

NAPOVEDANO IN OPAZOVANO POSEDANJE JUŽNE LJUBLJANSKE OBVOZNICE

POVZETEK: Južna ljubljanska obvoznica poteka v dolžini 4 km po tipično barjanskih tleh, ki so do globine 15 m sestavljena iz zelo vlažnih glinasto-meljastih židkih do lahko gnetnih zemljin, globlje pa iz trdnejših slojev zaglinjenih peskov in prodov ter dalje iz nekoliko kompaktnjših slojev glin, meljev in šot. Za ekonomično najugodnejši način plitvo temeljenega cestnega nasipa s sprejemljivim posedanjem po izgradnji je bilo potrebno uporabiti lažji nasipni material, preobremenitev, ponekod izkopavanje površinskega nenosilnega sloja ter izboljšanje tal z vertikalnimi drenažami in mestoma gruščnatimi slopi, kar je v času gradnje ustrezno pospešilo posedanje. Zaradi nezadostne nosilnosti je nasipavanje potekalo postopno, vršila se je geotehnična kontrola z meritvami posedkov, pornih nadtlakov, horizontalnih deformacij in nedrenirane strižne trdnosti. Pospešena konsolidacija je vodila k posedkom velikostnega reda 2 do 3 m med gradnjo, medtem ko se je v desetletnem obdobju po izgradnji izvršilo 10 do 20 cm posedka.

V napovedih posedanja in njegovega časovnega razvoja ter v izračunih nosilnosti temeljnih tal s stabilnostnimi analizami so bile uporabljene dokaj konvencionalne metode, potrjene z opazovanji na poizkusnih nasipih in podobnih gradnjah v zadnjih 25 letih. V računih primarnega posedanja ter sekundarnega posedanja zaradi lezenja so bili upoštevani moduli stisljivosti E_{oed} kot funkcije napetosti in časa ter koeficienti vodoprepustnosti k kot funkcije poroznosti. V stabilnostnih analizah z upoštevanjem nedreniranega stanja je bilo upoštevano sprotno naraščanje strižne trdnosti zaradi vpliva konsolidacije, v analizah dreniranega stanja so bili upoštevani predvideni oziroma izmerjeni porni nadtlaki.

Uspešen potek gradnje in geotehnično opazovanje, še zlasti dolgotrajno opazovanje posedanja po končani gradnji, dokazujejo ustreznost tehnoloških rešitev tudi glede ekonomskih in okolje varstvenih zahtev, ki se nanašajo na trajanje gradnje, na vrsto in porabo nasipnih materialov in na porabo zemljišč.

FORECAST AND OBSERVED SETTLEMENTS OF THE SOUTHERN PART OF THE LJUBLJANA RING MOTORWAY

SUMMARY: The southern part of the Ljubljana ring motorway crosses typical marshland subsoils in the length of 4 km. They consist of liquid to very soft silty and clayey lake deposits, about 15 meters thick, overlaying stiffer fluvial deposits of clayey and silty gravels and sands with intercalations of intermediate to stiff organic and silty clays and peat. In order to assure the economical solutions for the execution of the road embankment with shallow foundation, its stability and the tolerable post construction settlements, light fill material, preloading, partial excavation of the superficial extremely compressible layer and soil improvement with vertical drains and in some places with gravel columns, leading to accelerated consolidation, were used. Due to low bearing capacity the load was applied gradually and geotechnical control included measurements of vertical and horizontal displacements, of excess pore pressures and of undrained shear strength. The accelerated consolidation led to the settlements of between 2 to 3 meters during the construction time, while in the post-construction period of 10 years, only settlements between 10 to 20 cm, due to creep, occurred.

For the prediction of the settlements and their development and of the bearing capacity by the common stability analyses, rather convenient methods were applied, which were checked by the observations of several test embankments and other similar constructions, realised in the last 25 years. In the calculations of primary and secondary settlements, the oedometeric moduli as stress and time dependent parameters were used as well as the dependence of the permeability on the porosity.

For the design of the embankment by the stability analyses, either the increase of subsoil bearing capacity due to consolidation process ($\varphi = 0$ method), or the forecast and measured excess pore pressures (for the drained conditions), have been taken into account.

The successful construction and the results of the geotechnical observations, especially the long – term settlement observations, demonstrate the efficiency of technology process regarding the construction time and the satisfactory approach to economic and the environmental requirements regarding the use of materials and land savings.

UVOD

V prispevku je obravnavana primerjava med predvidenimi posedkmi, ki so bili upoštevani v projektni dokumentaciji in pri izvedbi cestnega nasipa Južne ljubljanske obvoznice, ter izmerjenimi v obdobju pet let trajajoče gradnje in v obdobju 10 let po izgradnji.

