

Borut PETKOVŠEK
dr., dipl.inž.geol., Zavod za Gradbeništvo - ZRMK

Andrej LOČNIŠKAR
dipl.inž.geol., Družba za državne ceste

SANACIJA PREDORA KARAVANKE NA ODSEKU DVIGANJA CESTIŠČA V KM 2.530 - 2.630

POVZETEK: Gradnja predora Karavanke je potekala v izjemno težkih geološko geotehničnih razmerah. Še posebej veliko število problemov s stabilnostjo predorske obloge smo srečevali na odseku, kjer je predor prečkal pregnetene permokarbonske glinaste skrilavce. Kljub temu je bila gradnja predora zaključena in predor predan v obratovanje v roku, v zadovoljstvo vseh, ki so na tem projektu sodelovali.

Danes, po petih letih obratovanja predora pa so se pojavile v odseku, kjer je tektonski kontakt med permokarbonskimi glinastimi skrilavci in spodnjetriasnimi klastiti, tolikšne deformacije na cestišču, da ga je nujno potrebno sanirati v dolžini ca. 100 m.

V članku podajamo geološko in geotehnično predstavitev tega odseka, raziskave in analizo vzrokov za nastalo situacijo in rešitve, ki jih je nato predlagal projektant predora.

REMEDIAL WORKS IN THE KARAVANKE TUNNEL IN THE PART OF FLOOR HEAVING BETWEEN CHAINAGES 2530 AND 2630 M

SUMMARY: The Karavanke tunnel was constructed under extremely difficult geological conditions, but the most tricky part of it appeared in the sections where the tunnel crossed strongly tectonised clay schist. Nevertheless, the tunnel was constructed according to the time schedule.

Today, five years after, some problems with tunnel stability occurred in the sector, where tectonic contact between corbo-permian clay schist and lower Triassic carbonates occurred. The floor heaving developed in such a way that remedial works became necessary in a section of 100 m of the tunnel.

This paper describes the geological and geotechnical situation of the sector between 2530 and 2630 m, investigations and analysis of data acquired as well as the conclusions defining the causes for the deformation. Finally, the solutions given by designer are presented briefly.

UVOD

Predor Karavanke je bil že v času gradnje, to je v letih 1986 - 1991, izredno zanimiv in težaven gradbeni objekt, ki je zahteval tako od investitorja kakor od izvajalcev in strokovnih služb izjemne napore. Kljub velikim geološkim problemom pa je bil dokončan v roku in dne 1. junija 1991 predan v uporabo.

Skladno s svetovno prakso predor po dovrstitvi ni bil prepuščen sam sebi, temveč je bila s strani investitorja ustanovljena služba, ki skrbi za kontrolo njegovega delovanja. Lastnik predora je organiziral tudi sistem rednega geotehničnega opazovanja stabilnosti predora. Ta obsega po eni strani geodetske meritve v predoru in nad njim, po drugi strani pa je bilo v predoru vzpostavljenih tudi 15 konvergenčnih merilnih profilov, da smo z njimi preverjali stabilnost predorske obloge na najbolj kritičnih mestih.

Leta 1993, to je po treh letih njegovega obratovanja, je ekipa vzdrževalcev v predoru začela zapažati prve znake povečanega hribinskega pritiska na cestišču in prve znake deformacije predorske obloge. Te so bile največje na stacionaži 2565 m, zato je bil tamkaj vzpostavljen dodatni merilni profil P - 12 A, v katerem smo od septembra 1993 dalje spremljali razvoj konvergence.

Deformacije v tem odseku so odtlej nenehno naraščale, posledice delovanja pritiska na oblogo so postajale vse bolj očitne. Konec leta 1994 je postalo jasno, da je sanacija predora v tem odseku neizbežna, saj se je cestišče dvignilo do te mere, da je bilo mogoče čutiti deformacijo vozišča že med vožno z avtomobilom. Investitor se je odločil raziskati vzroke za nastalo situacijo in v marcu 1995 so stekle prve raziskave za ugotovitev teh vzrokov.

