

# Idejni projekt tunela Kamen

---

**Vrdoljak, Petar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:392180>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

**Petar Vrdoljak**

**Split, rujan 2022.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**IDEJNI PROJEKT TUNELA KAMEN**

**Završni rad**

**Split, rujan 2022.**

***Sažetak:***

U ovom radu prikazan je i obrazložen glavni projekt tunela 'Kamen'. U projektu se opisuju osnovne prometne i geometrijske karakteristike tunela kao i projektno rješenje te sama šira problematika izgradnje tunela. Uz geološke i geotehničke karakteristike terena također su posebno prikazane stijenske mase i načini iskopa i podgrade te usvojena geotehnička i građevinska rješenja.

***Ključne riječi:*** tunel, 'Kamen', projektno rješenje, prometne karakteristike, masa, iskop, geometrijske karakteristike

## CONCEPTUAL TUNNEL PROJECT

**Abstract:** This paper presents and explains the main project of the 'Kamen' tunnel. The project describes the basic traffic and geometric characteristics of the tunnel, as well as the design solution and the broader issue of tunnel construction itself. In addition to the geological and geotechnical characteristics of the terrain, rock masses and methods of excavation and subgrade, as well as adopted geotechnical and construction solutions, are also shown.

**Keywords:** tunnel, project solution, traffic characteristics, weight, excavation, geometric characteristics

# Sadržaj

UVOD - OPĆENITO O TUNELIMA .....	7
1. TEHNIČKI OPIS .....	9
1.1. OPIS TERENA.....	9
1.2. ELEMENTI TRASE U TUNELU .....	9
1.3. ELEMENTI POPREČNOG PRESJEKA.....	10
1.4. KONSTRUKCIJA PORTALNE GRAĐEVINE.....	11
1.5. ODVODNJA I HIDROIZOLACIJA TUNELA .....	12
1.6. GEOMEHANIČKA ILI RMR KLASIFIKACIJA (BIENIAWSKI 1973.) .....	13
1.7. PODGRADNI SUSTAV.....	13
1.7.1. METODE ISKOPA .....	13
1.7.2. KOMPONENTE PODGRADNIH SUSTAVA.....	14
1.7.3. GEOSTATIČKI PRORAČUN .....	14
2. GEOMEHANIČKA KLASIFIKACIJA (RMR sustav).....	16
3. PRORAČUN ODVODNJE.....	35
3.1. PRORAČUN ODVODNJE U ULAZNOM PREDUSJEKU .....	35
3.2. PRORAČUN PROCJEDNOG DOTOKA .....	36
3.3. INCIDENTNI PROTOK.....	36
3.4. UKUPNI PROTOK U GLAVNOJ ODVODNOJ CIJEVI.....	36
3.5. DIMENZIONIRANJE GLAVNE ODVODNE CIJEVI .....	36
4. GRAĐEVINSKI NACRTI - PRILOZI.....	37
4.1. SITUACIJA.....	37
4.2. UZDUŽNI PROFIL TUNELA.....	37
4.3. KONSTRUKCIJA UNUTRAŠNJE LINIJE TUNELA .....	37
4.4. NORMALNI POPREČNI PRESJEK TUNELA BEZ PODNOŽNOG SVODA .....	37
4.5. NORMALNI POPREČNI PRESJEK TUNELA NA SJEVERNOM PORTALU.....	37
4.6. NORMALNI POPREČNI PRESJEK TUNELA S PODNOŽNIM SVODOM.....	37
4.7. ULAZNA PORTALNA GRAĐEVINA .....	37
4.8. IZLAZNA PORTALNA GRAĐEVINA .....	37
4.9. PODGRADNI SUSTAV TIP 4 .....	37
4.10. PODGRADNI SUSTAV TIP 5 .....	37
ZAKLJUČAK .....	48

LITERATURA..... 49

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

**STUDIJ: PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT: PETAR VRDOLJAK**

**MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083224956**

**KATEDRA: Katedra za hidromehaniku i hidrauliku**

**PREDMET: TUNELI I PODZEMNE GRAĐEVINE**

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Idejni projekt tunela

Opis zadatka: Projektnim zadatkom je zadana situacija terena. Na dionici od točke A do točke B predviđena je izgradnja dvosmjernog tunela u pravcu. Potrebno je uz zadane određene podatke dati tehnički opis rješenja, definirati ulazni i izlazni portal tunela, definirati slobodni profil i dimenzije tunela, provesti geomehaničku klasifikaciju prema Bieniawskom, odabrati podgradne sustave tunela za sve kategorije stijenske mase koje se očekuju u tunelu i prikazati sve potrebne nacрте u odgovarajućem mjerilu.

U Splitu, 31.05.2022.

Voditelj završnog rada: doc.dr.sc. Davor Bojanić

## UVOD - OPĆENITO O TUNELIMA

Uvodno za potrebe ovoga rada donosi se uz definiciju tunela kratki prikaz općih informacija o tunelima, nekim njihovim svojstvima te o raznim podjelama i vrstama tunela ovisno o njihovoj namjeni i vrsti gradnje tunela.

Rad je sastavljen od četiri cjeline uz uvod, zaključak i popisa literature. U prvom dijelu rada donosi se tehnički opis projekta, u drugom dijelu prilaže se RMR klasifikacija, treći dio sadrži proračun odvodnje, dok se u četvrtom dijelu nalaze priloge nacrti.

Podzemne građevine u obliku cijevi otvorene na oba kraja, postavljene horizontalno ili u blagom nagibu, a kroz njih se provodi prometnica; željeznica, cesta, kanal ili vodni tok, koji spajaju dva dijela puta razdvojena preprekom koju nije moguće savladati na drugi način, nazivamo **tunelima**.

Najveći broj tunela, kako najdužih tako i onih po veličini kraćih, izrađen je za potrebe željezničkog prometa i prometa na vodi, a manji broj na autocestama i pješačkim putovima i ispod gradova. Uz mostove, tuneli se mogu svrstati u najsloženije inženjerske objekte za promet koji spajaju dva dijela prometnice razdvojene preprekom.

Podzemni prolaz manjeg poprečnog presjeka 5-16 m<sup>2</sup> naziva se **potkop**. Ako je prolaz postavljen vertikalno ili pod nagibom i ima samo jedan otvor onda se zove **okno**.

Prema namjeni tuneli se dijele na:

- prometni – metro, cestovni, plovni,
- hidrotehnički – dovodni i odvodni tuneli hidrocentrala, irigacioni tuneli itd.,
- komunalni – kanalizacijski, kolektori itd.,
- tunele rudarske industrije – za omogućavanje eksploatacije rudnih nalazišta.

Prema položaju na terenu tunele dijelimo na:

- brdske tunele (padinski, vododjelnički),
- podvodne tunele (ispod rijeka i zaljeva),
- gradske tunele (ispod naselja- metro).

Podjela tunela prema obliku tunelske osi:

- tuneli u pravcu,
- tuneli u pravcu s ulaznom ili izlaznom krivinom, ili s krivinama na oba kraja,
- kružni tuneli ili tuneli iz složenih lukova,
- tuneli helikoidalni (ako su u usponu i u punom krugu).

Podjela tunela prema broju voznih traka:

- jednotračni tuneli,
- dvotračni tuneli,
- višetračni tuneli.

Podjela tunela prema dužini:

- mali tuneli – kraći od 50 m,
- kratki tuneli – 50-500 m,
- srednji tuneli – 500-2200 m,
- dugi tuneli – 2200-4000 m,
- vrlo dugi tuneli duži od 4000 m.

Podjela tunela prema veličini iskopa:

- tunelski potkopi 5-12 m<sup>2</sup>,
- mali tunelski profili 12-27 m<sup>2</sup>,
- srednji tunelski profili 27-56 m<sup>2</sup>,
- veliki tunelski profili 56-75 m<sup>2</sup>,
- vrlo veliki tunelski profili preko 75 m<sup>2</sup>.

Podjela tunela prema težini rada:

- laki tuneli – kopaju se u kamenu, bez pritiska, bez podgrađivanja i podziđivanja,
- teški tuneli – kopaju se u trošnoj stijeni koja se raspada,
- vrlo teški tuneli – kopaju se u zemlji, s vrlo jakim pritiscima, zahtijevaju jaku i kompliciranu podgradu i najsavjesnije zidanje.

Podjela tunela prema strukturi:

- potpuno ozidani tuneli,
- djelomično ozidani tuneli,
- neozidani tuneli.

Ovisno o načinu građenja tunela razvijeno je nekoliko metoda nazvanih po zemljama u kojima su prvi puta našle svoju primjenu, pa tako razlikujemo: **belgijsku, austrijsku, englesku, njemačku, talijansku metodu** itd.

Kod klasičnih metoda radovi uvijek počinju kopanjem jednog potkopa, te se one međusobno razlikuju redoslijedom kopanja potkopa u tunelskom profilu. Osim toga postoji način rada sistemog punog profila koji se najčešće primjenjuje u čvrstom i postojanom materijalu (stijena) tako da se u čelu napredovanja buši nekoliko minskih rupa koje se nakon toga ispunjavaju eksplozivnim materijalom. U tom slučaju se tunelski profil ne podgrađuje ali se stijene ne ostavljaju dugo otvorene zbog atmosferskih utjecaja kako ne bi došlo do njihovog raspadanja.

Tunel je sastavni dio prometnice, te se njegova trasa označava na karti sitnijeg mjerila, a način projektiranja trase ovisi o dužini tunela. Kod kratkih tunela oblik osi tunela prilagođava se osi prometnice. Kod dugačkih tunela najprije se izabere položaj tunela, a zatim se trasa prometnice ispred i iza tunela prilagođava s već izabranim položajem i pravcom.

# **1. TEHNIČKI OPIS**

## **1.1. OPIS TERENA**

Teren na predmetnoj lokaciji izgrađuju naslage fliša (E2,3 – srednji do gornji eocen), zastupljene uglavnom laporovitim litološkim članovima, tj. laporima do vapnenačkim laporima sive i sivoplave boje, s proslojcima laporovitih foraminiferskih vapneneca, vapnenačkih pješčenjaka i glinovitih lapora.

Mjestimično se na terenu uočavaju i grebeni manje debljine, sastavljeni od čvrstih i raspucanih vapnenačkih breča i pješčenjaka sive boje. Unutar naslaga fliša mogući su i fragmenti veoma čvrstog rožnjaka (čerta), kao i pojava manjih blokova vapnenačkih olistolita.

Prema genetskoj inženjersko-geološkoj klasifikaciji laporoviti litološki članovi fliša pripadaju skupini vezanih stijena, te podskupini čvrstih, slabo očvrtlih (sedimentnih), klastičnih fino-zrnatih stijena. Bitne inženjersko-geološke značajke ovih stijena su izražena sedimentna tekstura, slojevitost i anizotropnost. Naslage vapnenačkih breča i pješčenjaka (grebeni), pripadaju čvrstim, dobro očvrslim klastičnim srednje-zrnatim do krupnozrnatim stijenama, a bitne inženjersko-geološke značajke su im gradacija po veličini zrna, slojevitost i anizotropnost.

## **1.2. ELEMENTI TRASE U TUNELU**

Početak portalne građevine na razini nivelete tunela nalazi se na stacionaži 0+024,00, a kraj portalne građevine na razini nivelete nalazi se na stacionaži 0+408,03.

Predviđena je izgradnja dvosmjernog tunela kojem će, tloctrno gledano, niveleta biti položena u pravcu. Cesta ispred i sjevernog i južnog portala je također u pravcu. Duljina tunela na nivou nivelete od početka sjeverne portalne građevine do kraja južne portalne građevine iznosi 384,03 m. uzdužni nagib tunela je konstantan od sjevernog portala prema sjevernom i iznosi 1,3 %. Time je zadovoljen uvjet minimalnog nagiba ceste u tunelu koji iznosi 0,3 % zbog odvodnje, a zadovoljen je i uvjet maksimalnog nagiba nivelete za kraće tunele koji iznosi 4 %. Izgradnja servisnog tunela nije predviđena zbog male duljine tunela.

### 1.3. ELEMENTI POPREČNOG PRESJEKA

Poprečni presjek tunelske konstrukcije je definiran uvjetima stijenske mase na razini tunela i uvjetima ostvarenja slobodnih profila u tunelu. S obzirom na ostvarenje slobodnih profila, traži se ostvarenje visine slobodnog profila u iznosu od 4,50 m iznad voznih površina, te 2,50 m iznad revizijskih staza (nogostupa) koje služe za prolaz ljudi koji rade na održavanju tunela. Trasa ceste na kojoj se nalazi tunel ima dva kolnička traka predviđena za promet u oba smjera. Širina kolnika u tunelu iznosi  $2 \times 3,85 = 7,70$  m. Širina nogostupa iznosi cca. 0,90 m.