Južna obvoznica, ki poteka od Dolgega mostu do Dolenjske ceste, prečka po vsej svoji dolžini Ljubljansko barje. To je na začetku trase v geotehniškem smislu glede sestave temeljnih tal še netipično barje, dalje pa so v dolžini več kot 4 km tipična barjanska tla, ki so izredno slabo nosilna in zelo stisljiva. Zaradi poplavnega barjanskega področja, prečkanja reke Ljubljanice in na koncu Dolenjske ceste z viaduktom, je njena niveleta z nasipom znatno dvignjena nad okoliški teren. Poleg tega sta zgrajena na slabih tleh priključka Barjanske in Peruzzijske ceste, ki skupaj z Ižansko cesto prečkajo obvoznico. Gradnja cestnega nasipa in vseh objektov je zahtevala dolgotrajne preiskave in študije. Želeli smo v največji možni meri zmanjšati porabo zemljišč, saj se je izkazalo, da je za plitvo temeljenje projektiranega nasipa potrebno zgraditi bočne protiobtežilne nasipe. K ekonomičnejši izgradnji je prispevala tudi izvedba kar se da kratkih viaduktov, kar pomeni čim višje priključne nasipe. Vsi objekti: most preko Ljubljanice, viadukti na deviacijah Barjanske, Ižanske in Peruzzijske ceste in viadukt preko Dolenjske ceste, so temeljeni globoko, na pilotih. Pri tem se pojavi pri prehodih na cestne nasipe problem diferenčnega posedanja. V sami trasi obvoznice smo diferenčno posedanje zmanjšali s primernim izboljšanjem tal, pri visokih priključnih nasipih na deviacijah pa je potrebno diferenčno posedanje kljub temu večkrat sanirati, saj bi bili postopki za odpravo posedanja ob objektih predragi.

Tehnologija gradnje je temeljila na izkušnjah, pridobljenih pri gradnji AC Ljubljana-Vrhnika ter dveh poizkusnih nasipov v sami trasi Južne obvoznice. Osnovna projektna zahteva je bila: največ 25 cm posedka v 20 letih po izgradnji in s tem približanje predpisani »idealni« niveleti vozišča. Potrebno je bilo torej celotno posedanje zaradi obtežbe s cestnim nasipom in prometom izzvati že v času gradnje, saj po izvršenem primarnem posedanju nastopi še znatno »sekundarno« posedanje. Treba je bilo najti optimalno rešitev med potrebnim časom gradnje, metodami izboljšanja temeljnih tal in pospešitve posedanja, gradnjo bočnih nasipov ter v času gradnje začasno večjo obtežbo (preobtežbo).

SESTAVA TAL IN NAČIN IZVEDBE AVTOCESTNEGA NASIPA

Na tipično barjanskem odseku, ki ga v prispevku obravnavamo, so temeljna tla dokaj enakomerna. V povprečju so do globine okrog 15 m sestavljena iz zelo vlažnih glinasto-meljastih židkih do lahko gnetnih, normalno konsolidiranih koherentnih zemljin, globlje pa iz trdnejših slojev zaglinjenih peskov in prodov, vrinjenih med nekoliko bolj kompaktno sloje glin, meljev in deloma šot.

Zgornjih 15 m slabih nosilnih in stisljivih tal lahko razdelimo v dva karakteristična sloja:

- prvi sloj imenujemo polžarica, ki je židek do lahko gneten visoko plastičen melj do zaglinjen melj (MH, MH-CH), z vlago od 80 – 120 %, prostorninsko težo 14 – 15 kN/m³ in z nedrenirano strižno trdnostjo – kohezijo c_u okrog 10 kPa in z razmeroma visokim kotom notranjega trenja $\varphi = 26^\circ - 29^\circ$
- drugi sloj je srednje do visoko plastična meljna glina, ponekod klasifikacije CI – MI, drugod CH – MH, s prirodno vlago od 30 – 70 %, prostorninsko težo 15 – 17 kN/m³ in s povprečno nedrenirano strižno trdnostjo c_u okrog 20 kPa in manjšim kotom notranjega trenja $\varphi = 15^\circ - 25^\circ$.

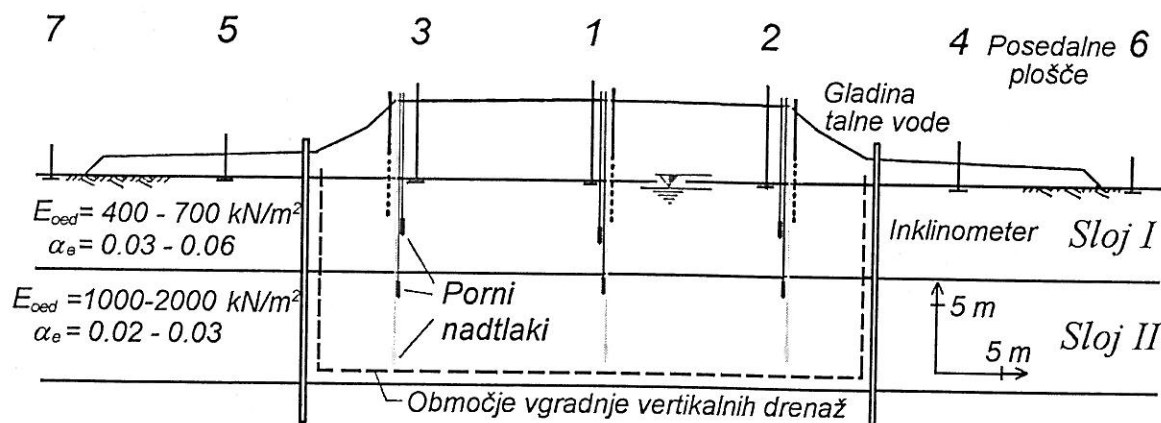
Povprečni koeficient konsolidacije c_v znaša pri obeh slojih od 2 – 5 · 10⁻⁸ m²/s.