RAZISKAVE V PREDORU

Raziskave v predoru, ki so bile namenjene ugotavljanju stanja, so se v prvih letih omejevale le na opazovanje časovnega razvoja konvergence in dviganja repernih točk, ki so bile vzpostavljene na 100 m razdaljah v predoru, snemani pa so bili tudi reperji za konvergence v merilnih profilih. Ko je na osnovi teh meritev postalo jasno, da se deformacije v predoru razvijajo izven sprejemljivih okvirjev, so se na pobudo strokovne službe investitorja začela pripravljala dela za definiranje vzrokov za nastale probleme. V ta namen smo zbrali vso razpoložljivo dokumentacijo o predoru iz odseka med 2525 in 2640 m:

- geološke podatke (tloris in geološki profil z litološkim popisom hribine, tektonskimi in hidrogeološkimi razmerami)
- v času gradnje privzete podporne ukrepe in eventualne registrirane težave med gradnjo
- dodatne podporne ukrepe za stabilizacijo primarne predorske obloge

Na terenu smo natančno pregledali in registrirali nastale poškodbe:

- V tleh se je najprej pojavila iztisnjena bitumenska masa, ki so jo iztisnile betonske plošče na pločniku in na vozišču. Kasneje je nastala v sredini med obema voznima pasovoma reža na stiku središčnih betonskih plošč. Ta se je s časom povečevala in dosega danes že debelino ca 2 cm. Osrednji del vozišča se je začel dvigovati, kar je bilo najprej opaziti med stacionažama 2560 in 2565 m. Začeli so tudi pokati robniki na pločniku, počile pa so tudi nekatere betonske plošče na vozišču. V zadnjem času smo opazili celo nad cm velik vertikalni zamik med dvema središčnima ploščama na vzhodnem voznem pasu.

Z georadarjem smo v februarju 1996 presneli celoten ogroženi odsek predora. Izdelanih je bilo 6 vzdolžnih in 51 prečnih georadarskih profilov. Na ta način smo skušali omejiti najbolj poškodovani odsek in ugotoviti potek največjih poškodb v tleh predora.

- V bokih predora so se stalnim (izsušitvenim) razpokam pridružile še nove; nekatere med njimi so dosegle debelino 1 - 2 mm. Nanje smo pričvrstili steklene plombe. Dve od treh so počile in s tem dokazala, da so razpoke še danes aktivne. Večina razpok se pojavlja na obeh straneh predora.
- Stropna plošča se je začela na nekaterih mestih luskati - na njej so začeli na stiku z boki predora odpadati delci betona, debeline okrog 2 cm, širine 10 cm in dolžine okrog 20 cm. Na njenem zgornjem delu, v ventilacijskem kanalu, smo ugotovili luskanje plošče na enem mestu. Tam je bila deformacijska reža, ki naj bi varovala stropno ploščo pred poškodbami, na dolžini ca 1.5 m, povsem stisnjena.
- Pregledali smo tudi revizijske jaške za glavni odvod vode iz predora. Pregled je pokazal, da sta jaška, ki ležita v osrednjem delu ogroženega območja (jašek 220 in 221) deformirana. Stena jaška 221, ki leži proti sredini predora, je zmaknjena za več cm od sredine proti bokom.
- Pregled video posnetkov drenažnih cevi, ki jih je izdelala kamera, vložena v odvodnjevalni sistem, je pokazal, da je v ogroženem odseku drenažna cev močno deformirana.
- Poleg omenjenih kartiranj smo v maju 1996 dodatno izdelali vzdolžni nivelman po sredini cestišča na celotnem opazovanem odseku, saj so bile deformacije največje prav v tem delu.

V marcu 1995 smo v območju največjih deformacij cestišča izvrtali 6 sondažnih vrtin, na vsakem voznem pasu po tri. Vrtine so bile jedrovane. Njihov namen je bil preveriti zbrane arhivske podatke v šestih točkah in pridobiti podatke o kvaliteti hribine, ki je občutljiva na delovanje vode, tik pod predorom. Nekatere od vrtin so pokazale, da podporni ukrepi niso bili povsod izvedeni skladno s pričakovanji, ter da v predoru ponekod znotraj preiskovanega odseka zastaja voda.

Maja 1996 smo z dvema sondažnima razkopoma preverili delno nasprotujoče si podatke o izvedenih podpornih ukrepih. Razkopa smo locirali na stacionažah 2541 in 2573 m.

