

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski program Gradbeništvo,  
Smer operativno gradbeništvo

Kandidat:

**Sebastjan Grdina**

# **Analiza meritev geotehničnega opazovanja nasipov Ankaranske vpadnice**

**Diplomska naloga št.: 291**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentor:**

asist. dr. Boštjan Pulko

Ljubljana, 25. 9. 2007

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **SEBASTJAN GRDINA** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**»ANALIZA MERITEV GEOTEHNIČNEGA OPAZOVANJA NASIPA ANKARANSKE VPADNICE«**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,  
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, \_\_\_\_\_

---

## **BIBLIOGRAFSKO - DOKUMETACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

- UDK:** 624.131:656.1(497.4Ankaran)(043.2)
- Avtor:** Sebastjan Grdina
- Mentor:** doc. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž.grad.
- Naslov:** Analiza meritev geotehničnega opazovanja nasipa Ankaranske vpadnice
- Obseg in oprema:** 59 str., 8 pregl., 13 graf., 16 sl., 3 pril.
- Ključne besede:** nasip, konsolidacija, posedek, temeljna tla, geotehnično opazovanje, Ankaranska vpadnica

### **Izveček**

Diplomska naloga zajema opis izvedbe kamnitega nasipa na Ankaranski vpadnici v sklopu projekta Navezava Luke Koper na avtocestno omrežje. Nasip je grajen na slabo nosilnih mehkih tleh, zato so v diplomski nalogi podrobno opisane terenske razmere, laboratorijske preiskave ter iz njih pridobljeni podatki o lastnostih materialov, tehnološki postopki ter spremembe projekta.

V nalogi je podrobno opisan vzpostavljeni geotehnični sistem opazovanja nasipa ter meritve in rezultati meritev posedanja temeljnih tal.

Povzema predvidevanja pred začetkom del po projektu za izvedbo in predhodnih geotehničnih poročilih ter opisuje dejanski potek del na podlagi sprotnege geotehničnega opazovanja.

Na podlagi sprotnih meritev posedanja tal je narejena računsko analiza po metodi Asaoka. Poleg analize posedanja obsega naloga še meritve in analizo horizontalnih premikov temeljnih tal. Na podlagi rezultatov meritev posedkov je narejena analiza in zaključek.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDK:** 624.131:656.1(497.4Ankaran)(043.2)  
**Author:** Sebastjan Grdina  
**Supervisor:** Assist. Prof. dr. Janko Logar  
**Title:** Analysis of measurements from geotechnical monitoring of embankment of major collector road from Ankaran  
**Notes:** 59 p., 8 tab., 13 gra., 16 fig., 3 app.  
**Key words:** dike, consolidation, subsidence, subgrade, geotechnical observation, Ankaran, Slovenia

### **Abstract**

My diploma comprises the description of the stony embankment of major collector road from Ankaran, which is part of the project of connecting the Port of Koper to the motorway network. The embankment is built on a soft ground with a low bearing capacity, therefore a detailed description of terrain conditions, laboratory researches and research results on the material property, technological procedures and project changes are also included in my work.

The diploma consists of a detailed description of the established geotechnical system of observation of the embankment and of the measurements as well as of results of measurements of the subgrade.

It summarises the expectations before the beginning of the works according to the execution project and preceding geotechnical reports, as well as it describes the actual proceeding of works on the basis on the concurrent geotechnical monitoring.

On the basis of the concurrent measurements of land subsidence it comprises a calculation analysis according to the Asaoka method. Besides that it also includes measurements and analysis of the horizontal movements of subgrade and a final analysis with the conclusion.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Janku Logarju. Posebna zahvala gre sodelavcem na SCT Primorska d.o.o. ter ekipi Zavoda za gradbeništvo (ZAG) Ljubljana, enota za geotehniko in prometnice, ki so mi nudili potrebne podatke za izdelavo diplomske naloge ter dovolili njihovo uporabo.

Še posebej pa se zahvaljujem staršem, ki so mi omogočili šolanje v Ljubljani ter Moiri in prijateljem za pomoč, vzpodbujanje in podporo.

## **KAZALO VSEBINE**

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>UVOD</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>SESTAVA TAL IN NASIPA</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1      | Terenske razmere  | 5         |
| 2.2      | Geološka zgradba terena   | 5         |
| 2.3      | Hidro-geološke razmere  | 6         |
| 2.4      | Laboratorijske preiskave  | 7         |
| 2.5      | Geotehnični izračuni in analize z izbiro karakterističnih vrednosti mehanskih lastnosti tal | 8         |
| 2.5.1    | Nasipni material  | 9         |
| 2.6      | Pogoji izvedbe nasipov in nadvišanj   | 10        |
| 2.6.1    | Ankaranska vpadnica   | 10        |
| <b>3</b> | <b>OPIS IZVEDBE DEL</b>   | <b>12</b> |
| 3.1      | Predviden obseg del in količina vgrajenega materiala na Ankaranski vpadnici                 | 12        |
| 3.2      | Tehnološki postopki   | 13        |
| <b>4</b> | <b>RAZHAJANJA OD PROJEKTA</b>   | <b>17</b> |
| 4.1      | Sprememba nivelete Ankaranske vpadnice  | 17        |
| 4.2      | Prestavitev fekalnega kolektorja  | 18        |
| <b>5</b> | <b>GEOTEHNIČNO OPAZOVANJE</b>   | <b>20</b> |
| 5.1      | Splošno   | 20        |
| 5.2      | Osnovne usmeritve za izvajanje geotehničnih meritev   | 21        |
| 5.3      | Opazovalni sistem na Ankaranski vpadnici  | 21        |
| 5.3.1    | Osnovni podatki o opazovalnem sistemu   | 22        |
| <b>6</b> | <b>REZULTATI MERITEV POSEDKOV</b>   | <b>32</b> |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>7</b>   | <b>ANALIZA POSEDANJA IN NAPOVED NADALJNJEGA POSEDANJA</b>                                     | <b>35</b> |
| <b>7.1</b> | <b>Metoda Asaoka</b>  | <b>35</b> |
| 7.1.1      | Postopek metode Asaoka  | 35        |
| 7.1.2      | Enačbe pri izračunu konsolidacije   | 37        |
| <b>7.2</b> | <b>Napoved končnega posedka na podlagi rezultatov meritev</b>                                 | <b>40</b> |
| 7.2.1      | Posedalna plošča A2   | 41        |
| 7.2.2      | Posedalna plošča A12  | 45        |
| 7.2.3      | Analiza meritev posedanja   | 48        |
| <b>7.3</b> | <b>Analiza meritev posedanja vzdolž trase nasipa</b>  | <b>49</b> |
| 7.3.1      | Območje krožnega križišča CČN   | 53        |
| <b>7.4</b> | <b>Primerjava posedanja dveh točk nasipa z različnima konceptoma izboljšave temeljnih tal</b> | <b>54</b> |
| <b>7.5</b> | <b>Analiza meritev horizontalnih premikov</b>   | <b>57</b> |
| <b>8</b>   | <b>ZAKLJUČEK</b>  | <b>58</b> |
|            | <b>VIRI</b>   | <b>60</b> |
|            | <b>PRILOGE</b>  | <b>62</b> |

## KAZALO PREGLEDNIC

|  |    |
|--|----|
| PREGLEDNICA 1: Podatki o merskih mestih ter podatki iz geološko – geotehničnega poročila                                     | 33 |
| PREGLEDNICA 2: Primer obrazca z vpisanimi meritvami posedanja posedalne plošče A2  | 34 |
| PREGLEDNICA 3: Izračunani parametri II. faze nasipa po metodi Asaoka plošče A2   | 38 |
| PREGLEDNICA 4: Rezultati izračunov posedka in časa konca konsolidacije posamezne faze po metodi Asaoka - posedalna plošča A2 | 44 |
| PREGLEDNICA 5: Rezultati izračunov posedka in časa konca konsolidacije po metodi Asaoka - posedalna plošča A12               | 48 |
| PREGLEDNICA 6: Pregled končnih posedkov obeh faz gradnje vzdolž trase nasipa   | 50 |
| PREGLEDNICA 7: Pregled končnih posedkov dveh faz izračunanih po metodi ASAOKA posedalnih plošč na območju rondoja CČN        | 54 |
| PREGLEDNICA 8: Pregled končnih posedkov obeh faz izračunanih po metodi ASAOKA posedalnih plošč A2 in A15                     | 55 |



## KAZALO GRAFIKONOV

|   |    |
|---|----|
| GRAFIKON 1: Posedki posedalne plošče A2 v odvisnosti od časa  | 36 |
| GRAFIKON 2: Posedek – posedek, postopek metode Asaoka posedalne plošče A2   | 37 |
| GRAFIKON 3: Trend posedkov v odvisnosti od višine nasipa posedalnih plošč A1 in A2 v bližini viadukta Bonifika                      | 39 |
| GRAFIKON 4: Posedki posedalne plošče A2 in višina nasipa v odvisnosti od časa   | 42 |
| GRAFIKON 5: Primerjava med dejanskim posedanjem ter izračunanim z metodo najmanjših kvadratov - posedalna plošča A2                 | 43 |
| GRAFIKON 6: Trenutni posedek v odvisnosti od prejšnjega posedka (metoda ASAOKA) - posedalna plošča A2                               | 43 |
| GRAFIKON 7: Posedki posedalne plošče A12 in višina nasipa v odvisnosti od časa  | 46 |
| GRAFIKON 8: Primerjava med dejanskim posedanjem ter izračunanim z metodo najmanjših kvadratov – posedalna plošča A12                | 47 |
| GRAFIKON 9: Trenutni posedek v odvisnosti od prejšnjega posedka (metoda ASAOKA) - posedalna plošča A12                              | 47 |
| GRAFIKON 10: Izmerjeni posedki, posedki po metodi ASAOKA, projektni posedki, faznost gradnje ter višina nasipa na vzdolžnem profilu | 51 |
| GRAFIKON 11: Končni posedki in čas konsolidacije 1. in 2. faze po metodi ASAOKA na vzdolžnem profilu                                | 52 |
| GRAFIKON 12: Razvoj posedkov posedalnih plošč A2 in A15   | 55 |
| GRAFIKON 13: Horizontalni pomiki v temeljnih tleh vertikalnega inklinometra AI 4 v odvisnosti od časa                               | 57 |

## KAZALO SLIK

|  |    |
|--|----|
| SLIKA 1: Situacija projekta Navezave Luke Koper na avtocestno omrežje  | 2  |
| SLIKA 2: Nasip na Ankaranski vpadnici po končanem nasipavanju v mesecu juliju 2007                           | 4  |
| SLIKA 3: Čiščenje terena, odstranitev obstoječega kamnitega nasipa in odziv zemljine v debelini pribl. 30 cm | 13 |
| SLIKA 4: Povožni plato nad geotekstilom ob fekalnem kolektorju   | 14 |
| SLIKA 5 : Vtiskanje vertikalnih drenaž   | 15 |
| SLIKA 6 : Izvedba gruščnatih kolov po metodi vibracijskega razrivanja  | 15 |
| SLIKA 7: Sprememba nivelete Ankaranske vpadnice v vzdolžnem profilu  | 17 |
| SLIKA 8: Prikaz spremembe trase prestavitve fekalnega kolektorja   | 19 |
| SLIKA 9: Posedalne plošče A13, A14 in A15 med gradnjo  | 24 |
| SLIKA 10: Shematski prikaz horizontalnega inklinometra (ZAG)   | 26 |
| SLIKA 11: Rezultati meritev horizontalnega inklinometra (ZAG)  | 26 |
| SLIKA 12: Shema merilca pornih tlakov  | 28 |
| SLIKA 13: Rezultati meritev merilca pornih tlakov  | 28 |
| SLIKA 14: Shema vertikalnega inklinometra  | 30 |
| SLIKA 15: Rezultati meritev vertikalnega inklinometra  | 30 |
| SLIKA 16: Situacija predhodnega stanja na območju krožnega križišča CČN                                      | 53 |

# 1 UVOD

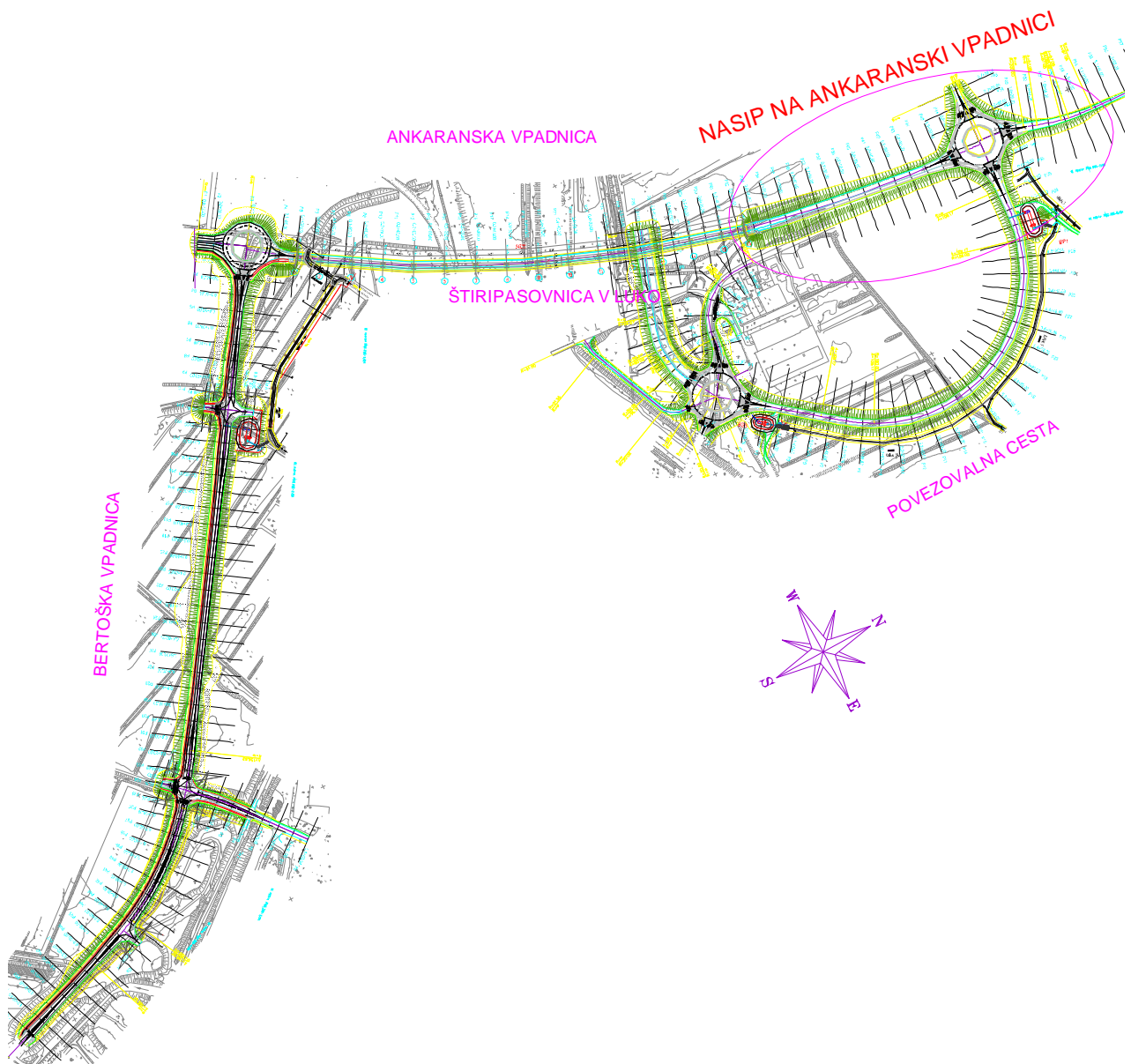
Družba za avtoceste republike Slovenije (DARS) je investitor projekta Navezava Luke Koper na avtocestno omrežje. Navezava Luke Koper predvideva vzpostavitev cestne povezave novega vhoda v Luko Koper, ki je lociran severno od tovarne železniške postaje Koper do avtocestnega odseka A1/0236 Dekani - Bertoki. Prva faza projekta navezave Luke Koper na AC omrežje obsega naslednje cestne povezave:

- Bertoška vpadnica od km 0.0 + 00 (krožno križišče »Bertoki«) do km 1.0 + 40 (navezava na obstoječo Bertoško vpadnico pred nadvozom čez avtocesto v območju obstoječega priključka »Bertoki«)
- Ankaranska vpadnica od km 0.0 + 00 (krožno križišče »Bertoki« z nakazanim odcepom po Južni Ankaranski vpadnici) proti Kopru do km 1.1 + 80 (do vključno krožnega križišča »Centralna čistilna naprava« (CČN) s povezavo na obstoječo lokalno cesto proti Ankaranu).
- Povezovalna cesta od km 0.0 + 00 (od vključno krožnega križišča »Rižana«) do km 0.7 + 19,24 (do vključno krožnega križišča »Centralna čistilna naprava«)
- Štiripasovna vpadnica v Luko Koper od km 0.0 + 00 (od vključno krožnega križišča »Rižana«) do km 0.2 + 35,79 (do novega vhoda – uvoza v Luko Koper)

S takšno izvedbo cestnega omrežja v I. fazi je novi vhod v Luko Koper navezan iz avtoceste Srmin – Slavček preko obstoječega izvennivojskega priključka »Bertoki« po novi Bertoški vpadnici, preko viadukta »Bonifika« na Ankaranski vpadnici ter po Povezovalni cesti na Štiripasovno vpadnico v Luko Koper pod viaduktom »Bonifika« na desnem bregu reke Rižane.

V območju krožnega križišča »Centralna čistilna naprava« je izveden odcepni krak za nadaljevanje Ankaranske vpadnice ter v nadaljevanju (I. faza) priključen na lokalno cesto za Ankaran.

Ankaranska vpadnica obsega v prvi fazi izgradnje cestne navezave povezavo med krožnim krožiščem Bertoki in lokalno cesto v smeri Ankarana. Ankaranska vpadnica premošča železniške tirne tovarne postaje Koper, reko Rižano, predvideno štiripasovnico v Luko Koper z viaduktom Bonifika dolžine 547,5 m ter nadzemni naftovod Luka Koper - Inštalacije. Dovoljena hitrost vožnje po Ankaranski vpadnici bo 60 km/h.



SLIKA 1: Situacija projekta Navezave Luke Koper na avtocestno omrežje

V diplomski nalogi podrobneje analiziram del projekta in sicer kamniti nasip na Ankaranski vpadnici.

Trasa nasipa je zelo zahtevna, saj je nasip grajen na mehkih, slabo nosilnih temeljnih tleh. Poleg tega je na trasi tudi fekalni kolektor, ki je ostal v funkciji ves čas gradnje. Na območju kolektorja se zato niso izvedli geotehnični ukrepi kot na preostali trasi. Zahteva investitorja je, da se gradnja dokonča v čim krajšem možnem času. Pogoji so narekovali uporabo ukrepov za ojačitev in pospešitev konsolidacije tal. Za ojačitev in pospešitev konsolidacije tal je bila predvidena kombinacija dveh konceptov. Prvi koncept je uporaba gruščnatih kolov v primernem rastru na območjih, kjer je nasip višji in kjer tla niso še bila obremenjena. Drugi koncept pa je uporaba vertikalnih trakastih drenaž v primernem rastru na območjih, kjer so nasipi nižji in kjer so bila tla že delno obremenjena z nasipi. Nasip je grajen iz kamnitega apnenčevega materiala 0-300mm.

Gradnja nasipa je potekala po fazah. Faznost gradnje se je usklajevala po vzporedni analizi meritev posedanja na vzpostavljenem sistemu tehničnega opazovanja.