Površina tal je zatravljena in se torej povsod nahaja tanjši sloj humusa. Mestoma se nahaja pod humusom do 2 m debel sloj šote, na prvem odseku do Ljubljanice pa je značilno, da nad polžarico nastopi še okrog 2 m debela skorja iz nekoliko bolj kompaktnih meljastih do organskih glin.

Projektna končna višina vozišča v glavni trasi je bila od 1.3 do 2.6 m nad prvotno površino tal. Zaradi pričakovanih posedkov in temu ustreznega nadvišanja v iznosu do 2.5 m ter zaradi potrebe po pred in preo-bremenitvi, je bila višina nasipa od 4.5 do 6 m v fazi preobremenjevanja. Taka dodatna obtežba je bistveno preseгла prvotno nosilnost temeljnih tal. Zato se je uporabil lažji nasipni material, to je kombinacijo z elektrofiltrskim pepelom, obremenjevanje je potekalo postopoma, pri čemer se je zaradi ugodnih pogojev dreniranja ob vgrajenih vertikalnih drenažah ali gruščnatih slopih, nosilnost tal sprotno povečevala glede na izvršeno konsolidacijo. Ob upoštevanju slednjega so bile bočne protiobtežbe z nasipom desno in levo od glavnega nasipa zmanjšane v največji možni meri. V delu trase do mosta preko Ljubljance bočnih nasipov ni, naklon brežin nasipa je 1:3, dalje sta obojestranska bočna nasipa široka od 12 do 20 m.

Gradnja Južne obvoznice se je pričela leta 1983 s prekritjem površine tal pod glavnim cestnim nasipom s prepustnim geotekstilom in z nasutjem okrog 0.6 m debelega povoznega platoja, za kar je bil uporabljen gramozni material iz odkopov vzdolž Severne in Zahodne ljubljanske obvoznice. Temu je sledila vgradnja vertikalnih drenaž in nasutje 0.3 m debelega peščenega filtrnega sloja. Vertikalne stenjske drenaže (plastično rebričasto jedro z ovojem iz geotekstila) so bile razporejene v trikotni mreži na medsebojni oddaljenosti $a = 1.3$ m, 1.56 m in 1.73 m (glejte vzdolžni prerez na sliki 4) pod glavnim nasipom. Postopno obremenjevanje do vključno preobtežbe se je vršilo nadaljnih 2.5 let in je bilo zaključeno leta 1987. V telesu glavnega nasipa je bila uporabljena tehnologija EFs (elektrofiltrski pepel v sistemu »sandwich« z vmesnimi peščenimi sloji, povprečne prostorninske teže 16.5 kN/m^3). Bočni nasipi so bili izvajani vzporedno z glavnim nasipom iz običajnega težjega nasipnega materiala, pretežno iz kamnolomske jalovine. Njihova širina je znašala glede na zagotovitev stabilnosti glavnega nasipa od 12 m do 20 m, minimalna višina je bila 1.5 m, prečni sklon ob izvedbi je znašal 5 % v smeri proti robu nasipa. Preotežba naj bi načeloma za približno 30 % preseгла končno obtežbo nasipa s prometom in jo je tako predstavljal približno 1.6 m debel gramozen sloj. Delovala je okrog 1 leto, nato je bila odstranjena in končno je bil zgrajen zgornji ustroj. Jeseni leta 1988 je bila obvoznica prepuščena prometu.

Na sliki 1 je prikazan tipični prečni prerez avtocestnega nasipa med gradnjo z vertikalnimi drenažami, s preobtežbo in z bočnima nasipoma. Obenem je predstavljena razporeditev merskih mest za posedke, horizontalne pomike, porne nadtlake in gladino proste talne vode. Za oba karakteristična zelo stisljiva sloja je podano območje vrednosti modulov stisljivosti E_{oed} in gradienta sekundarnega posedanja α_e .



Slika 1. Karakteristični prečni prerez nasipa in merska mesta za posedke, horizontalne pomike in porne nadtlake.