Konstrukciju unutrašnje linije tunela s donje strane tunela čini kolnička ploha, a s gornje strane i sa bočne strane, unutrašnju liniju čini sekundarna podgrada izgrađena od armiranog betona C 30/37, koja na bočnim stranama ima radijus 6,60 m, a s gornje strane (u tjemenu svodu) ima radijus 4,85 m. Sekundarna podgrada je debljine  $d = 30$  cm, osim na portalnoj građevini gdje je sekundarna podgrada debljine  $d = 65$  cm, a oslonjena je na temelje s jedne i druge strane koji su visine  $h = 50$  cm. Temelji se izvode na sloju podbetona C 25/30 debljine  $d = 10$  cm. Iza sekundarne podgrade dolazi hidroizolacija koja se pričvršćuje direktno na primarnu podgradu kojoj debljina varira  $d = 10-25$  cm ovisno o tipu podgrade.

Kolničku konstrukciju u slučaju poprečnog presjeka bez podnožnog svoda čine četiri sloja. Prvi sloj čini habajući sloj debljine  $d = 4$  cm, asfaltbeton AB 11E i bitumen (PmB 50/70-65). Drugi sloj čini vezni sloj debljine  $d = 6$  cm VS 16 i bitumen 50/70-65. Treći sloj čini bitumenizirani nosivi sloj debljine  $d = 8$  cm BNS 32s A i bitumen 35/50 (prema HRN EN 12591). Četvrti sloj čini nosivi sloj MSNS – drobljena kamena sitnež BR = min 80%, debljine 35 cm. Ispod ovih slojeva se također nalazi i betonska ploča, (C 25/30), debljine 20 cm kao zaštita podloge, kako ne bi došlo do degradacije lapora. Ukoliko imamo podnožni svod, ispod ova četiri sloja postavlja se nearmirani beton C 25/30. Također, ukoliko imamo lošu stijensku masu, moramo primijeniti konstrukciju podnožnog svoda kojemu ispod ispune betonom, dolazi sekundarni podnožni svod od armiranog betona C 25/30, debljine  $d = 30$  cm. Ispod sekundarnog podnožnog svoda, postavlja se podnožni svod od armiranog mlaznog betona C 25/30, debljine  $d = 30$  cm.

## 1.4. KONSTRUKCIJA PORTALNE GRAĐEVINE

U tunelu „Kamen“, sjever-sjeverozapadni i jugo-jugoistočni portal počinje punim predusjekom, tj. i s lijeve i s desne strane prometnice se nalazi pokos usjeka s nagibom 3:1. Portalna građevina se postavlja na ulazu i izlazu iz tunela. Početak S-SJ portalne građevine u razini nivelete je na stacionaži 0+024,00. Početak portalne građevine u tjemenu svodu je na 0+027,33. Početak iskopa tunela u tjemenu svodu je na 0+032,73, a kraj portalne građevine je na 0+035,60. Početak J-JS portalne građevine, na razini nivelete 0+396,33. Kraj iskopa tunela u tjemenu svodu je na 0+399,33. Kraj portalne građevine u tjemenu svodu je na 0+404,33, a kraj portalne građevine u razini nivelete je na 0+408,03. Mjesto portalne građevine se odabire prema mjestu gdje počinje iskop. I s S-SJ i sa J-JS, iskop počinje na mjestu gdje je nadsloj debljine 5-6 m od tjemenu svoda tunela. Na tom mjestu izvodimo pokos čela predusjeka u nagibu 3:1 do gornjeg ruba linije terena. Taj predusjek osiguravamo od odronjavanja postavljanjem sidara dužine  $L=4$  m i promjera  $d=25$  mm. Prije postavljanja sidara, na predusjek se postavi 5 cm mlaznog betona, te 2 sloja po 10 cm u koji se postavje 2 mreže Q355. Nakon toga ide sloj betona C 25/30 od 20 cm koji se armira armaturom Q196, a paralelno s betoniranjem postavlja se kamena obloga, kamenaq drobljenca  $d=20$  cm. Na ovaj način smo osigurali stabilnost predusjeka.

Sama konstrukcija portalne građevine izvodi se u duljini od  $L=8$  m tako da se izvuče od mjesta početka iskopa u duljini  $L=5$  m, a uvuče se u tunel od mjesta gdje počinje iskop u duljini  $L=3$  m. Konstrukciju portalne građevine čini armirano betonska obloga izgrađena od betona C 30/37 debljine  $d=65$  cm, koja se oslanja na temelje visine  $h=50$  cm. S vanjske strane portalne građevine u predusjeku se izvodi proširenje terena od 1,2 m. To proširenje je u razini bankine ili berme od ceste prije predusjeka. Proširenje služi radi olakšanog pristupa za vrijeme izvođenja portalne građevine, a tu se i postavlja drenažna cijev koja skuplja svu procjednu i oborinsku vodu koja se slije niz pokos predusjeka.

## 1.5. ODVODNJA I HIDROIZOLACIJA TUNELA

Za vrijeme eksploatacije tunela potrebno je odvesti svu vodu koja se skuplja iza tunelske obloge, kako ne bi došlo do oštećenja kako obloge tako i do ispiranja materijala ili vlaženja kolnika.

Hidroizolacija koju postavljamo je PVC folija koja se isporučuje u namotanim kolutovima širine 1,5-2 m, i dužine 100 m. Spojevi folije se vare vrućim postupkom, vrućim zrakom sa preklopom 15 cm. Varenje se vrši u dvije linije tako da između ostane linija ostaje zračni jastuk koji služi za kontrolu kvalitete vara. Hidroizolacija usmjerava procjednu vodu prema glavnom kolektoru. Predviđena je i kolnička odvodnja. Naime, u slučaju kišnog vremena, postoji mogućnost da se dio kiše slije sa ceste kojoj je niveleta na većoj visinskoj koti u tunel, na onaj dio ceste s niveletom na manjoj visinskoj koti. Kolnička odvodnja također služi u slučaju nekih prometnih nesreća u kojima može doći do izlivanja goriva iz vozila ili ostalih tekućina iz cesterni. Kolnička odvodnja se rješava poprečnim nagibom, koji vodu usmjerava prema nižoj koti kolnika, gdje se tekućina s kolnika odvodi glavnim kolektorom.

Dimenzioniranje oborinske kanalizacije se vrši na temelju maksimalne satne oborine po formuli :

$$Q_{\text{procjedno}} = \frac{V_{\text{oborine}}}{t_{\text{otjecanja}}}$$

Za izračun protoka, mjerodavna je površina terena B, koja sudjeluje u otjecanju vode prema glavnom kolektoru, dužina tunela L, maksimalni intezitet kiše koji se očekuje i, te vrijeme otjecanja koji ovisi o geologiji terena,  $t_{\text{otjecanja}}$ .

$$Q_{\text{procjedno}} = \frac{P * L * B}{t_{\text{otjecanja}}}$$

Obzirom na ITP krivulju i PP od 100 godina, određena je količina cjelodnevnne kiše za područje Splita, i ona iznosi 200l/m<sup>2</sup>/dan.

Ukupni protok kojim se dimenzionira glavna odvodna cijev, dobije se zbrajanjem  $Q_{\text{procjedno}}$ ,  $Q_{\text{izljev}}$ ,  $Q_{\text{tranzitno}}$  i  $Q_{\text{predusjek}}$  se određuje prema „Pravilniku o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele (NN 96/2013)“ i iznosi  $Q_{\text{izljev}} = 200 \text{ ls na } 200 \text{ m tunela}$ .

Glavna odvodna cijev smješten je 1,75 m od osi tunelskog presjeka prema desno. Odabrana dimenzija tunelske cijevi je  $\Phi=600 \text{ mm}$ , a postavlja se u jarak kojemu se bočne stranice u nagibu 5:1. Ispod kanalizacijske cijevi se postavlja sloj podbetona C 25/30. Cijev se učvršćuje ispunom od betona C 25/30, armiranog s gornje strane mrežom Q196. Na sloj betona se postavlja sloj tucanika s promjerima frakcija 16-32 mm.

Spoj tucanika I nosivog sloja kolnika se odvaja geotekstilom kako ne bi došlo do mješanja ovih dvaju slojeva

## **1.6. GEOMEHANIČKA ILI RMR KLASIFIKACIJA (BIENIAWSKI 1973.)**

Geomehanička klasifikacija ili RMR klasifikacija se zasniva na sustavu bodovanja svojstva stijenske mase koju je predložio Bieniawski.

Boduju se sljedeći parametri:

- čvrstoća stijenskog materijala određena kao jednoosna tlačna čvrstoća ili kao čvrstoća određena s opterećenjem u točki („Point Load Test“)
- indeks kvalitete jezgre (RQD)
- razmak pukotina (diskontinuiteta)
- stanje pukotina (diskontinuiteta)
- uvjeti stanja podzemne vode

Navedeni parametri su se dobili na temelju geološkog opisa terena. Za potrebe klasifikacije, trasa se podijelila na strukturne zone. Jedna strukturna zona je područje s približno istim geološkim karakteristikama.

## **1.7. PODGRADNI SUSTAV**

### **1.7.1. METODE ISKOPA**

Na temelju geomehaničke klasifikacije odabrani su podgradni sustavi za pojedine dionice tunela.

Iskopi u I. i II. kategoriji stijenske mase se ne očekuje.

Iskopi u III. kategoriji stijenske mase izvodi se po fazama s napredovanjem u svodu 1,5-3 m. Započeti podgradu nakon svakog miniranja. Dopršiti podgradu 10 m od čela.

Iskop u IV. kategoriji stijenske mase izvodi se po fazama s napredovanjem od 1 do 1,5 m u svodu. Postavljanje podgradnog sustava istodobno s iskopom.

Iskop u V. kategoriji stijenske mase izvodi se u fazama, s napredovanjem od 0,5 do 1,5 m u svodu. Podgrada se postavlja istodobno s iskopom. Mlazni beton se nanosi neposredno nakon iskopa.

### **1.7.2. KOMPONENTE PODGRADNIH SUSTAVA**

Sigurnost ljudi od lokalnih ispadanja do ugradnje projektirane podgrade, postići će se redovitim uklanjanjem nestabilnih dijelova stijenske mase, izvedbom tankog zaštitnog sloja mlaznog betona (min. 3 cm) nakon iskopa (po potrebi), postavljanje projektirane čelične mreže Q196, te ugradnjom ekspanzijskih sidara (sweels sidara, sidra s glavom ili slično). Izvođač radova može u slučaju potrebe, uz suglasnost nadzornog inženjera, ugrađivati i kosa sidra unaprijed u V. kategoriji stijenske mase, (predprobijanje), na bočnom razmaku od 30 cm, kako bi se spriječilo ispadanje blokova stijene iz tjemnog svoda.

### **1.7.3. GEOSTATIČKI PRORAČUN**

Određivanje podgradnog sustava općenito se bazira na korištenju integralne metode projektiranja tunela, koja objedinjuje empirijski, analitički i osmatrački pristup. Temelj ovom pristupu čini geomehanička klasifikacija stijenske mase, koja omogućava sistematizaciju stečenih iskustava u vezi s kvalitetom stijenske mase, načinom iskopa i zahtjevanom podgradom u tunelu. U ovom programskom zadatku primjenjena je konvergentno-granična metoda temeljena na elastoplastičnom modelu koji omogućuje zatvorena matematička rješenja. Na temelju dobivenih pomaka do točke ravnoteže definiran je postotak ukupne deformacije koja će se dogoditi prije nego se postavi podgrada koja će preuzeti opterećenje stijenske mase.

Naprezanja u stijenskoj masi i podgradi određena su korištenjem Hoek-Brown-ovog kriterija čvrstoće metodom konačnih elemenata s elastičnim modelom kontinuuma. U prvom koraku određena su naprezanja i pomaci u stijenskoj masi prije početka iskopa (geostatički pomaci). U drugom koraku izvršen je proračun pomaka i naprezanja koji nastaju nakon iskopa tunela. Razlika pomaka iz ova dva proračunska karaka daje pomake po rubu iskopa koji bi nastali nakon iskopa tunela, bez izrade podgradnog sustava, jer su se geostatički pomaci u geološkoj prošlosti već dogodili. Podgrani sustav, sastavljen od mlaznog betona, čeličnih lukova i čeličnih sidara, ugradit će se nakon djelomične relaksacije naprezanja. Pretpostavlja se da će se elastična deformacija odigrati prije postavljanja podgradnog sustava. Podgradni sustav prima opterećenje koje počinje djelovati pojavom plastičnih deformacija. Dobivena naprezanja u podgradi predstavljaju stanje nakon očvršćivanja podgrade. Na temelju klasifikacija, analitičkog modela i dosadašnjeg iskustva na izvedenim objektima, projektirani su odgovarajući podgradni sustavi.