Na območju gruščnatih kolov se je nasip v prvi fazi zgradilo do višine 3 m. Konsolidacija je trajala 6 mesecev. Druga faza je obsegala gradnjo nasipa do višine 4,30 m, konsolidacija pa je trajala 5 mesecev. V tretji fazi pa se je nasip zgradil do kote asfalta ter dodatno plast 0,5m kot preobtežbo. Predviden čas do izteka konsolidacije II. faze je 3 do 4 mesece.

Na območju, kjer so se za pospešitev konsolidacije vgradile vertikalne drenaže, se je prva faza nasipa gradila postopno do kote 2,70 m. Konsolidacija je trajala 3 mesece. V drugi fazi se je nasip zgradilo postopoma do višine 7,0 m. Konsolidacija je trajala 5 mesecev. Tretja faza pa je obsegala gradnjo nasipa do predvidene kote asfalta ter dodatno 0,5 m debelo plast za preobtežbo. Predvideva se 7 mesecev za izvršitev konsolidacije.

Diplomsko nalogo sem izdelal med opravljanjem praktičnega usposabljanja pri podjetju SCT d.d., ki sodeluje kot glavni izvajalec projekta Navezave Luke Koper na avtocestno omrežje. Nalogo sem zaključil po izvedeni drugi fazi nasipa Ankaranske vpadnice. Do te faze so vključene dejanske meritve in rezultati geotehničnega opazovanja.



SLIKA 2: Nasip na Ankaranski vpadnici po končanem nasipavanju v mesecu juliju 2007

## **2 SESTAVA TAL IN NASIPA**

### **2.1 Terenske razmere**

Obravnavano območje je ravninsko. V pretežni meri je bilo na tem terenu včasih plitvo morje, ki je bilo v času Italije osušeno in spremenjeno v pretežni meri v kmetijske površine.

Teren se blago spušča od začetka trase Ankaranske vpadnice, pri krožnem križišču Bertoki, kjer je kota naravnega terena -0,20 m. Od rondoja Bertoki trasa z viaduktom »Bonifika« prečka železniške tire, reko Rižano in bodočo Štiripasovnico pri vhodu v Luko Koper. Najnižja točka terena je na območju krožnega križišča »Centralna čistilna naprava«, kjer je kota terena -0,80 m.

Na območju ankaranske vpadnice je bil predhodno zgrajen nasip iz grobega apnenčevega grušča. V tem nasipu je vgrajen kanalski zbiralnik iz poliestrskih cevi premera  $\varnothing$  1000 mm in vodovod. Za to območje je bilo na razpolago nekaj podatkov o gradnji, predvsem deli geomehanskih poročil in začetni podatki o posedanju.

### **2.2 Geološka zgradba terena**

Morske sedimenti se delijo v zgornjo glinasto plast in spodnjo prodnato plast. Glinasto plast sestavlja meljna do mastna glina z vložki meljastega peska in zoglenelimi rastlinskimi ostanki. Pojavljajo se tudi lupinice in hišice morskih školjk in polžev ter morskih ježkov. Glina je pretežno lahko do srednje gnetne konsistence in temnosive barve. Debelina glinaste plasti znaša od 16 do 21 m.

Na globini večji od približno 21 m se na območju Ankaranske vpadnice pojavlja plast meljasto peščenega do zaglinjenega proda peščenjaka, ki predstavlja nanos nekdanje reke

Rižane. Prodni nanos je rahel do srednje gost. Debelina plasti znaša približno 10 do 15 m. Zgornja polovica plasti je sive barve, spodnja pa rjave.

Na območju Ankaranske vpadnice se flišna hribina pojavlja v podlagi prodne plasti (Q<sub>2</sub>) na globini približno 30 do 35 m pod površino terena. Fliš je mehka hribina, ki jo predstavlja menjavanje tankih do srednje debelih plasti laporja in peščenjaka. Na območju trase Ankaranske vpadnice ležijo flišne plasti približno horizontalno.

Na trasi Ankaranske vpadnice je bil predhodno delno že izdelan obremenilni nasip, višine 3 do 4 m iz apnenčevega izkopnega materiala. Lokalno so bili na nasipu odloženi tudi gradbeni odpadki in smeti.

Geološka zgradba terena je prikazana na vzdolžnem geološko - geotehničnem profilu trase ter na karakterističnem prerezu v prilogah.

### **2.3 Hidro-geološke razmere**

Ankaransko - koprsko bonifika je bila z melioracijskimi deli iztrgana morju, površina terena leži pod morsko gladino. Meteorna in ostala voda se zbira v jarke in prečrpava v morje. Območje vpadnic ne predstavlja zaščitnega področja varovanja podtalnice za preskrbo s pitno vodo.

Plasti morskih sedimentov so zasičene z vodo in v pretežni meri slabo vodoprepustne. Izjema so peščeni vložki in vložki grobega peščenega melja. Voda v recentnih morskih sedimentih je slana. Voda v prodnem nanosu reke Rižane podorskimi sedimenti je polslana - brakična (podatki hidrogeoloških raziskav v bližini).

Slanost vode se v morskih sedimentih ni posebej preverjala. Za dokaz slanosti je bila fotografija jedra vrtine KV-8. Do globine 5 m je bilo jedro v času fotografiranja že delno osušeno. Na površini jedra so se izločili kristali soli.



Voda v melioracijskih jaških je sladka. V bližini rondoja Bertoki se je ob terenskem ogledu opazilo, da se voda iz jarka uporablja za namakanje tamkajšnjih manjših kmetijskih površin.

## **2.4 Laboratorijske preiskave**

V geomehanskem laboratoriju Zavoda za gradbeništvo (ZAG) so bile izvršene geomehanske preiskave na skupno 29 vzorcih.

Na vzorcih fliša iz vrtin KV-2, KV-3 in KV-4 so ugotavljali enoosno tlačno trdnost na osnovi ocene iz indeksa točkovne trdnosti. Navedene vrtine so na območju viadukta, ki je temeljen globoko na pilotih uvrtnih v fliš. Na vzorcih iz ostalih vrtin se je ugotavljalo geomehanske lastnosti morskih sedimentov. Izvedenih je bilo devet preiskav stisljivosti v edometrih in pet preiskav vodoprepustnosti v edometrih. Poleg tega so bile izvedene še štiri direktne strižne preiskave in dve triosni preiskavi.

Laboratorijske preiskave so pokazale, da so preiskani vzorci v pretežni meri lahko do srednje gnetne konsistence klasifikacije v pretežni meri CL, CH in delno ML. Moduli stisljivosti so v mejah pričakovanj za morske sedimente.

Na osnovi laboratorijskih preiskav, CPTu preiskav in dilatometrijskih preiskav ter povratnih analiz se je ocenilo karakteristične vrednosti geotehničnih lastnosti tal na treh odsekih.

## 2.5 Geotehnični izračuni in analize z izbiro karakterističnih vrednosti mehanskih lastnosti tal

Karakteristične vrednosti mehanskih lastnosti tal se je ocenilo na osnovi laboratorijskih preiskav, CPTu raziskav, dilatometrskih raziskav in povratnih analiz.

Vse raziskave so pokazale velik raztros podatkov. Laboratorijske preiskave so pokazale razmeroma ugodne karakteristike, zlasti strižne. Moduli stisljivosti, iz vrednoteni iz CPTu preiskav, so se po izkušnjah geoteknikov Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij (ZRMK) zdeli podcenjeni. Moduli stisljivosti dobljeni iz dilatometrskih preiskav pa so bili ocenjeni kot realni.

Karakteristične vrednosti mehanskih lastnosti tal za odsek Ankaranske vpadnice (vrtina KV-6, CK-1, CPTu-3/04):

- |                          |       |  |
|--------------------------|-------|--|
| - globina 0,00 – 8,30 m  | ML    | $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$ , $M_V = 2500 \text{ kN/m}^2$<br>$K = 4 \cdot 10^{-9} \text{ m/sek}$<br>$s_u = 20 \text{ kN/m}^2$<br>drenirano stanje: $c = 0$ , $\varphi = 25^\circ$                 |
| - globina 8,30 – 21,50 m | CL/CH | $\gamma = 18,8 \text{ kN/m}^3$ , $M_V = 4000 \text{ kN/m}^2$<br>$K = 4 \cdot 10^{-10} \text{ m/sek}$<br>$s_u = 18 \text{ kN/m}^2$<br>drenirano stanje: $c = 5 \text{ kN/m}^2$ , $\varphi = 20^\circ$ |

Iz zgornjih podatkov je razvidno, da je debelina stisljivih tal na Ankaranski vpadnici med 20,00 m in 21,50 m. Globlje pa so plasti srednje gostega meljastega proda, ki pa zaradi velike globine in znatno manjše stisljivosti v računih posedanja ni bil upoštevan. Rižanski prod ima strižni kot preko  $30^\circ$  in modul stisljivosti preko  $30000 \text{ kN/m}^2$ . Pod prodom se nahaja tanek sloj preperelega fliša debeline do 1,00 m.

### 2.5.1 Nasipni material

Material, iz katerega je grajen nasip, je karbonatni grušč z maksimalnim zrnem 300 mm, dobljen iz kamnoloma Salonit Črnotiče in ima naslednje karakteristike:

- $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
- $E_{\text{oed}} = 60000 \text{ kPa}$
- $c' = 0 \text{ kPa}$
- $\varphi' = 38^\circ$
- $\nu = 0,3$

## 2.6 Pogoji izvedbe nasipov in nadvišanj

Glede na izvedene stabilnostne analize cestnih nasipov, se je projektant odločil za fazno gradnjo posod, kjer je višina cestnega nasipa 2,0 m ali več nad koto obstoječih nasipov. V primeru izboljšanja temeljnih tal z gruščnatimi koli je ta kriterij 3,0 m.

Na celotni trasi je načrtovana pospešitev konsolidacije temeljnih tal z vertikalnimi drenažami tako, da se pričakuje že po dveh mesecih zmanjšanje presežnih poreznih tlakov v tleh za 55 %. Pri tem se bo zvišala nedrenirana strižna trdnost zasičenih morskih sedimentov, ki bo ugodno vplivala na povečanje varnosti nasipa in bo omogočala nadaljevanje izgradnje nasipa v drugi fazi.

Za dokončno potrditev ustreznosti nedrenirane strižne trdnosti za nadaljevanje izgradnje nasipa je bilo potrebno po dveh mesecih po končanju prve faze narediti naslednje terenske preiskave: merjenje posedkov z posedalnimi ploščami, CPT ali DMT meritve za oceno ustreznosti temeljnih tal za naslednjo fazo izgradnje nasipa, horizontalni inklinometri za merjenje posedkov, vertikalni inklinometri ter merilci poreznih tlakov. Natančnejša navodila za potek gradnje so sestavljena med samo gradnjo pred vsako fazo na podlagi tehničnega opazovanja.

### 2.6.1 Ankaranska vpadnica:

- Območje od profila P-31 + 17,00 m do P-37 :

Na tem območju trasa ceste poteka delno po apnenčevem gruščnatem nasipu. Obstoječi nasip je bilo potrebno odstraniti ter izvesti konsolidacijske ukrepe ter izboljšavo tal. Material iz obstoječega nasipa se je uporabil kot bočni nasip ali delovni plato pri čemer je bilo potrebno apnenčev grušč dodatno zdrobiti. Odpadni material v nasipu se je odpeljalo na deponijo.

Po odstranitvi obstoječega nasipa do kote 0.00 m se je na mestu bodočega nasipa položilo ločilni geosintetik, 0,6 m debel delovni plato ter 0,2 m debel filtrski sloj.

Za pospešitev konsolidacije je projektant na tem mestu izbral gruščnate kole premera 80 cm v kvadratnem rastru 2,3 m do prodne plasti. Na območju priključka na viadukt pa je bilo potrebno raster kolov pod brežino v vzdolžni smeri nasipa zgostiti na 2,0 m.

Nasip je bilo potrebno zgraditi v treh fazah in sicer 1. faza do 3,0 m višine. Po preteku enega do dveh mesecev se lahko po navodilih geomehanika začne izvajati 2. faza izgradnje nasipa do končne kote. Po sedmih mesecih po končanju druge faze se lahko naredi zgornji ustroj ceste.

Izračun posedkov narekuje nadvišanje idealne kote nasipa za 0,50 m.

- Območje od profila P-37 do P-53 :

Na tem območju trasa ceste poteka delno po apnenčevem gruščnatem nasipu. Obstoječi nasip je bilo potrebno odstraniti ter izvesti konsolidacijske ukrepe ter izboljšavo tal. Material iz obstoječega nasipa se je uporabil kot bočni nasip ali delovni plato pri čemer je bilo potrebno apnenčev grušč dodatno zdrobiti. Odpadni material v nasipu pa se je odpeljalo na deponijo.

Po odstranitvi obstoječega nasipa do kote 0.00 m se je na mestu bodočega nasipa položilo ločilni geosintetik, 0.60 m debel delovni plato ter 0.30 m debel filtrski sloj.

Za pospešitev konsolidacije je projektant na tem mestu izbral vertikalne trakaste drenaže širine 10 cm v kvadratnem rastru 1,1 m do prodne plasti.

Nasip je bilo potrebno zgraditi v dveh fazah in sicer 1. faza do 2,0 m nad koto obstoječega nasipa. Po preteku enega do dveh mesecev se je lahko po navodilih geomehanika začela izvajati 2. faza izgradnje nasipa do končne kote. Po sedmih mesecih po končanju druge faze se lahko naredi zgornji ustroj ceste.

Izračun posedkov je narekoval nadvišanje idealne kote nasipa v povprečju za 0,40 m.

### 3 OPIS IZVEDBE DEL

Uvedba v delo je bila v začetku aprila 2006, vsa dela pa naj bi se končala v mesecu aprilu leta 2008. Izvedba nasipa na Ankaranski vpadnici obsega v največji meri zemeljska dela. Zaradi slabo nosilnih temeljnih tal je bilo potrebno nasip graditi v treh fazah, to pa pomeni, da je bila gradnja časovno precej razpotegnjena. Začetek nasipavanja je bil v juniju 2006, zadnjo plast preobtežbe pa se je vgradilo v juliju 2007. Predviden čas za iztek konsolidacije je 7 mesecev. Po končani konsolidaciji pa se lahko izvedejo še vsa preostala dela: prestavitev fekalne kanalizacije, izvedba vodovoda, izvedba meteorne kanalizacije ter zgornji ustroj ceste.

#### 3.1 Predviden obseg del in količina vgrajenega materiala na Ankaranski vpadnici

Gradnja nasipa je obsegala v največji meri naslednja dela in vgrajene materiale:

|                                   |                                      |                       |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| - zemeljska dela:                 | - izkopi nenosilnih tal in humusa    | 31.800 m <sup>3</sup> |
|                                   | - izvedba povoznega platoja 0-100 mm | 13.000 m <sup>3</sup> |
|                                   | - izvedba filtrskega sloja 0-32 mm   | 6.600 m <sup>3</sup>  |
|                                   | - gradnja kamnitega nasipa 0-300 mm  | 70.000 m <sup>3</sup> |
| - vgradnja ločilnega geosintetika |                                      | 23.000 m <sup>2</sup> |
| - humusiranje                     |                                      | 17.300 m <sup>2</sup> |
| - izvedba gruščnatih kolov        |                                      | 24.100 m              |
| - vtiskanje vertikalnih drenaž    |                                      | 506.000 m             |
| - vgradnja tampona                |                                      | 2.750 m <sup>3</sup>  |
| - vgradnja asfalta                |                                      | 1.800 t               |
| - vgradnja robnikov               |                                      | 1.350 m               |

Rok za končanje gradnje je 24 mesecev.

### 3.2 Tehnološki postopki

Najprej se je izvedlo čiščenje terena in odriv zemljine v debelini približno 30 cm (SLIKA 3). Na trasi Ankaranske vpadnice se je odstranil obstoječi kamniti nasip. Nasip je bilo potrebno zaradi izvedbe vertikalnih drenaž in gruščnatih kolov odstraniti v celoti do raščjenih tal. V obstoječem nasipu je fekalni kolektor, ki v času gradnje ostaja v funkciji, zato se po trasi kolektorja nasip ni odstranil. Na območju kolektorja se niso izvedli geotehnični ukrepi.



SLIKA 3: Čiščenje terena, odstranitev obstoječega kamnitega nasipa in odriv zemljine v debelini pribl. 30 cm

Po odrivu zemljine se je izvedel geodetski posnetek terena. Sledilo je polaganje geosintetika skladno z zahtevami projekta za izvedbo (PZI). Na položen geosintetik se je navozil kamniti material za povozni plato. Razprostiranje kamnitega materiala se je izvedlo z buldožerjem. Po končanem razprostiranju se je plast kamnitega materiala zgostila v polni širini do

zahtevane zgoščenosti. Zgoščenost vgrajene zmesi kamnitih zrn je morala biti zagotovljena pogojem podanih v posebnih tehničnih pogojih za zemeljska dela in temeljenje. Povožni plato je narejen v sloju debeline 60 cm iz kamnitega materiala granulacije 0-100mm (SLIKA 4).



SLIKA 4: Povožni plato nad geotekstilom ob fekalnem kolektorju

Sledilo je vtiskanje vertikalnih drenaž (SLIKA 5) in izvedba gruščnatih kolov po metodi vibracijskega razrivanja (SLIKA 6). Po končanju del se je izvedlo geodetski posnetek.





SLIKA 5 : Vtiskanje vertikalnih drenaž



SLIKA 6 : Izvedba gruščnatih kolov po metodi vibracijskega razrivanja

Na pripravljen povozni plato se je po programu geotehničnih opazovanj namestilo posedalne plošče (reperje) in posnelo začetno stanje. Vgradilo se je tudi ostale opazovalne naprave – vertikalne inklinometre, horizontalne inklinometre in merilce pornih tlakov. Program geotehničnega opazovanja je bil obdelan v projektu PZI, ker pa je prišlo do določenih sprememb lokacije opazovalnih naprav, je izvajalec geotehničnih opazovanj izdelal nov program.

