nižja cena in podajnost v pogojih mehkih tal, a je v primorskem podnebju nemogoče pričakovati uspešno ozelenitev take brežine.

Močnejši armaturni geosintetik je bil uporabljen tudi na delu cestnega nasipa, kjer ta preide z obstoječega platoja Luke na koti ca. + 2,5 m in se naslanja neposredno na mehka tla koprške Bonifike (slika 43)

Vse projektne rešitve, ki so vključevale armaturne geosintetike, so bile stabilnostno preverjene s sodobnimi programskimi orodji in ob upoštevanju ustreznih delnih faktorjev glede na vrsto, uporabo, trajnost in namen geosintetika.

#### 4.3 Ko so potrebe večje in hitrejše, kot se narava lahko varno odzove

Redko katere stroka tako neposredno občuti veljavnost reka »čas je denar« kot prav

geotehnična. Luka Koper je znala dolgoročno načrtovati svoj razvoj in s tem skrajno racionalno graditi raznovrstne objekte na zelo zahtevnih mehkih tleh. Postopno dvigovanje nekoč morskega dna na koto 2 do 3 m nad morjem z refuliranjem in nasipavanjem je omogočilo izgradnjo obeh pomolov. S primernimi predobrenitvami tako pripravljenih tal so plitvo temeljene vse skladiščne hale, večina rezervoarjev in mnogi drugi objekti. Odlagališče premoga in železove rude postopno povečuje svoje kapacitete ne le s širitvijo proti zahodu II. pomola, kot se je le-ta širil na račun morskih površin, temveč tudi zato, ker postopno poteka konsolidacija tal, kar omogoča povečevanje obremenitev tal na vsakih nekaj let. Uporaba skladiščnih in drugih površin ter objektov Luke v danih pogojih je seveda povezana s posedanjem tal. Redno vzdrževanje transportnih poti, objektov in naprav kljub temu lahko zagotavlja njihovo nemoteno obratovanje (slika 44).



Slika 43 • Armiranje vznožja nasipa, kjer je ta grajen neposredno na mehka tla koprške Bonifike ob obstoječem platoju Luke



Slika 44 • Posedanje tal ob globoko temeljenih objektih zahteva redno vzdrževanje transportnih poti



Slika 45 • Terminal za rastlinska olja (na fotografiji spodaj levo) in trije novi rezervoarji za sprejem naftnih derivatov (fotografija: Luka Koper)