REZULTATI RAZISKAV IN INTERPRETACIJA STANJA

Rezultati

Rezultati vseh dosedanjih zapažanj v predoru in za ta problem pomembnih arhivskih podatkov o njem so zbrani in prikazani na situaciji, ki je bila izdelana v merilu 1: 250 in je podana na sliki 1. Iz nje je razvidno, da se je največji del deformacije cestišča in poškodb na bokih in v stropu predora razvil na odseku med 2550 in 2590 m, to je v območju, kjer teče predor skozi tektonski kontakt med permokarbonskim glinastim skrilavcem in spodnjetrojasno apneno brečo, kateri sledi srednjetrojasni, vodonosni schlernski dolomit. Na takšnih kontaktnih conah s tršimi kamninami so plastični glinasti skrilavci vedno še posebej močno deformirani in poškodovani.

Iz vodonosnega dolomita so v času gradnje, pa tudi kasneje, dotekale v predor znatne količine vode (med gradnjo, ca 25 l/s). Permokarbonski glinasti skrilavci pa so vrsta hribine, ki je na delovanje vode izjemno občutljiva.

Raziskave so nadalje pokazale, da v kritičnem odseku talni obok, vsaj v zahodni polovici predora ni bil zgrajen. Na ta način konstrukcija predorske lupine ni bila zaprta, kar je v težkih geotehničnih pogojih nujna zahteva za stabilnost objekta.

Meritve konvergence in dviganja cestišča so podane v časovnem diagramu na slikah 2 in 3. Iz njih vidimo, da je deformacija v predoru naraščala s konstantno hitrostjo vse do konca leta 1995, nato pa se je začela njena hitrost povečevati.

Interpretacija

Poškodbe predora so se začele razvijati v tleh. Ko je tamkajšnja deformacija presegla dopustno, so se poškodbe začele širiti po bokih predora navzgor, vse do stropne plošče v predoru, delno celo v kaloto nad njo.

Vzrok za nastanek deformacij je v izredno slabi hribini in pa v dotokih vode vanjo iz bližnjega vodonosnika. To, da talni obok v neposredni bližini tektonskega kontakta dveh geološko različnih hribin ni bil izdelan v celotni dolžini, je imelo za posledico dvigovanje tal v predoru, ki je največje prav na sredini predora. Povečano hitrost razvoja deformacij v zadnjem času pripisujemo po eni strani oslabiljeni betonski konstrukciji, po drugi pa tudi povečanemu namakanju hribine, ki zateka iz poškodovanega drenažnega sistema.

Predlog sanacije

Sanacija predora je usmerjena v odpravljanje opisanih vzrokov za nastalo deformacijo, torej v izgradnjo oziroma nadomeščanje talnega oboka in v nadomeščanje razmočene hribine pod njim.

Ob tem, je seveda potrebno zamenjati tudi vse druge poškodovane objekte in materiale v tleh predora: odvodnjevalni kanal, prečne drenaže in revizijske jaške, kakor tudi vse plasti betona in drenažnih slojev pod voziščem.

PROJEKT SANACIJE

Izhodišča za izdelavo projekta sanacije

Osnovno izhodišče za projektanta oziroma zahteva investitorja je bila, da mora biti predor Karavanke v času sanacijskih del prometno prepusten in sicer tako, da se izvede na območju delovišča polovična zapora. Vsi električni in optični vodi morajo ostati v svoji funkciji. Odvodnja vode in drenažni sistemi ne smejo biti prekinjeni. Signalizacija in vodenje predora mora biti v stalni povezavi z avtocestno bazo.

Projektant, Geoconsult - Salzburg (dr. P. Schubert in dr. J. Brandl) je na podlagi podatkov geodetskih, geotehničnih (konvergenčnih) in georadarskih meritev določil dolžino predorskega talnega oboka na področju deformacije cestišča, ki ga je potrebno sanirati. Dva sondažna izkopa, ki sta bila na področju deformacije cestišča izdelana v juniju 1996 sta pokazala, da je beton talnega oboka močno razpokan in nizkih trdnostnih vrednosti. V enem od razkopov talnega oboka ni bilo, tako da smo lahko ugotovili, da je osnovna hribina (permokarbonski skrjavli glinovci) močno pretirna in zaradi dotokov vode tudi razmočena.

