

Marko Fašalek
univ. dipl. inž. gradb. , GEOT d.o.o. Dimičeva 12 Ljubljana

mag. Branko Prokop
univ. dipl. inž. grad. , GEOT d.o.o. Dimičeva 12 Ljubljana

IZBOLJŠAVA TEMELJNIH TAL POD VODNJAKI SREDNJE PODPORE MOSTA 5-1 NA VZHODNI AVTOCESTI V LJUBLJANI

V referatu je opisana problematika temeljenja mosta 5-1 čez Ljubljanico. Med gradnjo treh vodnjakov srednje podpore, ki prenaša glavnino obtežbe mosta v teren, je prišlo do nepredvidenih zapletov. Na osnovi dodatnih raziskav se je pokazalo, da bo potrebno temeljna tla pod vodnjaki ojačati. Ojačanje smo uspešno izvedli z uporabo metode jet grouting kljub velikim globinam injektiranja. Most je že eno leto odprt za gradbiščne prevoze. Posedki srednje podpore so neznatni.

GROUND IMPROVEMENT BENEATH THE CAISONS OF THE CENTRAL PIER OF BRIDGE 5-1 ON THE EASTERN LEG OF LJUBLJANA'S RING MOTORWAY

The paper provides a description of the problems encountered during the construction of the foundations for Bridge 5-1 across the Ljubljanica River, on the eastern leg of Ljubljana's ring motorway. During the construction of three caissons for the central pier, which transfers the main part of the weight of the bridge to the subsoil, certain unexpected complications occurred. Taking into account the results of additional investigations, it was decided that it would be necessary to carry out ground strengthening beneath the caissons. This work was performed by means of jet grouting even though the depths which this grouting had to reach were great. For over one year the bridge has been open to motorway construction traffic, and settlement of this pier has been negligible.

Uvod

V okviru izgradnje vzhodne avtoceste so preko Ljubljanice zgradili most s poševnimi zategami. S tako zasnovno mosta so dosegli zelo tanko prekladno konstrukcijo. Glavnina obtežbe mosta se preko zateg in 24,00 m visokih pilonov prenaša na tri vodnjake, ki so temeljnjeni v produ. Krajne podpore so temeljene na Benoto pilotih $\phi = 150$ cm.

Setava tal

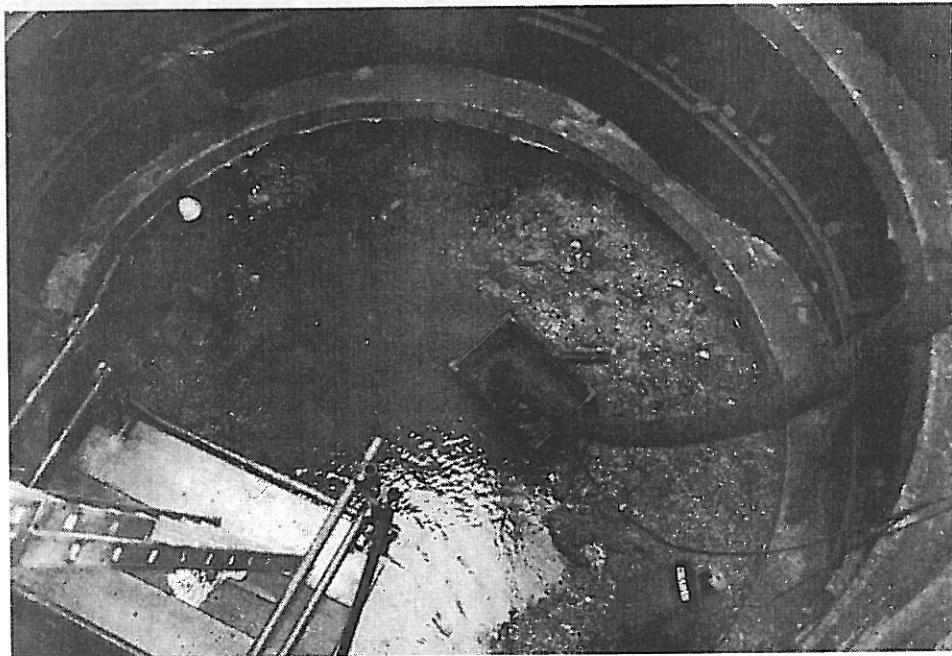
V letu 1994 so bile za potrebe trase in temeljenja mosta izvrтane vrtine VA 33 na levem bregu in VA 32 ter VA 32A na desnem bregu. Ugotovljeno je bilo, da je tu sprva plast proda. V nadaljevanju je ca 2,50 m debela plast sive glino. Pod glino je karbonaten prod starejšega prodnega zasipa reke Save. V spodnji prodni plasti je bilo izvrшeno nekaj preizkusov standardne dimanične penetracije. Na območju srednje podpore takrat ni bila izvrтana nobena vrtina.