Pri mostu preko Ljubljance je bila za zagotovitev stabilnosti in zmanjšanje posedanja uporabljena tehnologija izboljšanja tal z gruščnatimi slopi na dolžini 100 m pred mostom in 300 m za mostom. Vgrajeni so bili gruščnati slopi premera $D = 0.8$ m in na medsebojni oddaljenosti 2.4 m. Drugačna modifikacija splošnega načina gradnje je bila izvedena pri zaključku Južne obvoznice, ko ta prečka Dolenjsko cesto in železnico. Na tej lokaciji, ki že doseže obrobje barjanskega območja, se globina

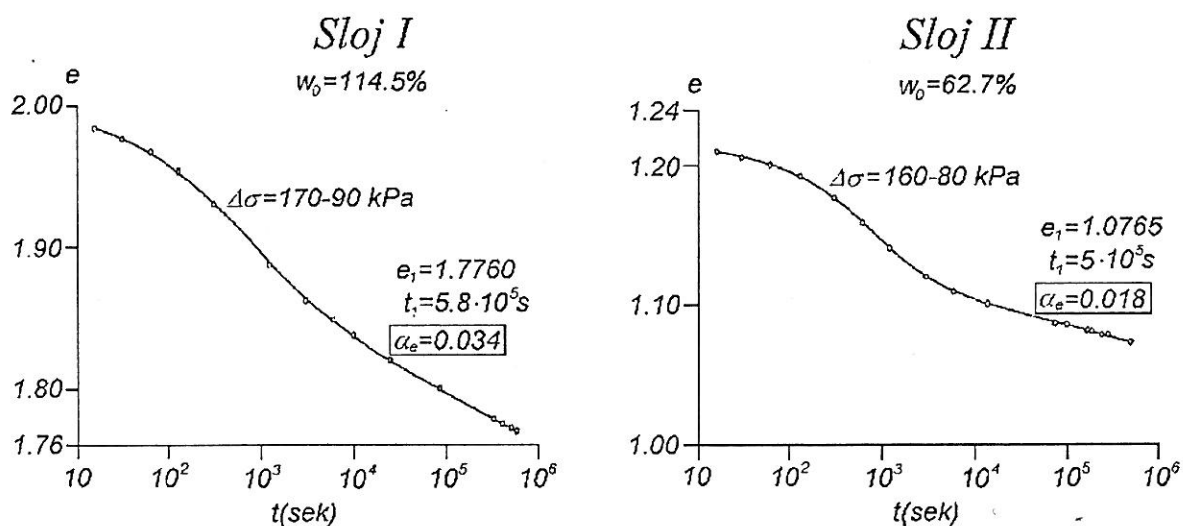
slabo nosilnih tal postopno zmanjšuje, višina cestnega nasipa pa se zaradi nadvoza povečuje. Z odkopom zgornjih 2 m stisljivih tal in vgrajenimi drenažami tudi v območju bočnih nasipov je bilo mogoče zgraditi do 8 m visok priključni nasip.

RAČUNSKI PRISTOPI

Geomehanske karakteristike

Deformabilnost zgornjih slojev barjanskih zemljin je bila preiskana z dolgotrajnimi opazovanji v edometrih in deloma v triosnih aparatih. Triosne preiskave so bile polno ali deloma drenirane. Pri vseh preiskavah smo ugotavljali učinke sekundarnega lezenja. Tipični edometriški konsolidacijski krivulji za oba karakteristična sloja sta prikazani na sliki 2, iz katere je razviden tudi naklon α_e sekundarne konsolidacije.

Iz rezultatov meritev količnika vodoprepustnosti k v edometrih je bilo razvidno spreminjanje v odvisnosti od količnika por e . V območju napetostnega intervala od začetne geološke obtežbe do končne efektivne napetosti po obremenitvi z nasipom se je na primer koeficient vodoprepustnosti v prvem sloju v povprečju zmanjšal od $k = 1.5 \cdot 10^{-9}$ m/s do $k = 3.6 \cdot 10^{-10}$ m/s ter v drugem sloju od $k = 6 \cdot 10^{-10}$ m/s do $k = 2 \cdot 10^{-10}$ m/s.



Slika 2. Karakteristični dolgotrajni konsolidacijski krivulji edometriškega preizkusa za oba značilna sloja in naklona sekundarne logaritemske premice α_e

Strižna trdnost tal je bila raziskana v laboratoriju in na terenu. Parametri drenirane strižne trdnosti ϕ' in c' so bili dobljeni z direktnimi strižnimi preizkusi in s triosnimi konsolidiranimi nedreniranimi preizkusi. Nedrenirana strižna trdnost c_u je bila dobljena na osnovi laboratorijskih meritev enoosne tlačne trdnosti in z laboratorijsko krilno sondo, na terenu pa v glavnem s krilnimi sondami.

Metode napovedi

V študiji za projekt so bili uporabljeni dokaj konvencionalni pristopi tako za račun posedanja in s tem ugotavljanja potrebnega nadvišanja, kot tudi pri ugotavljanju nosilnosti tal z običajnimi stabilnostnimi analizami s krožnimi potencialnimi drsinami.