Osmatrački pristup (ocjena geotehničkih karakteristika, mjerenja deformacija i naprezanja u stijenskoj masi) omogućuje da se u toku gradnje tunela, izvrši potvrda odabranih podgradnih sustava ili njihova eventualna korekcija. Ako se mjerenjima utvrdi da nije došlo do smirivanja deformacija stijenske mase, pristupit će se izvođenju pojačane podgrade u dogovoru s projektantom. Osnovni princip je izvođenje podgradnog sustava u pogodnom trenutku nakon

iskopa određene dionice (dužine mogu varirati od 0,5 m do 4 m ovisno o kategoriji stijenske mase).

## 2. GEOMEHANIČKA KLASIFIKACIJA (RMR sustav)

Geomehanička klasifikacija je provedena po dionicama prema obrascu za geomehaničku klasifikaciju.

1. Klasifikacija za slučaj iskopa sa S – J strane

### ULAZNI PODACI ZA GEOMEHANIČKU KLASIFIKACIJU (1. DIONICA)

**PROJEKT:** Idejni projekt tunela

**OBJEKT:** Tunel

**STACIONAŽA:** 0+029,50 – 0+060.50

**IZVOĐAČ:**

**DATUM:**

**TIP STIJENE:** Laporite flišne naslage

### ČVRSTOĆA STIJENSKOG MATERIJALA

Vrlo visoka > 250 MPa

Visoka 100 – 250 MPa

Srednja 50 – 100 MPa

Niska 25 – 50 MPa

Vrlo niska <25 MPa 10 – 25 MPa

BODOVI = 2

### RQD

Vrlo dobar 90% - 100%

Dobar 75% - 90%

<u>Povoljan</u>	<u>50% - 75%</u>	
<u>Slab</u>	<u>25% - 50%</u>	
<u>Vrlo slab</u>	<u>&lt; 25%</u>	<u>20%</u>

BODOVI = 3

#### PODZEMNA VODA

Priliv na 10 m dužine tunela

lii

Opće stanje (suho, vlažno,

mokro, kapljanje, tečenje) kapljanje

BODOVI = 4

#### RAZMAK DISKONTINUITETA

		Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
<u>Vrlo velik</u>	<u>&gt; 2 m</u>		
<u>Velik</u>	<u>0.6 – 2 m</u>		
<u>Srednji</u>	<u>0,2 – 0,6 m</u>		<u>10</u>
<u>Mali</u>	<u>0,06 – 0,2 m</u>	<u>8</u>	
<u>Vrlo mali</u>	<u>&gt; 0,06 m</u>		

STANJE DISKONTINUITETA

DUŽINA DISKONTINUITETA

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
< 1,0 m		
1,0 – 3,0 m		4
3,0 – 10,0 m	2	
10,0 – 20,0 m		
> 20,0 m		

ZIJEV

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
<u>Zatvorene</u>		
< 0,1 mm		
0,1 – 1,0 mm		
1 – 5 mm	1	1
> 5 mm		

HRAPAVOST

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
Vrlo hrapave		
Hrapave	5	
Neznatno hrapave		
Glatke		1
Skliske		

ISPUNA

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
<u>Bez ispune</u>		
<u>Tvrda ispuna &lt; 5 mm</u>		
<u>Tvrda ispuna &gt; 5 mm</u>		
<u>Meka ispuna &lt; 5 mm</u>	2	2
<u>Meka ispuna &gt; 5 mm</u>		

RASTROŠENOST

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
<u>Nerastrošene</u>		
<u>Neznatno rastrošene</u>		
<u>Umjereno rastrošene</u>	3	
<u>Jako rastrošene</u>		1
<u>Potpuno rastrošene</u>		

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
BODOVI (UKUPNO) =	30	28
SMJER I VELIČINA NAGIBA DISKONTINUITETA		
<u>Skup 1      Smjer      30°      Nagib      30°      dobro</u>		
<u>Skup 2      Smjer      210°      Nagib      50° - 60°      vrlo nepovoljno</u>		

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
BODOVI =	30 – 5 = 25	28 – 12 = 16

KVALITETA STIJENSKE MASE      RMR = 16

OPĆE PRIMJEDBE I DODATNI PODACI: Iskop se u ovoj stijenskoj masi vrši sa S-J strane. Geomehničkom klasifikacijom je utvrđeno da se radi o stijeni V. kategorije, te je ta stijenska masa klasificirana kao vrlo slaba stijenska masa.

### ULAZNI PODACI ZA GEOMEHANIČKU KLASIFIKACIJU (2. DIONICA)

**PROJEKT:** Idejni projekt tunela \_\_\_\_\_

**OBJEKT:** Tunel \_\_\_\_\_

**STACIONAŽA:** 0+060,50 – 0+170,00 \_\_\_\_\_

**IZVOĐAČ:** \_\_\_\_\_

**DATUM:** \_\_\_\_\_

**TIP STIJENE:** Grebeni vapnenačkih breča i pješćenjaka

### ČVRSTOĆA STIJENSKOG MATERIJALA

Vrlo visoka \_\_\_\_\_ > 250 MPa \_\_\_\_\_

Visoka \_\_\_\_\_ 100 – 250 MPa \_\_\_\_\_

Srednja \_\_\_\_\_ 50 – 100 MPa \_\_\_\_\_

Niska \_\_\_\_\_ 25 – 50 MPa \_\_\_\_\_ 25 – 50 MPa \_\_\_\_\_

Vrlo niska \_\_\_\_\_ <25 MPa \_\_\_\_\_

BODOVI = 4

### RQD

Vrlo dobar \_\_\_\_\_ 90% - 100% \_\_\_\_\_

Dobar \_\_\_\_\_ 75% - 90% \_\_\_\_\_ 80% \_\_\_\_\_

Povoljan \_\_\_\_\_ 50% - 75% \_\_\_\_\_

Slab \_\_\_\_\_ 25% - 50% \_\_\_\_\_

Vrlo slab \_\_\_\_\_ < 25% \_\_\_\_\_

BODOVI = 17

PODZEMNA VODA

Priliv na 10 m dužine tunela \_\_\_\_\_

III

Opće stanje (suho, vlažno,

mokro, kapljanje, tečenje) \_\_\_\_\_

mokro

BODOVI = 7

RAZMAK DISKONTINUITETA

		Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
Vrlo velik	> 2 m			
Velik	0.6 – 2 m			
Srednji	0,2 – 0,6 m		10	
Mali	0,06 – 0,2 m	8		
Vrlo mali	> 0,06 m			5

STANJE DISKONTINUITETA

DUŽINA DISKONTINUITETA

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
< 1,0 m			
1,0 – 3,0 m		4	
3,0 – 10,0 m	2		
10,0 – 20,0 m			1
> 20,0 m			

## ZIJEV

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
<u>Zatvorene</u>			
<u>&lt; 0,1 mm</u>			
<u>0,1 – 1,0 mm</u>			
<u>1 – 5 mm</u>	1	1	
<u>&gt; 5 mm</u>			0

## HRAPAVOST

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
<u>Vrlo hrapave</u>			
<u>Hrapave</u>	5	5	
<u>Neznatno hrapave</u>			3
<u>Glatke</u>			
<u>Skliske</u>			

## ISPUNA

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
<u>Bez ispune</u>	6	6	6
<u>Tvrda ispuna &lt; 5 mm</u>			
<u>Tvrda ispuna &gt; 5 mm</u>			
<u>Meka ispuna &lt; 5 mm</u>			
<u>Meka ispuna &gt; 5 mm</u>			

## RASTROŠENOST

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
<u>Nerastrošene</u>			
<u>Neznatno rastrošene</u>	5	5	
<u>Umjereno rastrošene</u>			3
<u>Jako rastrošene</u>			
<u>Potpuno rastrošene</u>			

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
BODOVI (UKUPNO) =	55	59	46

## SMJER I VELIČINA NAGIBA DISKONTINUITETA

<u>Skup 1</u>	<u>Smjer</u>	<u>30°</u>	<u>Nagib</u>	<u>30°</u>	<u>dobro</u>
<u>Skup 2</u>	<u>Smjer</u>	<u>210°</u>	<u>Nagib</u>	<u>50° - 60°</u>	<u>vrlo nepovoljno</u>
<u>Skup 3</u>	<u>Smjer</u>	<u>30° - 210°</u>	<u>Nagib</u>	<u>90°</u>	<u>nepovoljno</u>

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
BODOVI =	55 – 5 = 50	59 – 12 = 47	46 – 10 = 36

KVALITETA STIJENSKE MASE      RMR = 36

OPĆE PRIMJEDBE I DODATNI PODACI: Klasifikacija za ovaj tip stijenske mase je ista bez obzira s koje strane se pristupa kopanju. Geomehničkom klasifikacijom je utvrđeno da se radi o stijeni IV. kategorije.

## ULAZNI PODACI ZA GEOMEHANIČKU KLASIFIKACIJU (3. DIONICA)

PROJEKT: Idejni projekt tunela

OBJEKT: Tunel

STACIONAŽA: 0+170,00 – 0+210,00

**IZVOĐAČ:** \_\_\_\_\_

**DATUM:** \_\_\_\_\_

**TIP STIJENE:** Laporite flišne naslage

**ČVRSTOĆA STIJENSKOG MATERIJALA**

Vrlo visoka > 250 MPa

Visoka 100 – 250 MPa

Srednja 50 – 100 MPa

Niska 25 – 50 MPa

Vrlo niska <25 MPa 10 – 25 MPa

BODOVI = 2

**RQD**

Vrlo dobar 90% - 100%

Dobar 75% - 90%

Povoljan 50% - 75%

Slab 25% - 50%

Vrlo slab < 25% 20%

BODOVI = 3

**PODZEMNA VODA**

Priliv na 10 m dužine tunela

III

Opće stanje (suho, vlažno,

mokro, kapljanje, tečenje) vlažno

BODOVI = 10

RAZMAK DISKONTINUITETA

		Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
Vrlo velik	> 2 m		
Velik	0.6 – 2 m		
Srednji	0,2 – 0,6 m		10
Mali	0,06 – 0,2 m	8	
Vrlo mali	> 0,06 m		

STANJE DISKONTINUITETA

DUŽINA DISKONTINUITETA

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
< 1,0 m		
1,0 – 3,0 m		4
3,0 – 10,0 m	2	
10,0 – 20,0 m		
> 20,0 m		

ZIJEV

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
<u>Zatvorene</u>		
< 0,1 mm		
0,1 – 1,0 mm		
1 – 5 mm	1	1

> 5 mm

---

#### HRAPAVOST

Skup 1 (SS)

Skup 2 (S1)

Vrlo hrapave

---

Hrapave

5

---

Neznatno hrapave

---

Glatke

1

---

Skliske

---

#### ISPUNA

Skup 1 (SS)

Skup 2 (S1)

Bez ispune

---

Tvrda ispuna < 5 mm

---

Tvrda ispuna > 5 mm

---

Meka ispuna < 5 mm

2

2

---

Meka ispuna > 5 mm

---

#### RASTROŠENOST

Skup 1 (SS)

Skup 2 (S1)

Nerastrošene

---

Neznatno rastrošene

---

Umjereno rastrošene

3

---

Jako rastrošene

1

---

Potpuno rastrošene

---

		Skup 1 (SS)		Skup 2 (S1)	
BODOVI (UKUPNO) =		36		34	
SMJER I VELIČINA NAGIBA DISKONTINUITETA					
Skup 1	Smjer	30°	Nagib	30°	dobro
Skup 2	Smjer	210°	Nagib	50° - 60°	vrlo nepovoljno
		Skup 1 (SS)		Skup 2 (S1)	
BODOVI =		36 – 5 = 31		34 – 12 = 22	

KVALITETA STIJENSKE MASE RMR = 22

OPĆE PRIMJEDBE I DODATNI PODACI: Iskop se u ovoj stijenskoj masi vrši sa S-J strane. Geomehničkom klasifikacijom je utvrđeno da se radi o stijeni IV. kategorije, te je ta stijenska masa klasificirana kao vrlo slaba stijenska masa.