Vhodni podatki za izdelavo projekta so bili tudi detajlni pregledi in spremljanje širjenja razpok v notranji betonski oblogi ter pregled stropne plošče, ki nalega na "zobu" betonske obloge. Kakor je bilo že omenjeno so bile opazne deformacije stropne plošče v obliki manjših školjčnih odlomov.

Predhodna dela

Pred pričetkom sanacijskih del, sta projektanta predvidela vrsto ukrepov, da bi med izkopom za zamenjavo talnega oboka ne prišlo do nadaljnjega deformiranja notranje betonske obloge in posledično tudi stropne plošče. Ukrepi so sledeči:

- Ponovno je potrebno natančno pregledati stik med stropno ploščo in notranjo betonsko oblogo. Na tem mestu je v deformacijsko režo vgrajen stiropor debeline 1,5 cm. V primeru, da je deformacijska reža zaprta (stisnjena) je potrebno strojno izvesti novo deformacijsko režo debeline 2,5 do 3 cm. V času sanacijskih del je potrebno izvajati meritve velikosti deformacijske reže.
- V območju največjih pomikov tal (2550 do 2590 m) bo potrebno kot začasni podporni ukrep vgraditi aktivna sidra dolžine 18 m. Sidra bodo nameščena 80 cm nad nivojem vozišča v radialni smeri in na medsebojni razdalji 4,9 m. Vezna dolžina sidra bo 8 m. Prednapenjanje sider se bo izvajalo postopno do maksimalne sile 1000 kN po predhodno določenem programu, izdelanem na podlagi poskusnega polja dveh sider.. Vseh vgrajenih sider bo 18, torej na vsakem boku po devet. Na dveh sidrih bo v času sanacije merjena sidrna sila.
- Za kontrolo deformacij bo vzpostavljen sistem opazovanja absolutnih pomikov posameznih repernih točk. Šest točk bo vgrajenih v enem profilu, profilov pa bo predvidoma 22, torej na približno vsakih pet metrov območja deformacije. Meritve se bo izvajalo dvakrat dnevno, tako, da bo postopek sanacije v smislu dodatnih deformacij popolnoma nadzorovan.
- Predhodno bo potrebno izvesti prevezavo vseh elektro in optičnih vodnikov, za kar je izdelan poseben projekt. Prav tako je narejen projekt za prevezavo vodov drenirane vode, ki na tem mestu znaša cca 60 l/s.

Sanacijska dela

Talni obok bo zamenjan postopno in sicer po segmentih, dolžine približno 5 m, glede na konstrukcijske stike betonskega vozišča do polovice cestišča. Dela bodo potekala v sledečem zaporedju:

- izkop betonskega talnega oboka in hribine na desni polovici cestišča do novega nivoja talnega oboka (potrebno je z veliko mero previdnosti "razklati" beton v območju stranskih drenaž)
- vgradnja novega cementnobetonskega talnega oboka MB 300 do nivoja talnega oboka druge še nesanirane strani (potrebno je zaščititi vzdolžne drenaže pred zamašitvijo, beton je potrebno dobro kompaktirati, v sredini je potrebno namestiti plastično ločilno folijo)
- izvedba premostitve izkopanega območja, kjer je vgrajen nov talni obok s posebno jekleno mostno konstrukcijo in preusmeritev prometa na desno polovico vozišča
- izkop talnega oboka in hribine do novega nivoja talnega oboka na levi polovici cestišča s posebno pozornostjo pri odstranitvi betona v območju vzdolžne drenaže
- po odstranitvi plastične folije se izvede kvalitetna vgradnje betona MB 300 za nov talni obok. Na levi strani je potrebno opaziti območje poteka glavnega odvodnika in prečnih drenaž.
- izvedba začasne voziščne konstrukcije z vgradnjo gramoza v skomprimiranih plasteh debeline 25 - 30 cm.

Nato preidemo k izkopu naslednjega desnega 5-metrskega segmenta in sistem gradnje ponovimo. Predvidevamo, da bo takih sanacijskih segmentov 40.

Zaključna dela

Po izvedbi zamenjave talnega oboka bo potrebno odstraniti v celotni dolžini levega dela cestišča začasno vozno konstrukcijo tj. gramoz, namestiti odvodni sistem drenirane vode, ponovno namestiti električne in optične kable, izdelati rekonstrukcijo pohodnih kanalet in izvesti trajno betonsko vozišče. Enak postopek bomo izvedli tudi na desni strani po tem, ko bomo promet preusmerili na levo, že izdelano voziščno površino.