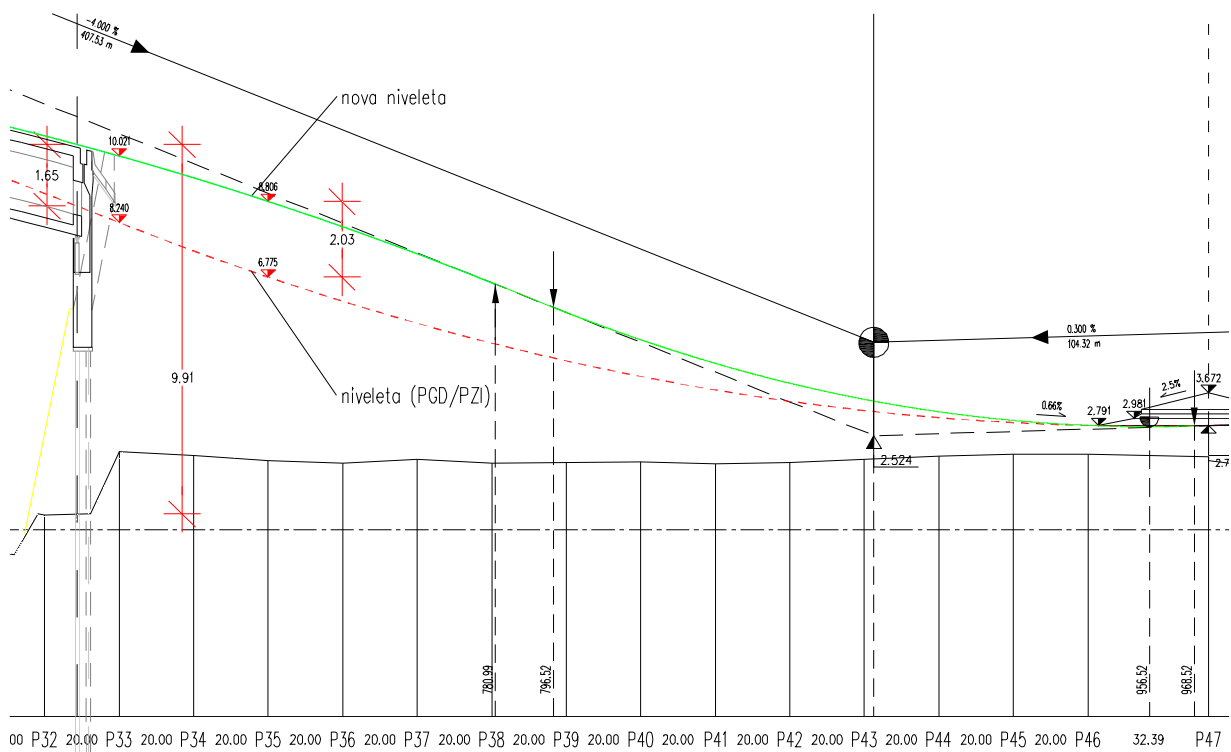
Na povozni plato se je po izvedbi gruščnatih kolov in vertikalnih drenaž nasula filtrska plast iz kamnitega drobljenca 0/32 mm v projektirani debelini 30 cm. Na filtrsko plast pa se je pričela izvedba nasipa iz kamnitega materiala granulacije 0/300 mm. Material se je razprostiralo z buldožerjem. Po končanem razprostiranju vsake posamezne plasti debeline 50 cm, se je plast zgostilo v polni širini s pomočjo vibracijskih valjarjev. Zgoščenost vgrajene zmesi kamnitih zrn je morala biti zagotovljena pogojem podanih v posebnih tehničnih pogojih za zemeljska dela in temeljenje. Nasip se je izvajal v projektiranem naklonu do posameznih faz. Poleg glavnega nasipa so se na določenih odsekih (Povezovalna cesta, Štiripasovnica za v Luko) zgradili tudi bočni nasipi v skladu s projektom PZI. Zaradi predvidenih posedkov se je izvedlo nadvišanje končne kote nasipa na Ankaranski vpadnici za 50 cm. Med posameznimi fazami in po zadnji fazi gradnje nasipa je bil potreben določen čas za konsolidacijo temeljnih tal pred nadaljevanjem del. Hitrost izvajanja nasipov in čas potreben za konsolidacijo določi geomehanik na podlagi geotehničnih opazovanj.

Tik pred začetkom del se je zaradi tehnologije dela spremenil projekt viadukta Bonifika – niveleta viadukta se je dvignila. Zaradi tega se je višina priključnih nasipov dvignila za 1,50 do 2,00 m glede na prvotno varianto. Za to spremembo je bilo izdelano novo geomehansko poročilo, na podlagi katerega je bila izdelana tudi sprememba projekta PZI vpadnice.

## 4 RAZHAJANJA OD PROJEKTA

### 4.1 Sprememba nivelete Ankaranske vpadnice

Pred začetkom izvedbe del je izvajalec viadukta Bonifika izrazil željo, da bi viadukt deloma zgradili po drugačni tehnologiji od projektirane in sicer po metodi narivanja. Na zadnjih stotih metrih proti krožnem križišču Bertoki je bila po prvotnem projektu predvidena izvedba na klasičen način z opaženjem zaradi neenakomernega radija prekladne konstrukcije. Investitor je izvajalcu ugodil. To je pomenilo, da se je celotna niveleta viadukta spremenila, kar se je odražalo tudi na priključnih nasipih. Kota nasipa na Ankaranski vpadnici se je dvignila tudi do 2,00 m (SLIKA 7), kar je pomenilo dodatno obremenitev temeljnih tal ter posledično večje posedke. Izvedena je bila nova stabilnostna analiza, na podlagi katere je bil potek gradnje priključnega nasipa (od P32 do P35) spremenjen.



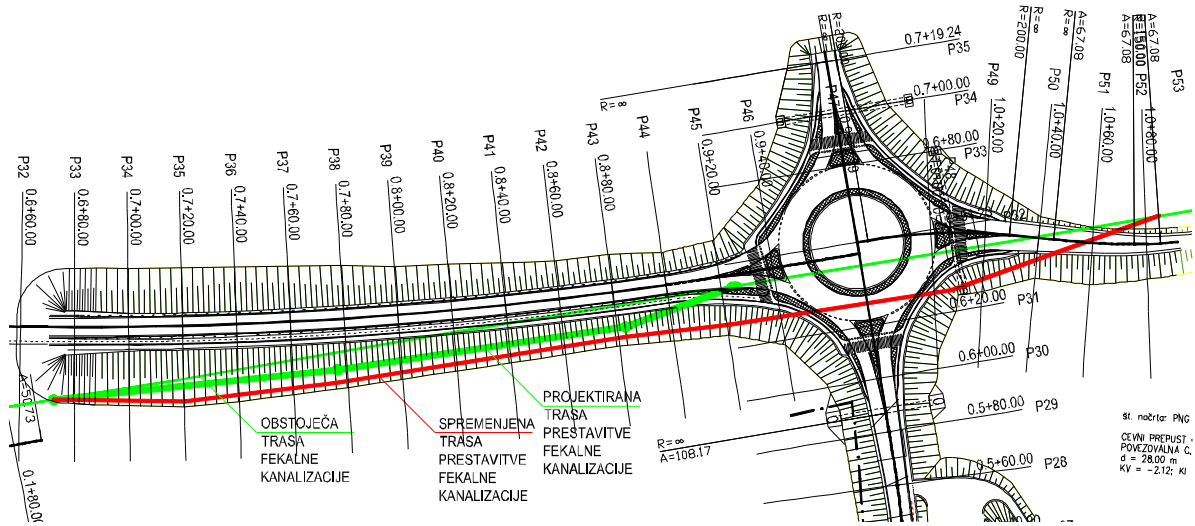
SLIKA 7: Sprememba nivelete Ankaranske vpadnice v vzdolžnem profilu

## 4.2 Prestavitev fekalnega kolektorja

Po projektu je bilo predvideno, da se prestavitev fekalnega kolektorja na Ankaranski vpadnici izvede pred gradnjo nasipa. To se je izkazalo za neprimerno, saj je trasa prestavljenega kolektorja v območju, kjer je pričakovati dokaj velike posedke zaradi obtežbe nasipa. To se je izkazalo tudi med gradnjo, saj je bil izmerjen posedek po II. fazi gradnje na območju prestavitve že več kot 50 cm.

Dvom je vzbudila tudi sama trasa prestavljenega kolektorja, saj poteka pod brežino novega nasipa, kar pomeni, da bi se za prestavitev kolektorja moralo izkopati večji del že zgrajenega kamnitega nasipa. To pa pomeni razbremenitev temeljnih tal, s tem tudi dvig tal in nove posedke po izvedbi prestavitve. Upravljavca kanalizacijskega omrežja, pa zahteva minimalen padec 0,24 % po celotni trasi. Predlog izvajalca ter geomehanika je bil, da se trasa premakne čim bližje peti nasipa, tako se trasa kanalizacije oddalji od najbolj vplivnega območja posedanja. Ugotovljeno je bilo, da se je kolektor na območju preklapljanja na obstoječega na območju rondoja CČN posedel že za 70 cm, zato se je projektant odločil podaljšati prestavitev do naslednjega jaška izven trase ceste v smeri proti Ankaranu.

Zahteva geomehanika je bila, da se prestavitev fekalnega kolektorja na Ankaranski vpadnici izvede po primarni fazi konsolidacije. Projektant, pa je po navodilih geomehanika izdelal spremembo projekta za prestavitev kolektorja. Nova trasa fekalnega kolektorja poteka ob samem robu vgrajenih gruščnatih kolov oziroma vertikalnih drenaž tako, da bi posedki v večji meri na tem območju bili že izvršeni. Ustrezno zaščito cevovoda fekalne kanalizacije pred vzgonom se zagotovi z izvedbo bočnega nasipa.



SLIKA 8: Prikaz spremembe trase prestavitve fekalnega kolektorja

## 5 GEOTEHNIČNO OPAZOVANJE

### 5.1 Splošno

Geotehnično opazovanje ima pomembno vlogo pri gradnji in tudi pri vzdrževanju avtocest v Sloveniji, saj je večina le teh grajenih v izjemno težkih geotehničnih pogojih. Geotehnične meritve se pričnejo izvajati že v fazi raziskav, vendar pa je celovit sistem opazovanja dejansko vzpostavljen med gradnjo. Kasneje, v fazi obratovanja objektov, pa je sistem opazovanja optimiziran glede na potrebe in geotehnične razmere.

Geotehnično opazovanje pri gradnji in vzdrževanju prometnic predstavlja vzpostavitev sistema merskih mest, izvajanje meritev na teh merskih mestih, vgrajenih na objektih različnih geotehničnih kategorij ter izdelavo celovite analize rezultatov vseh meritev z opredelitvijo nadaljnjih morebiti potrebnih ukrepov.

Geotehnično opazovanje je razdeljeno v dve fazi. Osnovni namen meritev prve faze je preverjanje ali je obnašanje konstrukcije znotraj meja določenih s projektom in poteka v času gradnje geotehničnih objektov. Druga faza, ki poteka v obdobju obratovanja objektov, pa predstavlja kontinuirano preverjanje obnašanja objektov, njihovih konstrukcijskih elementov ter zaledja. Merjeno obnašanje mora biti skladno s projektnimi predvidevanji oziroma s projektom vzdrževanja. Posredno omogočajo meritve tudi povratne analize bistvenih geotehničnih parametrov in njihovo primerjavo s parametri iz projekta. Osnovni namen geotehničnega opazovanja druge faze je zagotavljanje kvalitetnega vzdrževanja in v slučaju potrebe pravočasne in optimalne ojačitve konstrukcij. Vse to pa v veliki meri temelji na kvalitetnem izvajanju in interpretiranju rezultatov geotehničnih meritev.

## **5.2 Osnovne usmeritve za izvajanje geotehničnih meritev**

EUROCODE 7 predpisuje način geotehničnega opazovanja in vzdrževanja za objekte različnih geotehničnih kategorij. Podana so le splošna navodila in niso precizirane zahteve in minimalni obsegi meritev. Program osnovnega geotehničnega opazovanja mora biti zato določen v projektu geotehničnega opazovanja, ki je sestavni del projekta in mora natančno opredeliti kaj, kdaj, kje, kako pogosto in na kakšen način nadzirati stanje posameznega objekta med gradnjo. Po izgradnji mora biti program geotehničnega opazovanja dopolnjen in sestavni del projekta vzdrževalnih del.

EUROCODE 7 splošno opredeljuje tudi način izvajanja geotehničnega opazovanja. Dosežena mora biti ustrezna natančnost izvedbe meritev, instrumenti morajo biti kalibrirani, vpliv človeškega faktorja pa čim manjši. V primeru nelogičnih rezultatov je izvajalec dolžan meritve ponoviti. Rezultate meritev je potrebno strokovno in celovito analizirati in pri tem upoštevati posebnosti, ki so se dogajale med gradnjo, projektne parametre, vremenske razmere v času izvajanja meritev in drugo. Rezultate meritev posameznih parametrov je potrebno primerjati z računskimi oziroma s projektom predvidenimi vrednostmi. Preverjati je potrebno, če je obnašanje objekta v predvidenih mejah, če je obnašanje drugačno od predvidenega, vendar še sprejemljivo in če so potrebni dodatni ukrepi.

## **5.3 Opazovalni sistem na Ankaranski vpadnici**

Sistem geotehničnega opazovanja nasipa na Ankaranski vpadnici je potrebno vzpostaviti zaradi več razlogov:

- pravočasne ugotovitve morebitne porušitve temeljnih tal
- primerjave meritev dejanskega razvoja posedkov nasipa in temeljnih tal ter napovedanega časovnega razvoja posedkov
- odločitve o nadvišanjih nasipa zaradi posedkov
- odločitve o dopolnitvah prvotnega projekta, zaradi racionalizacije ali zaradi varnostnih ukrepov

- odločitve o nanosu predobtežb na prehodih iz objektov na nasip
- določitve primerne časa za finalizacijo vozišča

Sprotna uporaba rezultatov geotehničnega opazovanja je omogočala časovno prilagojeno hitrost gradnje nasipa na način, ki ni ogrožal njegove stabilnosti. Po zaključku gradnje nasipa se bo uporabnost sistema geotehničnega opazovanja podaljšala na obdobje do zaključka konsolidacije temeljnih tal. Zaradi pričakovanih velikih posedkov, se je hitrost gradnje smiselno prilagodilo tako, da je predhodno izvršena konsolidacija omogočala doseganje minimalnih diferenčnih posedkov. Na podlagi rezultatov meritev med gradnjo se določa način geotehničnega opazovanja in pogostost meritev po predaji objekta prometu.

### **5.3.1 Osnovni podatki o opazovalnem sistemu**

Opazovalni sistem na Ankaranski vpadnici od profila P32 do P47 obsega:

- geodetsko opazovanje posedkov temeljnih tal s pomočjo 20 posedalnih plošč po celotni trasi nasipa
- meritve posedkov v dveh profilih (P33 in P35) s horizontalnim inklinometrom,
- meritve dodatnih pornih tlakov v temeljnih tleh (P35 in P37)
- meritve horizontalnih deformacij s petimi vertikalnimi inklinometri
- meritve izboljšanja nedrenirane strižne trdnosti v tleh s CPTu testi

Lokacije merilnih točk posameznih raziskav so vrisane na situaciji v prilogi.



### 5.3.1.1 Posedalne plošče

S posedalnimi ploščami spremljamo posedanje temeljnih tal pod nasipom. Tako lahko primerjamo realno obnašanje nasipa in temeljnih tal z napovedanim posedanjem, torej dobimo informacije o napredovanju konsolidacije.

Takoj po končani vgradnji gruščnatih kolov oziroma vertikalnih drenaž, torej pred samim začetkom gradnje nasipa se je izvedla vgradnja 20 posedalnih plošč na povozni plato.

Posedalne plošče so izdelane iz kovinske plošče dimenzij 400 x 400 x 8 mm, oziroma 400 x 400 x 10 mm, na kateri je na sredini pravokotno privarjena vodovodna cev premera 1". Cevi se podaljšuje skladno z izvedbo nasipa. Ob podaljšanju cevi se meri kota vrha cevi pred in po podaljšanju ter višina nasipa ob posedalni plošči. Ob vgradnji je bila pri osnovni meritvi za vsako posedalno ploščo določena tudi njena lega (X, Y koordinate) ter višina na kateri je vgrajena sama plošča (koordinata Z). Pri meritvah posedkov je potrebno upoštevati napake kot so natančnost merjenja ( $\pm 2$  mm) in pa gradnja nasipa v bližini merjene posedalne plošče.

Rezultate, ki jih izmeri geodetska služba se po vsaki meritvi dostavljajo izvajalcu opazovanja (v tem primeru ZAG-u) v posebnem obrazcu. Pri vsaki meritvi se ob zapisu o meritvah poda datum, vremenske razmere na dan meritev ter v preteklem tednu. Prav tako se v zapisu o meritvah pod opombami navajajo vse opažene poškodbe cevi posedalnih plošč.



SLIKA 9: Območje posedalnih plošč A13, A14 in A15 med gradnjo

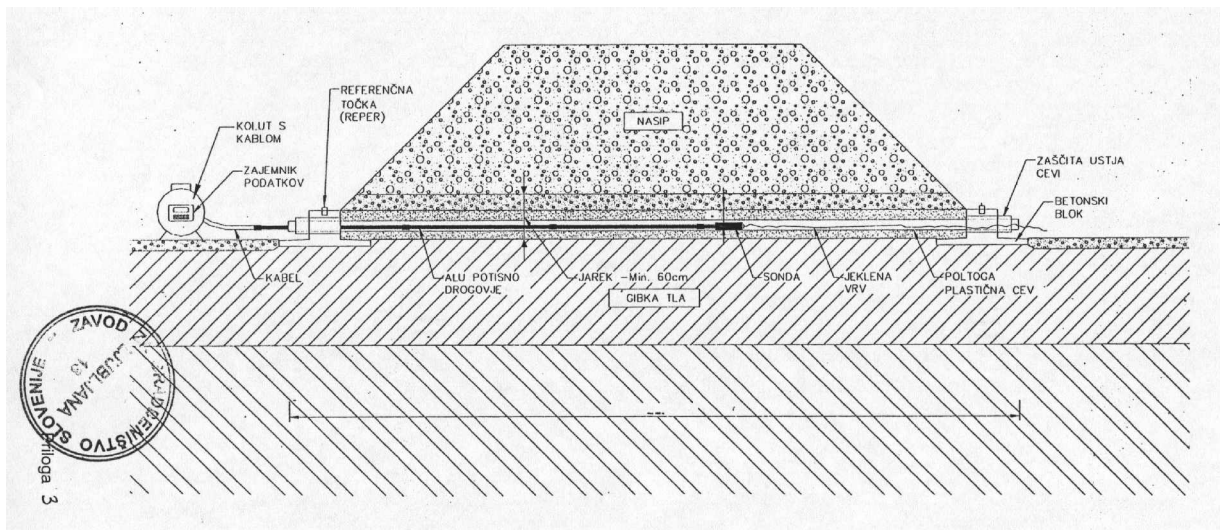
### **5.3.1.2 Horizontalni inklinometri**

S horizontalnim inklinometrom merimo posedke temeljnih tal pod nasipom v nekem določenem profilu in ugotavljamo nastanek drsin.

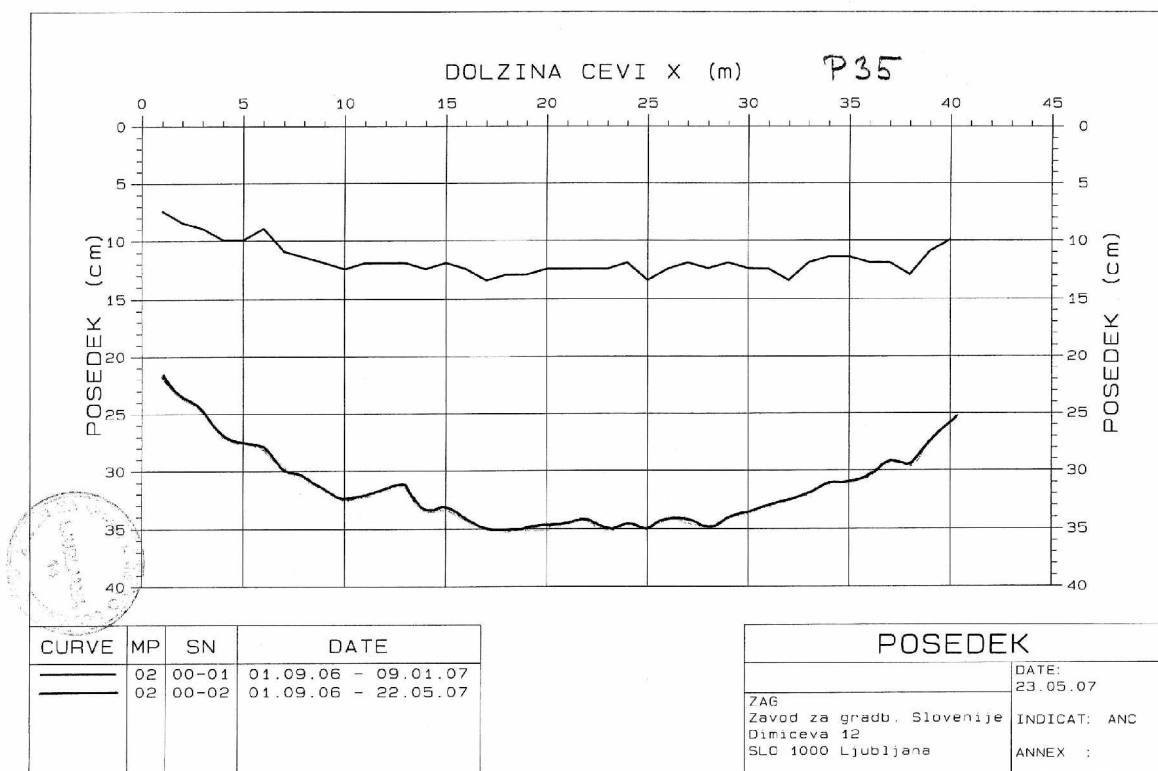
Horizontalni inklinometer je sestavljen iz poltoge plastične cevi premera 16 cm. Na obeh koncih cevi je betonski temelj z vgrajeno točko za geodetske meritve. Cev je dostopna iz obeh strani, ustje pa je zaščiteno s kapo in obešanko.