#### ULAZNI PODACI ZA GEOMEHANIČKU KLASIFIKACIJU (4. DIONICA)

PROJEKT: Idejni projekt tunela \_\_\_\_\_

OBJEKT: Tunel \_\_\_\_\_

STACIONAŽA: 0+210,00 – 0+372,00 \_\_\_\_\_

IZVOĐAČ: \_\_\_\_\_

DATUM: \_\_\_\_\_

TIP STIJENE: Grebeni vapnenačkih breča i pješčenjaka

#### ČVRSTOĆA STIJENSKOG MATERIJALA

Vrlo visoka > 250 MPa

Visoka 100 – 250 MPa

Srednja 50 – 100 MPa

Niska 25 – 50 MPa 25 – 50 MPa

Vrlo niska <25 MPa

BODOVI = 4

RQD

Vrlo dobar 90% - 100%

Dobar 75% - 90% 80%

Povoljan 50% - 75%

Slab 25% - 50%

Vrlo slab < 25%

BODOVI = 17

PODZEMNA VODA

Priliv na 10 m dužine tunela

lli

Opće stanje (suho, vlažno,

mokro, kapljanje, tečenje) mokro

BODOVI = 7

RAZMAK DISKONTINUITETA

		Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
<u>Vrlo velik</u>	<u>&gt; 2 m</u>			
<u>Velik</u>	<u>0.6 – 2 m</u>			
<u>Srednji</u>	<u>0,2 – 0,6 m</u>		10	
<u>Mali</u>	<u>0,06 – 0,2 m</u>	8		
<u>Vrlo mali</u>	<u>&gt; 0,06 m</u>			5

STANJE DISKONTINUITETA

DUŽINA DISKONTINUITETA

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
< 1,0 m			
1,0 – 3,0 m		4	
3,0 – 10,0 m	2		
10,0 – 20,0 m			1
> 20,0 m			

ZIJEV

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
<u>Zatvorene</u>			
< 0,1 mm			
0,1 – 1,0 mm			
1 – 5 mm	1	1	
> 5 mm			0

HRAPAVOST

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
Vrlo hrapave			
Hrapave	5	5	
Neznatno hrapave			3
Glatke			
Skliske			

## ISPUNA

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
Bez ispune	6	6	6
Tvrda ispuna < 5 mm			
Tvrda ispuna > 5 mm			
Meka ispuna < 5 mm			
Meka ispuna > 5 mm			

## RASTROŠENOST

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
Nerastrošene			
Neznatno rastrošene	5	5	
Umjereno rastrošene			3
Jako rastrošene			
Potpuno rastrošene			

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
BODOVI (UKUPNO) =	55	59	46

## SMJER I VELIČINA NAGIBA DISKONTINUITETA

Skup 1	Smjer	30°	Nagib	30°	dobro
Skup 2	Smjer	210°	Nagib	50° - 60°	vrlo nepovoljno
Skup 3	Smjer	30° - 210°	Nagib	90°	nepovoljno

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)	Skup 3 (SV)
BODOVI =	55 - 5 = 50	59 - 12 = 47	46 - 10 = 36



Vrlo slab < 25% 20%

---

BODOVI = 3

#### PODZEMNA VODA

Priliv na 10 m dužine tunela

---

Ili

Opće stanje (suho, vlažno,

mokro, kapljanje, tečenje)

kapljanje

---

BODOVI = 4

#### RAZMAK DISKONTINUITETA

Skup 1 (SS)

Skup 2 (S1)

Vrlo velik > 2 m

---

Velik 0.6 – 2 m

---

Srednji 0,2 – 0,6 m

10

---

Mali 0,06 – 0,2 m

8

---

Vrlo mali > 0,06 m

---

#### STANJE DISKONTINUITETA

#### DUŽINA DISKONTINUITETA

Skup 1 (SS)

Skup 2 (S1)

< 1,0 m

---

1,0 – 3,0 m

4

---

3,0 – 10,0 m

2

---

10,0 – 20,0 m

---

> 20,0 m

---

## ZIJEV

Skup 1 (SS)

Skup 2 (S1)

Zatvorene

< 0,1 mm

---

0,1 – 1,0 mm

---

1 – 5 mm

1

1

> 5 mm

---

## HRAPAVOST

Skup 1 (SS)

Skup 2 (S1)

Vrlo hrapave

---

Hrapave

5

Neznatno hrapave

---

Glatke

1

Skliske

---

## ISPUNA

Skup 1 (SS)

Skup 2 (S1)

Bez ispune

---

Tvrda ispuna < 5 mm

---

Tvrda ispuna > 5 mm

---

Meka ispuna < 5 mm

2

2

Meka ispuna > 5 mm

---

## RASTROŠENOST

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
<u>Nerastrošene</u>		
<u>Neznatno rastrošene</u>		
<u>Umjereno rastrošene</u>	3	
<u>Jako rastrošene</u>		1
<u>Potpuno rastrošene</u>		

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
BODOVI (UKUPNO) =	30	28

## SMJER I VELIČINA NAGIBA DISKONTINUITETA

<u>Skup 1</u>	<u>Smjer</u>	<u>30°</u>	<u>Nagib</u>	<u>30°</u>	<u>dobro</u>
<u>Skup 2</u>	<u>Smjer</u>	<u>210°</u>	<u>Nagib</u>	<u>50° - 60°</u>	<u>vrlo nepovoljno</u>

	Skup 1 (SS)	Skup 2 (S1)
BODOVI =	30 – 5 = 25	28 – 12 = 16

## KVALITETA STIJENSKE MASE      RMR = 16

OPĆE PRIMJEDBE I DODATNI PODACI: Iskop se u ovoj stijenskoj masi vrši sa S-J strane. Geomehaničkom klasifikacijom je utvrđeno da se radi o stijeni V. kategorije, te je ta stijenska masa klasificirana kao vrlo slaba stijenska masa.

### 3. PRORAČUN ODVODNJE

#### 3.1. PRORAČUN ODVODNJE U ULAZNOM PREDUSJEKU

Površina iskopa ulaznog predusjeka, na razini terena, iznosi 729.82 (m<sup>2</sup>).  
Koeficijent otjecanja može se usvojiti u iznosu od 1.0.

Za izračun maksimalne oborine koristit će se važeća ITP krivulja za Split-Marjan:

$$i = 6.7586 \cdot PP^{0.24237} \cdot t_k^{-0.71693}; \quad 10' < t_k < 1440'; \quad 0.5 \text{ god.} \leq PP \leq 100 \text{ god.}$$

gdje je:

- i - intenzitet oborine (mm/min),
- PP - povratni period (god.),
- t<sub>k</sub> - trajanje oborine (min).

Usvaja se povratni period od PP=50 (god.)

U tablici 1. dat je pregled intenziteta oborine za trajanja oborina od 10 do 60 minuta, te za povratne periode od 1 do 100 (god.).

Tablica 1. Intenziteti oborine za Split Marjan

i (mm/min)	t <sub>k</sub> (min)					
	PP (god.)	10	20	30	40	50
1	1,297	0,789	0,590	0,480	0,409	0,359
2	1,534	0,933	0,698	0,568	0,484	0,425
3	1,693	1,030	0,770	0,627	0,534	0,468
4	1,815	1,104	0,826	0,672	0,572	0,502
5	1,916	1,166	0,872	0,709	0,604	0,530
10	2,266	1,379	1,031	0,839	0,715	0,627
20	2,681	1,631	1,220	0,992	0,846	0,742
50	3,347	2,037	1,523	1,239	1,056	0,926
100	3,960	2,409	1,801	1,466	1,249	1,096

Mjerodavno trajanje oborine za predusjek usvaja se u vremenu od 10 minuta.

Mjerodavni protok iz predusjeka određen je prema sljedećem izrazu:

$$Q_{pred.} = A \cdot i \cdot c \cdot \frac{1}{60000} (m^3/s)$$
$$Q_{pred.} = 729,82 \cdot 3,347 \cdot \frac{1}{60000} = 0,0407 (m^3/s)$$

gdje je:

- A - površina sliva predusjeka (m<sup>2</sup>),
- i - intenzitet oborine (mm/m<sup>2</sup>/min),
- c - koeficijent otjecanja, usvojen u iznosu od 1.0.

### 3.2. PRORAČUN PROCJEDNOG DOTOKA

Za proračun procjednog dotoka usvaja se sljedeći izraz:

$$Q_{procj.} = \frac{P \cdot L \cdot B}{t_{otj.}} (m^3/s)$$

Gdje je:

- P - maksimalna dnevna oborina ( $m^3/m^2$ ), usvojeno 0,2 ( $m^3/m^2$ ),
- L - dužina tunela (m), L=384,06 (m),
- B - efektivna širina s koje se voda slijeva u drenažni sustav tunela (m), B=30 (m)
- $t_{otj.}$  - vrijeme otjecanja (s). Usvaja se u iznosu od jednog dana.

$$Q_{procj.} = \frac{0,2 \cdot 384,06 \cdot 30}{24 \cdot 3600} = 0,0267 (m^3/s)$$

### 3.3. INCIDENTNI PROTOK

Prema pravilniku za tunele, incidentni protok iznosi 200 (l/s) na 200 (m) tunela.

$$Q_{inc} = 0,200 (m^3/s)$$

### 3.4. UKUPNI PROTOK U GLAVNOJ ODVODNOJ CIJEVI

$$Q_{uk.} = Q_{pred.} + Q_{procj.} + Q_{inc} = 0,0407 + 0,0267 + 0,200 = 0,2674 (m^3/s)$$

### 3.5. DIMENZIONIRANJE GLAVNE ODVODNE CIJEVI

Uzdužni nagib dna cijevi i tunela iznosi 1.300 %.

Apsolutna pogonska hidraulička hrapavost iznosi 1.5 (mm).

Kinematički koeficijent viskoznosti iznosi 0,00000131 ( $m^2/s$ ).

Unutrašnji promjer PVC cijevi DN500 SN8 iznosi 500 (mm).

Izračunato je:

$$Q_{uk.} = Q_{pred.} + Q_{procj.} + Q_{inc} = 0,0407 + 0,0267 + 0,200 = 0,2674 (m^3/s)$$

Normalna dubina iznosi  $y_n=0,2849$  (m). Normalna brzina iznosi  $v_n=2,314$  (m/s). Ispunjenost profila iznosi 56.97 %.

Kritična dubina iznosi  $y_c=0,3634$  (m). Kritična brzina iznosi  $v_c=1,749$  (m/s). Tečenje je u silovitom režimu.

## **4. GRAĐEVINSKI NACRTI - PRILOZI**

### **4.1. SITUACIJA**

### **4.2. UZDUŽNI PROFIL TUNELA**

### **4.3. KONSTRUKCIJA UNUTRAŠNJE LINIJE TUNELA**

### **4.4. NORMALNI POPREČNI PRESJEK TUNELA BEZ PODNOŽNOG SVODA**

### **4.5. NORMALNI POPREČNI PRESJEK TUNELA NA SJEVERNOM PORTALU**

### **4.6. NORMALNI POPREČNI PRESJEK TUNELA S PODNOŽNIM SVODOM**

### **4.7. ULAZNA PORTALNA GRAĐEVINA**

### **4.8. IZLAZNA PORTALNA GRAĐEVINA**

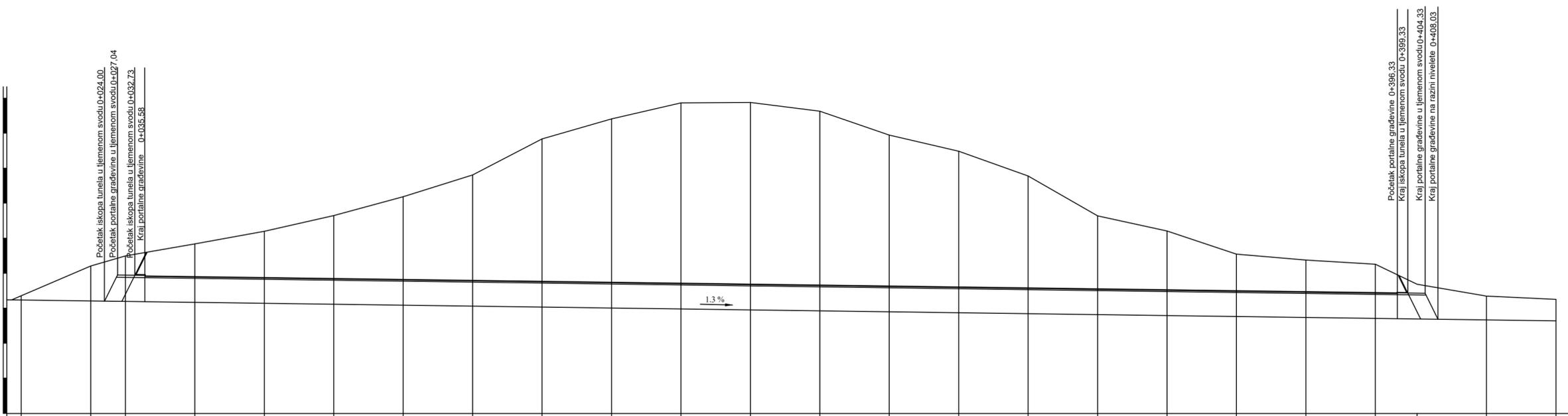
### **4.9. PODGRADNI SUSTAV TIP 4**

### **4.10. PODGRADNI SUSTAV TIP 5**



 <b>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</b> 21000 Split, Matice hrvatske 15, tel: 021/303-333			
DIO GRAĐEVINE: <b>TUNEL "KAMEN"</b>			
RAZINA PROJEKTA: <b>IDEJNI PROJEKT</b>		VRSTA PROJEKTA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>	
BR. PROJEKTA:		DATUM: <b>rujan 2022.</b>	
NASLOV PROJEKTA: <b>IDEJNI PROJEKT TUNELA "KAMEN"</b>			
PROJEKTANT: <b>VRDOLJAK PETAR</b>			
SADRŽAJ PRILOGA: <b>SITUACIJA</b>		MJERILO: <b>1:1000</b>	BR. PRILOGA: <b>4.1</b>

z (m n.m.)  
130.0  
120.0  
110.0  
100.0  
90.0  
80.0  
70.0  
60.0  
50.0  
40.0