Ocenjene količine

Na podlagi projektantove ocene porabe časa za izvedbo sanacije celotnega dela lahko predvidimo, da bo sanacija trajala od 3 do 5 mesecev, izkopanega oziroma novo vgrajenega pa bo 2000 m³ materiala (beton in hribina).

Zaključek

Izjemno težke geološko geotehnične razmere v predoru Karavanke zahtevajo natančno in vestno delo vseh udeleženi. Vsaka napaka ima za posledico velike težave, kar izpričuje tudi ta prispevek. Njegov namen pa ni kritizirati dela med gradnjo, temveč prikazati težave, ki so se pojavile v predoru po njegovi dograditvi in pristop k rešitvi problema.

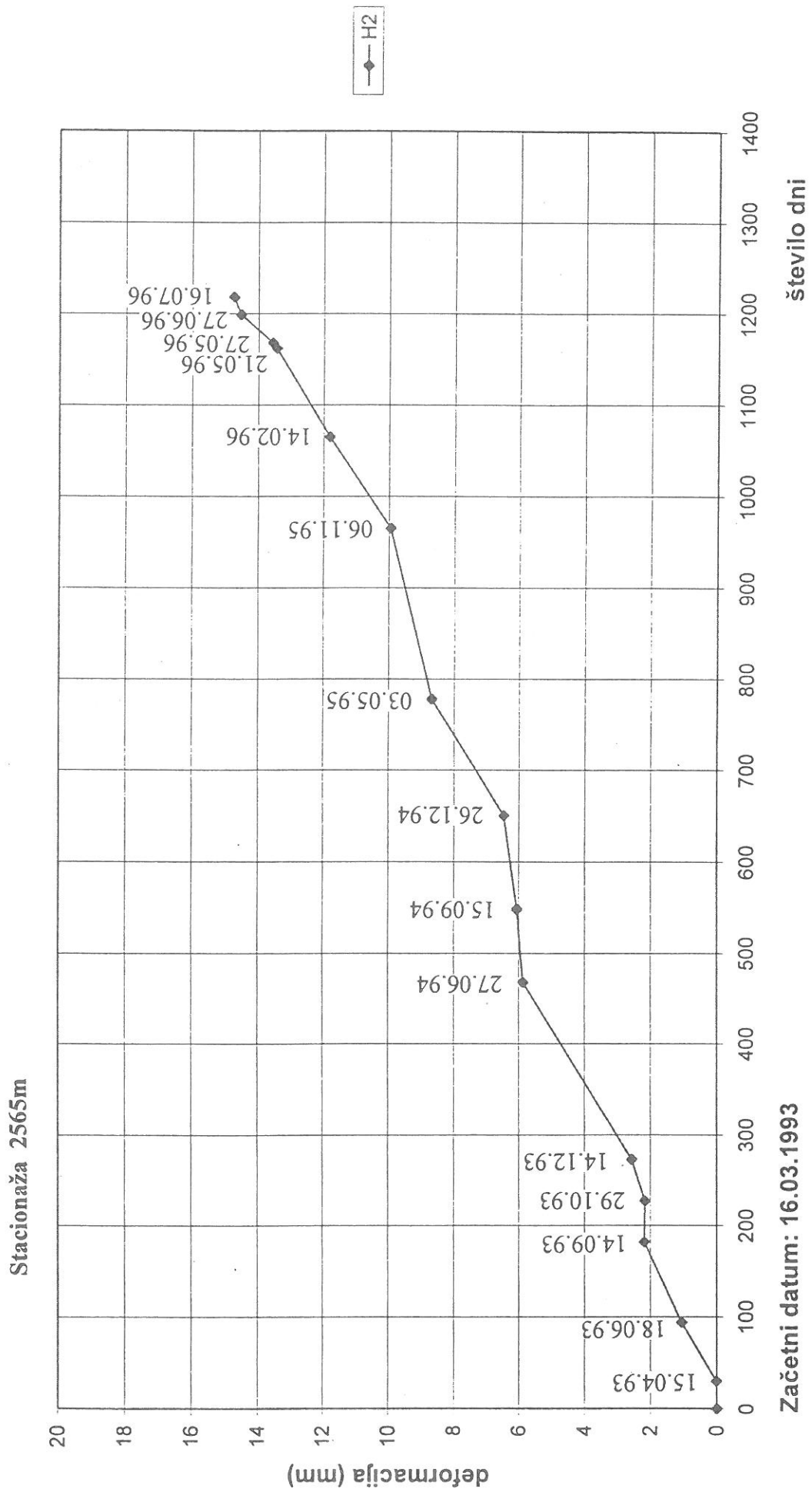
Navkljub grenkemu priokus, da je potrebno relativno nov, mogočen objekt že sanirati smo tisti, ki stanje predora stalno spremljamo, delno zadovoljni, saj se je izkazalo, da je bilo izvajanje geotehničnega, geodetskega in hidrogeološkega monitoringa uspešno in neobhodno potrebno za izvedbo kvalitetnega projekta sanacije.