S projektom je bilo predvideno merjenje posedkov v dveh prečnih profilih s pomočjo hidrostatskega horizontalnega inklinometra (HIHI). Eden od predvidenih horizontalnih inklinometrov je bil predviden za vgradnjo poševno glede na os nasipa. Zaradi tehničnih ovir, ki so nastale zaradi sočasne gradnje temeljev za delavnico viadukta Bonifika, se je orientacija omenjenega horizontalnega inklinometra spremenila iz poševne v prečno glede na os nasipa. Zaradi izdelave pilotov za delavnico, ob kateri bi lahko prišlo do poškodb cevi horizontalnih inklinometrov, te niso bile vgrajene v temeljne tla ali v drenažno plast, kot je to običajno, ampak v nasip na višini tik pod temelji delavnice. Lokaciji sta prikazani v situaciji v prilogi!

Obe merski mesti se nahajata na območju nasipa Ankaranske vpadnice v bližini viadukta Bonifika, kjer je nasip najvišji, pričakovani posedki pa največji.



SLIKA 10: Shematski prikaz horizontalnega inklinometra (ZAG)



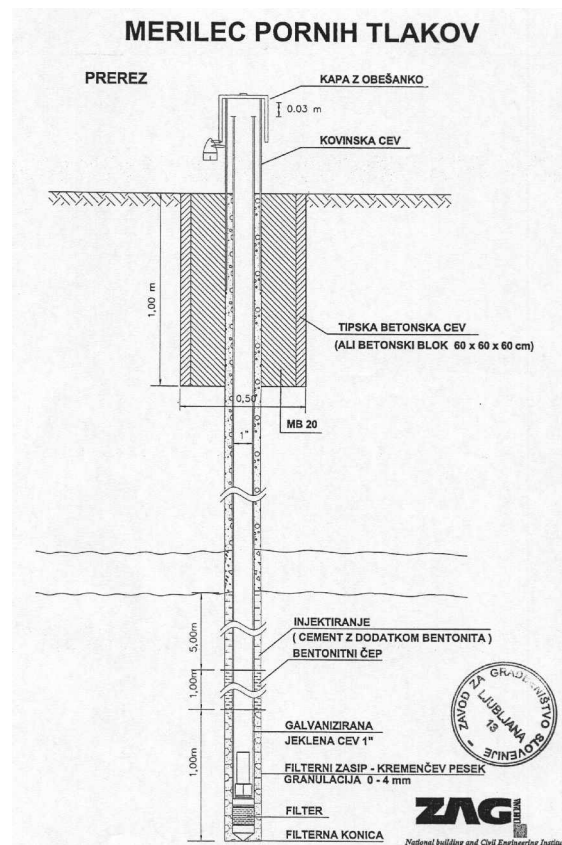
SLIKA 11: Rezultati meritev horizontalnega inklinometra AHOR 2 vgrajenem v profilu P35 (ZAG)

### 5.3.1.3 Merilci pornih tlakov

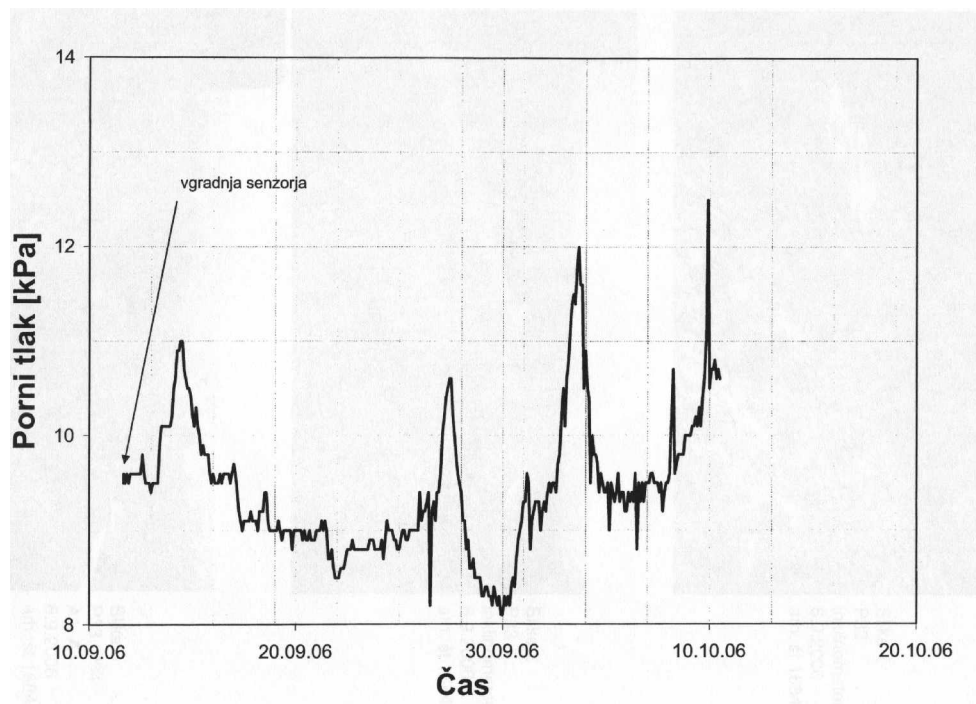
Spremljanje poteka konsolidacije temeljnih tal pod nasipom omogočajo meritve pornih tlakov s piezometri. Uporabljeni so bili piezometri ELTRA.

Merilne celice se je vgradilo v plast malo propustne gline, ki se začne na globini 1-5 m pod osnovno koto terena. Tam kjer je bila predvidena vgradnja celic na območje gruščnatih kolov ali vertikalnih drenaž je bilo nujno, da so se celice vgradile na sredino med štiri izvedene kole ali drenaže takoj po njihovem dokončanju. Če bi bile celice vgrajene preblizu gruščnatih kolov ali vertikalnih drenaž, rezultati nebi bili merodajni. Mersko območje merilnih celic znaša do 500 kPa. Natančnost določitve pornega tlaka je  $\pm 2$ kPa.

Po geotehničnem poročilu so bile na nasipu Ankaranske vpadnice predvidene meritve 1x tedensko v času gradnje, oziroma 1x na 14 dni v času konsolidacije. Predvidene kontinuirane meritve pornih tlakov omogočajo bistveno boljše kvaliteto in kvantiteto podatkov in spremljanje dogajanja v temeljnih tleh.



SLIKA 12: Shema merilca pornih tlakov



SLIKA 13: Rezultati meritev merilca pornih tlakov AP2

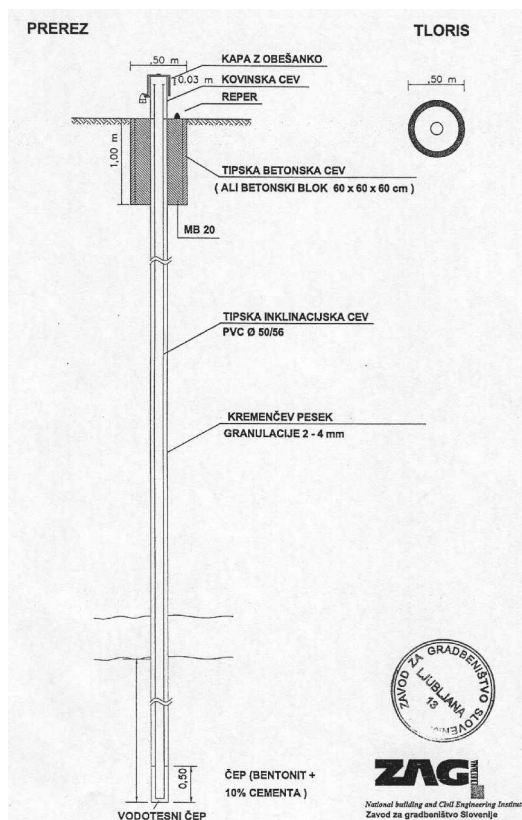
#### **5.3.1.4 Vertikalni inklinometri**

Horizontalne premike merimo v vertikalni cevi, ki je vgrajena v brežino nasipa in sega vsaj 2 m v prodno oziroma flišno podlago temeljnih tal. Poleg premikov s temi meritvami preverjamo tudi stabilnost nasipa.

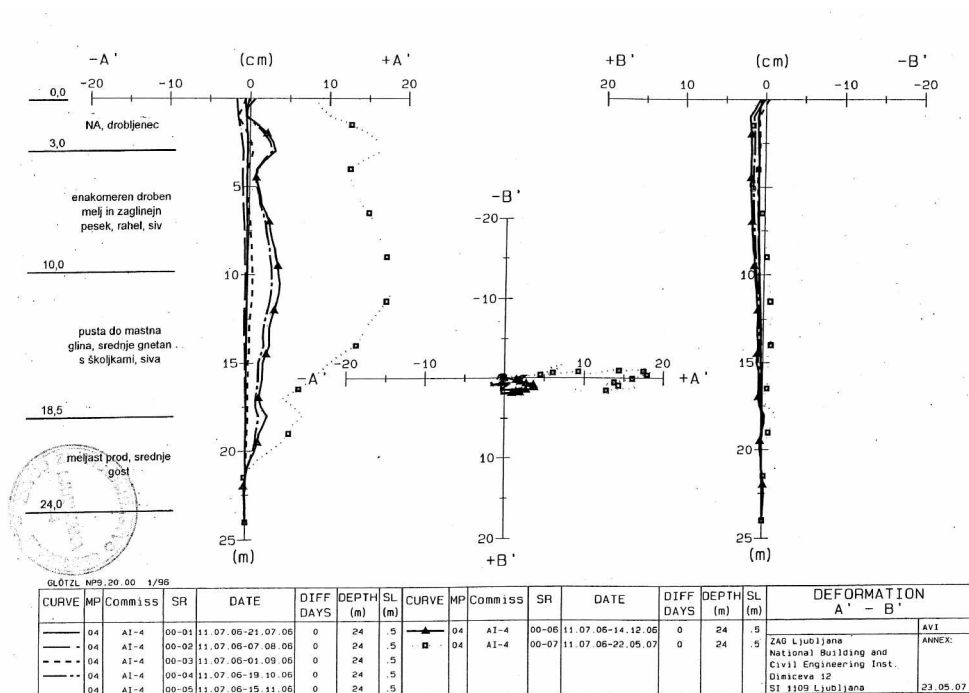
Inklinacijske cevi so se vgradile v brežino nasipa, ko je le-ta dosegel višino 1 m, torej po izvedbi filtrske plasti in gruščnatih kolov. Inklinacijsko cev je bilo potrebno vodotesno zatesniti na dnu s čepom ter na vseh stikih po tehnologiji proizvajalca cevi. Prostor med cevjo in zemljino se je zapolnilo s peskom. Vrtanje se je izvedlo na jedro, nato se je geološko popisalo tla, saj podrobne preiskave zemljin niso bile predvidene. Vsa dela je spremljal geomehanik – geolog, ki je določil končno globino posameznih opazovalnih vrtin. Ustje cevi na brežini nasipa je obbetonirano in ima vgrajeno geodetsko točko.

Meritev se predvidoma izvede dvakrat v vseh štirih smereh. Natančnost določitve horizontalnega premika je  $\pm 4$  mm v ceveh dolžine 25 m.

S projektom je bila predvidena vgradnja petih vertikalnih inklinometrov na območju prehoda nasipa na viadukt. Predvidena končna višina nasipa je na tem delu največja, zaradi česar je stabilnosti namenjena večja pozornost.



SLIKA 14: Shema vertikalnega inklinometra



SLIKA 15: Rezultati meritev vertikalnega inklinometra AI 4



### **5.3.1.5 Meritve nedrenirane strižne trdnosti**

Predvidena je bila izvedba terenskih meritev s statičnim penetrometrom ali dilatometrom za kontrolo nedrenirane strižne trdnosti temeljnih tal. Na območju gruščnatih kolov in vertikalnih drenaž je bilo nujno, da se je preiskava izvedla točno na sredini med štirimi izvedenimi koli oziroma drenažami. Lokacije za CPT ali za meritve z dilatometrom je bilo potrebno zakoličiti že v času zakoličbe gruščnatih kolov oziroma vertikalnih drenaž. Na ta mesta se je vertikalno vgradilo plastično cev premera vsaj 15 cm. Meritev se je izvajala v dveh fazah, zato je bilo potrebno za eno mersko mesto vgraditi dve cevi na medsebojni razdalji dva do štiri metre.

## **6 REZULTATI MERITEV POSEDKOV**

Pod nasipom Ankaranske vpadnice je bila predvidena vgradnja 18 posedalnih plošč na temeljna tla. Osnovni podatki o posedalnih ploščah so v PREGLEDNICI 1. Lokacija posedalnih plošč pa je prikazana na situaciji v prilogi A.

Plošče z oznakami A1 do A9 so vgrajene na območju, kjer so bila tla izboljšana z gruščnatimi koli, izvedenimi do prodnatega sloja. Ostale plošče so vgrajene na območje nasipa, kjer so v temeljnih tleh izvedene vertikalne drenaže.

Izvajalec geodetskih meritev redno izvaja meritve po navodilih geotehnika. Meritve se vpisuje v poseben obrazec (PREGLEDNICA 2). Prva meritev je osnovna, iz katere je razvidna prvotna višina plošče. Med gradnjo nasipa se meritve izvajajo tedensko, med posameznimi fazami gradnje pa enkrat na štirinajst dni, oziroma enkrat mesečno.

Med gradnjo se je pokazalo, da so izmerjeni posedki na območju krožnega križišča CCN večji od predvidenih, zato sta bili vgrajeni še dodatni posedalni plošči A19 ter A20.

PREGLEDNICA 1: Podatki o merskih mestih ter podatki iz geološko – geotehničnega poročila

| Oznaka plošče | Profil  | Datum osnovne meritve | Višinska kota plošče (m) | Projektni posecki | Prvotna dinamika gradnje (m) | Novelirana dinamika gradnje (m) | Izboljšava tal |
|---------------|---------|-----------------------|--------------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|
| A1            | P33     | 26.06.2006            | 0,45                     | 50                | 0-6-vrh                      | 0-3,7-7,7-vrh                   | GK na 2,0m     |
| A2            | P33     | 26.06.2006            | 0,49                     | 50                | 0-6-vrh                      | 0-3,7-7,7-vrh                   | GK na 2,0m     |
| A3            | P33+9m  | 03.07.2006            | -0,10                    | 50                | 0-6-vrh                      | 0-3,7-7,7-vrh                   | GK na 2,3m     |
| A4            | P33+14m | 26.06.2006            | 0,34                     | 50                | 0-6-vrh                      | 0-3,7-7,7-vrh                   | GK na 2,3m     |
| A5            | P33+14m | 26.06.2006            | 0,33                     | 50                | 0-6-vrh                      | 0-3,7-7,7-vrh                   | GK na 2,3m     |
| A6            | P33+18m | 03.07.2006            | 0,02                     | 50                | 0-6-vrh                      | 0-3,7-7,7-vrh                   | GK na 2,3m     |
| A7            | P34     | 03.07.2006            | -0,08                    | 50                | 0-6-vrh                      | 0-4-7-vrh                       | GK na 2,3m     |
| A8            | P35     | 03.07.2006            | -0,18                    | 50                | 0-6-vrh                      | 0-4-7-vrh                       | GK na 2,3m     |
| A9            | P36     | 03.07.2006            | -0,11                    | 50                | 0-6-vrh                      | 0-4-7-vrh                       | GK na 2,3m     |
| A10           | P37+6m  | 31.07.2006            | -0,50                    | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-4-6-vrh                     | VD na 1,1m     |
| A11           | P37+6m  | 31.07.2006            | -0,58                    | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-4-6-vrh                     | VD na 1,1m     |
| A12           | P37+6m  | 31.07.2006            | -0,52                    | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-4-6-vrh                     | VD na 1,1m     |
| A13           | P40     | 16.08.2006            | -0,07                    | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-4-6-vrh                     | VD na 1,1m     |
| A14           | P40     | 16.08.2006            | -0,36                    | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-4-vrh                       | VD na 1,1m     |
| A15           | P40     | 16.08.2006            | -0,19                    | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-4-vrh                       | VD na 1,1m     |
| A16           | P46+10m | 21.08.2006            | -0,28                    | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-vrh                         | VD na 1,1m     |
| A17           | P47     | 21.08.2006            | -0,29                    | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-vrh                         | VD na 1,1m     |
| A18           | P47+10m | 11.09.2006            | -0,68                    | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-vrh                         | VD na 1,1m     |
| A19           | P47+5m  | 22.12.2006            | 0,92                     | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-vrh                         | VD na 1,1m     |
| A20           | P47     | 22.12.2006            | 0,90                     | 40                | 0-3-vrh                      | 0-2-vrh                         | VD na 1,1m     |

PREGLEDNICA 2: Primer obrazca z vpisanimi meritvami posedanja posedalne plošče A2

| y= 403350,637<br>x= 46888,337  |                     |                           |  |       |               |
|--------------------------------|---------------------|---------------------------|--|-------|---------------|
| A2<br>P33, 9.3m levo od<br>osi |                     | Osn.<br>mer.<br>26.6.2006 | H <sub>vrha</sub> = 2,49<br>H <sub>plošče</sub> = 0,49 |       |               |
| Datum                          | H <sub>i, i+2</sub> | H <sub>i+1, i+3</sub>     | DH <sup>1</sup>  | Teren | Višina nasipa |
| 27.6.06                        | 2,464               | 4,463                     | -0,026   | 2,08  | 0             |
| 3.7.06                         | 4,415               |                           | -0,074   | 2,17  | 0,09          |
| 10.7.06                        | 4,334               | 6,332                     | -0,155   | 3,37  | 1,29          |
| 17.7.06                        | 6,202               |                           | -0,285   | 4,78  | 2,70          |
| 24.7.06                        | 6,102               |                           | -0,385   | 5,10  | 3,02          |
| 31.7.06                        | 6,074               |                           | -0,413   | 5,05  | 2,97          |
| 7.8.06                         | 6,027               |                           | -0,460   | 5,09  | 3,01          |
| 14.8.06                        | 6,017               |                           | -0,470   | 5,08  | 3,00          |
| 21.8.06                        | 5,994               |                           | -0,493   | 5,08  | 3,00          |
| 28.8.06                        | 5,991               |                           | -0,496   | 5,08  | 3,00          |
| 4.9.06                         | 5,984               |                           | -0,503   | 5,08  | 3,00          |
| 11.9.06                        | 5,974               |                           | -0,513   | 5,08  | 3,00          |
| 18.9.06                        | 5,970               |                           | -0,517   | 5,08  | 3,00          |
| 25.9.06                        | 5,950               |                           | -0,537   | 5,07  | 2,99          |
| 2.10.06                        | 5,938               |                           | -0,549   | 5,05  | 2,97          |
| 16.10.06                       | 5,917               |                           | -0,570   | 5,05  | 2,97          |
| 6.11.06                        | 5,885               |                           | -0,602   | 5,05  | 2,97          |
| 15.11.2006                     | 5,880               |                           | -0,607   | 5,05  | 2,97          |
| 11.12.2006                     | 5,878               |                           | -0,609   | 5,05  | 2,97          |
| 22.12.2006                     | 5,865               |                           | -0,622   | 5,05  | 2,97          |
| 12.1.2007                      | 5,847               |                           | -0,640   | 5,05  | 2,97          |
| 22.1.2007                      | 5,841               |                           | -0,646   | 5,05  | 2,97          |
| 29.1.2007                      | 5,856               |                           | -0,631   | 5,05  | 2,97          |
| 5.2.2007                       | 5,838               |                           | -0,649   | 6,34  | 4,26          |
| 12.2.2007                      | 5,843               |                           | -0,644   | 6,40  | 4,32          |
| 19.2.2007                      | 5,834               |                           | -0,653   | 6,40  | 4,32          |
| 27.2.2007                      | 5,834               |                           | -0,653   | 6,40  | 4,32          |
| 5.3.2007                       | 5,826               |                           | -0,661   | 6,40  | 4,32          |
| 12.3.2007                      | 5,809               |                           | -0,678   | 6,40  | 4,32          |
| 19.3.2007                      | 5,795               |                           | -0,692   | 6,40  | 4,32          |
| 26.3.2007                      | 5,784               |                           | -0,703   | 6,40  | 4,32          |
| 2.4.2007                       | 5,782               |                           | -0,705   | 6,40  | 4,32          |
| 16.4.2007                      | 5,780               |                           | -0,707   | 6,40  | 4,32          |
| 14.5.2007                      | 5,770               |                           | -0,717   | 6,40  | 4,32          |
| 21.5.2007                      | 5,767               |                           | -0,720   | 6,40  | 4,32          |