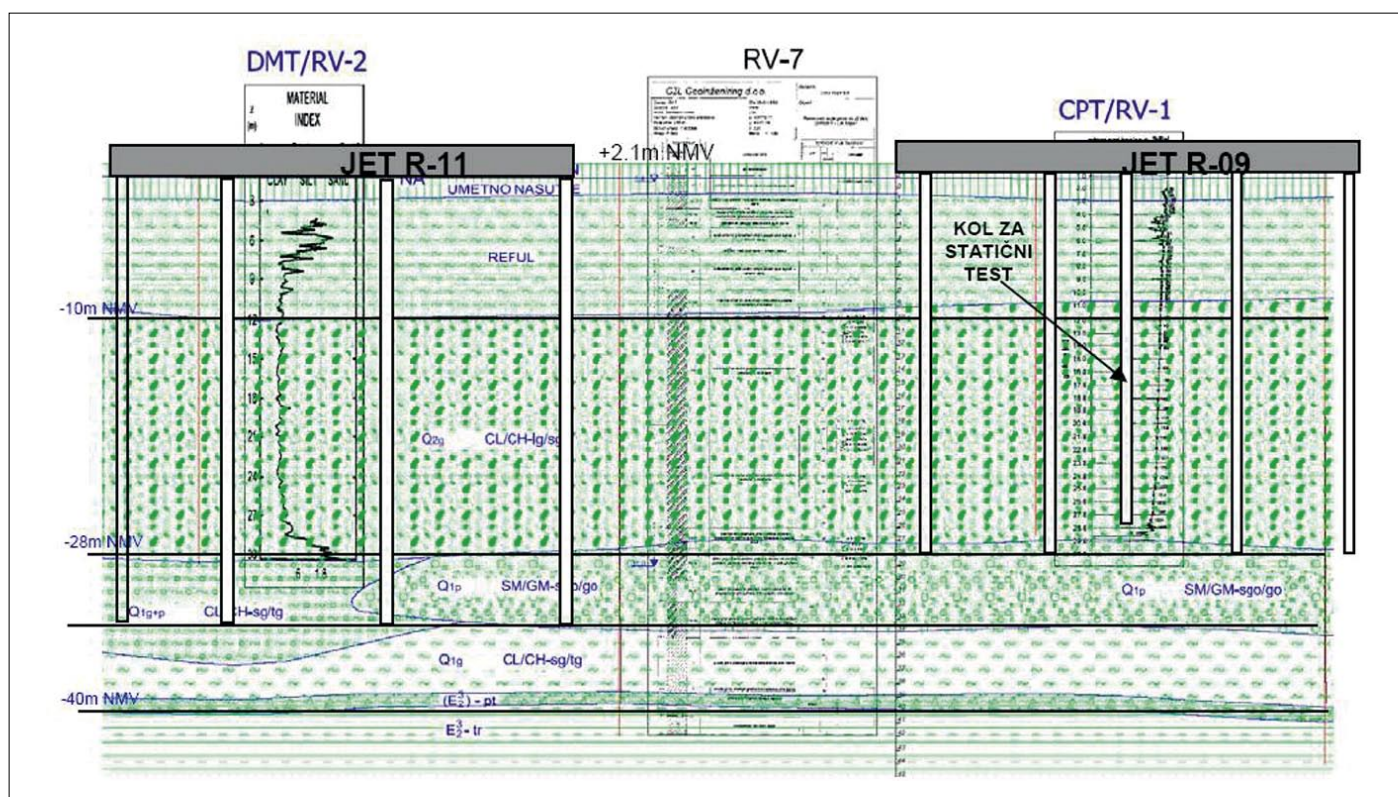
Slika 46 • Temeljna plošča rezervoarja R-09 med gradnjo; v ozadju rezervoarji za rastlinska olja (fotografija: Gorazd Sirmiša)

Ne le gradnja, temveč tudi uporaba objektov in naprav lahko prekorači predvidene obremenitve in s tem povzroči čezmerne premike tal in bližnjih objektov. Posebej izpostavljene so površine za odlaganje sipkih tovorov, kot na primer odlagališče premoga in drugih rud. Ko ladja pripelje tovrsten tovor, ga je treba razložiti. In če je za to treba prekoračiti predpisano največjo dovoljeno obremenitev tal, lahko pride do porušitve tal. Enega teh dogodkov opisuje Sovinc (Sovinc, 1998).