Tako je napovedani končni posedek s vsota distorzijskega posedka s_{dist} , konsolidacijskega primarnega s_{prim} in sekundarnega posedka s_{sec} zaradi lezenja zemljin (1). Distorzijske posedke lahko izračunamo po teoriji elastičnosti iz razlike pomikov pri nični volumski deformaciji, pri določanju primarnega konsolidacijskega in sekundarnega posedka pa suponiramo linearno deformacijsko stanje. Tako smo za posedanje v osi nasipa uporabili edometriške module E_{oed} kot funkcijo efektivnih napetosti σ' in zaradi vpliva lezenja tudi kot funkcijo časa t (2). Za določitev časovnega razvoja posedanja smo upoštevali vodoprepustnost k kot funkcijo količnika por e (3).

$$s = s_{\text{dist}} + s_{\text{prim}} + s_{\text{sec}} \quad (1)$$

$$E_{\text{oed}} = E_{\text{oed}}(\sigma', t) \quad (2)$$

$$k = k(e) \quad (3)$$

V stabilnostnih analizah z upoštevanjem nedreniranega stanja (metoda $\phi = 0$) je bilo upoštevano sprotno naraščanje nedrenirane strižne trdnosti zaradi vpliva konsolidacije, kar je podrobneje opisano v (Gaberc; 1994). V analizah dreniranega stanja (metoda $c = 0$) so bili upoštevani porni nadtlaki zaradi obremenitve z nasipom.

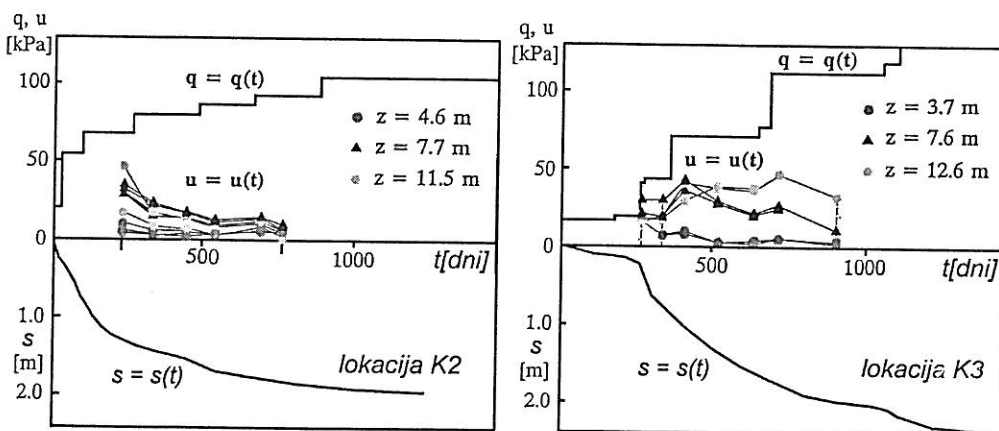
Ustreznost računov posedanja in nosilnosti je bila preverjena z opazovanji na poizkusnih nasipih in pri gradnji AC Lj – Vrhnika (Vidmar, Gaberc; 1981) in še podobnih gradnjah. Po drugi strani so bile narejene tudi primerjave z bolj popolnimi izračuni, ki jih je v svojem raziskovalnem delu razvijal prof. Šuklje s sodelavci (Šuklje, Majes; 1989). Tu pa se z uporabo metode končnih elementov hkratio rešujejo ravnovesne enačbe in difuzijska enačba volumske konsolidacije ob upoštevanju nelinearnega in viskozne obnašanja zemljin.

MERITVE MED GRADNJO IN PO NJEJ TER PRIMERJAVA MED NAPOVEDANIM IN OPAZOVANIM POSEDANJEM

Med gradnjo Južne ljubljanske obvoznice so se sistematično vršile meritve posedanja v prečnih prerezih na vsakih 100 m trase s posedalnimi ploščami. V nekaj karakterističnih prerezih in na najkritičnejših mestih v območju priključnih nasipov, tako v trasi avtoceste kot tudi na deviacijah, so bili merjeni horizontalni pomiki temeljnih tal ob robovih nasipa ter porni nadtlaki v temeljnih tleh v območju glavnega nasipa. Obenem z meritvami pornih nadtlakov s piezometri tipa BAT je bil merjen tudi nivo proste gladine podtalnice. Razporeditev merskih mest je prikazana v karakterističnem prerezu (slika 1). Dalje je bilo merjeno spreminjanje nedrenirane strižne trdnosti s krilnimi sondami.

Po izgradnji se vrši opazovanje posedanja nasipov in objektov. Zadnja meritev posedanja je bila izvedena jeseni leta 1998.