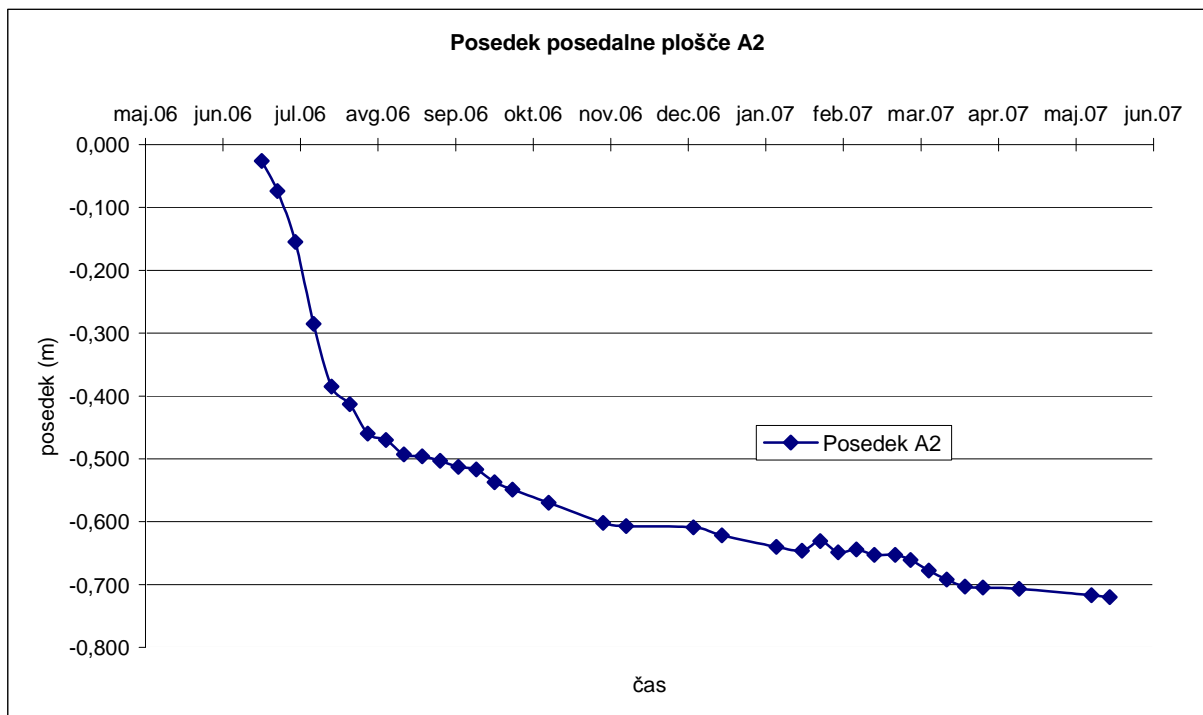
## **7 ANALIZA POSEDANJA IN NAPOVED NADALJNJEGA POSEDANJA**

### **7.1 Metoda Asaoka**

Z metodo Asaoka določamo na podlagi sprotnih meritev posedanja tal končni posedek primarne faze konsolidacije in stopnjo konsolidacije ter stopnjo konsolidacije v času merjenja neodvisno od drugih parametrov.

#### **7.1.1 Postopek metode Asaoka**

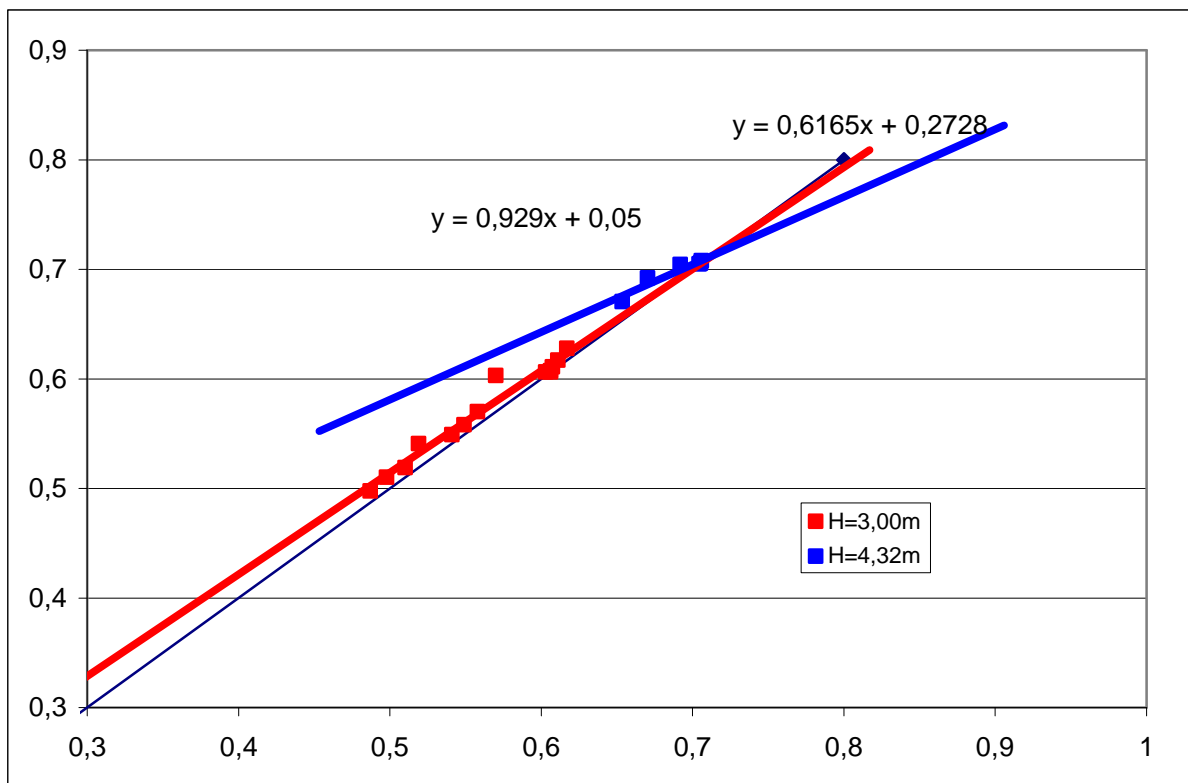
1. Na podlagi izvršenih meritev posedanja tal (PREGLEDNICA 2 v poglavju 6), konstruiramo diagram posedek – čas v linearnem merilu (GRAFIKON 1). Dobljeno krivuljo razdelimo na enake časovne intervale  $\Delta t$  in za vsak interval odčitamo odgovarjajočo vrednost posedka, ki ga vpišemo v preglednico pod določen čas. Za časovni interval  $\Delta t$  sem izbral 10 dni. Meritve se niso izvajale v enakomernih časovnih intervalih, zato je bilo potrebno odčitavati posedke iz grafa.



GRAFIKON 1: Posedki posedalne plošče A2 v odvisnosti od časa

2. Nato narišemo nov diagram posedek – posedek (GRAFIKON 2). Na absciso nanašamo posedek v predhodnem času  $\rho_{i-1}$ , na ordinato pa posedek v trenutnem času  $\rho_i$  za posamezno fazo gradnje nasipa. Skozi zadnje točke dobljene krivulje potegnemo premico. S pomočjo programa Excel dobimo za to premico enačbo  $y = k * x + N$ .

Odklon te premice od horizontale je označen s  $k$ , presečišče te premice z ordinato pa z  $N$ . Sečišče te premice s premico, ki poteka iz izhodišča pod kotom  $45^\circ$  nam poda pričakovani končni posedek  $\rho_\infty$  primarne faze konsolidacije pri podani višini nasipa, njen odklon od horizontale pa nam da stopnjo konsolidacije.



GRAFIKON 2: Posedek – posedek, postopek metode Asaoka posedalne plošče A2

### 7.1.2 Enačbe pri izračunu konsolidacije

Kot kriterij za končano konsolidacijo sem izbral stopnjo konsolidacije  $U_r = 0,99$  in nato izračunal:

$$n = \frac{R}{r_0}$$

ENAČBA 1: Kvocient med vplivnim radijem in radijem vertikalnih drenaž oz. gruščnatih kolov

$$\mu = \frac{n^2}{n^2 - 1} \left( \ln(n) - 0,75 + \frac{1}{n^2} - \frac{1}{4n^4} \right)$$

ENAČBA 2: Parameter difuzijske enačbe za radialno konsolidacijo – Kjellman (1948)

$$T_R = -\frac{\mu \cdot \ln(1-U_R)}{8} \quad \text{ali} \quad U_R = 1 - e^{-\frac{8T_R}{\mu}}$$

ENAČBA 3: Rešitev difuzijske enačbe za radialno konsolidacijo

$$c = \frac{\ln(k)}{\Delta t}$$

ENAČBA 4: Koeficient za določitev stopnje konsolidacije

$$C_R = \frac{R^2 \cdot \mu \cdot c}{2}$$

ENAČBA 5: Koeficient radialne konsolidacije

$$t = \frac{4 \cdot R^2 \cdot T_R}{C_R}$$

ENAČBA 6: Čas konsolidacije

$$\rho_\infty = \frac{N}{1-k}$$

ENAČBA 7: Končni posedek

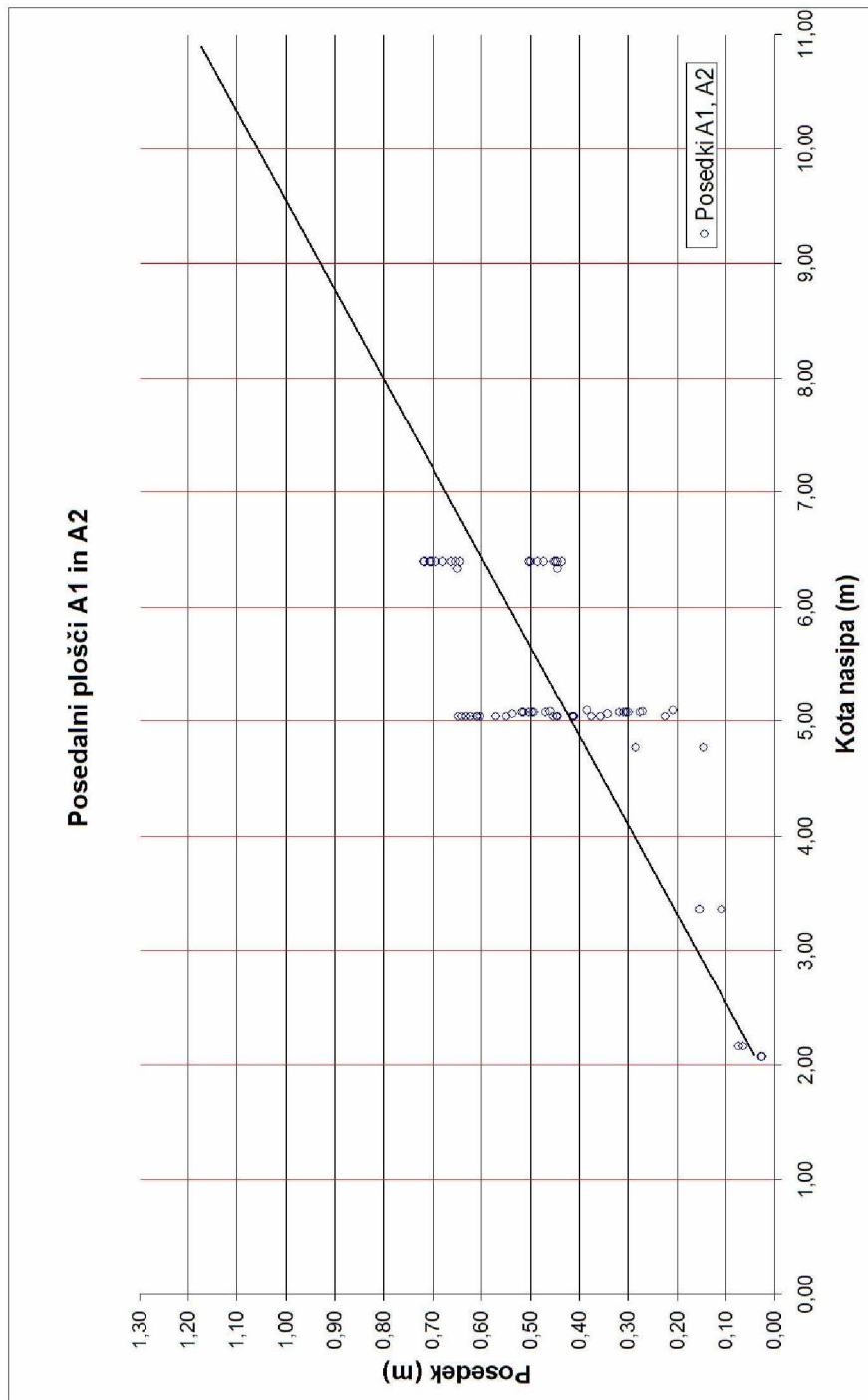
Izračuni posedka pri določeni višini nasipa in časa do konca konsolidacije pri takšni obremenitvi so podani v preglednici (PREGLEDNICA 3).

PREGLEDNICA 3: Izračunani parametri II. faze nasipa po metodi Asaoka plošče A2

|                |                    |
|----------------|--------------------|
| <b>h=4,32m</b> | <b>II. faza</b>    |
| <b>posedek</b> | <b>0,7103 m</b>    |
| c=             | -0,0535            |
| Cr=            | 0,0159             |
| μ=             | 0,4673             |
| n=             | 2,8200             |
| R=             | 1,1280             |
| r0=            | 0,4000             |
| a=             | 2,0000             |
| Ur=            | 0,9900             |
| Tr=            | 0,2690             |
| <b>t=</b>      | <b>86,0593 dni</b> |



3. Z danimi rezultati napovedi posedanja narišemo graf trenda posedkov v odvisnosti od višine nasipa (GRAFIKON 3), iz katerega lahko ocenimo posedek pri končni višini nasipa. Iz grafikona je razvidno, da bodo končni posedki po izgradnji nasipa do končne kote približno 10,0 m, velikosti okrog 1,05 m.



GRAFIKON 3: Trend posedkov v odvisnosti od višine nasipa posedalnih plošč A1 in A2 v bližini viadukta Bonifika

## **7.2 Napoved končnega posedka na podlagi rezultatov meritev**

Na podlagi meritev posedkov sem izračunal končne posedke ter čas do konca konsolidacije dveh faz gradnje nasipa za 10 izbranih posedalnih plošč, ki so bile vgrajene vzdolž trase nasipa. Izbrane plošče so locirane pod samim voziščem, torej na delu, kjer je nasip najvišji ter posedki največji.

Podrobneje bom opisal in primerjal rezultate meritev dveh posedalnih plošč, ki sta vgrajeni na dveh različnih lokacijah nasipa z drugačnima konceptoma izboljšave temeljnih tal.

Prva izmed dveh izbranih je posedalna plošča A2, ki je vgrajena na območju, kjer so bili za pospešitev konsolidacije in za ojačitev temeljnih tal vgrajeni gruščnati koli. V drugem primeru pa predstavljam rezultate posedanja posedalne plošče A12, ki je vgrajena na območju, kjer so bile vgrajene vertikalne drenaže.

V zaključku pa bom predstavil rezultate posedanja vzdolž celotne trase nasipa. V prvem grafikonu so zajeti podatki meritev posedanja, dejanskih višin ter rezultati izračuna konsolidacije po metodi ASAOKA. V drugem grafikonu pa so predstavljeni rezultati izračuna konsolidacije obeh faz s končnimi posedki ter časom do konca konsolidacije.

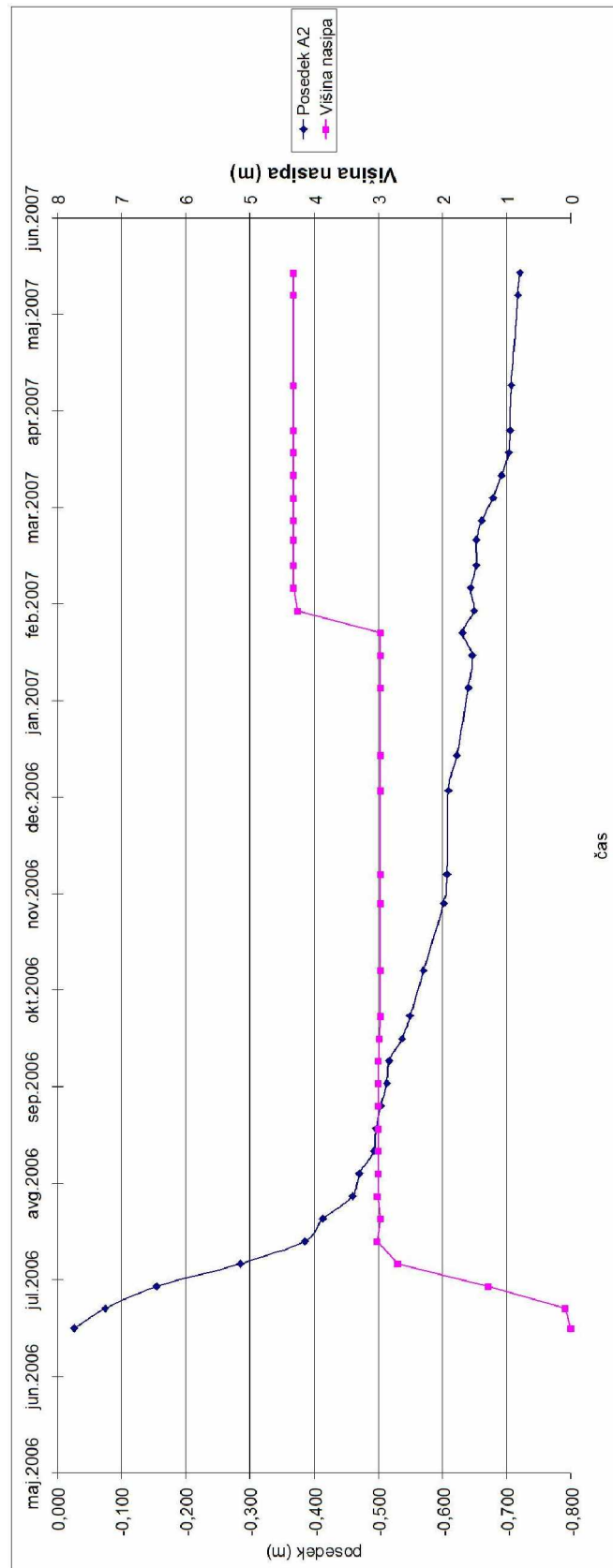
### 7.2.1 Posedalna plošča A2

Posedalna plošča A2 je vgrajena na najvišjem delu nasipa, na profilu P33, kjer se je za ojačitev temeljnih tal vgradilo gruščnate kole.

