

**INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK  
FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA**

**ZAVRŠNI RAD**

**PLITKO TEMELJENJE MOSTA NA DIONICI  
POČITELJ- ZVIROVIĆI**

Mentor:

Prof. dr. Zlatan Talić

Student:

Elvida Tarakčija

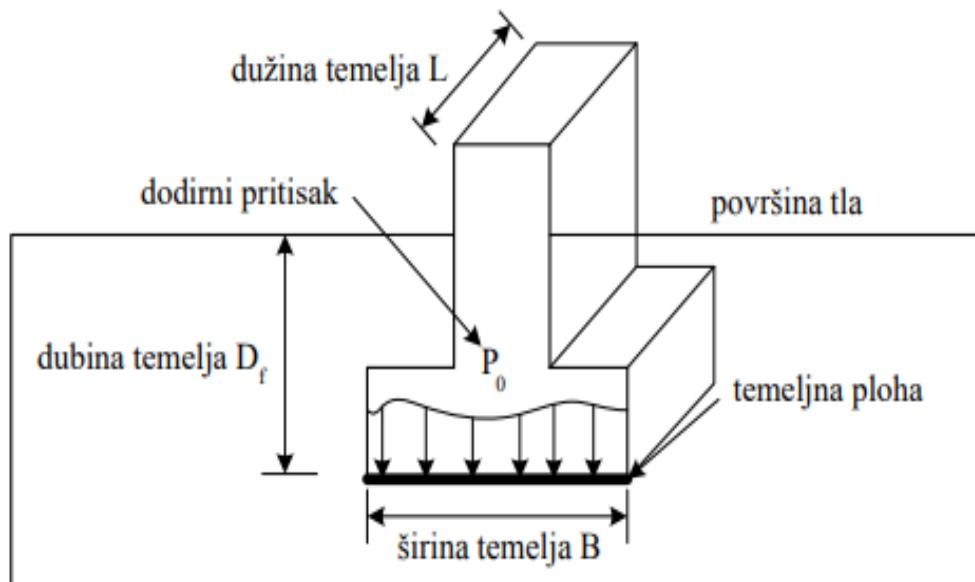
Travnik, maj. 2019.

# SADRŽAJ

UVOD.....	2
1. OPĆENITO O PLITKIM TEMELJIMA.....	4
1.1. Temelji samci.....	5
1.2. Temeljne trake.....	6
1.3. Temeljne grede i roštilji.....	6
1.4. Temeljne ploče.....	7
2. ODABIR I NAČIN TEMELJENJA.....	8
2.1. Odabir prema kriteriju slijeganja.....	8
2.2. Odabir prema zahtjevima građevine.....	10
3. OPIS TRASE.....	11
3.1. Topografske podloge.....	11
3.2. Inžinjersko- geomorfološki i geotehnički uslovi.....	12
4. OPIS KONSTRUKCIJE TEMELJENJA MOSTA.....	13
5. PRORAČUN NOSIVOSTI TLA ISPOD PLITKIH TEMELJNIH STOPA.....	13
5.1. Proračun nosivosti tla.....	13
5.2. Proračun slijeganja temeljnih ploča.....	14
5.3. Ulagani podaci i proračun.....	17
5.4. Metoda Goodman-a (1989).....	19
5.5. Eurocode 7 (2008).....	21
6. PROJEKTNO SEIZMIČKI PARAMETRI.....	22
7. ZAKLJUČAK.....	23
8. LITERATURA.....	24
9. GRAĐEVINSKI PRILOG.....	26
9.1. Karakteristični uzdužni presjek u osovinu desnog mosta MJ 1:200.....	28
9.2. Karakteristični uzdužni presjek u osovinu lijevog mosta MJ 1:200.....	30

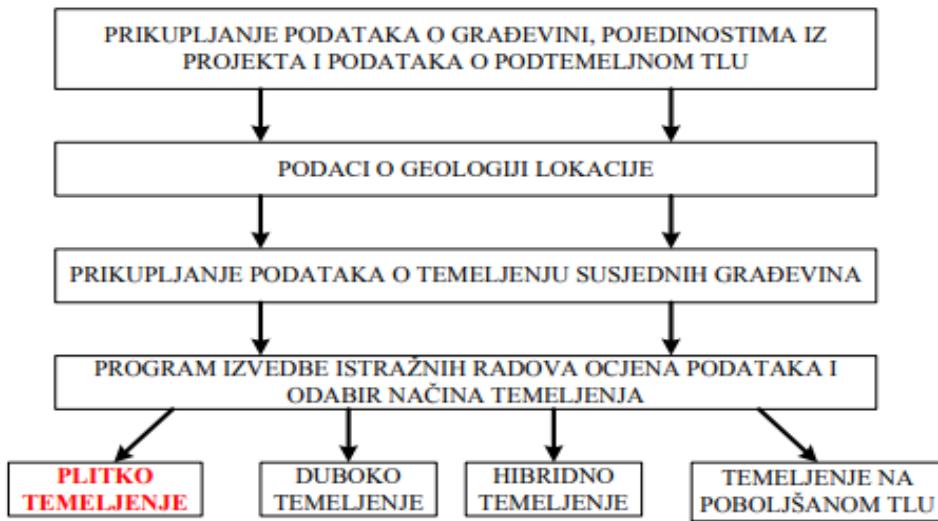
## UVOD

Temelj je dio građevine kojim se opterećenje iz kontroliranog nadzemnog dijela prenose u prirodnu sredinu, tlo, na način da građevina bude upotrebljiva i stabilna. Temelj je sastavni dio svake građevine, a oblik temelja i dubina temeljenja ovise o vrsti građevine i osobinama tla ispod nje. Temelj nikad nije sam sebi svrha. Na Slici 1. prikazani su osnovni pojmovi vezani uz temelj.



Slika 1. Osnovni pojmovi kod temelja

Izbor načina temeljenja može se prikazati dijagramom toka, kao na Slici 2. Način temeljenja ovisan je o nizu faktora koje je potrebno utvrditi prije projektiranja temelja. U protivnom temeljenje može biti ograničavajući čimbenik u ostvarivanju projektirane građevine kako tehnički tako pogotovo ekonomski. Iz tog razloga potrebno je vrlo pažljivo pristupiti radnjama opisanim na Slici 2.



Slika 2. Postupak projektiranja temeljenja

Plitko temeljenje podrazumijeva temeljenje na temeljima samcima, trakama, roštiljima, pločama i elastičnim nosačima. Ovi temelji opterećenje u tlo prenose dodirnom plohom temelj – tlo, za razliku od dubokih koji prenose opterećenje i trenjem po plaštu. Dubina temeljenja mora zadovoljiti uvjete nosivosti i slijeganja za građevinu kojoj je temelj namijenjen. Pri tome mora biti zadovoljen zahtjev da temelj bude ispod granica smrzavanja za određenu klimatsku zonu.

Most 2 preko doline nalazi se na autocesti Zenica – Sarajevo – Mostar, dionica Počitelj – Zvirovići.

U ovom diplomskom radu prikazani su inžinjersko- geomorfološki i geotehnički proračuni, proračuni nosivosti tla, slijeganja temeljnih ploča, prikazani karakteristični uzdužni presjek u lijevoj i desnoj osovini mosta. Podloga za izradu ovog Geotehničkog projekta služio je „Elaborat o inžinjersko geološkim i geotehničkim karakteristikama terena na lokaciji mosta 2“, koji je izradio „Geotehnos“ d.o.o. Sarajevo u aprilu 2014. godine. Karakteristični uzdužni presjeci preuzeti su od 'DIVEL' d.o.o. Sarajevo, društvo za projektovanje cesta i mostova.

# 1. OPĆENITO O PLITKIM TEMELJIMA

Temelji su sastavni dio svake inženjerske konstrukcije, najčešće podzemni elementi, koji imaju ulogu prenosići opterećenje sa konstrukcije na tlo. Pravilnim projektiranjem temelja treba omogućiti predviđene uvjete oslanjanja konstrukcije, prijenos opterećenja u dopuštenim naprezanjima tla, te uz dopuštena slijeganja i njihovu minimalnu neravnomjernost. Dubinu temeljenja u odnosu na površinu terena treba odabirati u skladu sa sastavom i osobinama zemljišta na kojem se konstrukcija temelji, tako da uvjeti odgovaraju zahtjevima sigurnosti protiv sloma u tlu, a slijeganja su u prihvatljivim granicama.

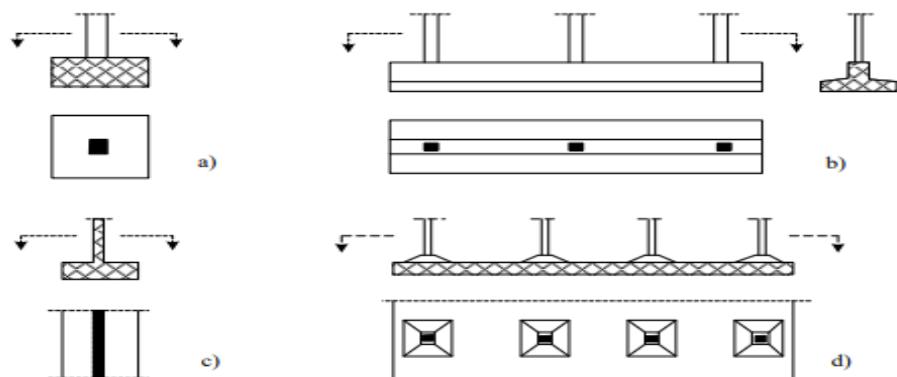
Kriterijum nosivosti je predviđeno da postoji odgovarajuća sigurnost protiv propadanja nosivosti ispod temelja. Kriterijem slijeganja se treba osigurati da slijeganje bude unutar dopuštenih granica. Općenito je kriterij slijeganja više presudan od kriterija nosivosti u projektiranju plitkih temelja, osobito za širine temelja veće od 1,5 metara, što je često slučaj. Ograničavanjem ukupnih slijeganja ograničavaju se diferencijalna slijeganja i bilo kakve kasnije opasnosti.