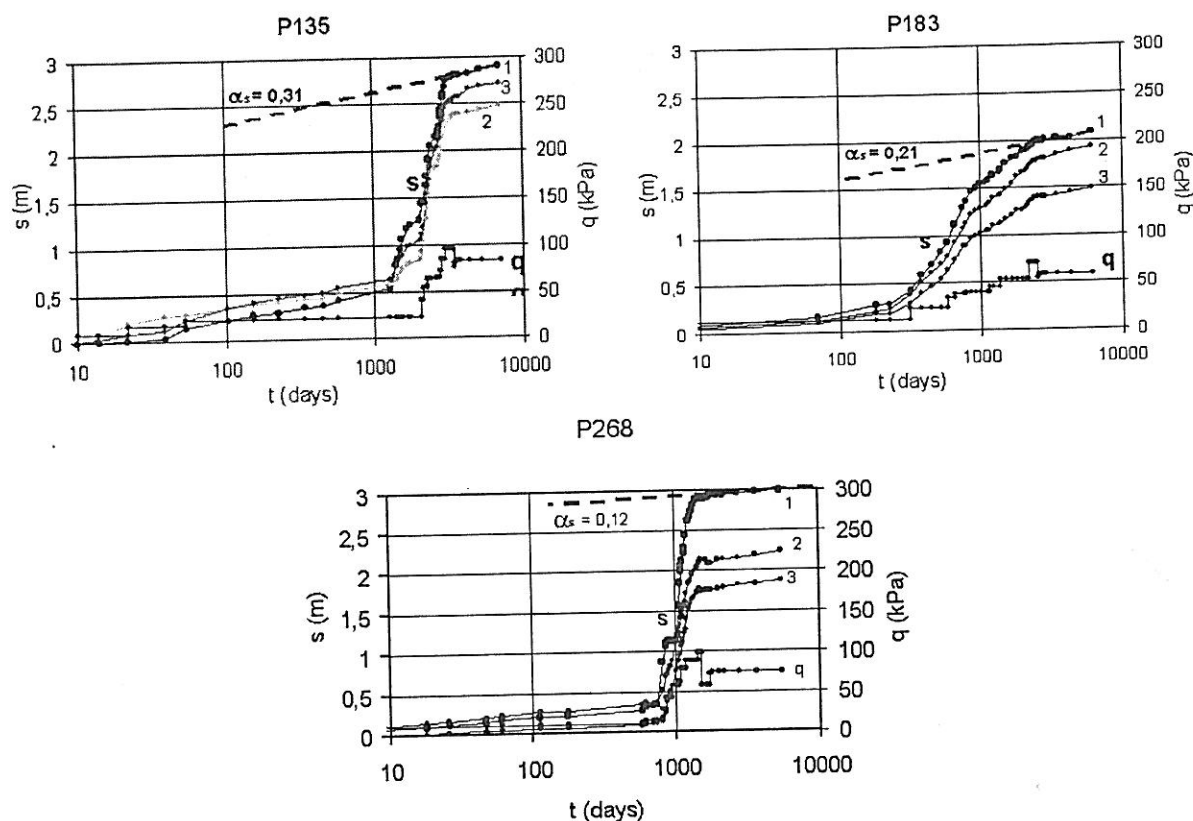
Rezultati merjenja pornih nadtlakov u v sredini med vgrajenimi drenažami na različnih globinah med nasipavanjem cestnega nasipa je podano na sliki 3. Izbrani sta lokaciji K2 pri nadvozu Barjanske ceste in K3 pri nadvozu Peruzzijeve ceste. Primerjava s potekom obremenjevanja in velikostjo dodatne obtežbe q kaže ugodno, hitro disipacijo, kar se zrcali tudi v izmerjenem posedanju s v osi nasipa.



Slika 3. Rezultati meritev pornih nadtlakov u v sredini med vertikalnimi drenažami v osi in ob robovih glavnega nasipa, potek nasipavanja q ter posedanja s v odvisnosti od časa t

Za tri karakteristične prečne prereze vzdolž trase avtocestnega nasipa je podano izmerjeno posedanje med gradnjo in po njej na sliki 4. Zaradi nazornosti je prikazano le posedanje v območju

glavnega nasipa v tč. 1, 2 in 3, to je v osi in ob obeh robovih krone nasipa. Podan je tudi potek nasipavanja – naraščanje obtežbe q v osi nasipa. Na vseh treh podanih primerih in tudi na ostalih opazovanih je jasno izraženo, da se je primarna konsolidacija končala v času preobremenitve, to je pred izvedbo zgornjega ustroja in so po koncu gradnje v času 10 let registrirani le manjši posedki, to je lezenje, katerega nagib α_s se dobro ujema z nakloni α_e logaritemskih sekundarnih premic iz edometrov.