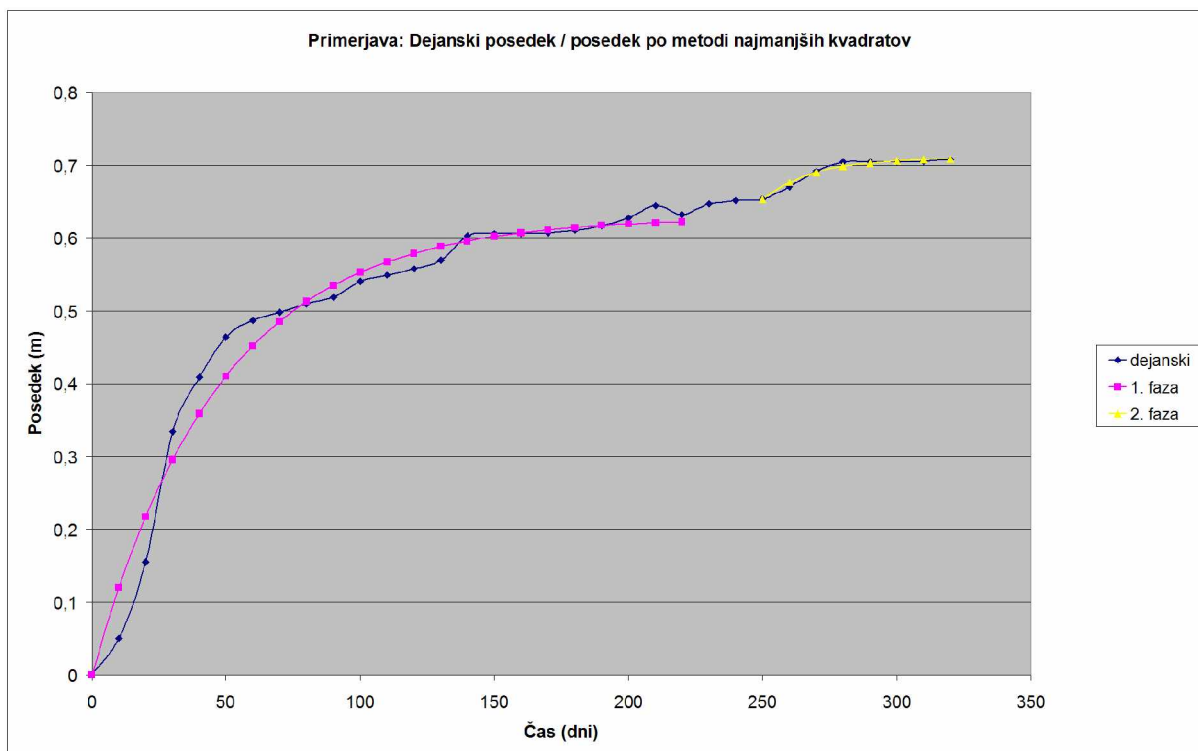
Iz rezultatov meritev posedkov posedalne plošče A2 sem narisal diagram posedkov v odvisnosti od časa v linearnem merilu ter višino nasipa v odvisnosti od časa (GRAFIKON 4). Graf sem nato priredil tako, da sem označil enake časovne intervale po 10 dni. Na grafu sem za posamezni termin odčital pripadajoči posedek. Nato sem za tiste intervale, v katerih ni prišlo do spremembe višine nasipa, izračunal potek konsolidacije po metodi najmanjših kvadratov. Do sedaj sta bili izvedeni prvi dve fazi gradnje, zato sem za ti dve fazi izračunal potek konsolidacije. Prva faza je daljša z intervalom dolgim 160 dni, druga faza pa je dolga 60 dni. Pri prvi fazi je višina nasipa 3,00 m, pri drugi fazi pa 4,32m.

Razvoj posedkov sem izračunal po metodi najmanjših kvadratov s pomočjo Reševalca - orodja v sklopu programa Excel. Dobil sem zelo dober računski približek dejanskemu posedanju. Rezultate sem sproti preverjal na novem grafikonu posedek/čas (GRAFIKON 8), na katerem sem pazil, da se vsak obravnavan odsek izračunan po metodi najmanjših kvadratov v največji meri približa dejanskim posedkom. Narisal sem tudi grafikon trenutni posedek v odvisnosti od prejšnjega posedka (GRAFIKON 6) z dejanskimi meritvami posedkov, kjer sem kontroliral odstopanja končnega posedka. Končni posedek je vrednost na sečišču trendne premice posedkov in premice, ki poteka iz izhodišča pod kotom 45°.

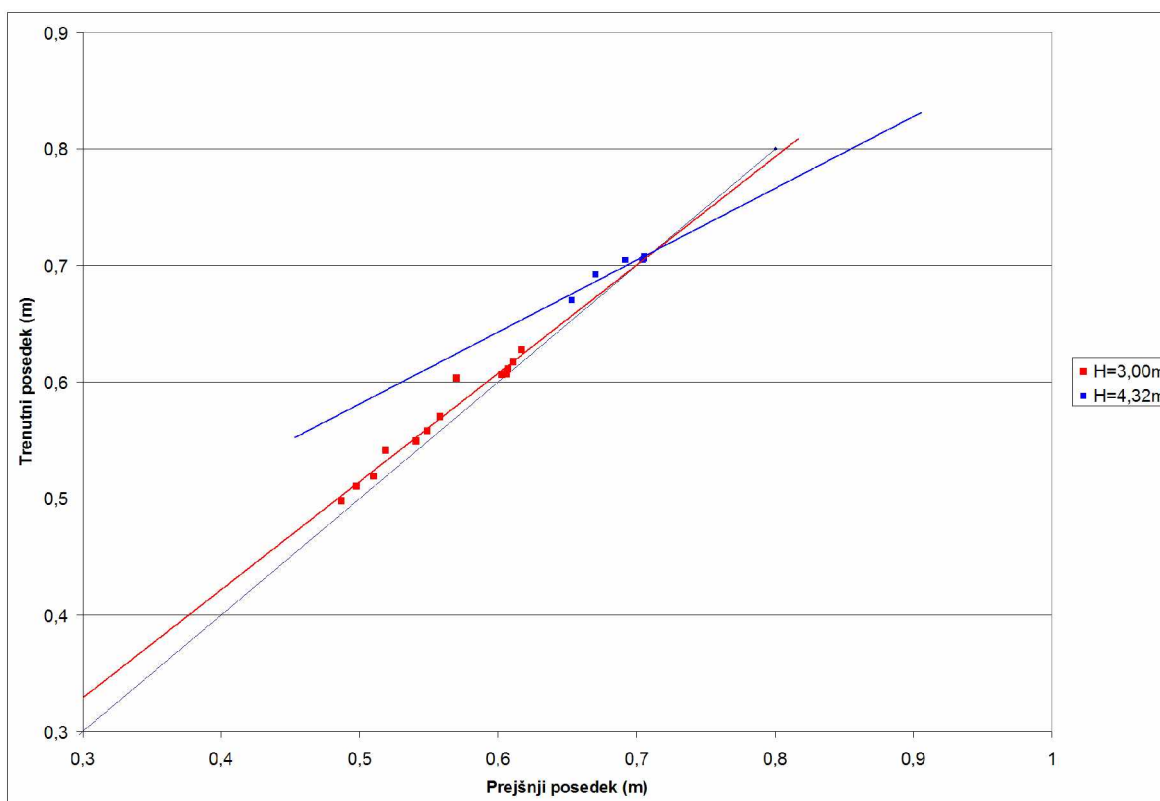
S pomočjo dobljenih rezultatov dobimo koeficienta  $k$  in  $N$ . S pomočjo teh koeficientov sem za posamezno fazo gradnje nasipa izračunal končni posedek ( $\rho_{\infty}$ ), čas do konca primarne faze konsolidacije ( $t$ ) v odvisnosti od stopnje konsolidacije ( $U_R$ ) ter karakteristik pospeševalcev konsolidacije. Rezultati so podani v preglednici (PREGLEDNICA 5).



GRAFIKON 4: Posedki posedalne plošče A2 in višina nasipa v odvisnosti od časa



GRAFIKON 5: Primerjava med dejanskim posedanjem ter izračunanim z metodo najmanjših kvadratov – posedalna plošča A2



GRAFIKON 6: Trenutni posedek v odvisnosti od prejšnjega posedka (metoda ASAOKA) – posedalna plošča A2

PREGLEDNICA 4: Rezultati izračunov posedka in časa konca konsolidacije posamezne faze po metodi Asaoka – posedalna plošča A2

| <b>h=3,00m</b> | <b>I. faza</b>      | <b>h=4,32m</b> | <b>II. faza</b>    |
|----------------|---------------------|----------------|--------------------|
| <b>posedek</b> | <b>0,6286 m</b>     | <b>posedek</b> | <b>0,7103 m</b>    |
| c=             | -0,0211             | c=             | -0,0535            |
| Cr=            | 0,0063              | Cr=            | 0,0159             |
| $\mu$ =        | 0,4673              | $\mu$ =        | 0,4673             |
| n=             | 2,8200              | n=             | 2,8200             |
| R=             | 1,1280              | R=             | 1,1280             |
| r0=            | 0,4000              | r0=            | 0,4000             |
| a=             | 2,0000              | a=             | 2,0000             |
| Ur=            | 0,9900              | Ur=            | 0,9900             |
| Tr=            | 0,2690              | Tr=            | 0,2690             |
| <b>t=</b>      | <b>217,8507 dni</b> | <b>t=</b>      | <b>86,0593 dni</b> |

### 7.2.1.1 Analiza meritev posedanja

Posedalna plošča A2 je locirana pri profilu P33, - 9,30 m levo od osi ceste. To je na delu, kjer je nasip najvišji, torej na prehodu nasipa na viadukt. Na tem delu se je za pospešitev konsolidacije vgradilo gruščnate kole premera 80 cm v kvadratnem rastru s stranico dolžine 2,0 m.

Rezultati meritev posedanja (GRAFIKON 4) potrjujejo, da je bila gradnja prve faze za dane pogoje tal prehitra. Nasip je bil v dobrem mesecu zgrajen do višine 3,00 m po navodilih geomehanika. Razvili so se veliki distorzijski pomiki tal pod nasipom. V izračunih za potek konsolidacije nisem upošteval prvih 60 dni, prav zaradi distorzijskih posedkov, ker ne dajejo uporabnih rezultatov za izračun konsolidacije. Gradnja nasipa je bila nato prekinjena. Po šestih mesecih se je lahko izvedla naslednja faza nasipa.

Izmerjen posedek (že več kot 70 cm) je že sedaj bistveno večji od računskega, čeprav je potrebno izvesti še 4,5 m nasipa in konsolidacija še ni končana. Iz diagrama je možno razbrati, da se posedanje umirja, kar pomeni, da je v kratkem možno nadaljevati z naslednjo fazo izvedbe nasipa.

Izračuni končnega posedka in časa konsolidacije po metodi Asaoka (PREGLEDNICA 5) posamezne faze so razumljivi. Pri prvi fazi je končni posedek večji, čas do izteka konsolidacije pa daljši. Višina nasipa je v tej fazi bistveno večja.

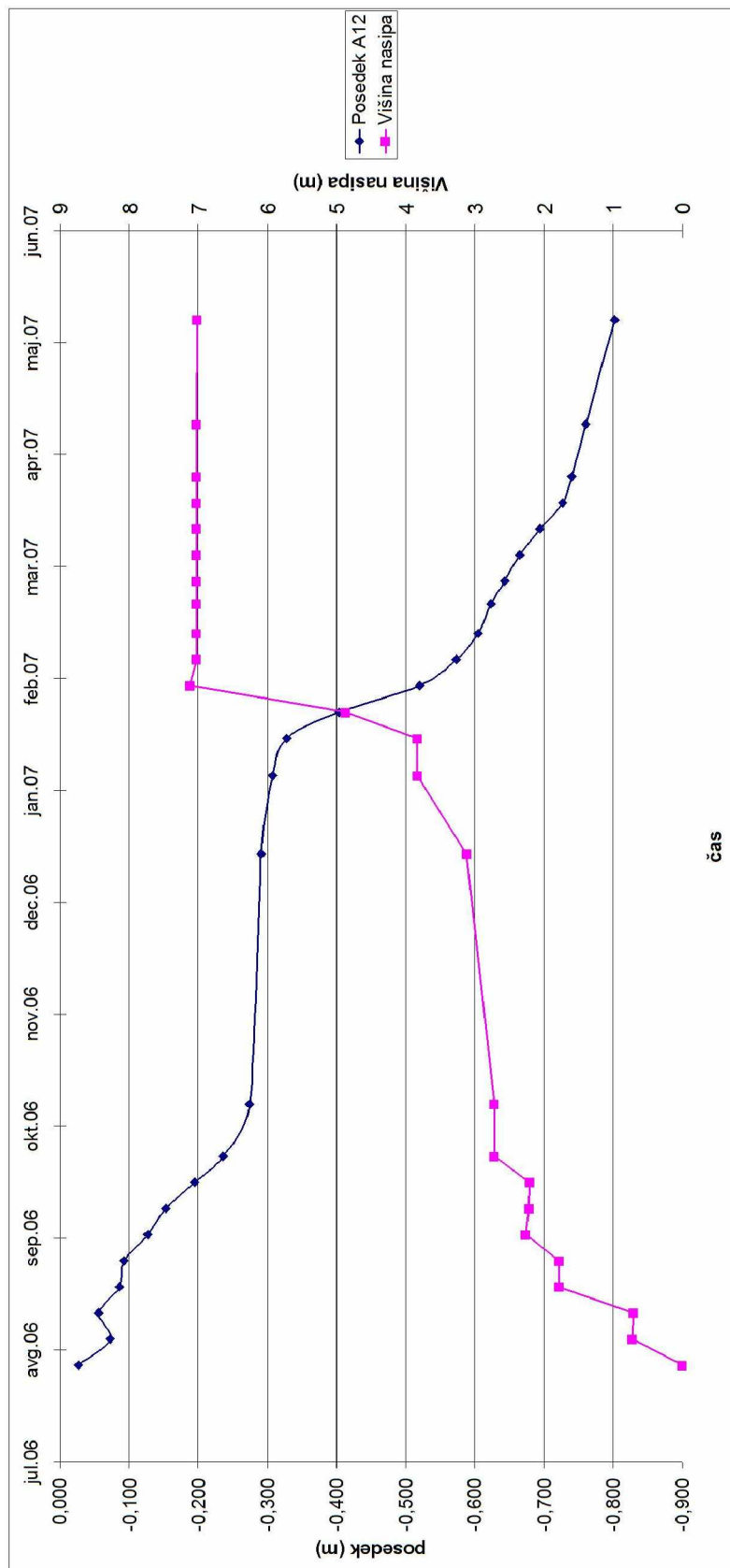
### 7.2.2 Posedalna plošča A12

Posedalna plošča A12 je locirana na profilu P37+6m, torej na najvišjem delu nasipa, kjer so bile za pospešitev konsolidacije vgrajene vertikalne drenaže.

Iz rezultatov meritev posedkov posedalne plošče A12 sem narisal diagram posedkov v odvisnosti od časa v linearnem merilu ter višino nasipa v odvisnosti od časa (GRAFIKON 7). Graf sem nato priredil tako, da sem označil enake časovne intervale po 10 dni. Na grafu sem za posamezni termin odčital pripadajoči posedek. Nato sem za tiste intervale, v katerih ni prišlo do spremembe višine nasipa, izračunal potek konsolidacije po metodi najmanjših kvadratov. Do sedaj sta bili izvedeni prvi dve fazi gradnje, zato sem za ti dve fazi tudi izračunal potek konsolidacije. Dolžina obeh faz je enaka in sicer 100 dni. Pri prvi fazi je višina nasipa 3,12 m, pri drugi fazi pa 7,03 m.

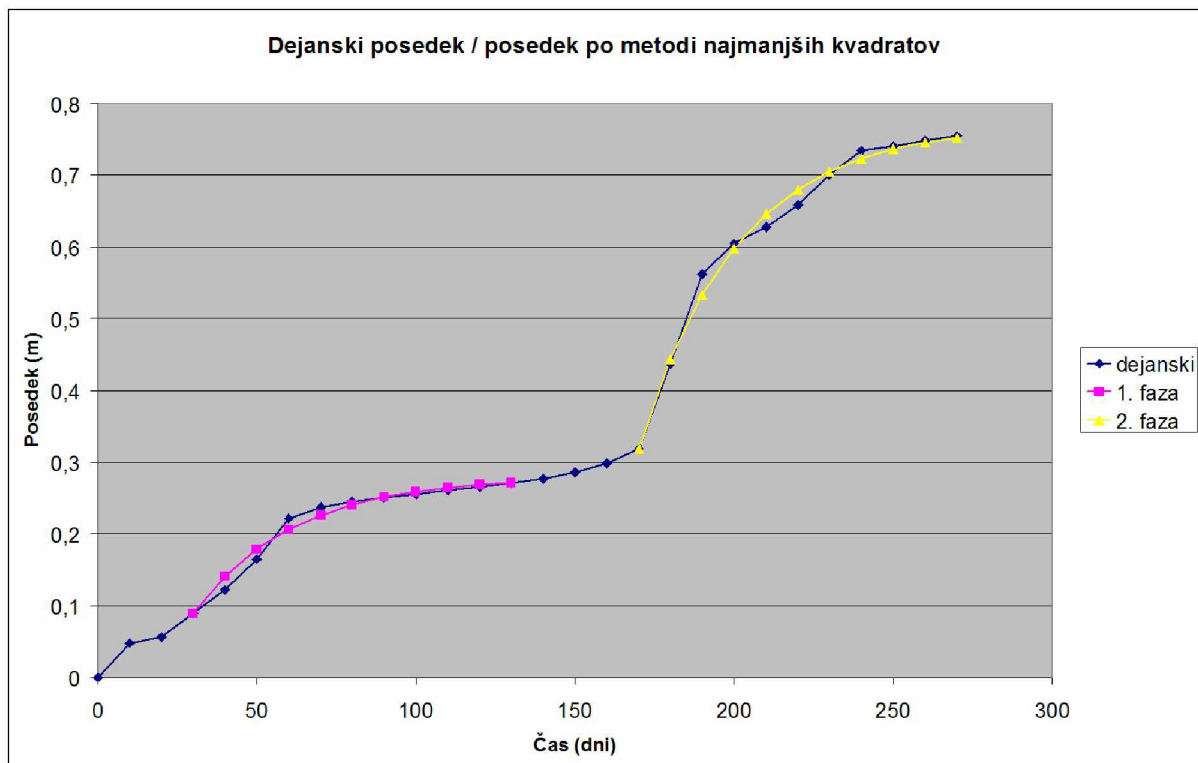
Razvoj posedkov sem izračunal po metodi najmanjših kvadratov s pomočjo Reševalca - orodja v sklopu programa Excel. Dobil sem zelo dober računski približek dejanskemu posedanju. Rezultate sem sproti preverjal na novem grafikonu posedek/čas (GRAFIKON 8), na katerem sem pazil, da se vsak obravnavan odsek izračunan po metodi najmanjših kvadratov v največji meri približa dejanskim posedkom. Narisal sem tudi grafikon Trenutni posedek v odvisnosti od prejšnjega posedka (GRAFIKON 9) z dejanskimi meritvami posedkov, kjer sem kontroliral odstopanja končnega posedka. Končni posedek je vrednost na sečišču trendne premice posedkov in premice, ki poteka iz izhodišča pod kotom 45°. S pomočjo dobljenih rezultatov dobimo koeficienta  $k$  in  $N$ .