### 4.3.1 Terminal za naftne derivate

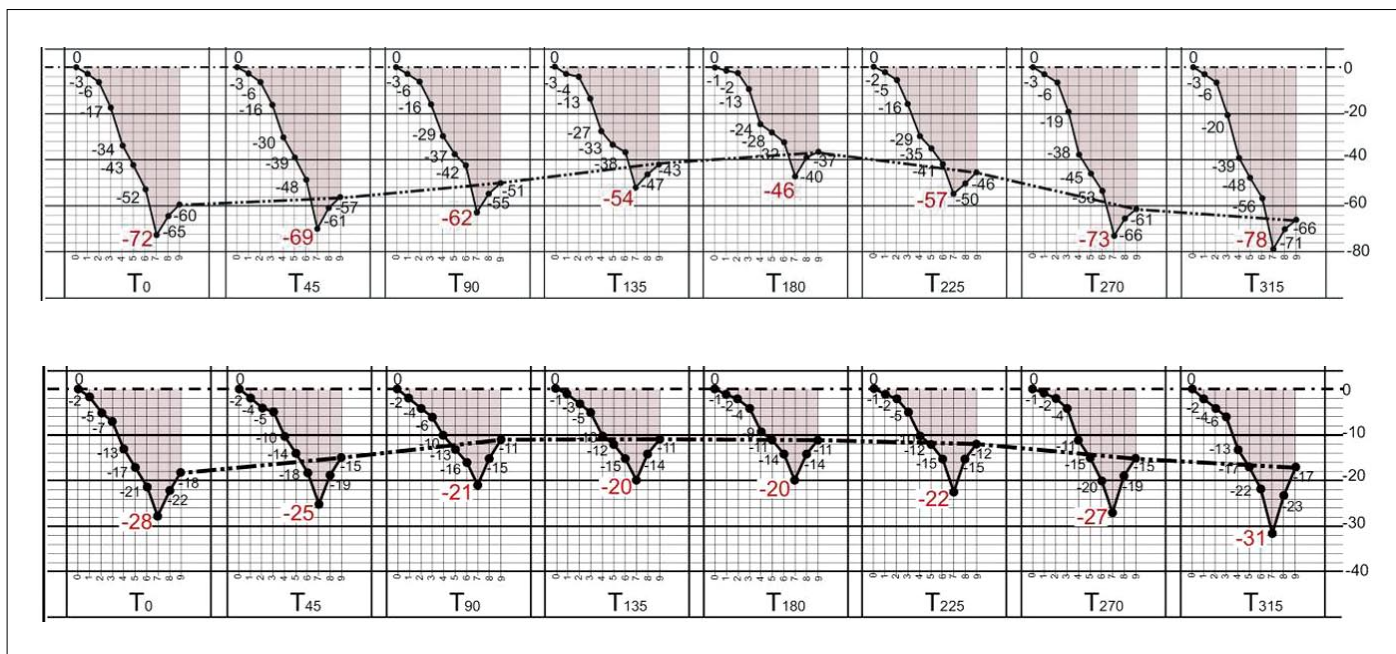
Da redno vzdrževanje lahko »prikrije« tudi učinke skoraj 1 m velikih posedkov, kaže primer rezervoarjev za rastlinska olja na II. pomolu. Ob načrtovanju rezervoarjev premera 48,7 m za sprejem naftnih derivatov v neposredni bližini smo sprva preučevali možnost izboljšanja tal in predobremenitve tal, podobno kot so bili grajeni sicer mnogo manjši rezervoarji za rastlinska olja. Zanje so bila tla ojačana z gruščnatimi koli dolžine 12 m v ovoju iz geotekstila, nato pa predobremenjena (Sovinc, 1991). Pod pred-

obremenitvijo so se tla posedla za 80 cm. Rezervoarje je Luka uporabljala brez vsakršnih težav. Šele na vztrajanje projektanta novih rezervoarjev, da se vendarle izmerijo posedki obstoječih rezervoarjev, se je pokazalo, da so se ti v celotni dobi obratovanja (ca. 20 let) posedli še za nadaljnjih 90 cm, pri tem pa tudi diferenčno do 15 cm na posameznem rezervoarju. Sklenemo lahko, da tudi tako veliki posedki za nekatere objekte ne predstavljajo omejitve njihove uporabnosti ob ustreznem vzdrževanju.



Slika 47 • Prez tal v območju rezervoarjev za naftne derivate ter shematski prikaz vgrajenih pilotov. (iz poročila SLP, d. o. o.)





Slika 48 • Merjeno posedanje rezervoarjev med hidrotestim; posedek rezervoarja R-09 je znašal med 46 in 78 mm (zgoraj), posedek rezervoarja R-11 pa med 20 in 31 mm (spodaj) (Meritve: Mekote za Nafta strojna, d. o. o.)

Z razvojem projekta rezervoarjev za naftne derivate so se ti povečali s prvotno predvidenih 8500 m<sup>3</sup> na 20.000 m<sup>3</sup>. Zaradi večjih dimenzij in obtežb rezervoarjev kakor tudi zaradi potrebe po hitri izgradnji treh od skupno šestih načrtovanih rezervoarjev je bila sprejeta odločitev o globokem temeljenju teh objektov, in sicer na plošči, podprti s skupino 113 zabitih jeklenih pilotov premera 813 mm in dolžine od 30 do 31 m za vzhodna rezervoarja (R-08 in R-09) ter 36 m za rezervoar R-11. Razlog za različno dolžino je v tem, da se na tej lokaciji prodni vršaj Rižane zaključni in proti zahodu (pod rezervoarjem R-11) prevladujejo