Temeljenje

Na osnovi takih sondažnih podatkov je bil izdelan vzdolžni profil in izdelana prognoza, da bo možno srednjo podporo mostu temeljiti na treh vodnjakih premera 5,20 m, 7,00 m in 5,20 m na koti 262,00 m v plasti srednje gostega proda. Predviden je bil izkop vodnjakov v vodi. Poleg tega je bilo predvideno, da se gostoto proda po izkopu vodnjakov preveri še s s preizkusi standardne dimanične penetracije. Sestava tal s temelji je vidna na sliki 1.

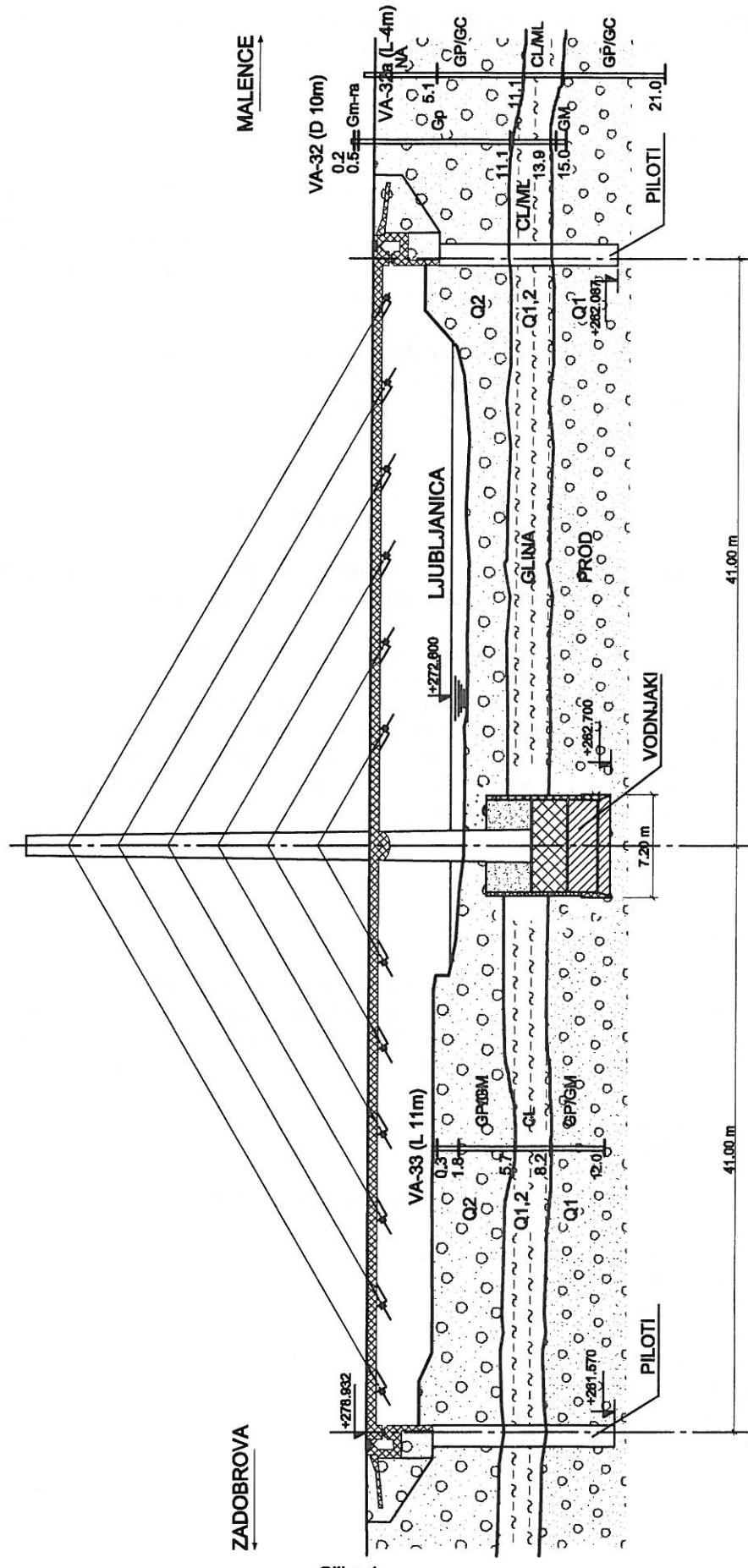
Izvedba temeljenja

Izvajalec del je na mestih vodnjakov v tla zabil jeklene zagatnice in izkop izvajal v suhem z uporabo zmogljivih črpalk. Zagatnice so zabili 1,50 do 2,50 m pod bodoče dno vodnjakov. Med izvajanjem izkopa so se že pojavile prve težave. Pritisik vode v dnu vodnjaka je bil tako močan, da je v izkopu za srednji opornik prišlo do izrivanja gramoznega materiala – verjetno je prišlo do delnega hidravličnega loma prodnatih tal. Razmere ob izkopu so vidne iz fotografije 1.



fotografija 1

VZDOLŽNI PREREZ



Po zabetonirjanju vseh treh vodnjakov in spodnjih delov pilonov je prišlo ob izvlačenju zagatnic do poselanja vodnjakov in tudi do zasukanja srednjega pilona. Vzrok za te pojave je iskati v zapolnjenju praznine v produ, ki je nastala ob izvleku zagatnic.

Dodatne preiskave

Zaradi tega dogodka in pa zaradi dejstva, da ni bilo na mestih vodnjakov izvršenih predhodnih raziskav niti ni bila ob izkopu preverjena zbitost proda pod vodnjaki s standardnimi dinamičnimi pentracijami, so bile na mestih vodnjakov izvršene