S pomočjo teh koeficientov sem za posamezno fazo gradnje nasipa izračunal končni posedek ( $\rho_{\infty}$ ), čas do konca primarne faze konsolidacije ( $t$ ) v odvisnosti od stopnje konsolidacije ( $U_r$ ) ter karakteristik pospeševalcev konsolidacije. Rezultati so podani v preglednici (PREGLEDNICA 5).

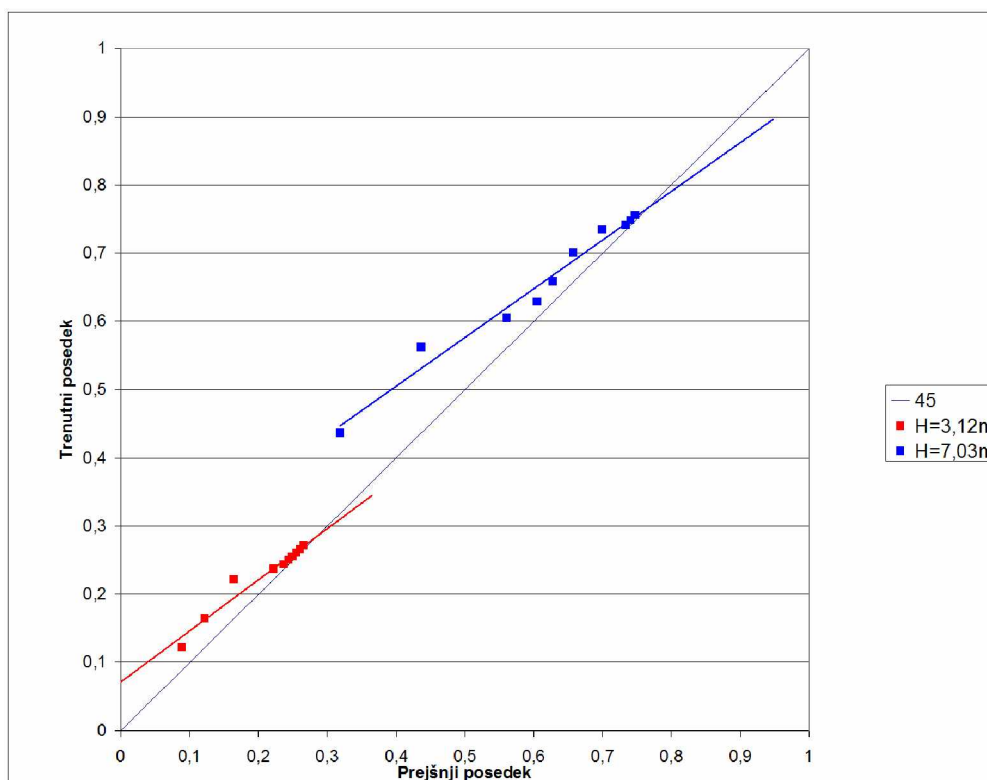


GRAFIKON 7: Posedki posedalne plošče A12 in višina nasipa v odvisnosti od časa





GRAFIKON 8: Primerjava med dejanskim posedanjem ter izračunanim z metodo najmanjših kvadratov – posedalna plošča A12



GRAFIKON 9: Trenutni posedek v odvisnosti od prejšnjega posedka (metoda ASAOKA) – posedalna plošča A12

PREGLEDNICA 5: Rezultati izračunov posedka in časa konca konsolidacije po metodi  
Asaoka – posedalna plošča A12

| <b>H=3,12 m</b><br><b>posedek</b> | <b>I. faza</b><br><b>0,279095 m</b> | <b>H=7,03 m</b><br><b>posedek</b> | <b>II. faza</b><br><b>0,770802 m</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| c=                                | -0,03186                            | c=                                | -0,0321                              |
| Cr=                               | 0,0135                              | Cr=                               | 0,0136                               |
| $\mu$ =                           | 2,1989                              | $\mu$ =                           | 2,1989                               |
| n=                                | 18,9146                             | n=                                | 18,9146                              |
| R=                                | 0,6204                              | R=                                | 0,6204                               |
| r0=                               | 0,0328                              | r0=                               | 0,0328                               |
| a=                                | 1,1000                              | a=                                | 1,1000                               |
| Ur=                               | 0,9900                              | Ur=                               | 0,9900                               |
| Tr=                               | 1,2658                              | Tr=                               | 1,2658                               |
| <b>t=</b>                         | <b>144,5401 dni</b>                 | <b>t=</b>                         | <b>143,4514 dni</b>                  |

### 7.2.3 Analiza meritev posedanja

Posedalna plošča A12 je locirana pri profilu P37 + 6,00 m, - 8,00 m desno od osi ceste. Na tem delu se je za pospešitev konsolidacije vgradilo vertikalne drenaže širine 10 cm v kvadratnem rastru 1,10 m. To je na delu trase, kjer je nasip najvišji nad vertikalnimi drenažami.

Rezultati meritev posedanja potrjujejo (GRAFIKON 7), da je bila faznost gradnje primerna. V izračunih za potek konsolidacije nisem upošteval prvih 30 dni, prav zaradi neenakomernih posedkov, ker ne dajejo uporabnih rezultatov za izračun konsolidacije.

Izmerjen posedek (80 cm) je že sedaj bistveno večji od računskega, čeprav nasip še ni izveden do vrha in konsolidacija še ni končana. Izmerjeni posedki kažejo, da so temeljna tla stabilna.

Izračuni končnega posedka in časa konsolidacije po metodi Asaoka (PREGLEDNICA 6) kažejo na približno enak čas konsolidacije. Pri prvi fazi je višina nasipa malce nižja, s tem pa tudi končni posedek.

### **7.3 Analiza meritev posedanja vzdolž trase nasipa**

Posedki na Ankaranski vpadnici so različnih velikosti vzdolž trase nasipa. Gibljejo se med 60 in 90 cm. Največji posedki so na območju, kjer je nasip najvišji pri viaduktu Bonifika ter na območju krožnega križišča CČN.

Na območju, kjer je nasip najvišji so posedki tako veliki zaradi prve faze nasipavanja, ko se je hipno izvedlo 3 m nasipa. To je povzročilo velike distorzijske posedke. Čas konsolidacije pa je krajši od območja na katerem so bile vgrajene vertikalne drenaže, kar je tudi razumljivo. Z gruščnatimi koli se ojačijo temeljna tla, medtem ko z vertikalnimi drenažami le pospešimo potek konsolidacije.

Območje krožnega križišča CČN se je med gradnjo izkazalo za najbolj problematičen del, kar se tiče diferenčnih posedkov. Prvotno stanje terena tega območja je bilo zelo razgibano, zato so se na tem delu pojavili največji diferenčni posedki. V poglavju 7.3.1 podrobneje prikazujem prvotno stanje ter razvoj posedkov na tem delu nasipa.

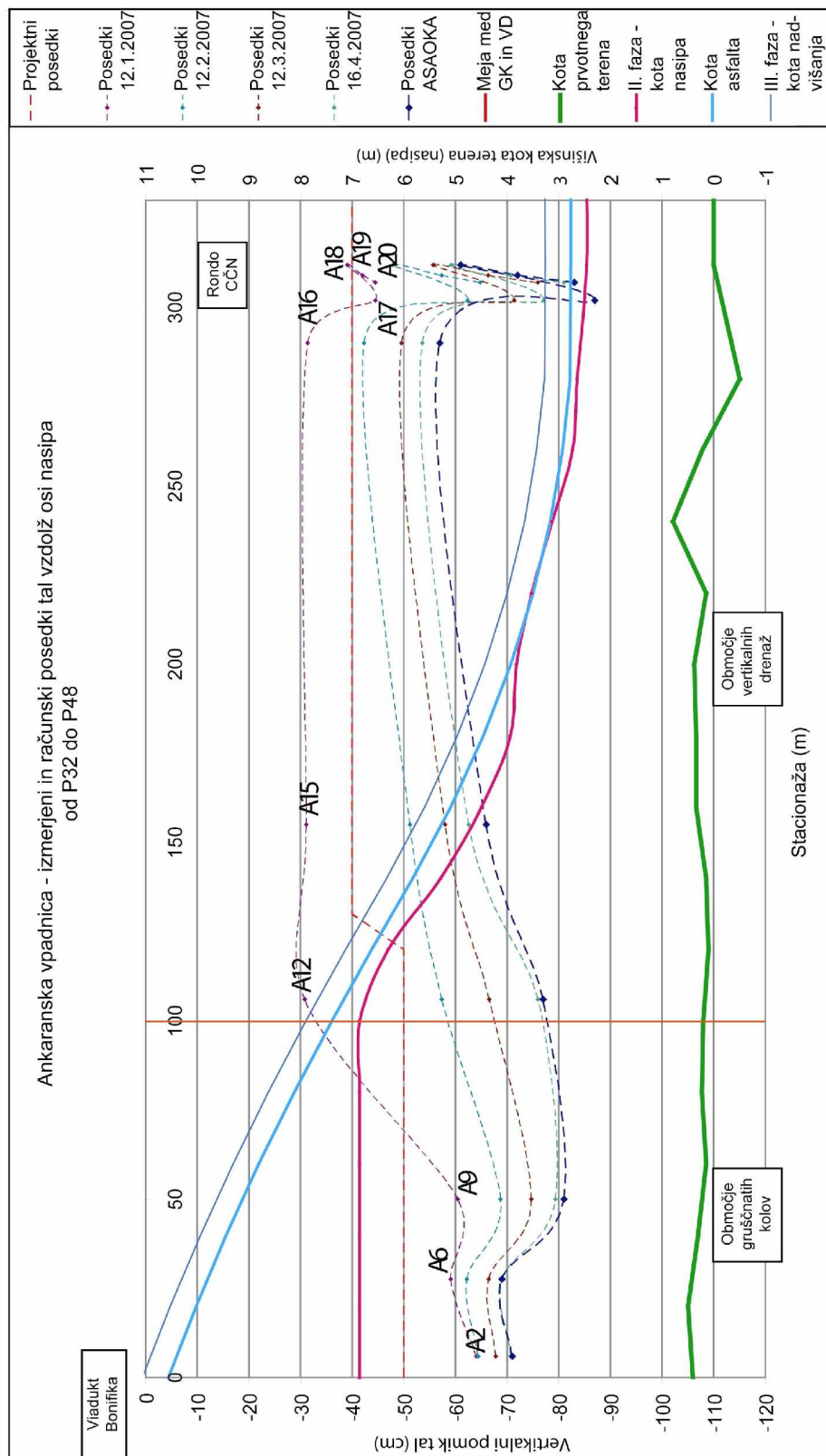
Na območju vertikalnih drenaž je nasip skoraj v celoti zgrajen, na območju gruščnatih kolov pa je potrebno zgraditi še približno 4 m nasipa. Konsolidacija se na tem delu izvršuje hitreje, zato se pričakuje, da se bo konsolidacija na celotnem območju nasipa Ankaranske vpadnice izvršila približno istočasno. Za najbolj občutljivo območje se je izkazalo območje krožnega križišča CČN, kjer so se pojavili dokaj veliki diferenčni posedki zaradi predhodno različno obremenjenih temeljnih tal.

PREGLEDNICA 6: Pregled končnih posedkov obeh faz gradnje vzdolž trase nasipa

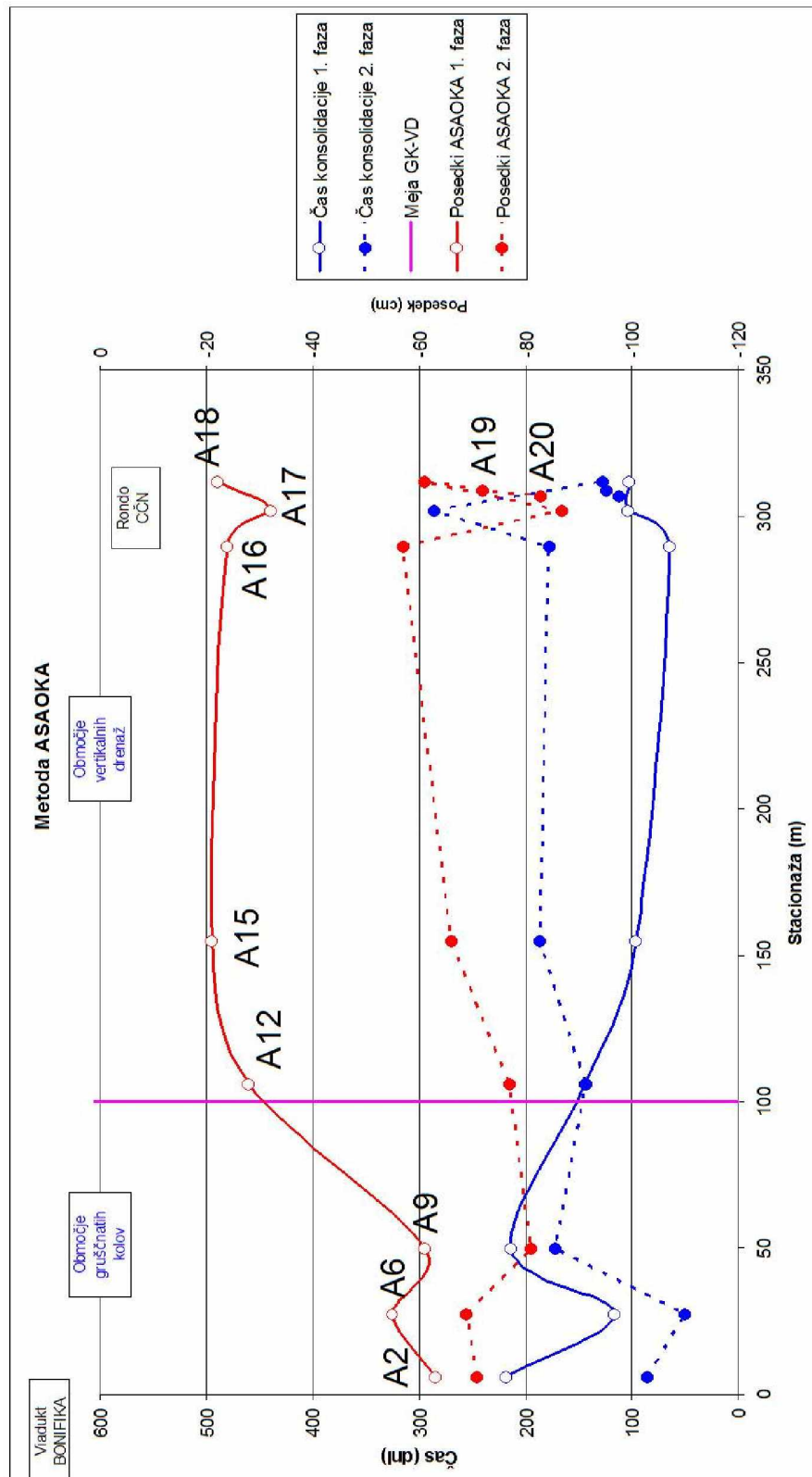
| Posedalna plošča | Predobremenitev | Izboljšava tal     | Višina I.faza/II.faza (m) | Končni posedek I. faze | Čas konsolidacije I. faze | Končni posedek II. faze | Čas konsolidacije II. faze |
|------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| A2               | nasip 1,0 m     | Gruščnati koli     | 3,00/4,32                 | -63 cm                 | 218 dni                   | -71 cm                  | 86 dni                     |
| A6               | nasip 2,3m      | Gruščnati koli     | 3,35/5,01                 | -55 cm                 | 116 dni                   | -69 cm                  | 50 dni                     |
| A9               | nasip 2,2m      | Gruščnati koli     | 2,86/4,64                 | -61 cm                 | 214 dni                   | -81 cm                  | 172 dni                    |
| A12              | nasip 2,3m      | Vertikalne drenaže | 3,12/7,03                 | -28 cm                 | 144 dni                   | -77 cm                  | 143 dni                    |
| A15              | nasip 2,75m     | Vertikalne drenaže | 0,60/3,12                 | -21 cm                 | 96 dni                    | -66 cm                  | 186 dni                    |
| A16              | brez            | Vertikalne drenaže | 1,70/2,65                 | -24 cm                 | 65 dni                    | -57 cm                  | 178 dni                    |
| A17              | brez            | Vertikalne drenaže | 1,91/3,00                 | -32 cm                 | 104 dni                   | -87 cm                  | 286 dni                    |
| A18              | nasip 2,91m     | Vertikalne drenaže | 2,17/3,36                 | -22 cm                 | 103 dni                   | -61 cm                  | 127 dni                    |
| A19              | nasip 2,00m     | Vertikalne drenaže | - /2,70                   | ni podatka             | ni podatka                | -72 cm                  | 124 dni                    |
| A20              | brez            | Vertikalne drenaže | - /3,18                   | ni podatka             | ni podatka                | -83 cm                  | 112 dni                    |

Posedki vzdolž trase so po drugi fazi gradnje podobnih velikosti. Po prvi fazi gradnje so se največji posedki izvršili na območju gruščnatih kolov, kar je posledica prehitre gradnje. Po drugi fazi so posedki vzdolž trase velikosti med 60 in 87 cm. Opazi se, da je čas do izteka konsolidacije krajši na območju gruščnatih kolov ter tudi posedki so bistveno manjši če odštejemo tiste iz prve faze gradnje.

Na večini posedalnih plošč je opaziti razliko v posedkih glede na predhodno obremenitev temeljnih tal. Na tistih delih, kjer je bil predhodno nasip, je opaziti hitrejši potek konsolidacije. Izstopata plošči A9 in A20. Na prvi je čas do izteka konsolidacije relativno dolg, tudi posedek je med večjimi, kljub temu, da so na tem delu vgrajeni gruščnati koli. Na plošči A20 pa ni bilo predobremenitve, čas do izteka konsolidacije pa je relativno kratek. Največji posedek je bil izmerjen na posedalni plošči A17, ki leži na najnižjem delu celotnega območja. Na tem delu je tudi čas do izteka konsolidacije največji. Različni rezultati posedanja so po vsej verjetnosti posledica raznolike sestave temeljnih tal ter različnega poteka gradnje.



GRAFIKON 10: Izmerjeni posedki, posedki po metodi ASAOKA, projektni posedki, faznost gradnje ter višina nasipa na vzdolžnem profilu

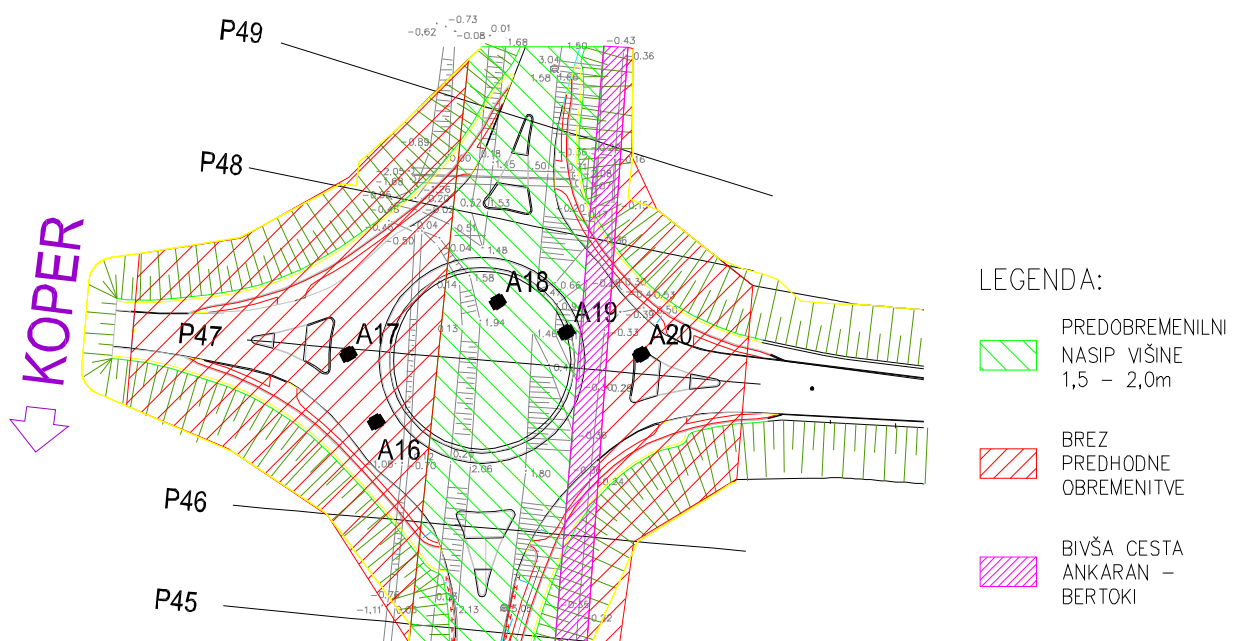


GRAFIKON 11: Končni posedki in čas konsolidacije 1. in 2. faze po metodi ASAOKA na vzdolžnem profilu

### 7.3.1 Območje krožnega križišča CČN

Na območju krožnega križišča CČN so nastali diferenčni posedki posledica prvotne razgibanosti terena ter posledično različno konsolidiranih temeljnih tal.