UZDUŽNI PROFIL TUNELA  
Mj. 1:500

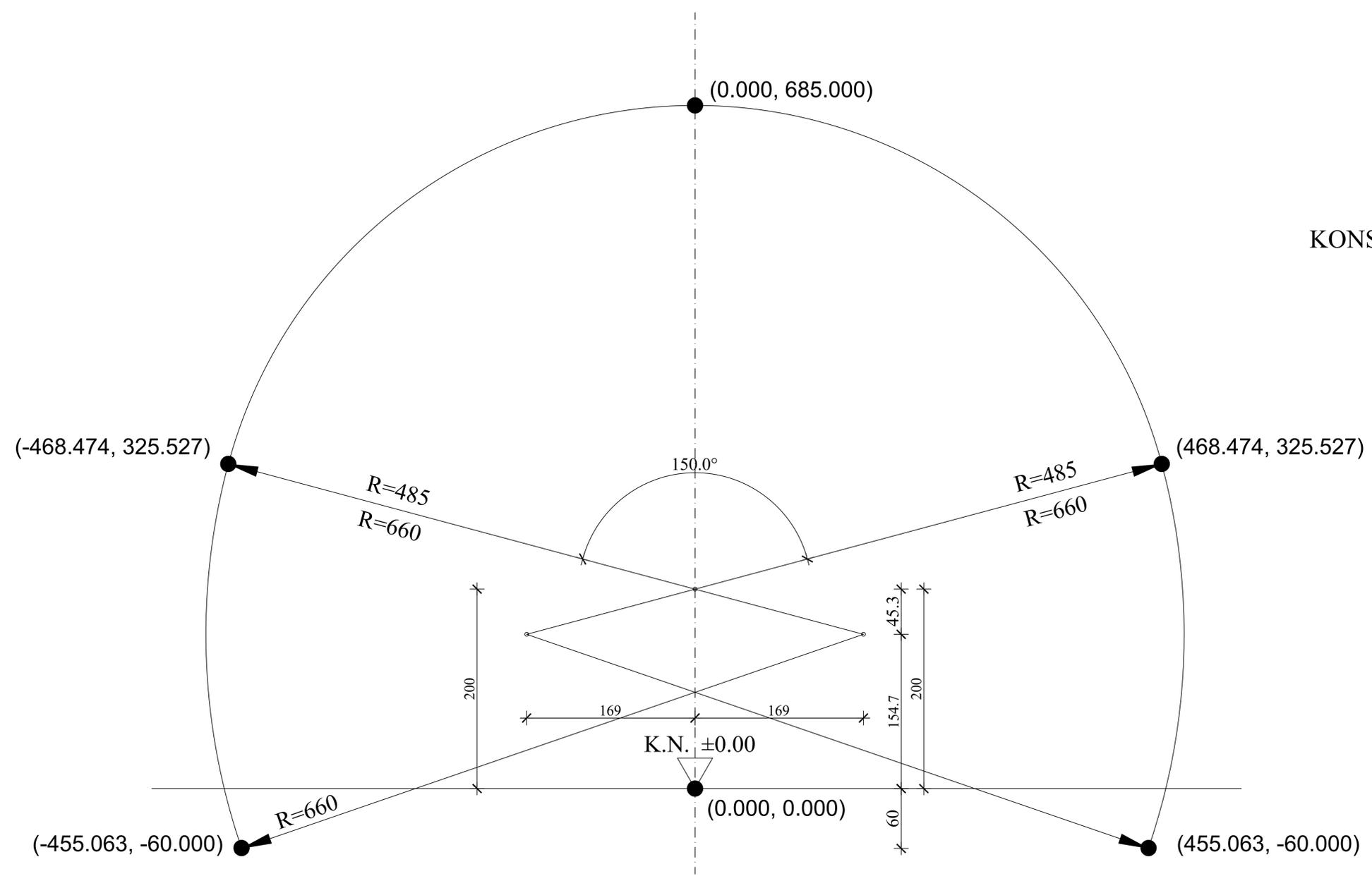
STACIONAŽA	0+000,00	0+020,00	0+030,00	0+050,00	0+070,00	0+090,00	0+110,00	0+130,00	0+150,00	0+170,00	0+190,00	0+210,00	0+230,00	0+250,00	0+270,00	0+290,00	0+310,00	0+330,00	0+350,00	0+370,00	0+390,00	0+402,00	0+422,00	0+442,00
KOTA TERENA	+73,60	+82,10	+85,00	+88,40	+92,00	+96,50	+101,90	+108,10	+118,40	+124,10	+128,70	+128,80	+126,30	+119,50	+114,90	+107,80	+96,40	+92,10	+85,50	+83,80	+82,60	+76,90	+73,50	+72,60
KOTA DNA TUNELA - KOTA NIVELETE			+72,00	+71,73	+71,46	+71,19	+70,92	+70,66	+70,39	+70,12	+69,85	+69,58	+69,31	+69,04	+68,77	+68,50	+68,24	+67,97	+67,70	+67,50	+67,16	+67,00		
VITOPERENJE	<p>————— Lijevi rub kolnika - - - - - Desni rub kolnika</p>																							
HORIZONTALNI ELEMENTI TRASE																								
VERTIKALNI ELEMENTI TRASE																								

SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 Split, Matice hrvatske 15, tel: 021/303-333		
DIO GRAĐEVINE: TUNEL "KAMEN"		
RAZINA PROJEKTA: IDEJNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT	
BR. PROJEKTA:	DATUM: rujan, 2022.	
NASLOV PROJEKTA: IDEJNI PROJEKT TUNELA "KAMEN"		
PROJEKTANT: VRDOLJAK PETAR		
SADRŽAJ PRILOGA: UZDUŽNI PROFIL TUNELA	MJERILO: 1:1000	BR. PRILOGA: 4.2

# TUNEL "KAMEN"

## KONSTRUKCIJA UNUTRAŠNJE LINIJE TUNELA

Mj. 1:50



 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 Split, Matice hrvatske 15, tel: 021/303-333			
IDO GRAĐEVINE: TUNEL "KAMEN"			
RAZINA PROJEKTA: IDEJNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT		
BR. PROJEKTA:	DATUM: rujan, 2022.		
NASLOV PROJEKTA: IDEJNI PROJEKT TUNELA "KAMEN"			
PROJEKTANT: VRDOLJAK PETAR			
SADRŽAJ PRIOGA:	KONSTRUKCIJA UNUTRAŠNJE LINIJE TUNELA	MJERLO: 1:25	BR. PRIOGA: 4.3





PRIMARNA PODGRADA  
MLAZNI BETON d=25 cm

HIDROIZOLACIJA d=1.0 cm

SEKUNDARNA PODGRADA  
ARMIRANOBETONSKA OBLOGA  
C30/37, d=30 cm

ARMIRANO BETONSKI  
POKLOPAC d=10 cm C30/37

MONTAŽNI  
RUBNJAK C30/37

ISPUNA ISTOZRNIM  
BETONOM

DRENAŽNA CIJEV  
Ø150 mm

CEMENTNI MORT

PODBETON d=10 cm  
C25/30

PODLOGA OD MLAZNOG BETONA  
C25/30, d=5 cm

PRIMARNI PODNOŽNI SVOD  
MLAZNI BETON C25/30, d=30 cm

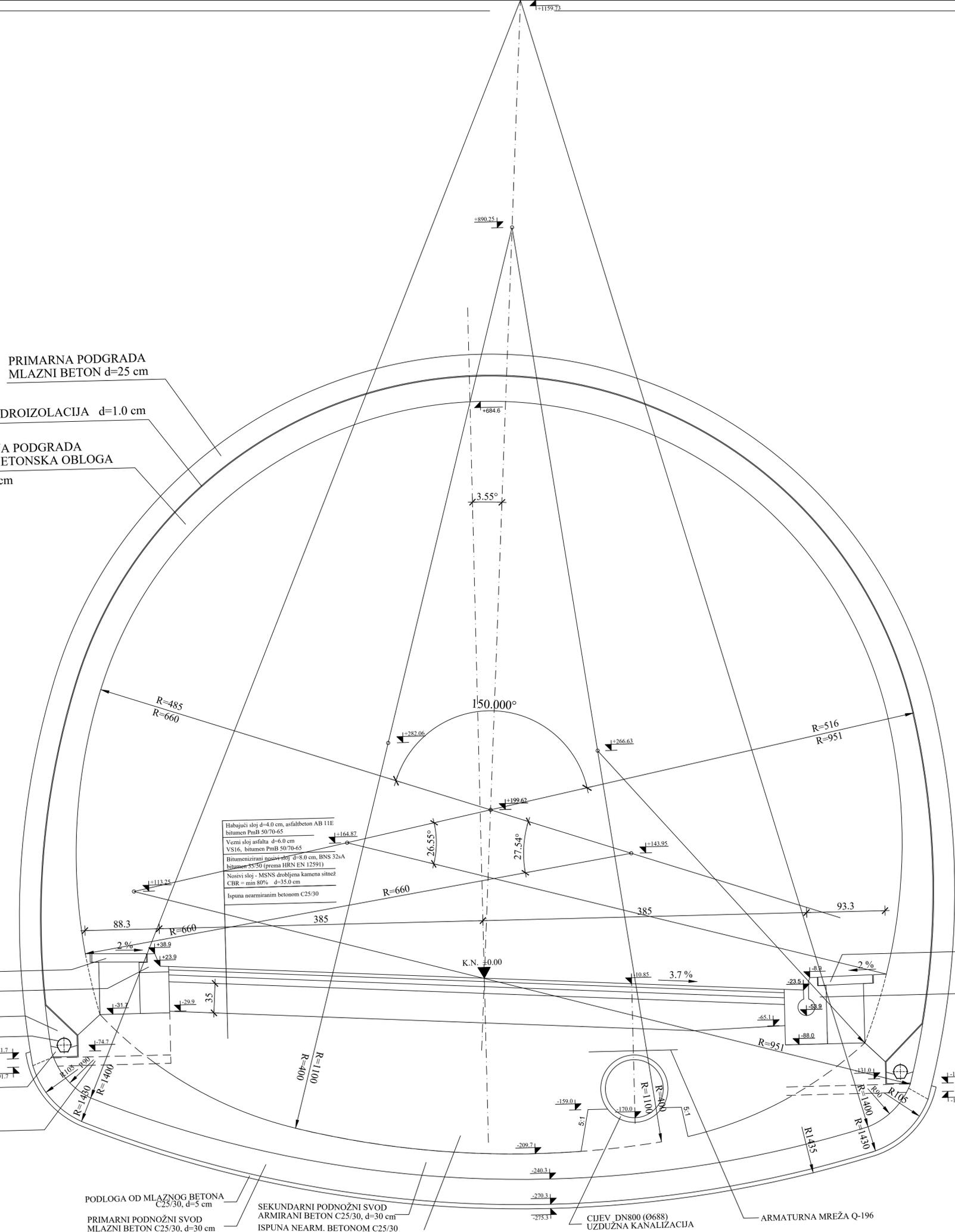
SEKUNDARNI PODNOŽNI SVOD  
ARMIRANI BETON C25/30, d=30 cm  
ISPUNA NEARM. BETONOM C25/30