dodatne sondažne vrtine. Gostoto proda pod vodnjaki smo ugotovili s preiskavami SPT na vsak m globine. Te preiskave so pokazale, da je pod vodnjaki sprva rahel do srednje gost prod, ki z globino preide v gost prod. Na mestu vodnjaka A pa smo že 3,50 m pod dnem vodnjaka ugotovili gost prod s plastmi konglomerata. Na podlagi rezultatov teh preiskav je bilo ocenjeno, da bo tu potrebno tla dodatno ojačati. V nasprotnem primeru bi se lahko razvili posedki, ki bi bili velikostnega reda več kot 3 cm, kar je za gornjo konstrukcijo nedopustno. Sestava tal je na mestih vodnjakov vidna na sliki 2.

Sanacija

Na osnovi rezultatov dodatnih sondažnih raziskav smo predlgali sanacijo z jet grouting slopi.

Razpored Jet Grouting slopov je pripravil projektant mosta po pravilih, ki veljajo za temelje na pilotih. Upoštevani so bili v sredini armirani slopi premera 70 – 80 cm z nosilnostjo 1000 KN.

Pri določanju dolžine slopov je največ preglavic povzročala realna ocena oziroma izračun posedkov tako vodnjakov na nesaniranih tleh kot tudi na saniranih tleh. Ocena modulov stisljivosti prodnatih tal je bila možna le iz podatkov SPT in deloma iz primerjav obremenilnega testa pilota ϕ 100 cm za opažni oder. Primerrega presiometra za ugotavljanje deformabilnih karakteristik prodnih tal takrat ni bilo na voljo. Ti izračuni so pokazali, da bo potrebno pod piloni B in C izdelati 10,00 m dolge slope tako da računski posedki ne bodo prekoračili dopustnih 3 cm. Preverjena je bila tudi možnost izpiranja sveže injekcijske mase iz prodnate plasti.