## Vrste temelja

U plitkom temeljenju, temelji mogu biti klasificirani na:

- Temelji samci – pojedinačni temelji (projektiraju se obično ispod jednog stupa)
- Temeljne trake ( projektiraju se ispod zidova)
- Temeljne greda i temeljni roštilji (projektiraju se ispod niza stupova)
- Temeljne ploče (projektiraju se kod velikog opterećenja i/ili lošeg tla)

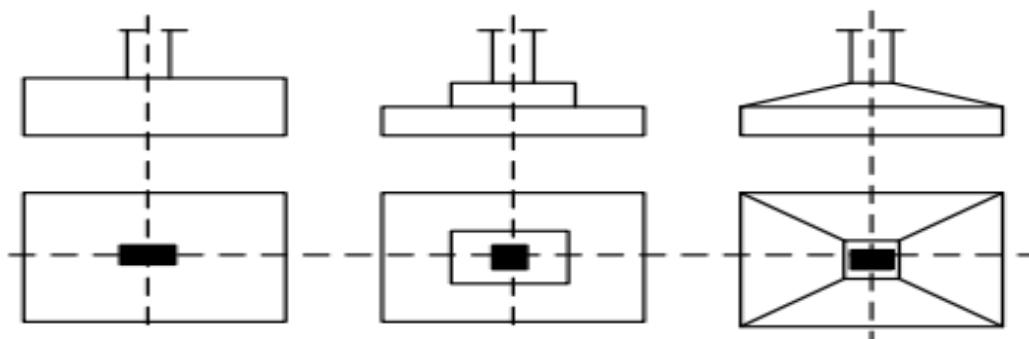
Kod plitkog temelja izračunavamo dimenzije naliježeće površine temelja, visinu temelja, odakle se dobije dubina temeljenja, kao i kvaliteta materijala od kojeg je projektiran temelj. To je uglavnom klasa betona ne armiranog betona temelja, ili klasa betona i potrebna armatura armiranog betonskog temelja. Slika 3. sa vrstama plitkih temelja.



Slika 3. Vrste plitkih temelja: a) temelj samac; b) temeljna greda; c) temeljna traka;  
d) temeljna ploča

## 1.1.Temelji samci

Pojedinačni temelji ispod stupova se nazivaju samci. Najčešće se projektiraju i izvode kvadratnih ili pravokutnih osnova (kontaktne površine). Kvadratne osnove su optimalne u situacijama kada se temeljem samcem prenosi centrično vertikalno opterećenje. Ukoliko je opterećenje ekscentrično ili ukoliko prostorna ograničenja kojima je onemogućeno izvođenje kvadratnog temelja, rade se pravokutne osnove. Slika 4 prikazuje najčešće korištene oblike temelja samaca.



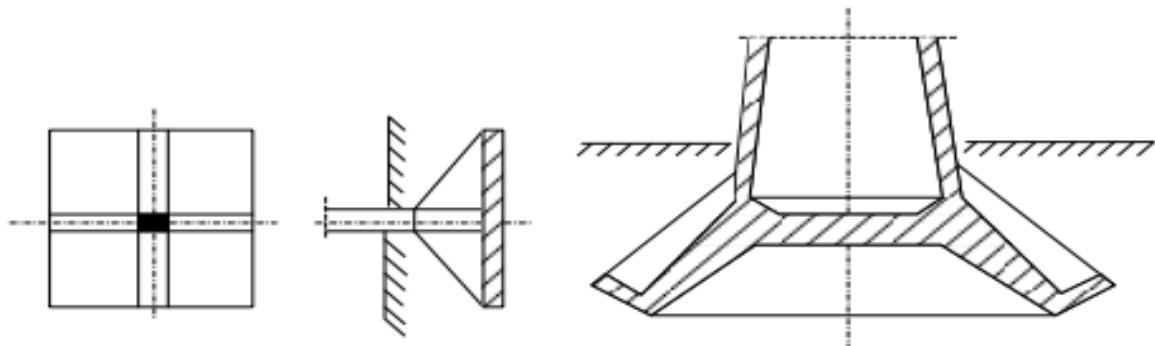
Slika 4. Najčešći oblik temelja samaca

Najjednostavniji oblik podrazumijeva punu ploču konstantne debljine. Stepenastim i piramidalnim oblikom postiže se ušteda u materijalu, ali i komplicira izvođenje (posebno u piramidalnom slučaju, kada je neophodan i gornja oplata).

U statickom pogledu, temelj samac je konzola ploča oslonjena na jedan stup i opterećen reaktivnim opterećenjem, koje osigurava ravnotežu. Posljedica opterećenja su utjecaji prema kojima se dimenzioniraju. Mjerodavne vrijednosti momenta savijanja su neposredno uz ivicu stupa. Realno, momenti savijanja nisu po širini konstantni, nego su veći u zoni stupa a padaju u vrijednosti prema ivicama temelja.

Temeljne stope su u pravilu zategnute u donjoj zoni, zbog čega se armiraju donjom armaturom. Rijetko, na primjer kada se uslijed velikih momenata savijanja u dnu stupa javlja neaktivno dio kontaktne površine, može se javiti potreba za armaturom u gornjoj zoni. Čak i ako to nije slučaj, temeljne stope veće visine je poželjno armirati i u gornjoj zoni lakom konstruktivnom armaturom za potrebe prihvata napona zatezanja izazvanih skupljanjem betona.

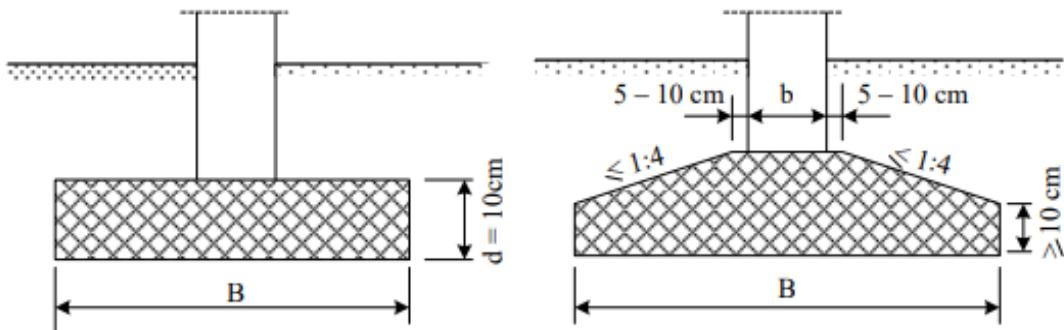
Temelji samci se mogu projektirati i specijalni oblici, često rebrastog oblika u cilju uštede materijala ili u obliku ljudskih, što je prikazano na Slici 5.



Slika 5. Temelji specijalnih oblika

## 1.2. Temeljne trake

Temeljne trake ili trakasti temelji se projektiraju ispod zidova. Uobičajeno se projektiraju presjeka prikazanog na Slici 6, pri čemu se širina trake određuje iz uvjeta ograničenosti maksimalnog naprezanja tla. Opterećenje trakastih temelja zidom (od opeke, kamena, betona) je redovno blago promjenjivo i direktno uravnoteženo reaktivnim, promatrano po dužini trake. Utjecaji u uzdužnom pravcu mogu biti zanemareni prilikom dimenzioniranja, a svakako pokriveni konstruktivnim armiranjem u uzdužnom pravcu. Trake, šire od širine zida, glavne utjecaje dobivaju u poprečnom pravcu gdje se ispusti ploče nalaze u konzolnim uvjetima rada.

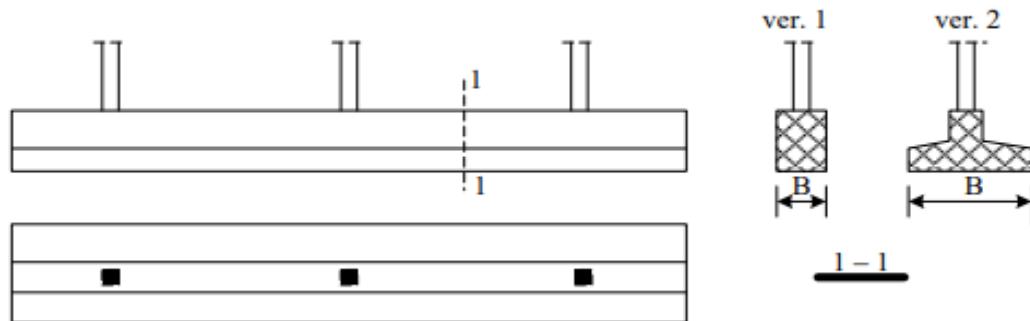


Slika 6. Presjek trakastih temelja

## 1.3. Temeljne grede i roštilji

Često se javlja potreba da se za više stupova u nizu projektira zajednički temelj. Razlozi ove potrebe mogu biti u relativno maloj nosivosti tla i velikim dimenzijama temelja samaca ili u slučaju kada bi temelj samac krajnjeg stupa bio van dopuštenih veličina. Također, temeljna greda se, umjesto samaca, može projektirati sa ciljem ujednačavanja potencijalnih neravnomjernih slijeganja, u situacijama kada ili postoji realna opasnost da do ovih dođe ili kada je gornja konstrukcija u visokoj mjeri osjetljiva na neravnomjernost premještanja oslonaca.

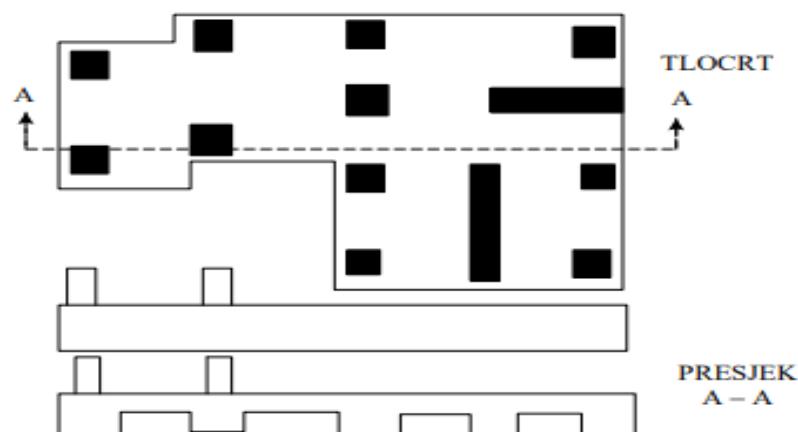
Temeljne trake projektiraju se pravokutnih ili T – oblika poprečnih presjeka (Slika 7.). Širina rebra je za 5 – 10 centimetara veća od širine stupova, čime se osigurava oslonac za oplatu stupa. Zbog potrebe zadovoljavanja dopuštenih naprezanja tla, temeljne grede obično u donjem dijelu se projektiraju konzolno proširenje ( obrnuti T – presjek).