CIJEV DN800 (Ø688)  
UZDUŽNA KANALIZACIJA

ARMATurna MREŽA Q-196

ARMIRANO BETONSKI  
POKLOPAC d=10 cm C30/37

MONTAŽNI ELEMENT  
ODVODNJE S KOLNIKA  
C30/37, cijev Ø200

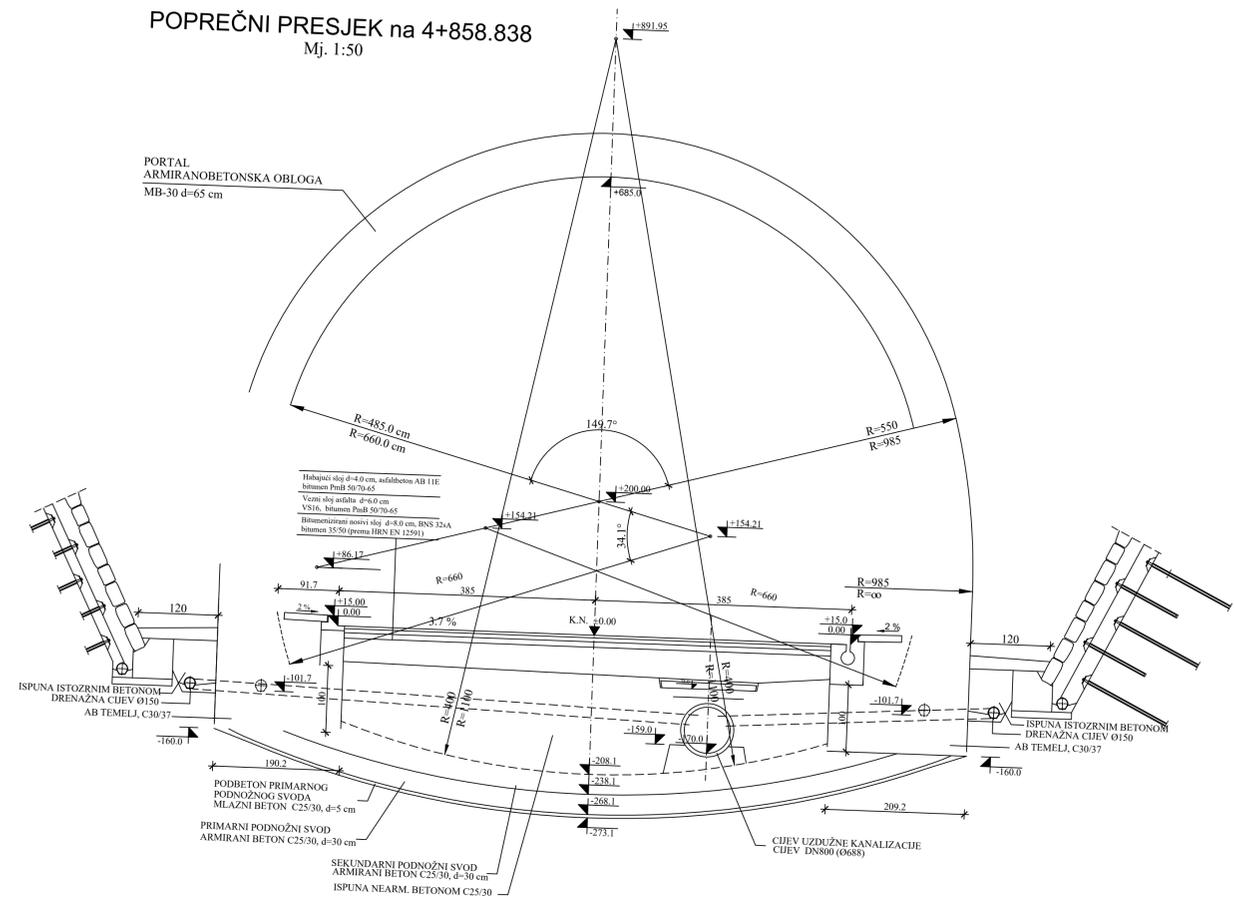


## TUNEL "KAMEN"

NORMALNI POPREČNI PRESJEK TUNELA  
S PODNOŽNIM SVODOM

1:25

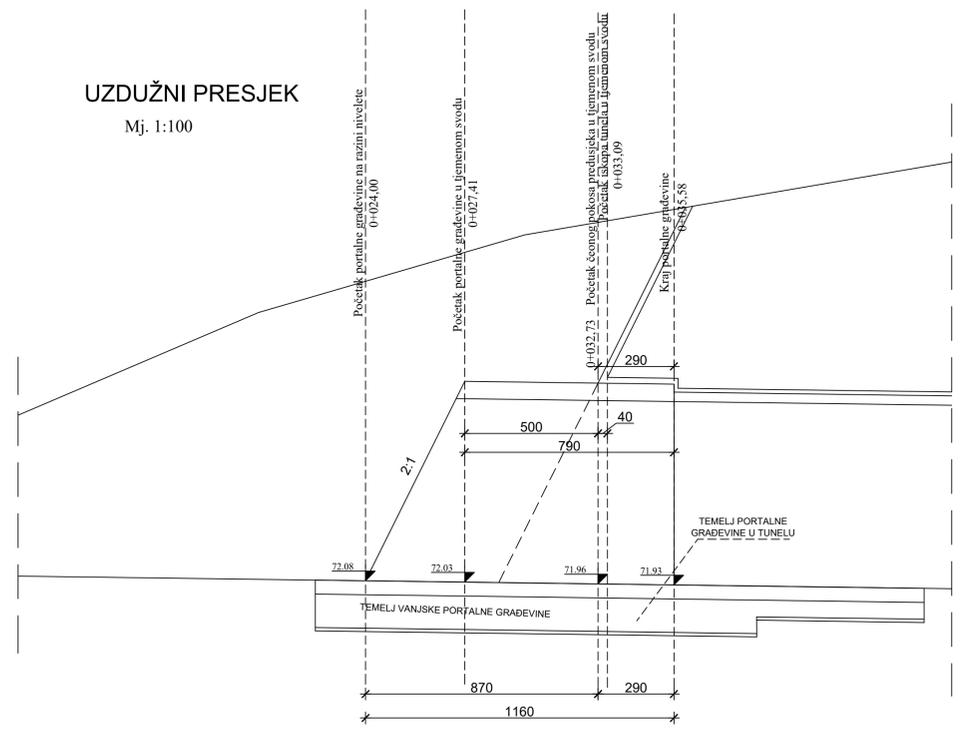
 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 Split, Matice hrvatske 15, tel: 021/303-333	
DIO GRAĐEVINE: TUNEL "KAMEN"	
RAZNA PROJEKTA: IDEJNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT
BR. PROJEKTA:	DATUM: ruján, 2022.
NASLOV PROJEKTA: IDEJNI PROJEKT TUNELA "KAMEN"	
PROJEKTANT: VRDOLJAK PETAR	
SADRŽAJ PRILOGA: NORMALNI POPREČNI PRESJEK TUNELA S PODNOŽNIM SVODOM	MJERILO: 1:25
	BR. PRILOGA: 4.6



# TUNEL "KAMEN"

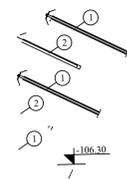
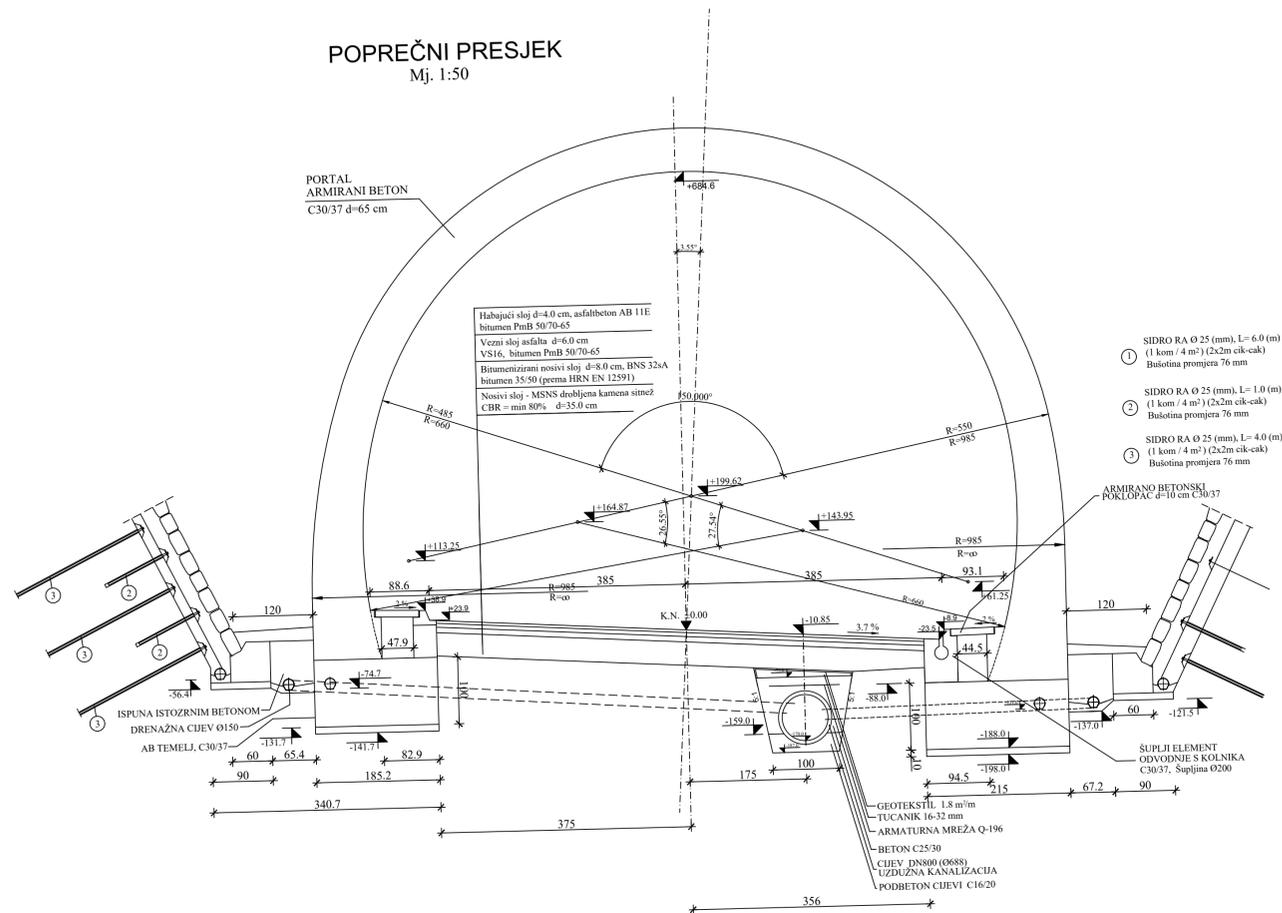
ULAZNA PORTALNA GRAĐEVINA (JUŽNI PORTAL)

Mj. 1:50, 1:100



 <b>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</b> 21000 Split, Matice hrvatske 15, tel: 021/303-333		
DIO GRAĐEVINE: <b>TUNEL "KAMEN"</b>		
RAZINA PROJEKTA: <b>IDEJNI PROJEKT</b>	VRSTA PROJEKTA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>	
BR.PROJEKTA:	DATUM: <b>rujan, 2022.</b>	
NASLOV PROJEKTA: <b>IDEJNI PROJEKT TUNELA "KAMEN"</b>		
PROJEKTANT: <b>VRDOLJAK PETAR</b>		
SADRŽAJ PRILOGA: <b>ULAZNA PORTALNA GRAĐEVINA</b>	MJERILO: <b>1:50, 1:100</b>	BR. PRILOGA: <b>4.7</b>

POPREČNI PRESJEK  
Mj. 1:50

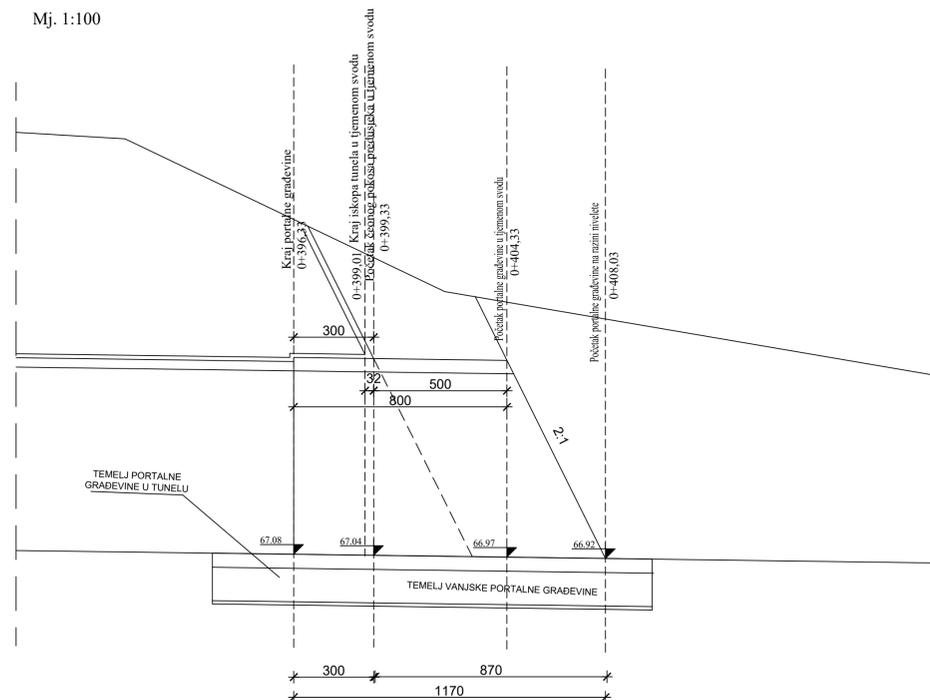


# TUNEL "KAMEN"

IZLAZNA PORTALNA GRAĐEVINA (SJEVERNI PORTAL)