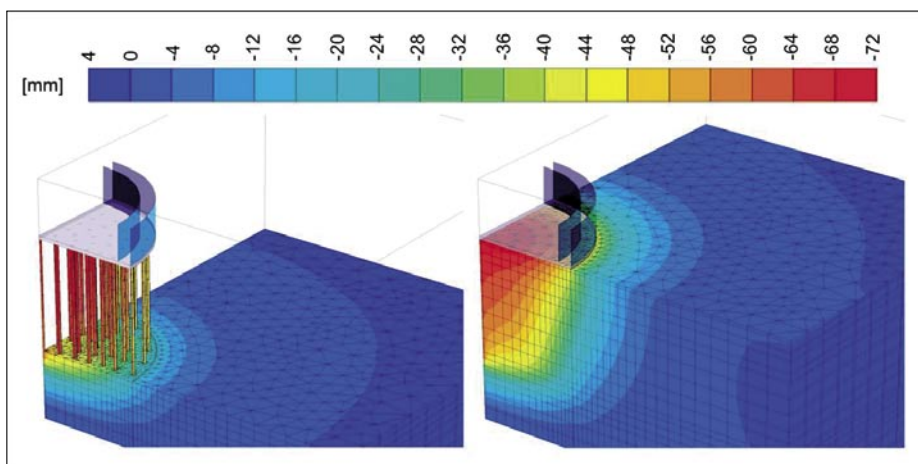
manj nosilni peščeni sedimenti (slika 47). Na isti sliki je tudi pokazano, da tako vgrajeni piloti pod rezervoarjema R-08 in R-09 sežejo le minimalno v prodni sloj in delujejo zlasti v smislu zagotavljanja dovolj majhnih in predvsem enakomernih posedkov rezervoarja. Za rezervoar R-11 so bili uporabljeni nekoliko daljši piloti (36 m). Če bi vztrajali na pilotih dolžine 31 m, bi se tisti na vzhodnem delu tega objekta naslonili na manj deformabilni prodni sloj, na zahodnem delu pa na bolj deformabilni peščeni sloj. S prebitjem najgostejšega proda smo dosegli za vse pilote podobne razmere in s tem zagotovili

enakomerno obnašanje rezervoarja. Daljši piloti so zagotovili tudi manjše posedke, ki so bili merjeni med hidrostatskim testom (slika 48). Večino posedka predstavlja nepovratna deformacija.

Posedki v velikosti 4 do 7 cm so bili računsko napovedani na podlagi 3D-analize po MKE za nedreniran odziv (slika 49). Po daljšem obdobju uporabe in več ciklih obremenitve in razbremenitve bodo posedki približno še enkrat večji.

#### 4.3.2 Cestna navezava na novi vhod

Trenutna lokacija glavnega vhoda v Luko prometno močno obremenjuje mesto Koper. Nedavno dokončan in še načrtovan razvoj cestnega omrežja z avtocesto Klanec–Srmin ter ankaransko in bertoško vpadnico vključuje tudi navezavo na Luko Koper z vzhodne strani, in sicer neposredno ob novozgrajeni centralni čistilni napravi (CČN). Ta pomembna prometna pridobitev poteka med novimi objekti CČN in obstoječim naftovodom. Naftovod poteka ca. 4 m nad terenom in je podprt z ravninskimi paličnimi podporami, ki so plitvo temeljene na mehka tla koprške bonifike (slika 50), hkrati pa je to glavna prometna žila za preskrbo Slovenije z naftnimi derivati. Gradnja ceste vključuje tudi premostitev železnice z nadvozom, zato je nasip na najvišjem mestu visok preko 8 m, če vzamemo za dno nasipa koto raščeni mehkih tal ob naftovodu. Večji del nasipa se vendarle



Slika 49 • Računsko je bilo temeljenje rezervoarjev za naftne derivate preverjeno s 3D-analizami po MKE (Plaxis 3D Foundation); prikazan je rezultat nedrenirane analize med polnjenjem rezervoarja, pri čemer je napolnjen le notranji rezervoar, lovilna posoda pa prazna