Slika 7. Poprečni presjek temeljnih greda

#### 1.4. Temeljne ploče

U situacijama temeljenja na tlu male ili nedovoljne nosivosti za primjenu nekog od spomenutih vrsta plitkog temeljenja, mogu se projektirati temeljne ploče (Slika 8.). Primjena ploča pogodna je u situacijama temeljenja ispod nivoa podzemnih voda, ali i kada je od interesa smanjiti neravnomjernost slijeganja pojedinih dijelova osnove objekta, bilo zbog veće deformacije tla, bilo zbog značajnog utjecaja neravnomjernosti slijeganja na preraspodjelu utjecaja u gornjoj konstrukciji. U pojedinim slučajevima, temeljna ploča može predstavljati racionalnije rješenje u usporedbi sa ostalima, ne samo po pitanju jednostavnosti izvođenja, nego i utroška materijala.



Slika 8. Poprečni presjek temeljne ploče

Temeljne ploče se najčešće projektiraju ispod višekatnih zgrada, silosa, tornjeva, spremnika, objekata sa dubokim podrumima. Oblik temeljnih ploča najčešće je pravokutnog i kružnog. Po pravilu visok nivo reaktivnog opterećenja je uzrok potrebi za relativno velikim debljinama temeljnih ploča, suglasno rasteru stupova ili zidova koji se na nju oslanjaju. Osim efekata savijanja, probijanje temeljne ploče može biti mjerodavno za usvajanje debljina. Tada je bolje rješenje ploču ojačati gredama.

Grede se obično projektiraju sa gornje stane ploče, ostavljajući kontaktnu površinu ravnom. Rjeđe, zbog problema sa postavljanjem i trajnošću hidroizolacije, grede mogu biti projektirane i sa donje strane ploče, osiguravajući ravnu gornju površinu.

Ispod objekata kružne osnove, poput silosa, spremnika ili vodotornjeva, kao temeljna konstrukcija se najčešće koristi kružna ili prstenasta ploča, konstantne ili promjenjive visine.

## 2. ODABIR NAČINA I DUBINE TEMELJENJA

Minimalna dubina temeljenja određena je propisima. Mora zadovoljiti uvjet da temeljna ploha bude ispod dubine smrzavanja. U klimatskim predjelima koji su dugotrajno pod utjecajem vrlo niskih temperatura vrijede sasvim drugi uvjeti za temeljenje.

### 2.1. Odabir prema kriteriju slaganja

Vrstu temelja potrebno je prilagoditi vrsti tla te vrsti i namjeni građevine. Vrsta i namjena građevine uvjetuju veličinu ukupnih i diferencijalnih slijeganja. Vrste temelja, ovisno o kakvoći temeljnog tla i vrsti nosive konstrukcije, mogu se podijeliti na način prikazan u Tabeli 1.

Tabela 1. Odabir načina temeljenja prema zahtjevima građevine i svojstvima tla

a) Malo stišljiva tla, mala deformacija

NOSIVA KONSTRUKCIJA	VRSTA TEMELJA
Gradevina na stupovima, rešetke i sl.	Temelji samci
Gradevine sa zidovima, ljsuske i sl.	Temeljne trake

b) Jače stišljiva, nehomogena tla, veće deformacije

<i>NOSIVA KONSTRUKCIJA</i>	<i>VRSTA TEMELJA</i>
<b>Gradevina na stupovima, rešetke i sl.</b>	<i>Temeljni nosači</i> <i>Temeljni roštilji</i>
<b>Gradevine s nosivim zidovima, ljske</b>	<i>Temeljni roštilji</i> <i>Temeljne ploče</i>
<b>Zidovi i supovi, ljske, sanduci</b>	<i>Temeljni roštilji</i> <i>Temeljne ploče</i>

c) Slabo nosiva i jako stišljiva tla

<i>NOSIVA KONSTRUKCIJA</i>	<i>VRSTA TEMELJA</i>
<b>Sve vrste gradevina osim nasipa</b>	<i>Duboko temeljenje</i> <i>Hibridno temeljenje</i>
<b>Sve vrste gradevina i nasipa</b>	<i>Temeljenje na poboljšanom tlu</i>

d) Temeljenje na tlu različitih osobina

<i>NOSIVA KONSTRUKCIJA</i>	<i>VRSTA TEMELJA</i>
<b>Sve vrste gradevina osim nasipa</b>	<i>Podtemeljne gradevine</i>

## 2.2. Odabir prema zahtjevima građevine

Ovaj odabir prvenstveno se oslanja na potrebe građevine, ne vodi računa o osobinama podtemeljnog tla. Odabir se prikazan u Tabeli 2.

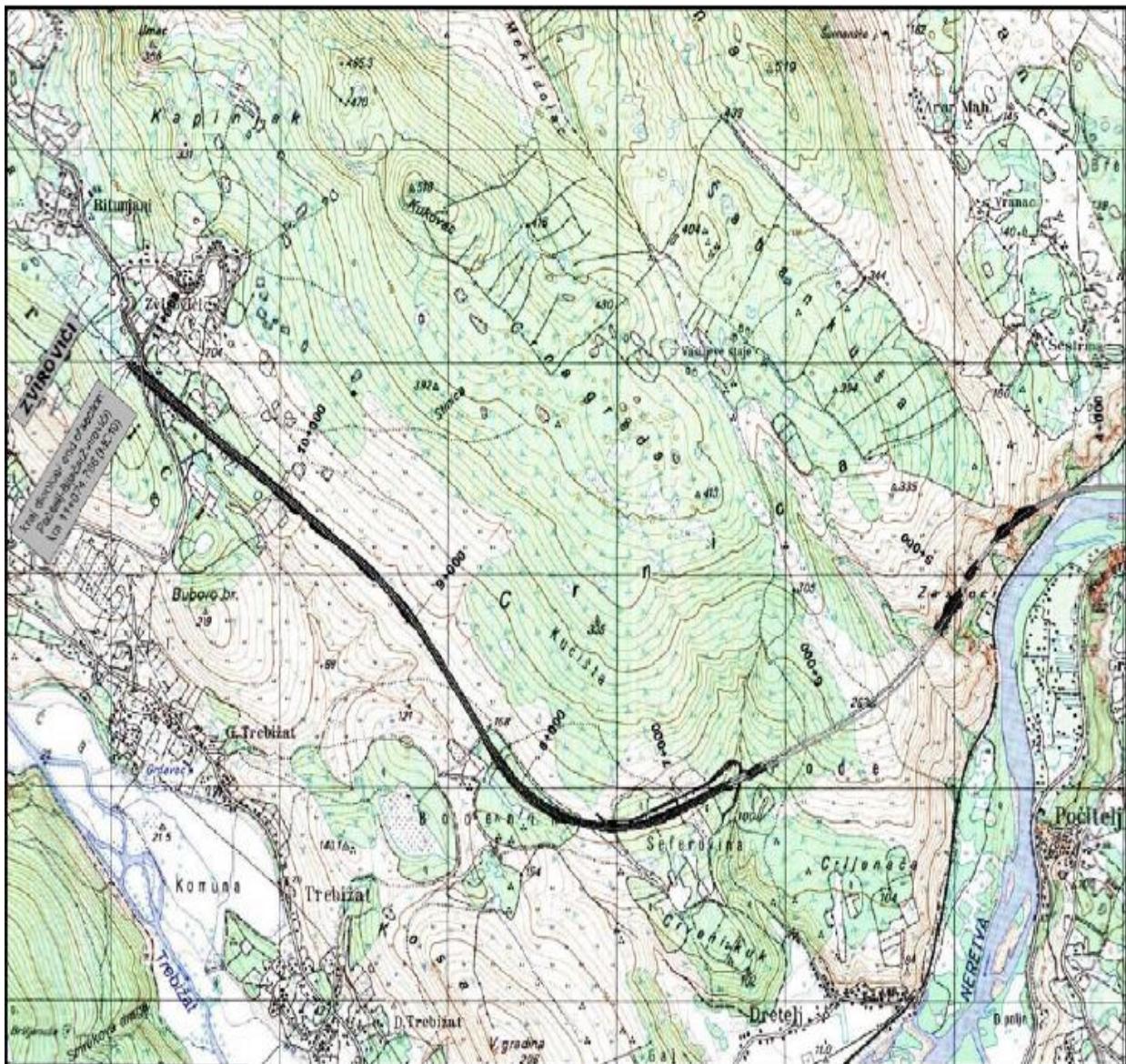
Tabela 2. Tipične građevine i njeni temelji

<i>GRADEVINA</i>	<i>SVRHA</i>	<i>NOSIVI SKLOP</i>	<i>TEMELJ</i>
<i>ZGRADA</i>	Omeđuje i zatvara prostor	Zidovi, stupovi, ploče, grede	Samac, traka, ploča
<i>MOST</i>	Svladava veće raspone u prostoru	Grede, ploče, okviri, rešetke, lukovi, supovi, piloni, zatege	Samci, ploče, vlačni temelji
<i>POTPorna GRAĐEVINA</i>	Svladava visinske razlike u terenu	Masivni zid, ploče	Trake, sidra
<i>BRANE</i>	Svladava denivelaciju vode	Masivni zid, ljska, nasip	Trake, ploče
<i>DIMNJACI, PILONI, STUPOVI, TORNJEVI</i>	Dosizanje velikih visina (antenski, dalekovodni, žičare)	Masivne, vitke konstrukcije, rešetke	Samci, ploče, vlačni temelji
<i>REZERVOARI, SILOSI</i>	Skladištenje rasutih tereta, tekućina i plinova	Kugle, valjci, sačaste celije	Ploče, trake, roštilji
<i>STAZE DIZALICA</i>	Kretanje na šinama (nema diferencijalnog slijeganja)	Zidovi, grede na više ležajeva na stupovima, kao podloga šinama	Kontinuirani, kruti nosači, nosači na el. podlozi
<i>PODOVI (prostori s teškim vozilima i sl.)</i>	Oslanjanje i prijevoz teških tereta	Ploče	Ploče na elastičnoj podlozi
<i>AERODROMSKE PISTE</i>	Slijetanje i uzljetanje zrakoplova	Kolnička konstrukcija posebnih zahtjeva	Plošni elastični nosač na el. podlozi
<i>KOLNICI</i>	Podloga za vozila na (gumenim) kotačima	Kolnička konstrukcija	Plošni elastični nosač na el. podlozi
<i>KOLOSJECI</i>	Šinska vozila	Šine na pragovima	Linijski elastični nosač na el. podlozi

### 3. OPIS TRASE

#### 3.1. Topografske podloge

Poddionica Počitelj – Zvirovići duga je 11,75 kilometara, a najznačajniji objekt na poddionici je most Počitelj ukupne dužine 945 i maksimalne visine 100 metara, čijom će izgradnjom biti spojene dvije obale rijeke Neretve. Osim mosta, na poddionici će se graditi i petlja s naplatnim mjestom i pristupnim prometnicama do regionalne ceste Buna – Domanovići i magistralne ceste M-17, tri vijadukta, tunel i otvorena trasa.