Na tem mestu bi avtorja želela tudi poudariti izjemen pomen geološko geotehničnih razmer na stabilnost predora, saj se v zadnjem času pri nekaterih projektih pri nas prav tega mnogo premalo zavedamo.

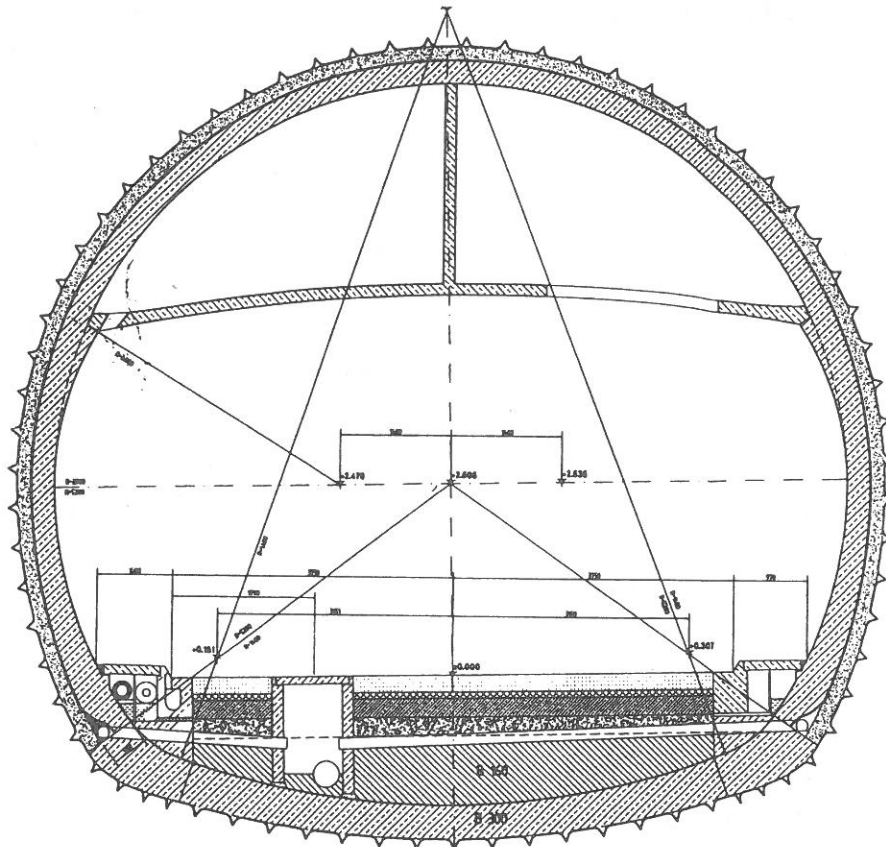
Naše sodelovanje s projektantom iz tujine nam je po drugi strani potrdilo, da domače znanje ne zaostaja za znanjem uveljavljenih tujih projektantov, saj smo pri definiranju vzrokov in iskanju rešitev enakovredno sodelovali ves čas izdelave projekta.

Ne nazadnje bi se avtorja želela zahvaliti investitorju za njegovo razumevanje in hitro ukrepanje pri zagotavljanju tako sredstev kakor tudi delovnih pogojev v predoru v času izvajanja raziskav.

Slika 2: Predor Karavanke - Profil 12A



Slika 3: Prečni profil predora Karavanke pred sanacijo



in po sanaciji