Na tem območju poteka obstoječi obbetonirani fekalni kolektor  $\varnothing 1000$  mm, zasut v kamnit nasip višine 2,00 do 3,00 m. Nasip se je odstranilo, fekalni kolektor pa je ostal v funkciji tudi med gradnjo tako, da se na tem mestu nasipa ni odstranilo in niti niti vgradilo vertikalnih drenaž kot na preostalem območju nasipa. Vzporedno z nasipom je predhodno potekala lokalna cesta Bertoki – Ankaran, zato se predvideva, da je bil teren na tem mestu deloma že konsolidiran. Večji del območja krožnega križišča pa poteka po predhodno nekonsolidiranih tleh. Na tem delu sem izračunal največji končni posedek po drugi fazi nasipavanja in sicer na posedalni plošči A17, velikosti 87 cm .



SLIKA 16: Situacija predhodnega stanja na območju krožnega križišča CČN

PREGLEDNICA 7: Pregled končnih posedkov dveh faz izračunanih po metodi ASAOKA  
posedalnih plošč na območju rondoja CCN

| Posedalna plošča | Teren (m n.m.v.) | Posedki I. faze (cm) | Čas konsolidacije I. faze (dni) | Posedki II. faze (cm) | Čas konsolidacije II. faze (dni) |
|------------------|------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| A16              | -0,70            | -24                  | 65                              | -57                   | 178                              |
| A17              | -0,90            | -32                  | 104                             | -87                   | 286                              |
| A18              | 1,91             | -22                  | 103                             | -61                   | 127                              |
| A19              | 1,00             | ni podatka           | ni podatka                      | -72                   | 124                              |
| A20              | -0,30            | ni podatka           | ni podatka                      | -83                   | 112                              |

Posedalne plošče, ki so vgrajene na območje, kjer je potekal predobremenilni nasip so v tabeli potemnjene. Posedalni plošči A19 ter A20 sta bili vgrajeni naknadno po prvi fazi gradnje zaradi večjih posedkov od predvidenih.

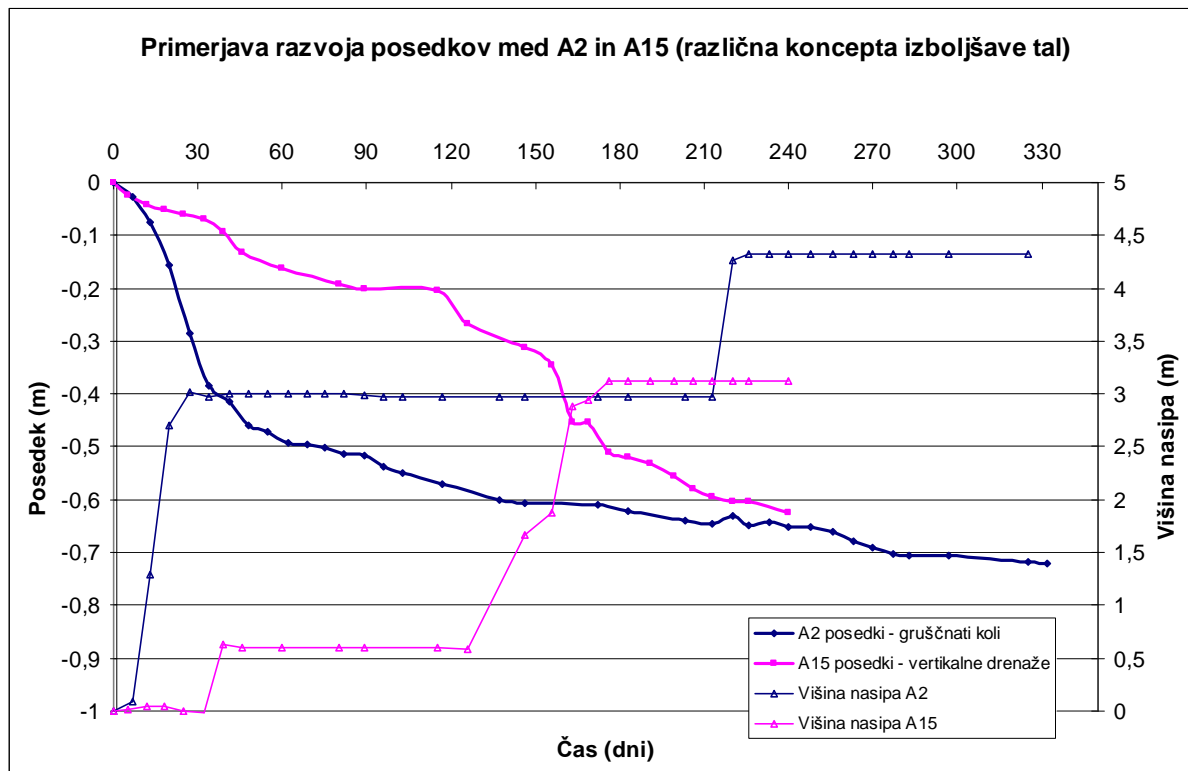
Na območju, kjer je predhodno potekal nasip, je opaziti, da so posedki manjši in tudi čas do izteka konsolidacije, kot na predhodno neobremenjenem območju.

#### 7.4 Primerjava posedanja dveh točk nasipa z različnima konceptoma izboljšave temeljnih tal

Za primerjavo sem izbral posedalni plošči A2 in A15, ki ležita pod nasipom podobne višine, a z vgrajenim različnim konceptom izboljšave temeljnih tal. Plošča A2 leži na delu kjer so vgrajeni gruščnati koli v kvadratnem rastru s stranico 2 m, posedalna plošča A15 pa je locirana na območju vertikalnih drenaž vgrajenih v kvadratnem rastru s stranico 1,1 m. Predhodno je na obeh območjih potekal predobremenilni nasip, tako da so bila tla pred gradnjo novega nasipa podobno obremenjena.

Faznost gradnje je bila različna. Na območju plošče A2 se je hipno zgradilo nasip do višine 3,00 m, na delu plošče A15 pa se je nasip gradil počasneje. Posledica tega je tudi različen razvoj posedkov (GRAFIKON 12).





GRAFIKON 12: Razvoj posedkov posedalnih plošč A2 in A15

PREGLEDNICA 8: Pregled končnih posedkov obeh faz izračunanih po metodi ASAOKA posedalnih plošč A2 in A15

| Posedalna plošča | Lokacija | Predobremenitev | Višina I.faza/II.faza | Končni posedek I. faze | Čas konsolidacije I. faze | Končni posedek II. faze | Čas konsolidacije II. faze |
|------------------|----------|-----------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| A2               | P33      | nasip 0,5m      | 3,00/4,32 m           | -63 cm                 | 218 dni                   | -71 cm                  | 86 dni                     |
| A15              | P40      | nasip 1,70m     | 0,60/3,12 m           | -21 cm                 | 96 dni                    | -66 cm                  | 186 dni                    |

Na območju, kjer leži posedalna plošča A2, so se pri gradnji prve faze izvršili ditorzijski posedki zaradi prehitre gradnje nasipa. Ta interval dolžine približno 50 dni nam ne poda dejanskega obnašanja temeljnih tal, saj so se ta vdrla pod preveliko obtežbo nasipa.

Dejansko sliko o poteku konsolidacije dobimo na preostalem delu intervala od 50 dneva dalje. Potemtakem ugotovimo, da se konsolidacija hitreje izvršuje na delu, kjer so vgrajeni gruščnati koli, kar je tudi pričakovano. Gruščnati koli omogočajo poleg pospešitve konsolidacije tudi izboljšavo trdnosti temeljnih tal, vertikalne drenaže pa opravljajo le nalogo hitrejšega izcejanja vode, s tem tudi pospešen potek konsolidacije.

Za primerjavo poteka konsolidacije med tema dvema posedalnima ploščama je bolj primerna druga faza gradnje, ker imamo manjšo razliko v višini nasipa kot pri prvi fazi gradnje. Iz diagrama razvoja posedkov ter iz izračunov posedanja druge faze gradnje se opazi hitrejši potek konsolidacije nasipa na delu kjer je vgrajena posedalna plošča A2.

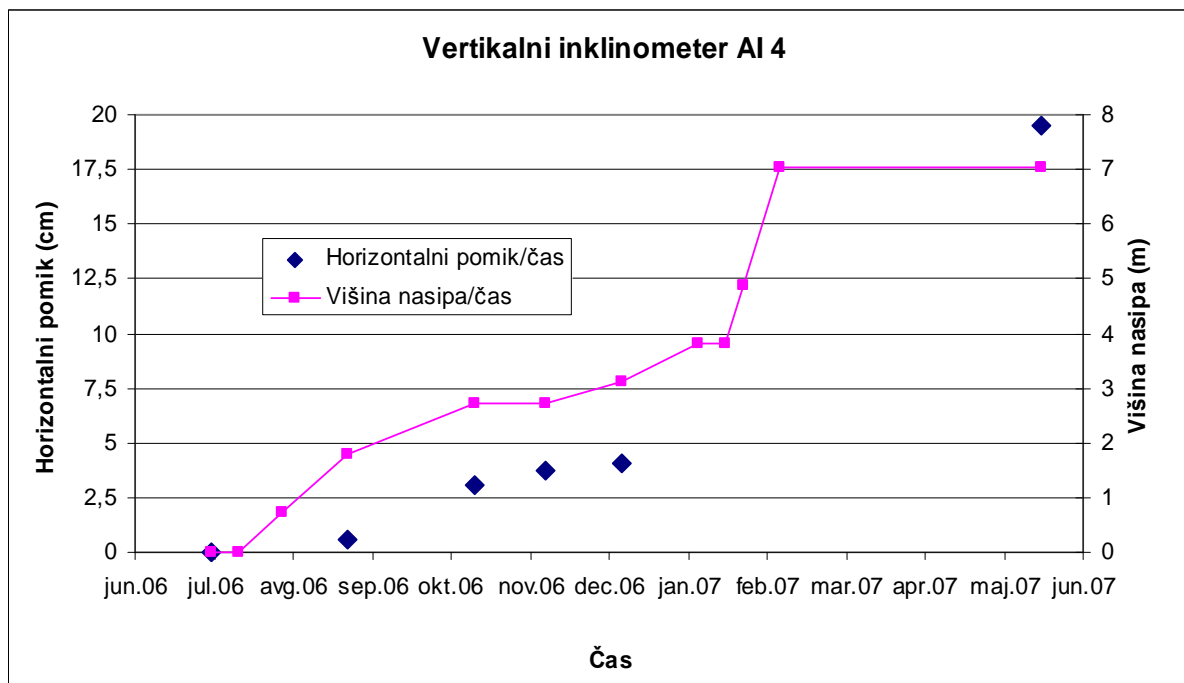
Upoštevati se mora, da je nasip na delu, kjer je vgrajena posedalna plošča A15 z drugo fazo gradnje že skoraj v celoti zgrajen, medtem ko je na delu plošče A2 zgrajen le do polovice končne kote. Tako, da lahko ocenim, upoštevajoč rezultate posedanja obeh plošč ter preostali del nasipa, ki se mora še zgraditi, da se bo konsolidacija izvršila v približno enakem časovnem obdobju.

## 7.5 Analiza meritev horizontalnih premikov

Za analizo horizontalnih premikov temeljnih tal sem izbral rezultate vertikalnega inklinometra AI 4, ki je vgrajen na meji med vertikalnimi drenažami in gruščnatimi koli.

Na tem merilnem mestu se je izkazalo, da so horizontalni pomiki največji. Zadnja meritev, ki je bila upoštevana, je bila izvršena v maju 2007, ko je bil nasip na tem delu zgrajen do kote asfalta. Največji pomiki pa so bili izmerjeni 10,60 m pod koto terena, torej na sredini stisljive glinaste plasti. Smer pomikov je približno pravokotna na os ceste.

Največji pomik se je izvršil ob izvedbi zadnje faze nasipa. V razmeroma kratkem času se je zgradilo 3 m nasipa, kar je povzročilo večji pomik temeljnih tal proti peti nasipa. Glede na potek gradnje pa naraščanje velikosti pomikov bistveno ne odstopa od hitrosti gradnje nasipa.



GRAFIKON 13: Horizontalni pomiki v temeljnih tleh vertikalnega inklinometra AI 4 v odvisnosti od časa

## 8 ZAKLJUČEK

Nasip Ankaranske vpadnice je visok nasip, grajen na zelo mehkih, slabo nosilnih tleh. S terenskimi in laboratorijskimi raziskavami se je ugotovilo, da so tla sestavljena iz 15 do 20 m debelega sloja gline nad 10 do 15 m slojem meljastega do zaglinjenega proda.

Za izboljšanje temeljnih tal ter za pospešitev konsolidacije pod najvišjim delom nasipa se je izvedlo gruščnate kole do prodnate plasti, na ostalem delu pa se je uporabila metoda z vtiskanjem vertikalnih drenaž. Uporaba ukrepov za pospešitev konsolidacije omogoča, da se konsolidacija zaključi v nekaj mesecih, saj bi se brez uporabe teh ukrepov posedki razvijali nekaj deset let.

Pri gradnji nasipa Ankaranske vpadnice se je izkazalo, kako pomembno je geotehnično opazovanje pri gradnji podobnih geotehničnih objektov. Z analizo meritev se je izkazalo, da je bilo potrebno predvideno dinamiko gradnje prilagoditi dejanskemu poteku konsolidacije temeljnih tal. Nasip je bilo potrebno graditi postopno po fazah, saj temeljna tla ne bi mogla prenesti obtežbe celotnega nasipa. Poleg stabilnosti pa so problematični tudi diferenčni posedki na prehodu na viadukt ter na območju rondoja CČN. Na podlagi analize posedanja se je ugotovilo, da je za hitrejšo izvršitev posedkov ter diferenčnih posedkov potrebna preobtežba.

Z metodo Asaoka sem na podlagi sprotnih meritev posedanja tal za prvi dve fazi gradnje določil končni posedek primarne faze konsolidacije in stopnjo konsolidacije ter stopnjo konsolidacije v času merjenja neodvisno od drugih parametrov. Z dobljenimi rezultati sem iz operativnega vidika dobil pomemben podatek o možnostih nadaljevanja gradnje nasipa ter o približnem času, ko bo možno izvesti še preostala dela na trasi bodoče Ankaranske vpadnice.

Izračunani končni posedki se gibljejo med 60 in 90 cm, čas konsolidacije pa se giblje med 100 in 200 dnevi, kar se ujema s projektiranimi predpostavkami. Pojavijo se razlike v posedkih ter času do izteka konsolidacije vzdolž trase nasipa, kar je posledica neenakomerne

sestave temeljnih tal na tem območju. Izkaže se, da je potek konsolidacije na delu, kjer so bili vgrajeni gruščnati koli hitrejši kot na preostalem delu. Na tem delu je nasip po drugi fazi zgrajen do polovice, medtem ko je na delu vertikalnih drenaž zgrajen do kote asfalta. Po analizi posedanja lahko ocenim, da se bo po izgradnji še preostalega dela nasipa konsolidacija izvršila približno istočasno vzdolž celotne trase nasipa.

Predvidena in nato izvedena kombinacija konceptov pospeševanja konsolidacije z uporabo gruščnatih kolov oziroma vertikalnih drenaž se je izkazala za dobro projektno rešitev. Razvili so se dokaj veliki posedki, večji od projektiranih, čas konsolidacije pa je enakomerne velikosti vzdolž trase, kar daje pozitivno oceno nad uporabljenim konceptom.

Iz analize podatkov po metodi Asaoka se izkaže, da bodo največji posedki na območju, kjer je nasip najvišji ter na območju krožnega križišča CČN, kjer temeljna tla niso bila obremenjena pred gradnjo nasipa.

## **VIRI**

Fašalek, M. 2005. Geološko - geomehansko poročilo za potrebe načrtovanja in izgradnje navezave Luke Koper na AC omrežje - trasa (po reviziji) FAZA: PGD – PZI. Ljubljana, ZRMK d.o.o.

Ravnikar Turk, M. 2006. Poročilo – Del tehnološkega elaborata vzpostavitve in izvajanje geotehničnega opazovanja Navezava Luke Koper na AC omrežje. Ljubljana, ZAG Ljubljana

Lenart, S. 2007. Poročilo o vzpostavitvi sistema geotehničnega opazovanja na Navezavi Luke Koper na AC omrežje – Ankaranska vpadnica. Ljubljana, ZAG Ljubljana

Ravnikar Turk, M. 2006. 1. delno poročilo o tehničnem opazovanju na Ankaranski vpadnici november 2006. Ljubljana, ZAG Ljubljana

Ravnikar Turk, M. 2007. 2. delno poročilo o tehničnem opazovanju na Ankaranski vpadnici januar 2007. Ljubljana, ZAG Ljubljana

Ravnikar Turk, M. 2007. 3. delno poročilo o tehničnem opazovanju na Ankaranski vpadnici junij 2007. Ljubljana, ZAG Ljubljana

Pugelj, J. 2005. Navezava Luke Koper na avtocesto – Projekt za izvedbo (PZI). Ljubljana, PNG Ljubljana d.o.o.

Majes, B., Logar, J. 2000 Skripta za predmet Zemeljska dela za študente FGG, KMTal. Ljubljana, FGG.

Svetličič, S., Logar, J., Ravnikar Turk, M. 2004. Geotehnično opazovanje pri gradnji in vzdrževanju avtocest v Sloveniji – namen in principi. V: Zbornik referatov, 7. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož. Ljubljana, DDC d.o.o., FGG, ZAG: 2 – 7.

Demšar, V. 2002. Analiza posedanja predobremenilnih nasipov v industrijski coni Rudnik II VP 1/2. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG

Gruden, T. 2003. Analiza obnašanja nasipa na gruščnatih kolih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG

## **PRILOGE**

**Priloga A: Situacija Ankaranske vpadnice z označenimi merilnimi mesti geotehničnega sistema opazovanja**

**Priloga B: Karakteristični profil Ankaranske vpadnice z vrisano zgradbo terena**

**Priloga C: Vzdolžni profil Ankaranske vpadnice z vrisano zgradbo terena**



## **Priloga A: Situacija Ankaranske vpadnice z označenimi merilnimi mesti geotehničnega sistema opazovanja**

## **Priloga B: Karakteristični profil Ankaranske vpadnice z vrisano zgradbo terena**

## **Priloga C: Vzdolžni profil Ankaranske vpadnice z vrisano zgradbo terena**