Slika 9. Geografski položaj istraženog terena

### 3.2. Inžinjersko- geomorfološki i geotehnički uslovi

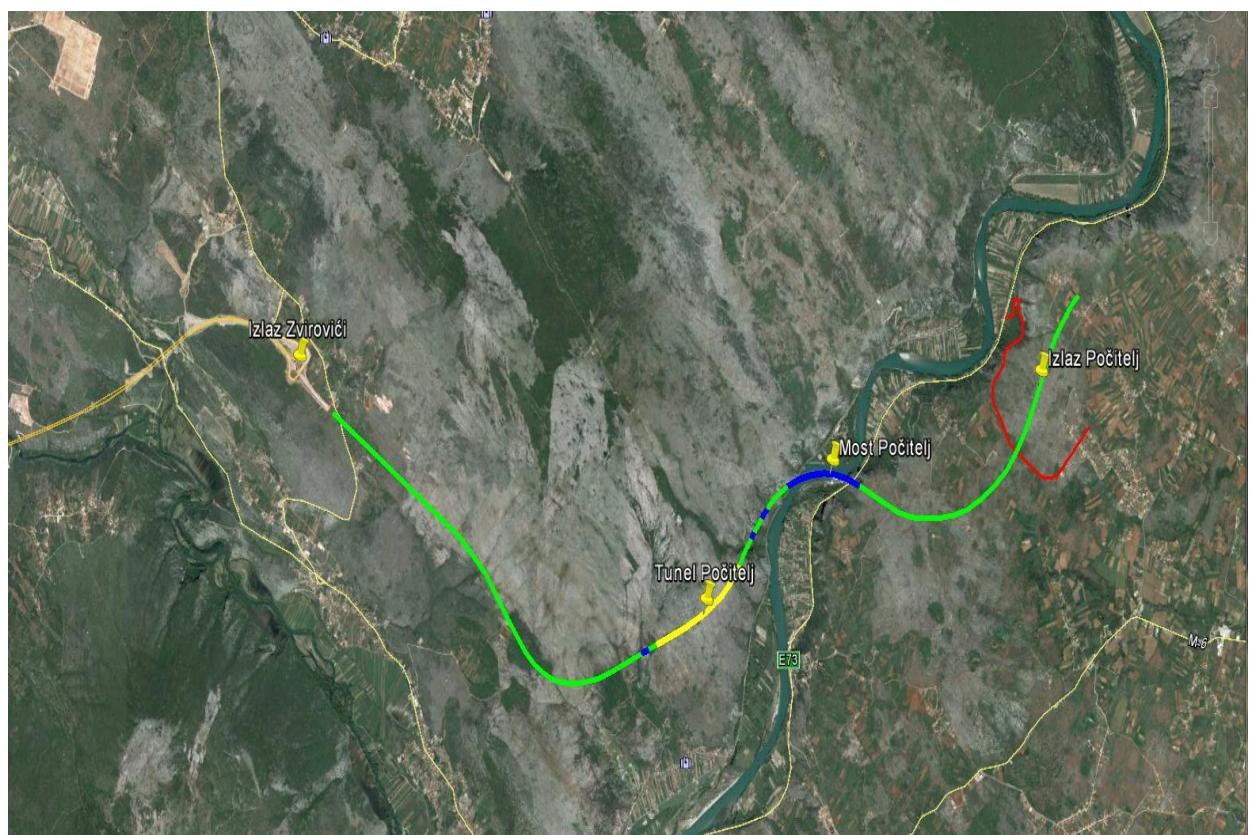
Geotehnički model terena na lokaciji mosta br. 2 čine:

- **Pokrivači**, koji su predstavljeni koluvijalnim tvorevinama (siparom)
- **Kora trošenja** geološkog supstrata, koja je predstavljena degradiranim krečnjacima horizonta
- **Geološki supstrat**, koji je predstavljen krečnjacima

Kako bi se usvojile mjerodavne karakteristike za materijale kore trošenja geološkog supstrata horizonta degradiranih krečnjaka i geološkog supstrata horizonta krečnjaka, izvršena je povratna analiza u programu RockLab.

Parametri stijene, korišteni u okviru Glavnog geotehničkog projekta (G21), su usvojeni na bazi terenskih i laboratorijskih opita, te komparativnih iskustava sa sličnim materijalima. U tom smislu, zahtjeva se stalni geotehnički nadzor koji će pregledom iskopa usvojiti ili po potrebi zahtjevati izmjenu predloženog rješenja. Sve izmjene mogu se raditi u sklopu geotehničke izvedbene studije (G31).

Međutim, potrebno je intenzivno pratiti izvođenje radova, kako bi se na vrijeme uočile eventualne razlike u odnosu na ovim projektom predviđeno stanje. Također, preporučuje se izvođenje po 5 destruktivnih bušotina prečnika 54 mm i 15 m dubine po stubnom mjestu.



Slika 10. Geografski položaj Mosta Počitelj

## **4. OPIS KONSTRUKCIJE TEMELJENJA MOSTA**

Konstrukcija mosta 2 se sastoji od dva zasebna objekta i to: lijevog i desnog objekta. Početak desnog objekta na km 0+059,00 (osovina obalnog stuba broj 1.), a kraj na stacionaži km 0+169,50 (osovina stuba 6.) desne osovine, te početak lijevog objekta na km 0+037,50 (osovina obalnog stuba 1.) i kraj na lijevog objekta na stacionaži 0+195,00 (osovina stuba 8) lijeve osovine. Osovine na potezu objekata nisu paralelne.

Prepreka je premoštena sa armirano – betonskim konstrukcijama pločastog poprečnog presjeka koje se izvode na licu mjesta, i to desni objekt sa pet raspona, a lijevi sa sedam raspona. Desni objekt ima slijedeće statičke raspone  $20,0\text{ m} + 3 \times 23,5\text{ m} + 20,0\text{ m}$ , a ukupna dužina konstrukcije iznosi 110,50 m. Lijeve objekt je duži za jedan raspon i njegovi statički rasponi su slijedeći  $20,0\text{ m} + 5 \times 23,5\text{ m} + 20,0\text{ m}$ , a ukupna dužina iznosi 157,50 m.

Obalni stubovi su vezani preko pokretnih ležišta sa rasponskom konstrukcijom dok su srednji stubovi uklješteni u konstrukciju.

Stubovi će se direktno fundirati preko ab temeljnih stopa. Dimenzije temelja upornjaka S1 i S6 desnog mosta su  $3,50 \times 6,20\text{ m}$ , dok su temelja stubova S2 do S5  $5,00 \times 5,00\text{ m}$ . Dimenzije temelja upornjaka S1 i S8 lijevog mosta su  $3,50 \times 6,20\text{ m}$ , dok su temelja stubova S2 do S7  $5,00 \times 5,00\text{ m}$ . Debljina temelja stubova je 1,50 m.

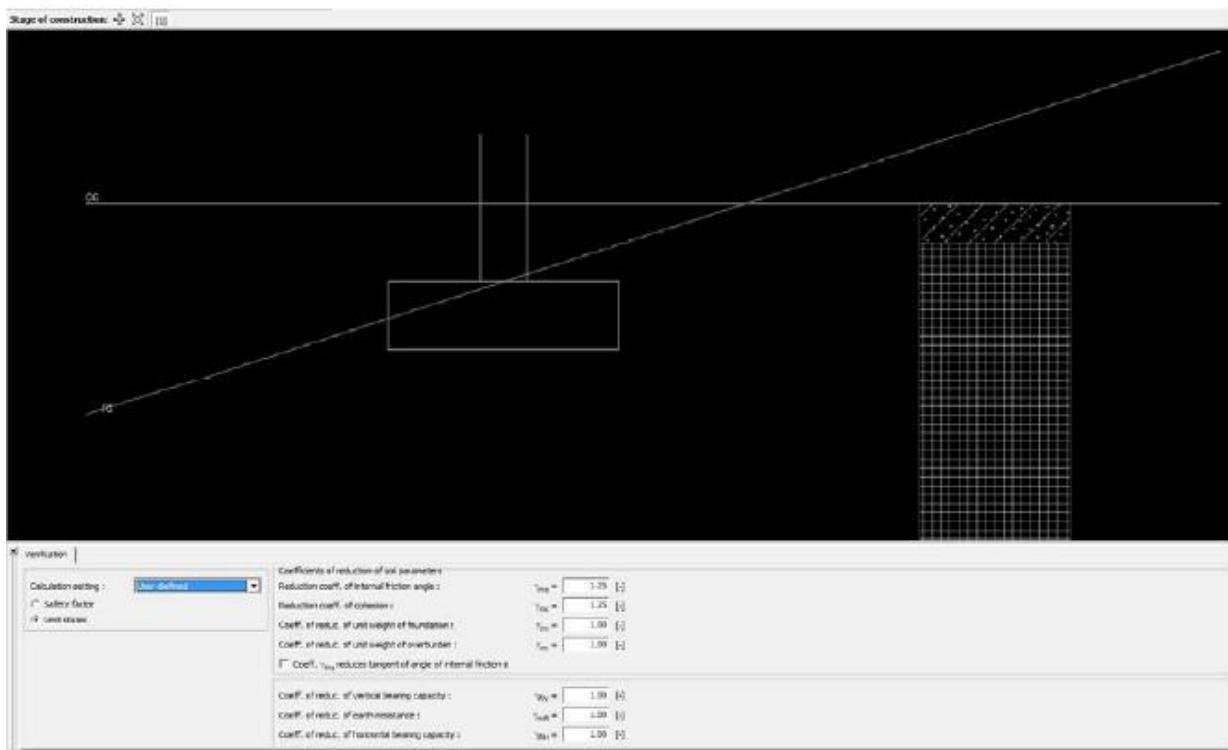
## **5. PRORAČUN NOSIVOSTI TLA ISPOD PLITKIH TEMELJNIH STOPA**

Proračun je proveden za lijevi most, pošto su opterećenja na ove temelje veća, tako da je ovakav proračun na strani sigurnosti.

### **5.1. Proračun nosivosti tla**

Proračuni otpornosti stijenske mase provedeni su za projektom predviđene dimenzije, opterećenja i uslove temeljenja, te za usvojene parametre čvrstoće temeljne podlage. Proračun je proveden u programskom paketu Geo5.

Na Slici 11. dat je model za proračun nosivosti plitkog temelja u programu Geo5.