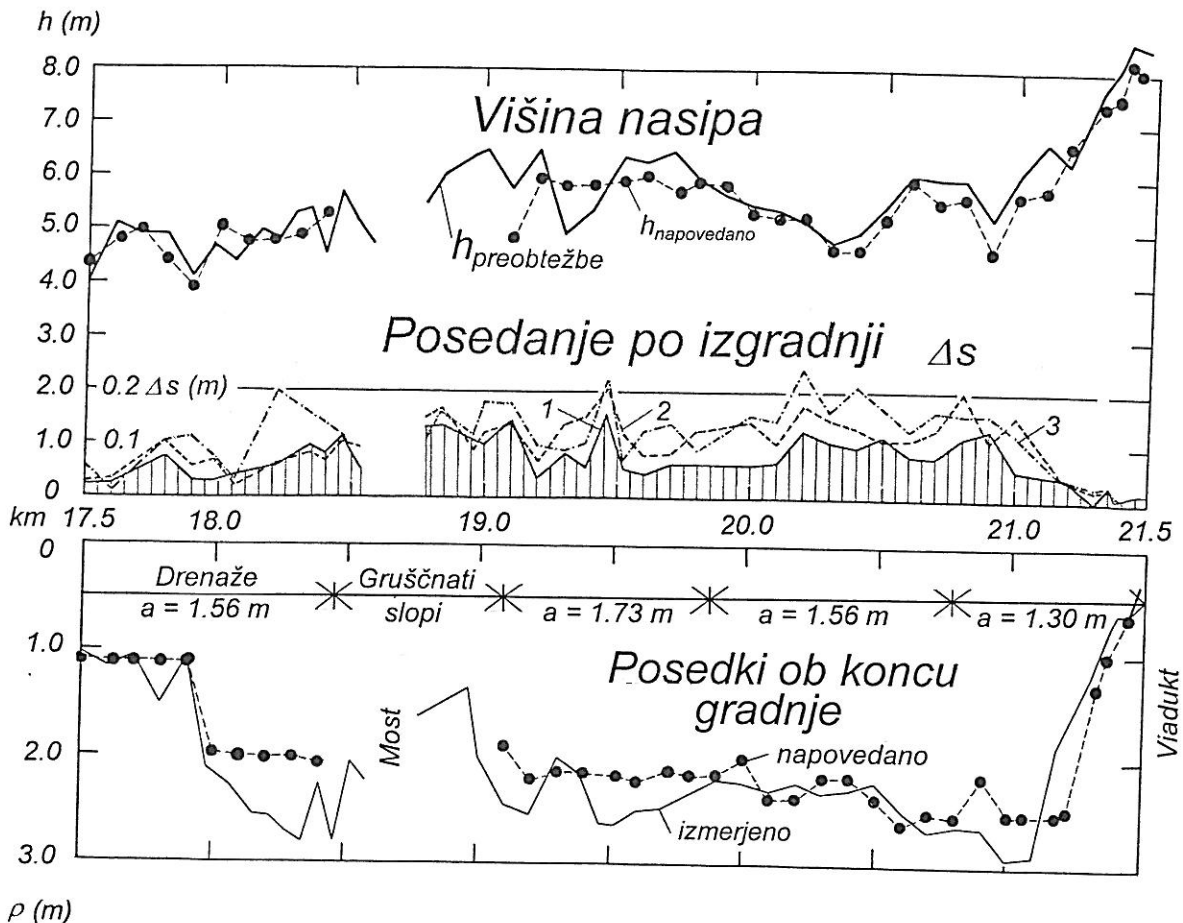
Slika 4. Značilni primeri časovnega razvoja posedanja in nasipavanja v obdobju 15 let in nakloni sekundarne logaritemske premice α_s

Izmerjeno posedanje med gradnjo in po njej, velikosti napovedanih posedkov in višina nasipa v fazi preobremenitve za celoten tipično barjanski odsek, dolžine 4 km, so podani v vzdolžnem profilu na sliki 5.

Na spodnjem delu slike so prikazane velikosti izmerjenih in napovedanih posedkov v osi nasipa ob koncu gradnje. Vidimo, da se je izvršilo od 2 do 3 m posedkov. Z majhnimi krožci so prikazane napovedane vrednosti.

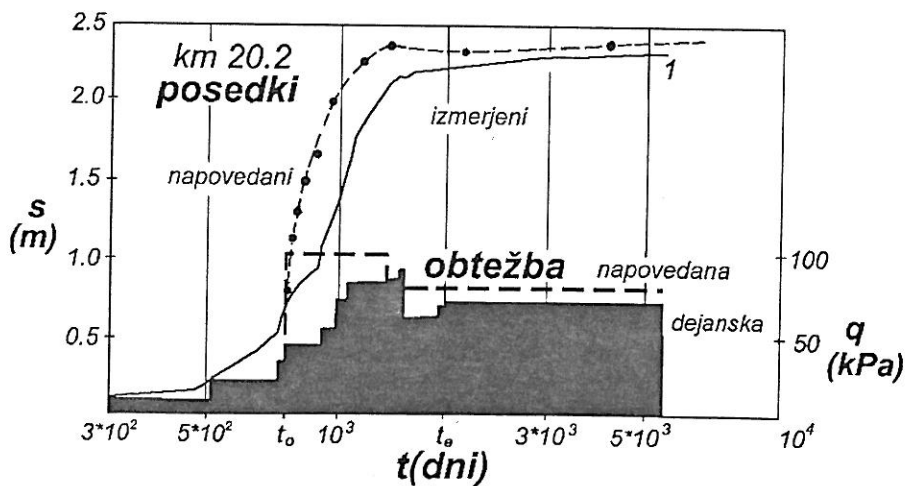
V zgornjem delu slike je prikazana višina nasipa s preobtežbo, ki je bila upoštevana v računskih napovedih (krožci) in dejansko izvršena višina nasipavanja. Ti dve nista nujno enaki, kar seveda vpliva na velikost posedanja.