Razpored slopov je viden na sliki 3.

Tehnologija izvedbe sanacije

Po projektu so bili predvideni Jet Grouting slopi po obodu vodnjakov in tudi pod vodnjaki. Vsa dela so se izvajala iz opažneg odra za prekladno konstrukcijo. Vodnjaki so bili že v celoti zasuti. Nad rečnim dnem je bilo ca 1,50 – 2,00 m vode. 10,00 m dolgi slopi pod vodnjaki so zahtevali 20,00 m globoke vrtine. Delo je potekalo po sledečem vrstnem redu:

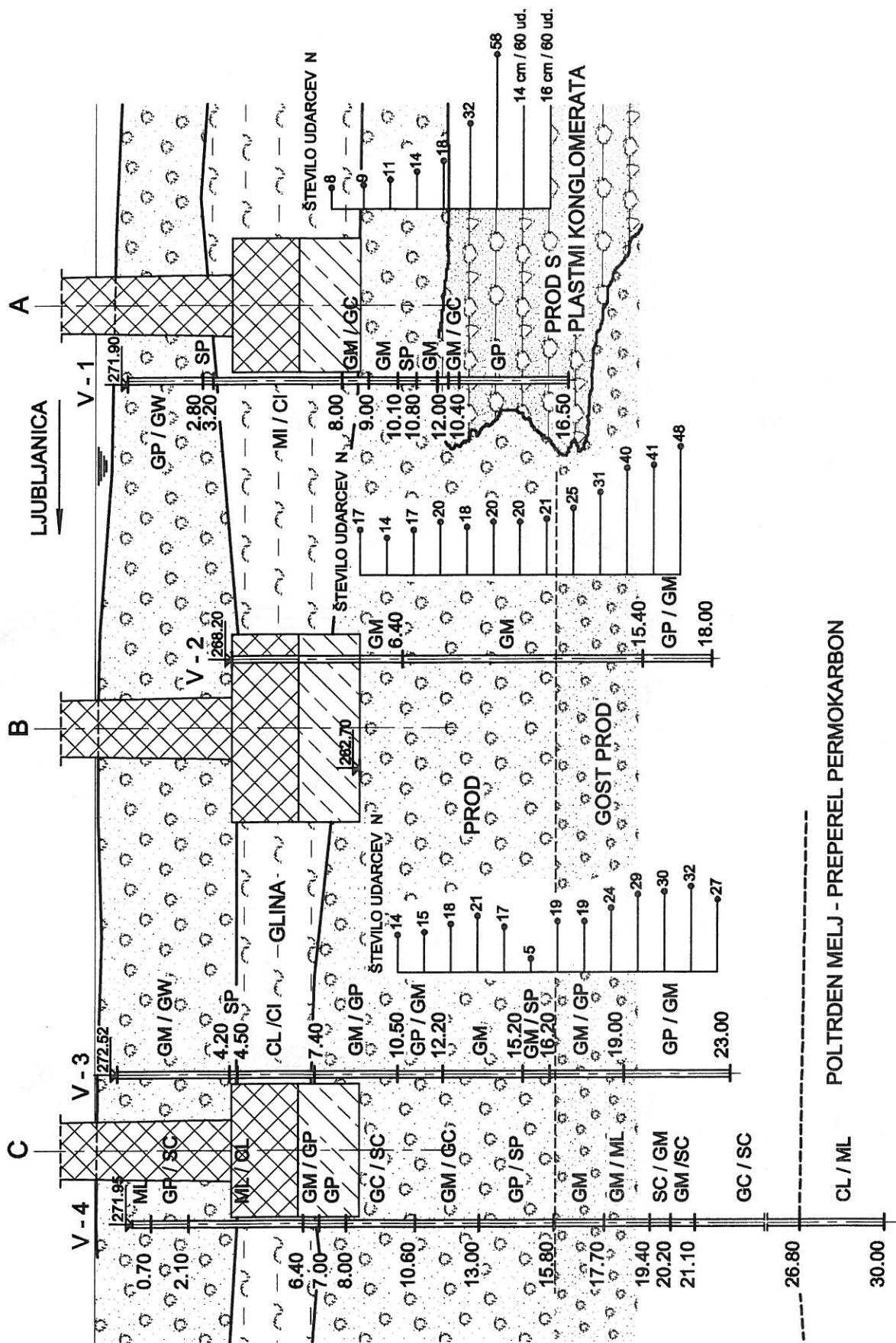
- zabitje opažne cevi do gornjega roba vodnjakov
- čiščenje jedra iz opažne cevi
- vrtanje betona
- vrtanje Jet Grouting vrtin, injektaža ter vstavljanje armature