Slika 11. Model za proračun nosivosti plitkog temelja u programu Geo5

## 5.2. Proračun slijeganja temeljnih ploča

Analitički proračun slijeganja se izveo u programskom paketu GEO 5, čiji se proračunski algoritam zasniva na teoriji elastičnosti i Boussinesq-ovoj raspodjeli opterećenja. Procjena slijeganja se radi na osnovu pretpostavke koncentričnog ili jednoliko rasprostranjenog površinskog opterećenja.

Kao ulazni podaci proračuna dati su intenzitet i tlocrne dimenzije opterećenja, dubina temeljenja te modul stišljivosti, prostorna težina i raspored slojeva tla.

Veličina slijeganja je proračunata na osnovu izraza:

$$s = \int \frac{d\sigma}{M_k(\sigma)}$$

gdje je:

$s$  - veličina slijeganja;

$d\sigma$  - diferencijal dodatnog efektivnog vertikalnog naprezanja;

$M_k(\sigma)$  - modul kompresije temeljnog tla, ovisan o efektivnom vertikalnom naprezanju

$z$  – dubina

Pri tome su dodatna vertikalna naprezanja u tlu od vanjskog opterećenja pravougaonog oblika, određena integracijom *Boussinesq*-ovog rješenja za vertikalno naprezanje u elastičnom, homogenom i izotropnom poluprostoru, opterećenom koncentričnim opterećenjem na fleksibilnoj podlozi ( Slika 12. )

Modul kompresije definira se kao funkcija vertikalnog efektivnog naprezanja, prema izrazu:

$$M_k = d\sigma / de = m \sigma_R (\sigma' / \sigma_R)^{1-a}$$

gdje je:

$d\sigma$  - diferencijal efektivnog naprezanja;

$de$  - diferencijal relativne vertikalne deformacije;

$\sigma_R$  - referentno efektivno vertikalno naprezanje;

$\sigma'$  - efektivno naprezanje za koje vrijedi  $M_k$ ;

$m$  - karakteristični deformacioni modul za  $\sigma_R$ ;  $m = M_k(\sigma_R) / \sigma_R$ ;

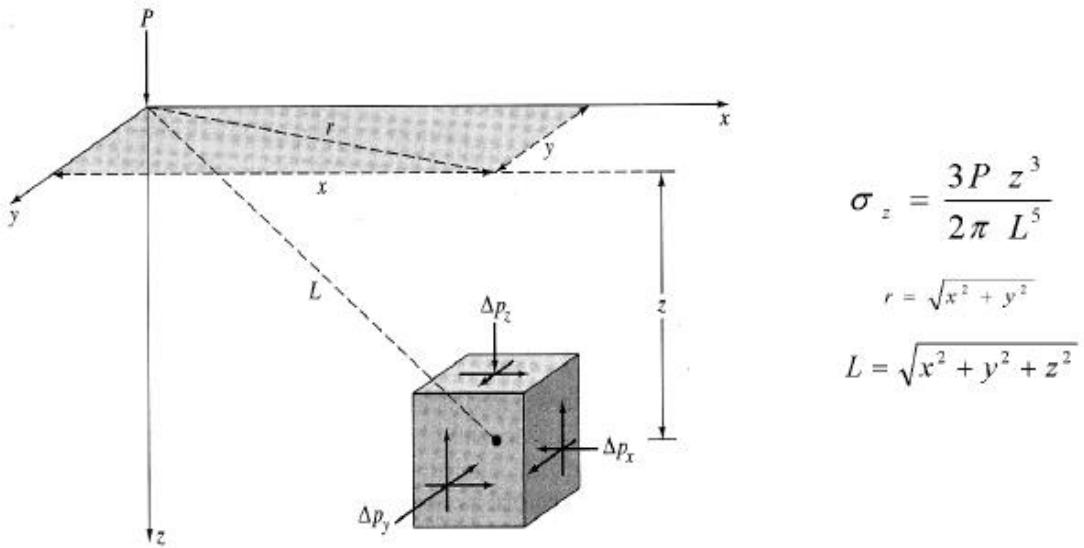
$a$  - eksponent naprezanja.

Eksponent naprezanja  $a$  definiše mjeru povećanja modula stišljivosti zavisno o efektivnom vertikalnom naprezanju, te se time u proračun uvodi nelinearnost. Djelovanje gornjih slojeva koji leže iznad kote temeljenja u proračun je uzeto u obzir kao geološko opterećenje.

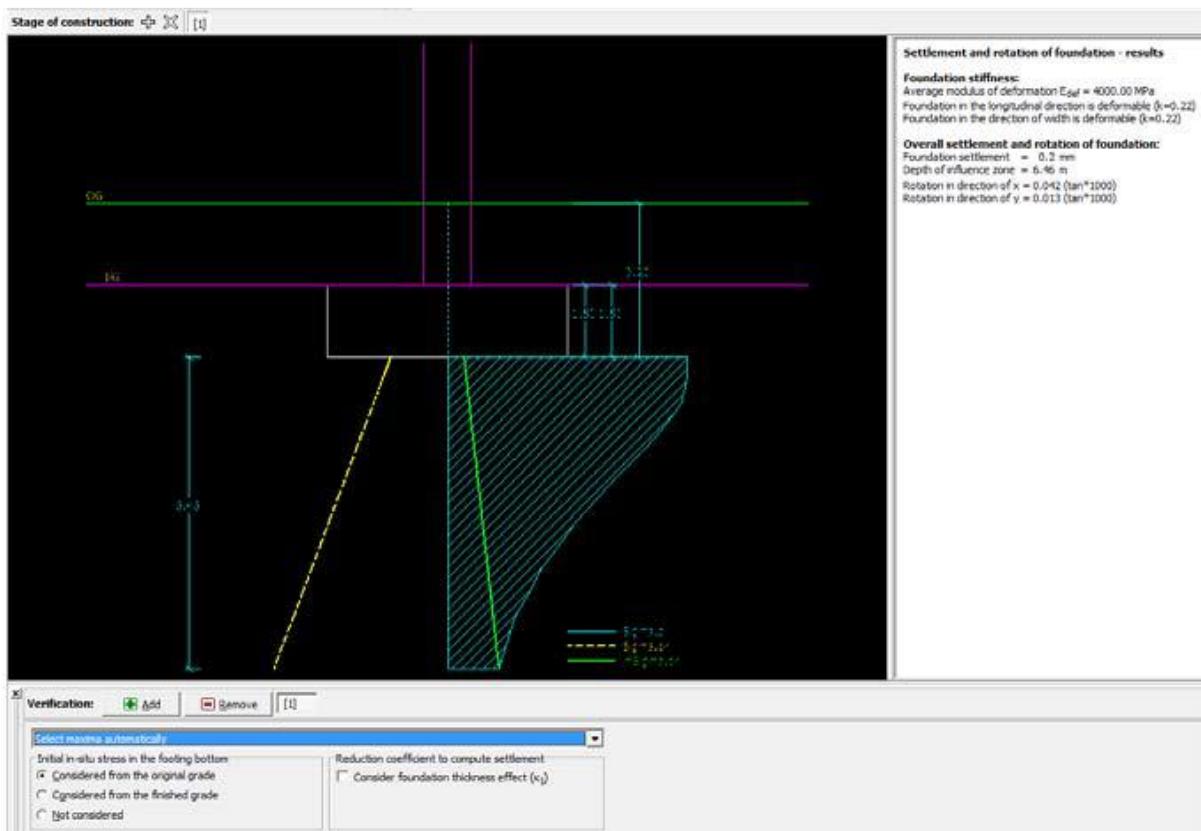
Kod ovog proračuna nije uzeta u obzir krutost temeljne konstrukcije odnosno objekta, pa su slijeganja računata za tzv. karakteristične tačke. To su tačke u kojima je slijeganje za absolutno krutu i absolutno fleksibilnu konstrukciju, tlocrtno pravougaonog oblika, približno jednako.

Kako se opterećenje prenosi u unutrašnjosti homogenog poluprostora, a ne na površini (što je pretpostavka algoritma programa), proračunata slijeganja se reduciraju korekcionim faktorom  $k$  prema Fox-u, koji daje odnos veličine slijeganja za iste parametre materijala tla, kada se opterećenje nalazi na površini i na određenoj dubini unutar poluprostora. Faktor korekcije prema Fox-u je u relaciji s geometrijskim odnosom širine, dužine i dubine temeljenja.

Proračun se provodi do dubine na kojoj dodatna naprezanja u tlu postaju manja od odabranog postotka geoloških.



Slika 12. Boussinesq-ovo rješenje za vertikalna naprezanja u elastičnom poluprostoru



Slika 13. Model za proračun slijeganja plitkog temelja u programu Geo5

Proračun slijeganja je izvršen prema *Janbu*-ovoj teoriji tangentnog modula

### 5.3. Ulazni podaci i proračun

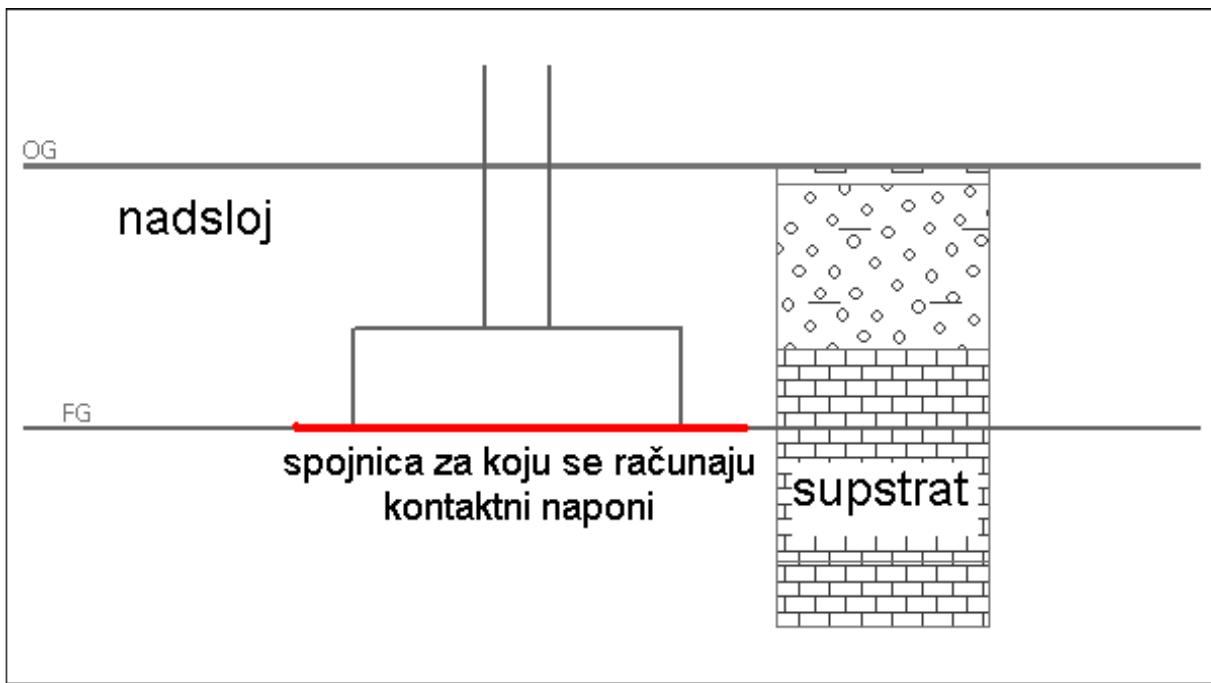
Ulagani parametar opterećenja su presječne sile koje su određene u spojnici na dnu stuba. U proračun su uzete u obzir i težina temeljne stope i nasipa iznad temelja.