V srednjem delu vzdolžnega profila je z Δs označeno posedanje po izgradnji, izmerjeno v 10. letih. S polno črto so povezani posedki v osi, s črtkano črto pa posedki na robovih vozišča (merski točki 2 in 3). V osi je bilo izmerjeno do 10 cm posedka, na robovih pa so posedki nekoliko večji, verjetno zaradi bližine roba dreniranega področja oziroma vpliva dolgotrajnejšega posedanja pod bočnima nasipoma, kjer niso bile vgrajene vertikalne drenaže ter dalje zaradi vpliva togosti samega cestnega nasipa.



Slika 5. Predvideno in izmerjeno poseđanje v osi nasipa ob koncu gradnje ter poseđanje 10 let po izgradnji vzdolž Južne ljubljanske obvoznice

Za izbran karakteristični prerez je dalje podrobneje podana primerjava med časovnim potekom izmerjenega poseđanja in napovedanim poseđanjem v fazi primarnega in sekundarnega dela v osi nasipa (Slika 6). V računih je upoštevano poenostavljeno obremenjevanje – črtkana črta, ki jo je treba primerjati z dejanskim obremenjevanjem. Kljub vsem poenostavitvam konvencionalnega pristopa v napovedih, je ujemanje z dejanskim poseđanjem zadovoljivo. Nastopi razlika v velikosti končnega poseđka, ki v veliki meri izvira iz razlike v velikosti računске in dejanske obtežbe.



Slika 6. Primerjava časovnega razvoja napovedanega in izmerjenega poseđanja v značilnem prerezu

Za časovni razvoj konsolidacije pri sočasnem izcejanju vode iz por v vertikalni in horizontalni smeri zaradi vpliva vertikalnih drenaž je bil uporabljena metoda po Barronu (Verdeyen; 1968), kjer pa smo upoštevali spremenljivo vodoprepustnost v odvisnosti od poroznosti.

ZAKLJUČKI

Potek gradnje Južne ljubljanske obvoznice in vsa geotehnična opazovanja, izvedena med samo gradnjo in po njej, dokazujejo:

- ustreznost uporabljenih tehnologij, zlasti izboljšanje tal z vertikalnimi drenažami ter v posebnih primerih z gruščnatimi slopi. Pospešitev posedanja se je izkazala v končanem, primarnem posedanju ob koncu gradnje. K enakomernemu in v projektu predpisanemu posedanju po izgradnji je v veliki meri prispevala tudi uporaba do 30 % večje preobtežbe, nasute v zaključni fazi postopne obremenitve tal.
- zanesljivost dokaj konvencionalnih metod izračuna posedanja in nosilnosti. Glede na obsežnost bremenske ploskve in debelino stisljivih in nenosilnih slojev je izračun posedanja z uporabo metode napetostne poti in z moduli E_{oed} ob upoštevanju učinkov lezenja dal dobre napovedi tako za čas gradnje kot tudi v obdobju 10 let po izgradnji. Ustreznost uporabljenih stabilnostnih analiz z upoštevanjem sprotne naraščanja strižne trdnosti med gradnjo, je bila potrjena z varno gradnjo, njihov velik prispevek pa je zlasti v ekonomični izrabi prostora, časa in materialov.
- skladnost z rezultati dolgotrajnega opazovanja v laboratoriju. Pri tem je veliko vlogo odigralo raziskovalno delo našega cenjenega prof. dr. Šukljeta, ki je s poudarjanjem reoloških vidikov v mehaniki tal utrjeval svojstven pristop.

Pričujoči rezultati so bogata zakladnica izkušenj pri gradnjah na zelo slabih temeljnih tleh, ne samo za slovensko geotehniko, temveč tudi v svetovnem merilu.

LITERATURA

Verdeyen, J., Roisin, V., Nuyens, J. (1968). *Mécanique des Sols*. Dunod, Paris.

Gaberc, A. (1994). Increase of subsoil bearing capacity beneath embankments. *Proc. XIIIth ICSMFE*, New Delhi, Vol. 2. 759-762.

Šuklje, L., Majes, B. (1989). Consolidation and creep of soils in plane-strain conditions. *Géotechnique*, Vol. 39, No. 2: 231-250.

Vidmar, S., Gaberc, A. (1981). Successful highway construction on very soft soils. *Proc. Xth ICSMFE*, Stockholm, Vol. 1:263-268.