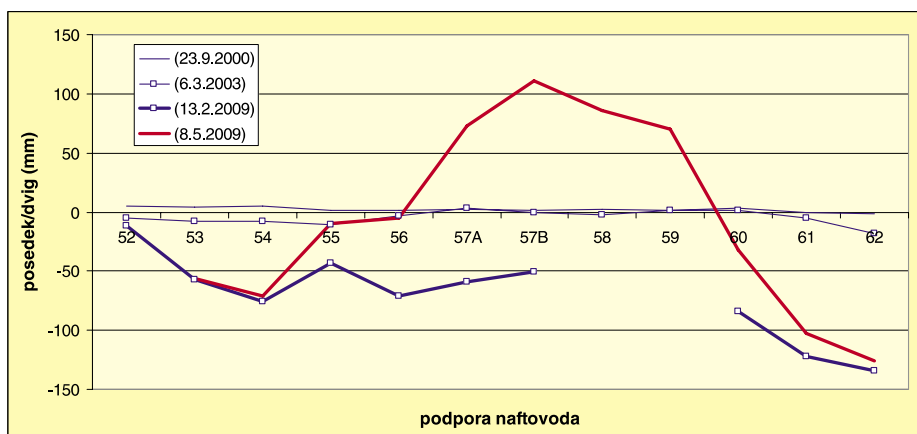
Slika 50 • Nasip cestne navezave Luke na novi vhod je le nekaj metrov oddaljen od glavnega objekta CČN (levo) in od pomembnega in šibko podprtega naftovoda (desno)

gradi iz platoja Luke, ki je na koti + 2,5 m. Taka gradnja je mogoča le ob izboljšanju temeljnih tal. Po izkušnjah iz gradnje bertoške vpadnice in povezovalne ceste je bila izbrana izboljšava tal z gruščnatimi koli, ki so bili projektirani glede na kriterije pospeševanja konsolidacije, zagotavljanja globalne stabilnosti, preverjen pa je bil tudi njihov vpliv na posedke (Pulko, 2006).

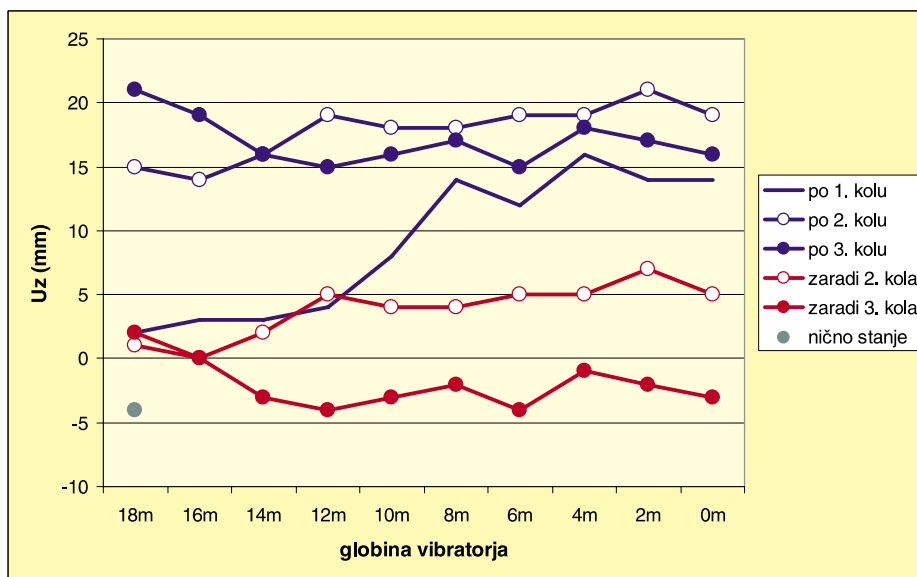
Zaradi zapletov z razpisi sta bila Centralna čistilna naprava in nadvoz luške ceste izvedena prej kot izboljšanje tal in zemeljska dela. Ob pričetku vgradnje gruščnatih kolov je zato prihajalo do vplivov tako na krajne opornike nadvoza kakor na temelje naftovoda. Vplivi vgradnje gruščnatih kolov na objekte CČN, kljub izraženim dvomom, z meritvami niso bili potrjeni, a jih tudi ni mogoče v celoti izključiti.