Usvojen je proračunski pristup PP3, odnosno kombinacija parcijalnih faktora za granična stanja STR i GEO: A1 + M2 + R3. Opterećenja koja djeluju na objekat su pomnožena sa faktorima djelovanja ( $\gamma_F$ ) i učinka djelovanja ( $\gamma_E$ ). Usvojeni su faktori svojstva materijala ( $\gamma_M$ ):  $\gamma_\varphi = 1,25$  i  $\gamma_c' = 1,25$ , kao i faktori otpornosti ( $\gamma_R$ ) za plitke temelje:  $\gamma_R$ ;  $v = 1,00$  i  $\gamma_R$ ;  $h = 1,00$ .

Maksimalne presječne sile na dnu stubova (bez težine nadstola), dobijene statičkim proračunom u programu „RM Bridge“, za kombinaciju opterećenja ULT (ultimna opterećenja, objedinjen proračun i sa seizmičkim faktorima), su date u sljedećoj tabeli:

Stub	N (kN)	H <sub>x</sub> (kN)	H <sub>y</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)
S2	10388,34	-26,00	-1211,20	-13898,65	204,63
S2	15828,06	-26,00	-316,38	-4229,18	204,63
S3	10970,49	-253,23	-850,87	-14691,61	2261,32
S3	12586,34	-1210,90	-239,23	-4456,97	10325,11
S3	15160,69	218,05	-219,61	-4423,25	-1982,96
S3	9326,05	-10,93	-61,09	-3817,79	115,56
S3	10163,99	-651,24	77,35	-614,23	5455,78
S3	15310,08	-14,73	256,82	-1045,01	158,26
S4	11527,05	-140,44	-622,23	-12889,24	1526,67
S4	13139,76	-681,76	-168,63	-3880,10	6482,50
S4	15559,63	-307,37	-149,69	-3805,85	2803,68
S5	11556,46	-178,42	-713,83	-13592,12	1748,52
S5	12082,57	733,81	-198,39	-4132,87	-6687,37
S5	15113,19	200,78	-179,47	-4068,88	-2001,23
S6	11395,21	-398,41	-855,08	-12939,89	2984,60
S6	12625,30	-495,67	-220,46	-3969,64	3450,61
S6	11928,89	-1677,02	-244,39	-3993,92	12134,79
S6	9606,79	791,54	71,46	-934,31	-5666,05
S6	15045,44	-30,63	255,88	-1759,84	145,12
S7	8748,70	0,00	-254,14	-5078,57	0,00
S7	14468,94	0,00	301,93	-2287,96	0,00

Tabela 3. Maksimalne presječne sile na dnu stubova (bez težine nadstola), dobijene statičkim proračunom u programu „RM Bridge“, za kombinaciju opterećenja ULT



Slika 14. Model za proračun kontaktnih napona

Maksimalne presječne sile na dnu stubova (bez težine nadsloja), dobijene statičkim proračunom u programu „RM Bridge“, za kombinaciju opterećenja (SLS), su date u sljedećoj tabeli:

Stub	N (kN)	H <sub>x</sub> (kN)	H <sub>y</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)
S2	10919,10	0,00	208,96	-1075,87	0,00
S3	11230,46	-13,42	171,31	-696,30	144,45
S3	10043,35	-371,94	74,92	-862,59	2985,71
S3	9118,67	-10,93	-40,61	-2544,69	115,34
S4	9221,07	-6,39	-48,82	-2095,72	63,40
S4	10143,38	-161,85	72,35	-559,51	1459,33
S4	11682,51	-77,15	163,17	-192,48	817,26
S5	10106,33	144,59	63,02	-851,32	-1094,21
S5	9308,56	2,27	-55,67	-2483,29	-2,67
S5	11667,65	46,95	164,67	-519,45	-418,19
S6	11051,41	-16,17	170,58	-1173,22	62,89
S6	8909,23	-24,22	-75,86	-3127,54	104,53
S6	9806,44	396,13	62,93	-1255,84	-2672,10
S7	8520,36	0,00	-169,43	-3385,71	0,00
S7	10653,10	0,00	201,29	-1525,31	0,00

Tabela 4. Maksimalne presječne sile na dnu stubova (bez težine nadsloja), dobijene statičkim proračunom u programu „RM Bridge“, za kombinaciju opterećenja SLS

U sljedećoj tabeli su prikazana proračunata nosivosti tla slijeganja i maksimalni kontaktni naponi ispod temelja za opterećenja iz gornje tabele, za svaki stub:

Stub	Maksimalni ULS kontaktni napon (kPa)	Proračunska nosivost temeljnog tla $R_d$ (kPa)	Proračunska nosivost temeljnog tla $R_d$ podijeljena sa $F_m=5$ (kPa)	Slijeganje s (mm)
S2	1027	13311	2662	0,3
S3	1128	11718	2343	0,3
S4	949	28807	5761	0,4
S5	1007	12620	2524	0,3
S6	1094	15270	3054	0,3
S7	648	15999	3200	0,3

Tabela 5. Proračunata nosivosti tla slijeganja i maksimalni kontaktni naponi ispod temelja

Iz gornje tabele se može vidjeti da su proračunske nosivosti temeljnog tla veće od maksimalnog ultimnog kontaktnog napona i da su slijeganja u granicama dozvoljenih (<25 mm po Pravilniku, odnosno <50 mm po Eurocode 7), koja neće izazvati veće promjene na raspodjeli presječnih sila u rasponskoj konstrukciji i stubovima mosta, te se predložene dimenzije temeljne stope mogu smatrati zadovoljavajućim.

Treba napomenuti da su dimenzije temelja nešto veće iz razloga kako bi se zadovoljila stabilnost temelja na prevrtanje od seizmičkih sila. Kako su dobijene vrijednosti dozvoljene nosivosti proračunom u programu Geo5 visoke, radi sigurnosti se proveo i proračun empirijskim metodama.

#### 5.4. Metoda Goodman-a (1989)

Za slučaj plitkog temeljenja u zdrobljenoj zoni kad se stijenska masa ponaša kao kvazikontinuirana geotehnička sredina, vertikalna nosivost se računa na osnovu izraza:

$$q_f = q_u \cdot \left[ \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) \right]$$

gdje je  $q_u$  monoaksijalna čvrstoća stijene, a  $\varphi$  ugao unutrašnjeg trenja za zdrobljenu stijenu.

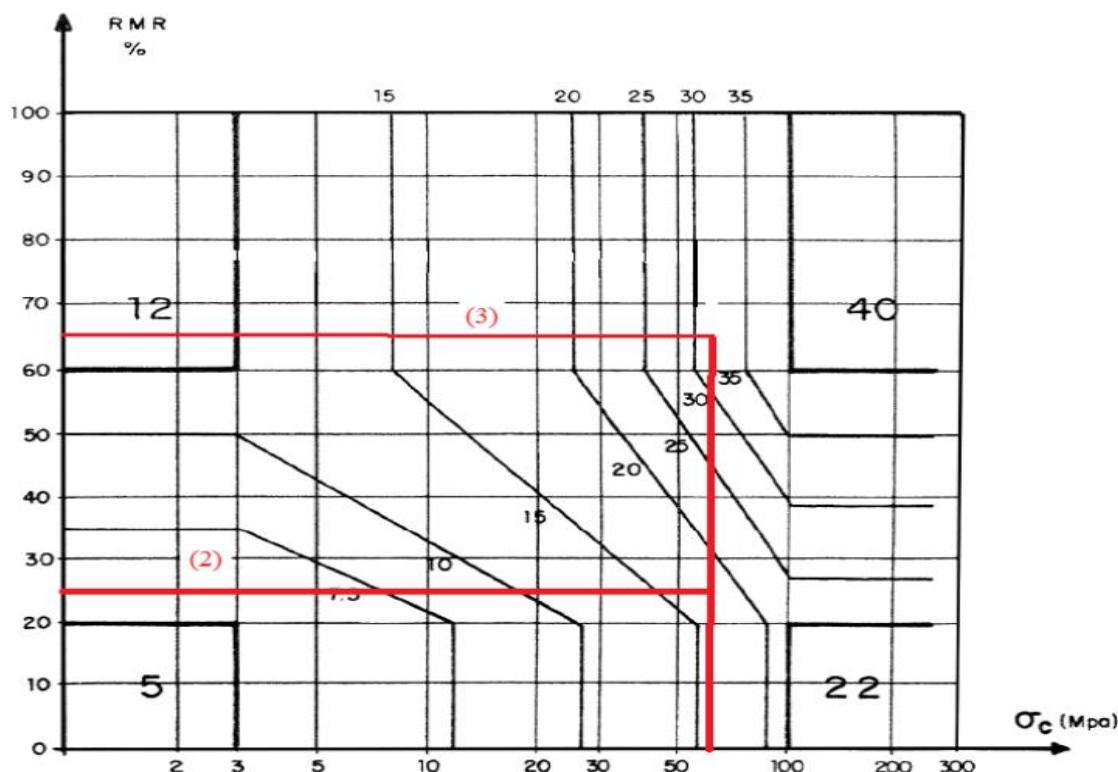
Dobijene vrijednosti vertikalne nosivosti je potrebno podijeliti sa globalnim koeficijentom sigurnosti, koji su predložili Serrano & Olalla, a koji je određen na osnovi vjerojatnosti pojave loma temelja, a za stijenske mase kod kojih je primjenjiv Hoek-Brown-ov kriterij čvrstoće. Pri tome nisu razmatrali utjecaj nesigurnosti izazvane promjenom opterećenja temelja.