Uporabljali smo sledeč postopek jet grouting:

- enostopenjski Jet Grouting
- vodocementni faktor v/c = 0,9
- cement PC 30 dz 45B
- pritisk injektorjanja 400 barov
- ena šoba ϕ 3 mm
- hitrost dviganja drogovja med injektiranjem 8 sek/4 cm
- predvidena poraba cementa 220 kg/m³ slopa.

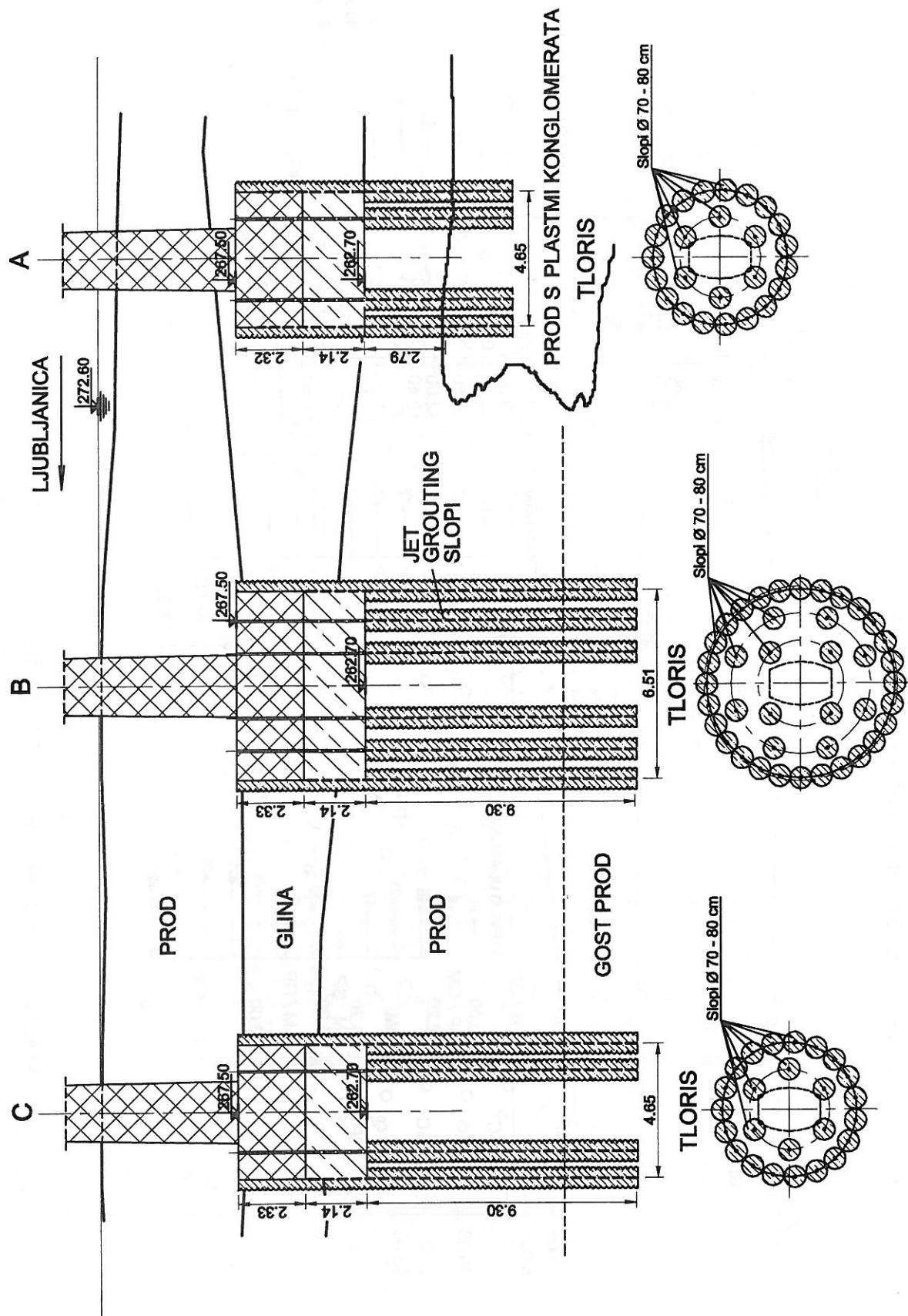
Predvideno je bilo injektiranje najprej notranjih slopov in kasneje postopno obodnih.