Predvsem izvedba gruščnatih kolov ob naftovodu je bila zahtevna, saj je bil naftovod ves čas v obratovanju. Vgradnja gruščnatih kolov, ki je sprva potekala z dvema strojema, v dveh delovnih izmenah, je hitro povzročila dvig naftovoda za preko 15 cm (slika 51). Takoj je bilo sklenjeno, da se dela nadaljujejo le z enim strojem v eni izmeni. Poleg tega smo predpisali vrstni red izvedbe del ter omejili zračni tlak in frekvenco vibracij. Tiste kole, ki so bili najbližje občutljivim objektom, smo izvajali kot drenaže (brez vibracij).

Pred nadaljevanjem vgradnje večine gruščnatih kolov v neposredni bližini naftovoda smo kontrolirano izvedli skupino treh gruščnatih kolov in merili vplive na premike podpor naftovoda (slika 52). Vpliv smo izmerili na vsaka 2 m izdelanega gruščnatega kola. Rezultati pokažejo, da ima največji vpliv prvi izvedeni kol in da se ta pojavi v globini med 12 in 8 m. Nekaj malega k dvigu doda drugi kol, ki je oddaljen 1,8 m, tretji pa že zasuhe



Slika 51 • Višinski odmiki naftovoda od njegove idealne lege v različnih obdobjih od leta 2000 do 2009; pred pričetkom gradnje ceste (februarja 2009) je bil naftovod znatno pod svojo idealno lego (širša modra črta); hitra vgradnja gruščnatih kolov v začetku njihovega izvajanja (aprila 2009) je imela pomemben vpliv na dvig naftovoda (rdeča črta) (Podatki: Instalacija, d. o. o.)



Slika 52 • Rezultati meritev vpliva vgradnje treh gruščnatih kolov na najbližjo točko podpore naftovoda; meritve so se izvajale na vsaka 2 m višine izdelanega gruščnatega kola (Meritve izvaja SCT, d. o. o.)

trend pomikov navzdol. Vpliv posameznega gruščnatga kola torej ni velik, prav tako ne skupine treh kolov. Tako smo v nadaljevanju gruščnate kole izvajali v medsebojno oddaljenih skupinah po tri.

Da bi kompenzirali v začetku povzročene dvige naftovoda, smo tla pod njim obremenili z do 1 m visokim nasutjem, ki je imelo pri nadaljnji gradnji manjšo vlogo bočnega nasipa in bo ostalo na svojem mestu, saj lajša dostop do naftovoda in s tem njegovo vzdrževanje. Ob trajnih podporah naftovoda smo namestili pomožne podpore iz gradbenih odrov, ki bi jih aktivirali med morebitnim čezmernim

posedanjem, ki je tudi sledilo med obremenjevanjem tal s cestnim nasipom.

Kasnejša gradnja nasipa je ob že opisanih ukrepih vrnila naftovod skorajda na svojo izhodiščno lego. Zaradi nadaljnjega posedanja tal pod nasipom se bo naftovod še nekoliko posedal. Na idealni legi se bo začasno vzdrževal s pomočjo začasnih podpor iz gradbenih odrov, po nekaj mesecih pa bo izvedena korekcija višin trajnih podpor, kot vzdrževalci tega objekta to opravljajo v okviru rednega vzdrževanja naftovoda.

Vpliv nasipa na naftovod opazujemo tudi z inklinometrom, podobno tudi vpliv na objekt

CČN. Izmerjeni največji vodoravni premiki so relativno majhni. Pri objektu CČN, kjer je izmerjen posedek 15 cm, je največji vodoravni premik 4 cm lokalno na globini 7 m. Ob naftovodu, kjer je izmerjen posedek 33 cm, pa je največji vodoravni premik manj kot 3 cm na globini 17 m.

Nekaterim medsebojnim vplivom novih in obstoječih gradenj se težko izognemo. Kot predstavnik stroke pa težko razumem, da si pred takim posegom, kot je izboljšava tal z gruščnatimi koli, v neposredno bližino postavimo še dodatne »ovire«.