Predloženi faktor sigurnosti treba obuhvatiti sve različite oblike nesigurnosti koje su uvedene u proračun granične nosivosti, i to:

- statističko variranje parametara stijenske mase sa kojima je izvršen proračun granične nosivosti;
  - stepen sa kojim model loma stijenske mase korišten u proračunu odgovara stvarnom stanju.

Globalni faktor sigurnosti izrazili su kao:  $F_s = F_p \times F_m$ .

Fm je parcijalni faktor kojim se razmatra mogućnost pojave krtog loma. Neovisno o veličini temelja može se prihvati da je za  $\delta c > 100$  MPa ponašanje stijenske mase u osnovi krto i da se vrijednost Fm kreće u rasponu 5-8. Za  $\delta c < 12.5$  MPa ponašanje stijenske mase pri lomu može se promatrati kao popustljivo, te se ne uzima u obzir faktor sigurnosti koji ovisi o krtosti. Fp je parcijalni faktor koji uzima u obzir statističko variranje parametara stijenske mase, i to jednoosne tlačne čvrstoće stijene, parametra stijene  $m_0$ , te RMR-a. Na sljedećoj slici prikazan je prijedlog dijagrama za određivanje parcijalnog faktora sigurnosti Fp.



Slika 15. Predložene vrijednosti parcijalnog faktora sigurnosti  $F_p$

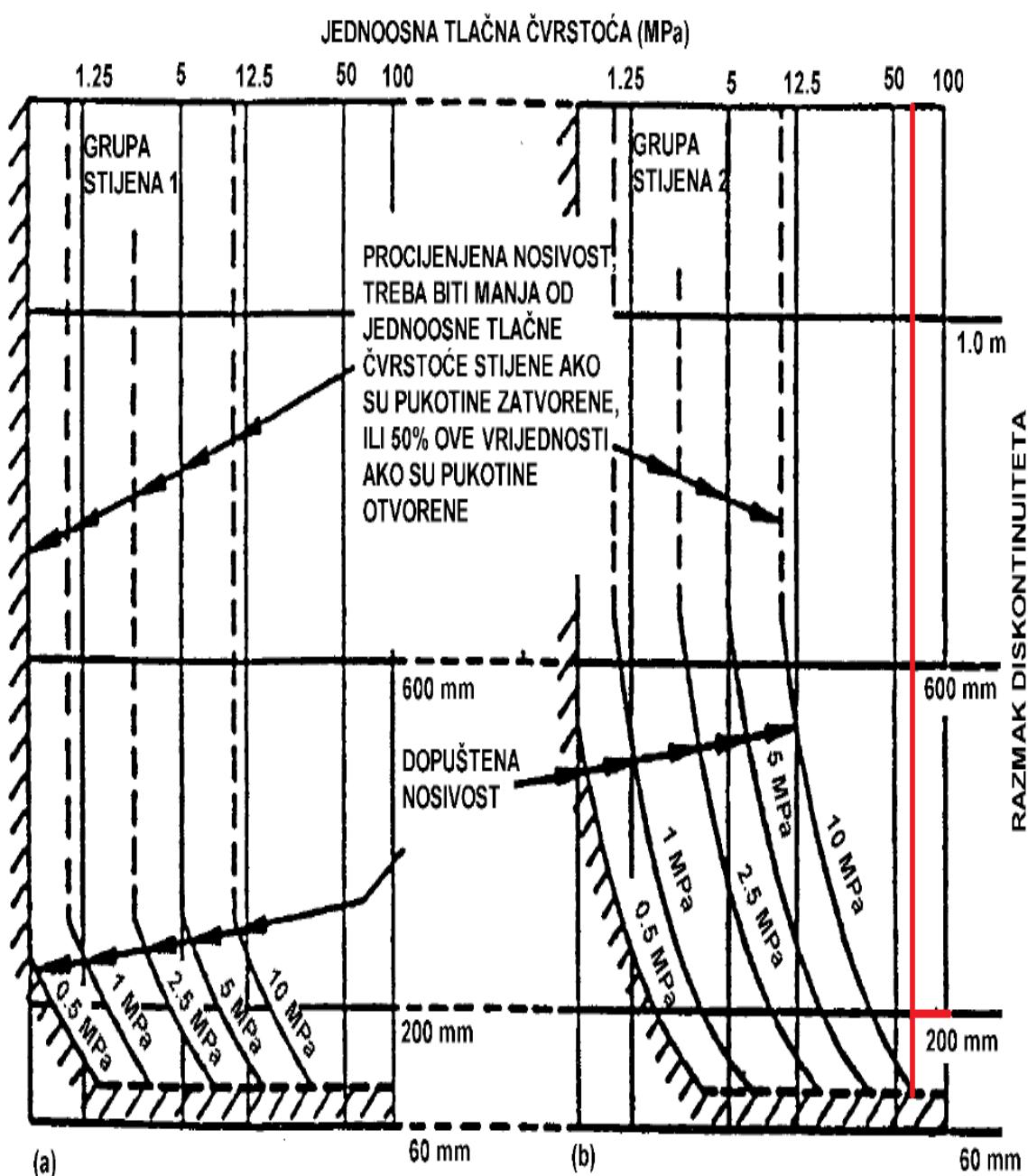
Usvojeno je za materijale horizonta (2)  $F_m = 8,0$  i  $F_p = 18$  i za materijale horizonta (3)  $F_m = 5,0$  i  $F_p = 32$ .

Tako vrijednosti dozvoljene nosivosti za koru trošenja geološkog supstrata iznosi:  $q_{doz}(2) = 70 \times 2,19 / 8 / 18 = 1,065 \text{ MPa}$ , dok je za geološki supstrat:  $q_{doz}(3) = 70 \times 6,78 / 5 / 32 = 3,0 \text{ MPa}$ .

## 5.5. Eurocode 7 (2008)

Izvršena je i procjena vertikalne nosivosti na osnovu BAS EN 19977: Geotechnical design, Part 1, 2008.

Vertikalna nosivost se može očitati sa dijagrama prikazanog na slici 16. Očitana je vrijednost od 10 MPa za grupu stijena 2.



Slika 16. Procjena vertikalne nosivosti kvadratnog temelja po BAS EN 1997:2008

Grupa	Vrsta stijene
1	Čvrsti krečnjak i dolomit Karbonatni pješčar malog poroziteta
2	Eruptivni oolitni i laporoviti krečnjak Dobro cementirani pješčar Stvrdnuti karbonatni mulj Metamorfne stijene, uključujući škriljavce i slejtove
3	Izrazito laporoviti krečnjak Slabo cementirani pješčar Slejt i škriljavac
4	Necementirani očvrsnuli mulj i šejl

Tabela 6. Podjela slabih i razlomljenih stijena po Eurocode 7 (Miščević & Števanić, 2006)

Ukoliko se uporede dobijene vrijednosti vertikalne nosivosti stijenske mase i proračunom u programu Geo5 i empirijskim metodama, može se zaključiti da su vertikalna opterećenja manja od dobijenih vrijednosti vertikalne nosivosti stijenske mase.

## 6. PROJEKTNI SEIZMIČKI PARAMETRI

Kao projektni seizmički parametri definisane su vrijednosti maksimalne horizontalne akceleracije ( $a_{max}$  izraženo u jedinici g) i maksimalnog intenziteta potresa ( $I_{max}$  izraženo u stupnjevima MCS) za povratni period od 500 godina. Značajke potresa tipa P1 su dane kao:

Maksimalna horizontalna akceleracija:  
 $a_{max} = 0,20xg$

Maksimalni intenzitet:  
 $I_{max} = 9^{\circ}$  ljestvice MCS

Tlo se na lokaciji može svrstati u razred A, po dokumentu EN 1998-1:2004. Razred A definisan je kao: stijena ili druga geološka formacija, uključujući najmanje 5,00 m slabijeg materijala na površini. Brzina širenja poprečnih valova  $vs$ ,  $30 > 800$  m/s.

## **7. ZAKLJUČAK**

Na osnovu provedenih terenskih i laboratorijskih istražnih radova te geotehničkih analiza za most br. 2 zaključuje se sljedeće:

- Konstrukcija mosta br. 2 se sastoji od dva spregnuta objekta i to: lijevog i desnog objekta.
- Početak desnog objekta na km 0+059,00 (osovina obalnog stuba broj 1.), a kraj na stacionaži km 0+169,50 (osovina stuba 6.) desne osovine, te početak lijevog objekta na km 0+037,5 (osovina obalnog stuba 1.) i kraj na lijevog objekta na stacionaži 0+195,00 (osovina stuba 8) lijeve osovine. Osovine na potezu objekata nisu paralelne.
- Obalni stubovi su vezani preko pokretnih ležišta sa rasponskom konstrukcijom dok su srednji stubovi uklješteni u konstrukciju.
- Stubovi će se direktno fundirati preko ab temeljnih stopa. Dimenzije temelja upornjaka S1 i S6 desnog mosta su 3,50 x 6,20 m, dok su temelja stubova S2 do S5 5,00 x 5,00 m. Dimenzije temelja upornjaka S1 i S8 lijevog mosta su 3,50 x 6,20 m, dok su temelja stubova S2 do S7 5,00 x 5,00 m. Debljina temelja stubova je 1,50 m.
- Pojava podzemne vode nije konstatovana istražnim radovima.
- Provedeni geotehnički radovi su dovoljni za sigurno projektovanje temeljenja mosta.
- Projektni uticaj djelovanja (maksimalni naponi) su manji od računske nosivosti temeljnog tla.
- Za navedene uslove temeljenja i data opterećenja prema projektu, mogu se očekivati slijeganja temelja, koja će biti reda veličine do 0,4 mm.

## **8.LITERATURA**

- Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, knjiga I: Projektovanje, dio 1: Projektovanje puteva, poglavlje 2: Inženjersko-geološka i geotehnička istraživanja i ispitivanja, Direkcija cesta Federacije BiH, Sarajevo i JP Putevi RS, Banja Luka, 2005;
- Pravilnik o geotehničkim istraživanjima i ispitivanjima te organizaciji i sadržaju misija geotehničkog inženjerstva, Sl. novine FBiH br. 60/09;
- BAS EN 1997-1:2008 Eurokod 7 – Projektovanje geotehničkih struktura - Dio 1: Opća pravila (EN 1997-1:2007 IDT);
- BAS EN 1997-2:2008 Eurokod 7 – Projektovanje geotehničkih struktura - Dio 2: Ispitivanje tla (EN 1997-2:2007 IDT);
- Elaborat o inženjerskogeološkim i geotehničkim karakteristikama terena na lokaciji mosta br. 2, „Geotehnos“ d.o.o. Sarajevo, juni 2014. godine;
- Obradović R. & Najdanović N., (1999). Mehanika tla u inženjerskoj praksi. Rudarski Institut Beograd, R Srbija;
- Miščević P. & Števanić D., (2006). Granična nosivost plitkih temelja na stijenskoj masi. Građevinar br. 58, Zagreb, R Hrvatska;
- Ćerimagić Đ., (2009). Inženjerska geologija. Građevinski fakultet u Sarajevu.