PREĆNI PREREZ NA MESTU SREDNJE PODPORE - SESTAVA TAL



Slika 2.

PREĆNI PREREZ NA MESTU SREDNJE PODPORE - SANIRANO STANJE



Slika 3.

Kontrole med izvajanjem del in izvedenih del

Med izvajanjem del se je vršilo vse standardne kontrole (vodocementni faktor, poraba injekcijske mase, odvzem vzorcev injekcijske mase itd.). Poleg tega se je vsak dan po potrebi tudi večkrat na dan nivelliralo vsak pilon v treh točkah.

Po 10 dneh se je odvzelo z diamantno krono tudi jedro jet grouting slopov ca 2,00 m pod dno posameznega pilona. Pri vsakem pilonu je bil določen en slop za odvzem jedra. Na odvzetih vzorcih so bile izvršene preiskave tlačne trdnosti. Izgled odvzetega jedra je viden na fotografiji 2.



fotografija 2

Zaključek

Težave, ki so nastale pri izvedbi temeljev srednje podpore mosta čez Ljubljanico na vzhodni avtocesti so pokazale sledeče:

- kljub razmeroma dobremu poznavanju sestave tal na območju Ljubljane je interpolacija sestave tal med vrtinami problematična
- nujno bi bile potrebne predhodne preiskave na mestu srednjega opornika z ustrezno globokimi vrtinami
- predpisano preverjanje gostote prodnatih plasti v dnu izkopov za vodnjake med granjo ni bilo izvedeno
- tehnologija izkopa vodnjakov ni bila dovolj premišljena (težave s črpanjem vode, lom tal v dnu)
- s sodobno tehnologijo injektiranja ter zmogljivo vrtalno garnituro je bila izboljšava tal uspešno izvedena
- z ustreznim redosledom izvajanja injekcijskih del je bilo možno vodnjak srednjega pilona dodatno izravnati
- kontrola izvedenih injekcijskih del je bila v danem primeru zelo omejena. Dela mora zato izvajati izkušena ekipa.
- vse težave in dodatna dela so povzročila zamudo pri izgradnji mostu. Ta zamuda je bila s pospešenim delom kasnje odpravljena.

- most je bil gotov lansko poletje. Po njem poteka gradbiščni promet. Med obremenjevanjem pilonov in enoletnim obratovanjem mostu ni bilo posedkov vodnjakov

VIRI

- (1) GI ZRMK: Geološko-geomehanska poročila za most 5-1 čez Ljubljanico, Ljubljana 1995, 1997
- (2) Pulko B, Majes B: Poročilo o pregledu projektne dokumentacije za temeljenje mostu 5-1 čez Ljubljanico, FGG 1997