Mj. 1:50, 1:100

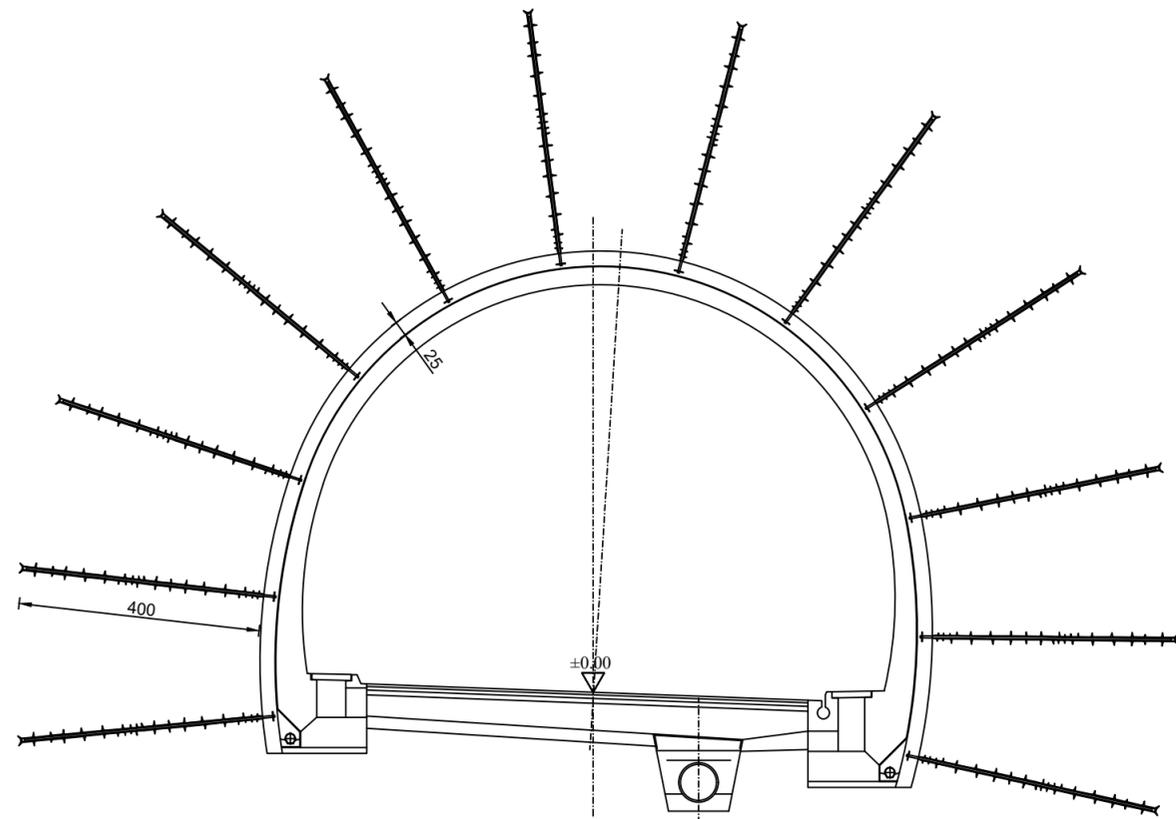
UZDUŽNI PRESJEK  
Mj. 1:100



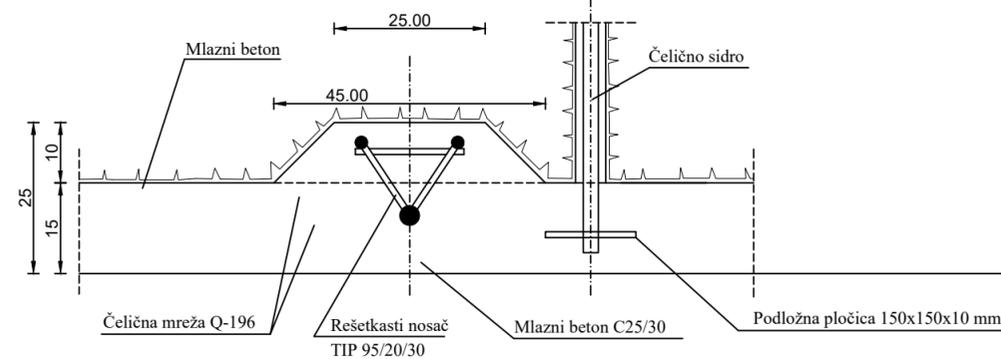
 <b>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</b> 21000 Split, Matice hrvatske 15, tel: 021/303-333		
DIO GRAĐEVINE: <b>TUNEL "KAMEN"</b>		
RAZINA PROJEKTA: <b>IDEJNI PROJEKT</b>	VRSTA PROJEKTA: <b>GRAĐEVINSKI PROJEKT</b>	
BR.PROJEKTA:	DATUM: <b>rujan, 2022.</b>	
NASLOV PROJEKTA: <b>IDEJNI PROJEKT TUNELA "KAMEN"</b>		
PROJEKTANT: <b>VRDOLJAK PETAR</b>		
SADRŽAJ PRILOGA: <b>IZLAZNA PORTALNA GRAĐEVINA</b>	MJERILO: <b>1:50, 1:100</b>	BR. PRILOGA: <b>4.8</b>

## ISKAZ KOLIČINA

VOLUMEN ISKOPA TUNELA UKLJUČUJUĆI DODATNI ISKOP ZA REŠETKASTE NOSAČE	76.29 m <sup>3</sup> /m'
VOLUMEN ISKOPA ZA KANALIZACIJSKU CIJEV	1.24 m <sup>3</sup> /m'
POVRŠINA MLAZNOG BETONA U PRIMARNOM PODGRADNOM SUSTAVU C25/30, d=15 cm	22.91 m <sup>2</sup> /m'
DODATNA POVRŠINA MLAZNOG BETONA C25/30, d=10 cm	5.44 m <sup>2</sup> /m'
SEKUNDARNA BETONSKA OBLOGA BEZ TEMELJA C30/37, d=30 cm	7.38 m <sup>3</sup> /m'
TEMELJI SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE SA ZIDOM VIŠEG KANALA, BETON C30/37	1.25 m <sup>3</sup> /m'
PODBETON TEMELJA SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE, C25/30	0.29 m <sup>3</sup> /m'
ISPUNA BETONOM C16/20 ISPOD GLAVNE ODVODNE CIJEVI	0.25 m <sup>3</sup> /m'
ISPUNA BETONOM C25/30 OKO GLAVNE ODVODNE CIJEVI	0.61 m <sup>3</sup> /m'
ZAPUNA TUCANIKOM IZNAD GLAVNE ODVODNE CIJEVI	0.33 m <sup>3</sup> /m'
GEOTEKSTIL	1.8 m <sup>2</sup> /m'
ČELIČNA MREŽA Q-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 40 cm za armiranje betona iznad cijevi uzdužne kanalizacije, 3.07 kg/m <sup>2</sup> .	3.8 kg/m'
ČELIČNA MREŽA 2xQ-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 40 cm za armiranje mlaznog betona, 3.07 kg/m <sup>2</sup> . 22.92+23.08=46.00 m <sup>2</sup> /m' tunela.	141.22 kg/m'
ČELIČNA MREŽA R-335, žica (d=8 mm i d=5 mm), okna 150*250 mm, preklop min. 40 cm za armiranje sek. betonske obloge, 3.63 kg/m <sup>2</sup> . 22.2 m <sup>2</sup> /m' tunela.	80.6 kg/m'
ŠIPKE REBRASTOG ČELIKA Ø18 mm, RA ZA UKRUĆENJE MREŽE R-335, 1.998 kg/m' ŠIPKE. 1 ŠIPKA NA 1 m'.	47.95 kg/m'
ŠIPKE Ø18 mm, RA, S PAPUČICOM, ZA FIKSIRANJE ŠIPKI SEKUNDARNE BET. OBLOGE, 1.998 kg/m' ŠIPKE. l=50 cm, 4 kom/m'	4.00 kg/m'
ŠIPKE 3Ø16 ZA UZDUŽNO UKRUĆENJE ARMATURE SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE, 1.621 kg/m' ŠIPKE. 3 kom/profil	4.9 kg/m'
ARMATURA ZA ARMIRANJE TEMELJA, RA (uključena veza sa sekundarnom oblogom)	91.85 kg/m'
ČELIČNI REŠETKASTI NOSAČI TIP 95/20/30 NA RAZMAKU 1.5 m'. 375.28 kg/kom.	250.19 kg/m'
ADHEZIJSKA ČELIČNA SIDRA PROMJERA 25 mm DUŽINE 4 m, RA	8 kom/m'
HIDROIZOLACIJA	23.36 m <sup>2</sup> /m'

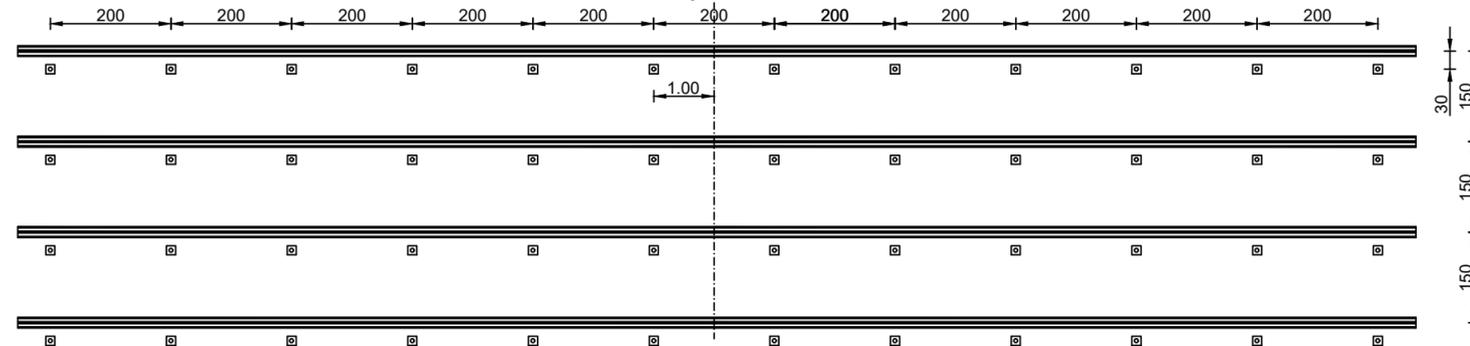


PRESJEK KROZ REŠETKASTI NOSAČ I ČELIČNO SIDRO



RAZVIJENI PRESJEK REŠETKASTIH NOSAČA I SIDARA

Mj. 1:100



## TUNEL "KAMEN"

PODGRADNI SUSTAV TIP 4  
ZA IV. KATEGORIJU ISKOPA

Mj. 1:100

 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 Split, Matice hrvatske 15, tel: 021/303-333		
INVESTITOR:		
GRAĐEVINA: TUNEL "KAMEN"		
DIO GRAĐEVINE: TUNEL "KAMEN"		
RAZINA PROJEKTA: IDEJNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT	
BR. PROJEKTA:	DATUM: rujan 2022.	
NASLOV PROJEKTA: PROJEKT IDEJNOG STANJA TUNELA "KAMEN"		
PROJEKTANT: PETAR VRDOLJAK		
SADRŽAJ PRILOGA: PODGRADNI SUSTAV TIP 4 - ZA IV. KATEGORIJU ISKOPA	MJERILO: 1:100	BR. PRILOGA: 4.9