## 5 • SKLEP

V članku so prikazani izbrani rezultati raziskav tal s prostora Luke Koper s poudarkom na novejših raziskavah, ki smo jih v Sloveniji vpeljali

v zadnjih letih. Prikazana je generalna sestava tal tega prostora, interpretirana na podlagi preko 560 vrtn. V drugem delu pa članek predstavlja

nekaj zanimivih gradenj zadnjih let. Izbrani so primeri, ki dokumentirano prikazujejo pridobljene izkušnje, uporabo novih materialov, predvsem pa medsebojne vplive novih in obstoječih konstrukcij v pogojih mehkih tal. Prispevek je nastal na povabilo Slovenskega geotehniškega društva ob 10. Šukljetovih dneh.

## 6 • LITERATURA

- Battelino, L., Luka Koper – nekoč in danes, Vpliv geotehnike na razvoj obalnih konstrukcij, Zbornik 10. Šukljetovih dni, 25. 9. 2009, Brdo pri Kranju, 2009.
- Kuder, S., Axial compression behaviour of driven piles in soft marine soils of the port of Koper, 18th European Young Geotechnical Engineers' Conference, XVIII EYGEC, Portonovo, Ancona, June 17–20, 2007.
- Kuder, S., Logar, J., Numerični model za analizo obnašanja tlačno obremenjenih, vtisnjenih jeklenih pilotov v Luki Koper, Gradbeni vestnik, letnik 57, št. 8, 2008.
- Logar, J., Kuder, S., Robas, A., Battelino, L., Strniša, G., Flat dilatometer in Port of Koper and observed ground behaviour, 14th ECSMGE, Madrid, Spain, 24–27 September 2007, Rotterdam, Millpress Science Publishers, vol. 5, 609–613, cop. 2007–2008.
- Powell, J. J. M., Lunne, T., Frank, R., Semi-Empirical Design Procedures for axial pile capacity in clays, Proc. XV ICSMGE, Istanbul, Vol. 1, 991–994, 2001.
- Pulko, B., Majes, B., Analytical Method for the Analysis of Stone-Columns According to the Rowe Dilatancy Theory, Acta geotech. Slov., let. 3, št. 1, 36–45, 2006.
- Robas, A., Logar, J., Prve izkušnje s seizmičnim dilatometrom v Sloveniji, Razprave petega posvetovanja slovenskih geoteknikov, Nova Gorica, 12. do 14. junij 2008. Ljubljana, Slovensko geotehniško društvo, 2008.
- Sovinc, I., Ocenitev začetnih usedkov morskih glinastih sedimentov, Razprave prvega posvetovanja slovenskih geoteknikov, Bled 93, Bled, 22. in 23. september 1993, Slovensko geotehnično društvo, knj. 1, 41–48, cop. 1993–1994.
- Sovinc, I., Istražni radovi pri izgradnji luka, Geotehnika prometnih građevina, znanstvenostručno savjetovanje, Novigrad, 5.–8. november 1994, saopćenja, Zagreb, Institut građevinarstva Hrvatske, 47–54, 1994.
- Sovinc, I., Likar, J., Vogrinčič, G., Žigman, F., Loading tests on closed and open ended pure piles, Proceedings of the eleventh international conference on soil mechanics and foundation engineering, San Francisco, 12.–16. avgust 1985, Rotterdam; Boston, A. A. Balkema, 1475–1478, 1985.
- Sovinc, I., Vogrinčič, G., Geotechnical properties of marine sediments from Koper Bay, Proceedings of 13th ICSMFE, Vol. 1. New Delhi, Oxford & IBH, 263–266, 1994.
- Strniša, G., Statični in dinamični testi na pilotih v Luki Koper, Zbornik 10. Šukljetovih dni, 25. 9. 2009, Brdo pri Kranju, 2009.
- Vogrinčič, G., Analiza prenosa obtežbe v tla po kolu, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, 1992.
- Vogrinčič, G., Stabilnost podmorskega odkopa, Razprave prvega posvetovanja slovenskih geoteknikov, Bled 93, Bled, 22. in 23. september 1993, Slovensko geotehnično društvo, knj. 1, 93–100, 1993–1994.
- Vogrinčič, G., Strniša, G., Results of static and dynamic loading tests on driven steel-pipe piles, Geotechnical hazards, proceedings of the XIth Danube-European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Poreč, Croatia, 25–29 May 1998, Rotterdam, Brookfield, Balkema, 657–662, 1998.