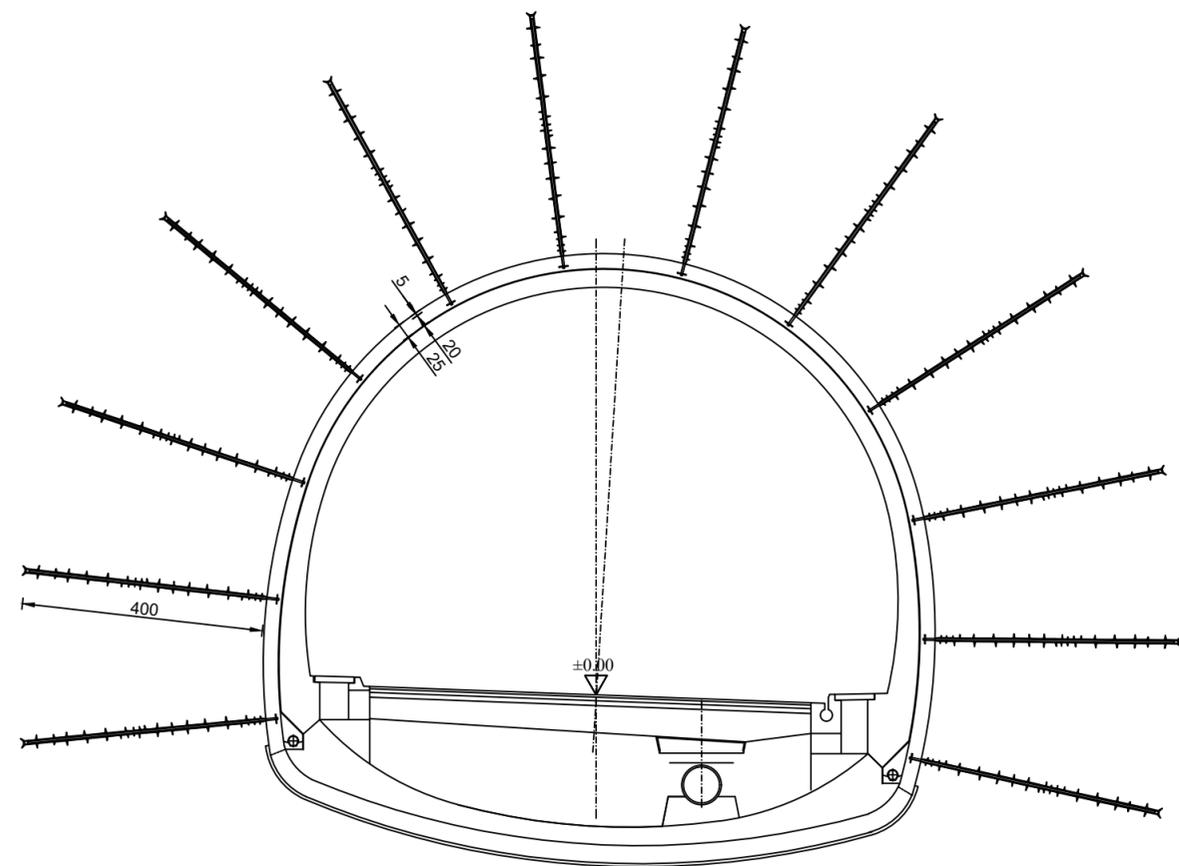
## ISKAZ KOLIČINA

VOLUMEN ISKOPA TUNELA	93.90 m <sup>3</sup> /m'
POVRŠINA MLAZNOG BETONA U PRIMARNOM PODGRADNOM SUSTAVU C25/30, d=25 cm	23.03 m <sup>2</sup> /m'
POVRŠINA MLAZNOG BETONA U PODNOŽNOM SVODU PRIMARNE BETONSKE OBLOGE, C25/30, d=30 cm	11.11 m <sup>2</sup> /m'
PODBETON PODNOŽNOG SVODA PRIMARNE BETONSKE OBLOGE OD MLAZNOG BETONA C25/30, d=5 cm	11.84 m <sup>2</sup> /m'
SEKUNDARNA BETONSKA OBLOGA BEZ TEMELJA C30/37, d=30 cm	7.38 m <sup>3</sup> /m'
ZID VIŠEG KANALA, BETON C30/37	0.17 m <sup>3</sup> /m'
PODNOŽNI SVOD SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE C25/30, d=30 cm	4.65 m <sup>3</sup> /m'
ISPUNA BETONOM IZNAD PODNOŽNOG SVODA SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE C25/30	9.72 m <sup>3</sup> /m'
ZAPUNA TUCANIKOM IZNAD GLAVNE ODVODNE CIJEVI	0.33 m <sup>3</sup> /m'
GEOTEKSTIL	1.8 m <sup>2</sup> /m'
ČELIČNA MREŽA Q-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 40 cm za armiranje betona iznad cijevi uzdužne kanalizacije, 3.07 kg/m <sup>2</sup> .	3.2 kg/m'
ČELIČNA MREŽA 2xQ-196, žica d=5 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 40 cm za armiranje mlaznog betona, 3.07 kg/m <sup>2</sup> . 22.81+23.26=46.07 m <sup>2</sup> /m' tunela.	141.5.8 kg/m'
ČELIČNA MREŽA 2xQ-335, žica d=8 mm, okna 100*100 mm, preklop min. 40 cm za armiranje ml. betona u podn. svodu, 5.44 kg/m <sup>2</sup> . (10.90+11.33+4x0.5)=24.23 m <sup>2</sup> /m'.	131.8 kg/m'
ČELIČNA MREŽA R-335, žica (d=8 mm i d=5 mm), okna 150*250 mm, preklop min. 40 cm za armiranje sek. betonske obloge, 3.63 kg/m <sup>2</sup> . 22.2 m <sup>2</sup> /m' tunela.	80.6 kg/m'
ČELIČNA MREŽA 2R-335, žica (d=8 mm i d=5 mm), okna 150*250 mm, preklop min. 40 cm za armiranje podn. svoda sek. bet. obloge, 3.63 kg/m <sup>2</sup> . 2x11.8 m <sup>2</sup> /m' tunela.	85.7 kg/m'
ŠIPKE REBRASTOG ČELIKA Ø18 mm, RA ZA UKRUĆENJE MREŽE R-335, 1.998 kg/m' ŠIPKE. 1 ŠIPKA NA 1 m'.	47.95 kg/m'
ŠIPKE Ø18 mm, RA, S PAPUČICOM, ZA FIKSIRANJE ŠIPKI SEKUNDARNE BET. OBLOGE, 1.998 kg/m' ŠIPKE. l=50 cm, 4 kom/m'	4.00 kg/m'
ŠIPKE 3Ø16 ZA UZDUŽNO UKRUĆENJE ARMATURE SEKUNDARNE BETONSKE OBLOGE, 1.621 kg/m' ŠIPKE. 3 kom/profil	4.9 kg/m'
ARMATURA ZA ARMIRANJE TEMELJA, RA (uključena veza sa sekundarnom oblogom)	91.85 kg/m'
ČELIČNI REŠETKASTI NOSAČI TIP 95/20/30 NA RAZMAKU 1.0 m'. 375.28 kg/kom.	375.28 kg/m'
ADHEZIJSKA ČELIČNA SIDRA PROMJERA 25 mm DUŽINE 4 m, RA	12 kom/m'
HIDROIZOLACIJA	23.33 m <sup>2</sup> /m'

## TUNEL "KAMEN"

PODGRADNI SUSTAV TIP 5  
ZA V. KATEGORIJU ISKOPA

Mj. 1:100

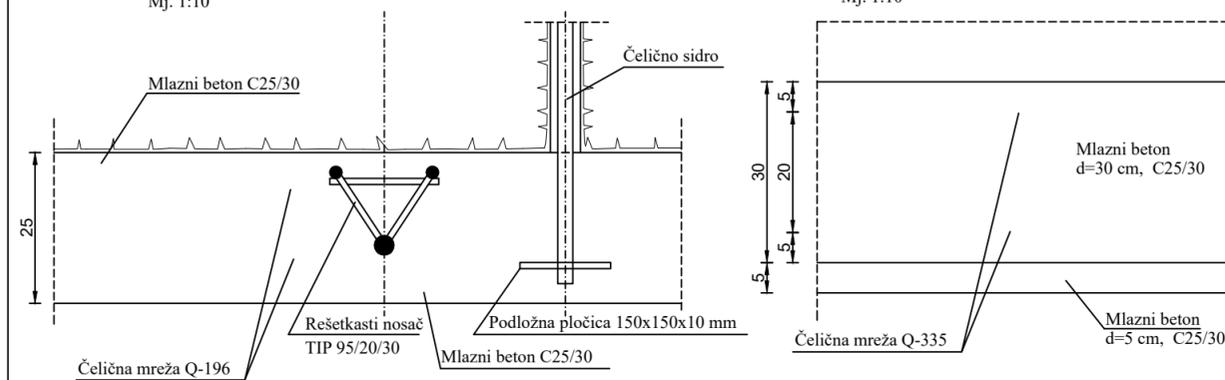


PRESJEK KROZ REŠETKASTI NOSAČ I ČELIČNO SIDRO

Mj. 1:10

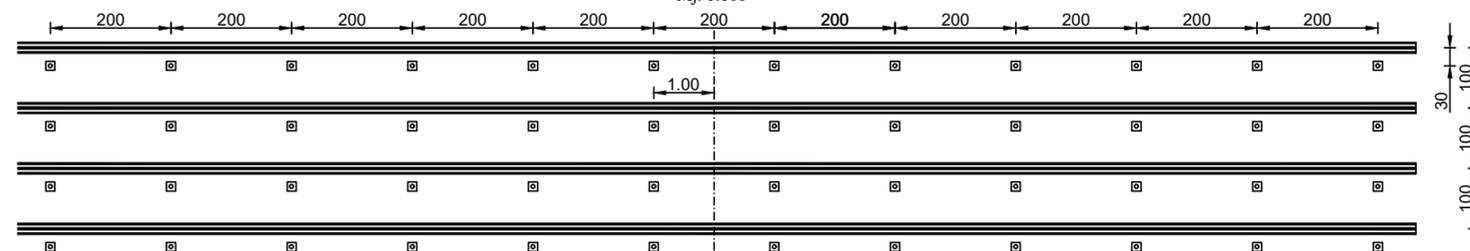
PRESJEK KROZ PODNOŽNI SVOD

Mj. 1:10



RAZVIJENI PRESJEK REŠETKASTIH NOSAČA I SIDARA

Mj. 1:100



 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 Split, Matice hrvatske 15, tel: 021/303-333	
INVESTITOR:	
GRAĐEVINA: TUNEL "KAMEN"	
DIO GRAĐEVINE: TUNEL "KAMEN"	
RAZINA PROJEKTA: IDEJNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT
BR. PROJEKTA:	DATUM: rujan 2022.
NASLOV PROJEKTA: PROJEKT IDEJNOG STANJA TUNELA "KAMEN"	
PROJEKTANT: PETAR VRDOLJAK	
SADRŽAJ PRILOGA: PODGRADNI SUSTAV TIP 5 - ZA V. KATEGORIJU ISKOPA	MJERILO: 1:100
	BR. PRILOGA: 4.10

## ZAKLJUČAK

Zaključno na kraju ovoga rada može se reći da je svaki tunel jedinstvena građevina za sebe. Gotovo je nemoguće kroz projektno rješenje jednog tunela unificirano promatrati ostale.

Unatoč rečenom, ipak se može zaključiti da je prikazano projektno rješenje tunela 'Kamen' jedno uobičajeno rješenje u području tunelogradnje.

Specifičnost prikazanog projekta u ovom radu mogla bi se očitovati kroz izgradnju i oblikovanje portalnih građevina koje ovdje imaju dvojaku ulogu: prije svega pazilo se na skladno uklapanje u okolinu, kao i preuzimanje i amortiziranje udaraca kamenih blokova u slučaju urušavanja na prometnicu. Takovi slučajevi nisu rijetki, posebno u krševitim krajevima zbog čega je potrebno primijeniti odgovarajuća tehničko tehnološka rješenja za maksimalnu zaštitu vozila i putnika koji bi se u tom trenutku našli u ili na prilazu tunela.

Naš zadatak je bio da za zadanu trasu napravimo idejni projekt tunela. Imali smo potrebne podatke o vrsti terena, nagiba terena, te smo na osnovu toga napravili potrebne klasifikacije uz pomoć kojih smo odabrali podgrade budućeg tunela. U tehničkom opisu su pobliže objašnjeni djelovi našeg projekta, te smo na kraju priložili sve potrebne nacрте.

## LITERATURA

1. Alagić, A., Tuneli, Durieux, Zagreb, 2019.
2. Banjad, I., Tuneli, Građevinski institut, Zagreb, 1989.
3. Kolić, D., Deković, Z., Tuneli : odabrani primjeri iz Hrvatske, : Hrvatska udruga za betonsko inženjerstvo i tehnologiju gradnje, Zagreb, 2013.
4. Hudec, M., Tuneli : iskop i primarna podgrada, HUBITG [Hrvatska udruga za betonsko inženjerstvo i tehnologiju gradnje, Zagreb, 2009.
5. Solarić, N., Bilajbegović, A., Solarić, M., Špoljarić, D. (1997): Nezavisna kontrola geodetskih mreža iznad dugih tunela pomoću astronomski određenih smjernih kutova, Geodetski list 1, 13-24