## **POPIS SLIKA**

• Slika 1. Osnovni pojmovi kod temelja.....	2
• Slika 2. Postupak projektiranja temeljenja.....	3
• Slika 3. Vrste plitkih temelja: a) temelj samac; b) temeljna greda; c) temeljna traka; d) temeljna ploča.....	4
• Slika 4. Najčešći oblik temelja samaca.....	5
• Slika 5. Temelji specijalnih oblika.....	6
• Slika 6. Presjek trakastih temelja.....	6
• Slika 7. Poprečni presjek temeljnih greda.....	7
• Slika 8. Poprečni presjek temeljne ploče.....	7
• Slika 9. Geografski položaj istraženog terena.....	11
• Slika 10. Geografski položaj Mosta Počitelj.....	12
• Slika 11. Model za proračun nosivosti plitkog temelja u programu Geo5.....	14
• Slika 12. Boussinesq-ovo rješenje za vertikalna naprezanja u elastičnom poluprostoru.....	16
• Slika 13. Model za proračun slijeganja plitkog temelja u programu Geo5.....	16
• Slika 14. Model za proračun kontaktnih naponi.....	18
• Slika 15. Predložene vrijednosti parcijalnog faktora sigurnosti $F_p$ .....	20
• Slika 16. Procjena vertikalne nosivost kvadratnog temelja po BAS EN 1997:2008.....	21

## **POPIS TABELA**

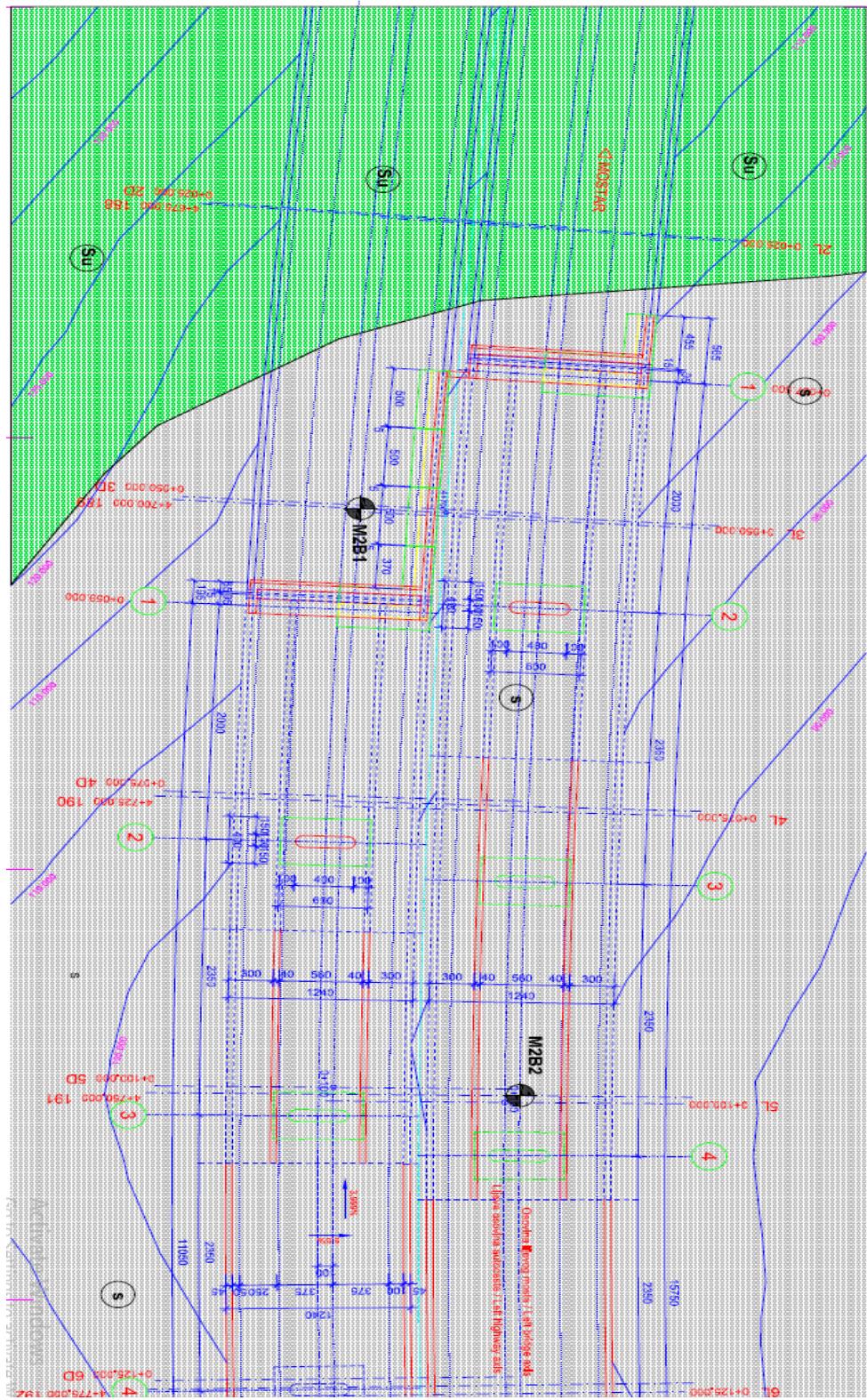
• Tabela 1. Odabir načina temeljenja prema zahtjevima građevine i svojstvima tla.....	8
• Tabela 2. Tipične građevine i njeni temelji.....	10
• Tabela 3. Maksimalne presječne sile na dnu stubova (bez težine nadstroja), dobijene statičkim proračunom u programu „RM Bridge“, za kombinaciju opterećenja ULT....	17
• Tabela 4. Maksimalne presječne sile na dnu stubova (bez težine nadstroja), dobijene statičkim proračunom u programu „RM Bridge“, za kombinaciju opterećenja SLS.....	18
• Tabela 5. Proračunata nosivosti tla slijeganja i maksimalni kontaktni naponi ispod temelja.....	19
• Tabela 6. Podjela slabih i razlomljenih stijena po Eurocode 7 (Miščević & Števanić, 2006).....	22

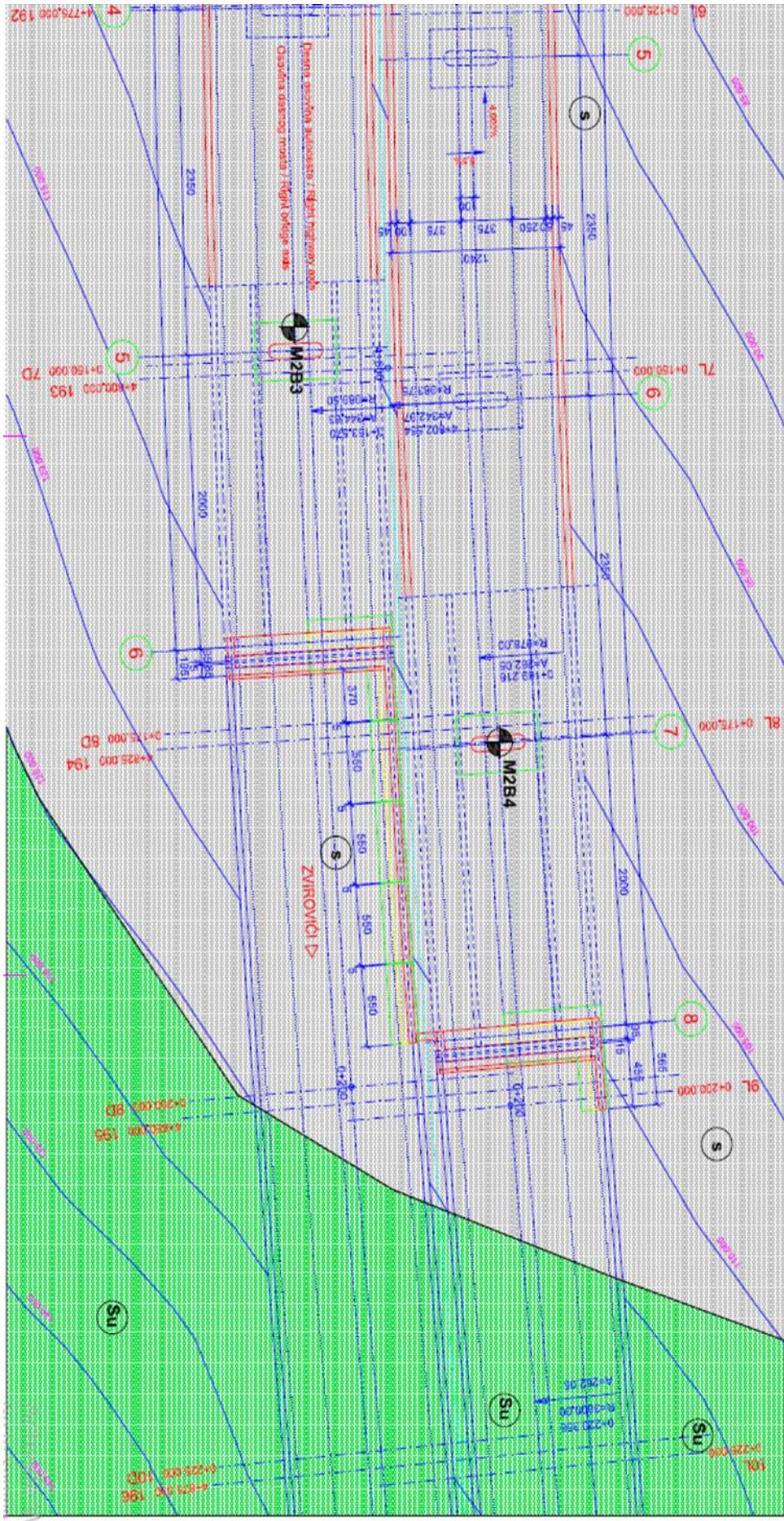
Slika 1,- 8 preuzete su: [file:///C:/Users/Elvida/Desktop/szavits-g4\\_plitki\\_temelji-radno.pdf](file:///C:/Users/Elvida/Desktop/szavits-g4_plitki_temelji-radno.pdf)

Slika 9, - 16 preuzete su: 'DIVEL' d.o.o. Sarajevo, društvo za projektovanje cesta i mostova, Počitelj- Zvirovići, 31.12.2013. godine.

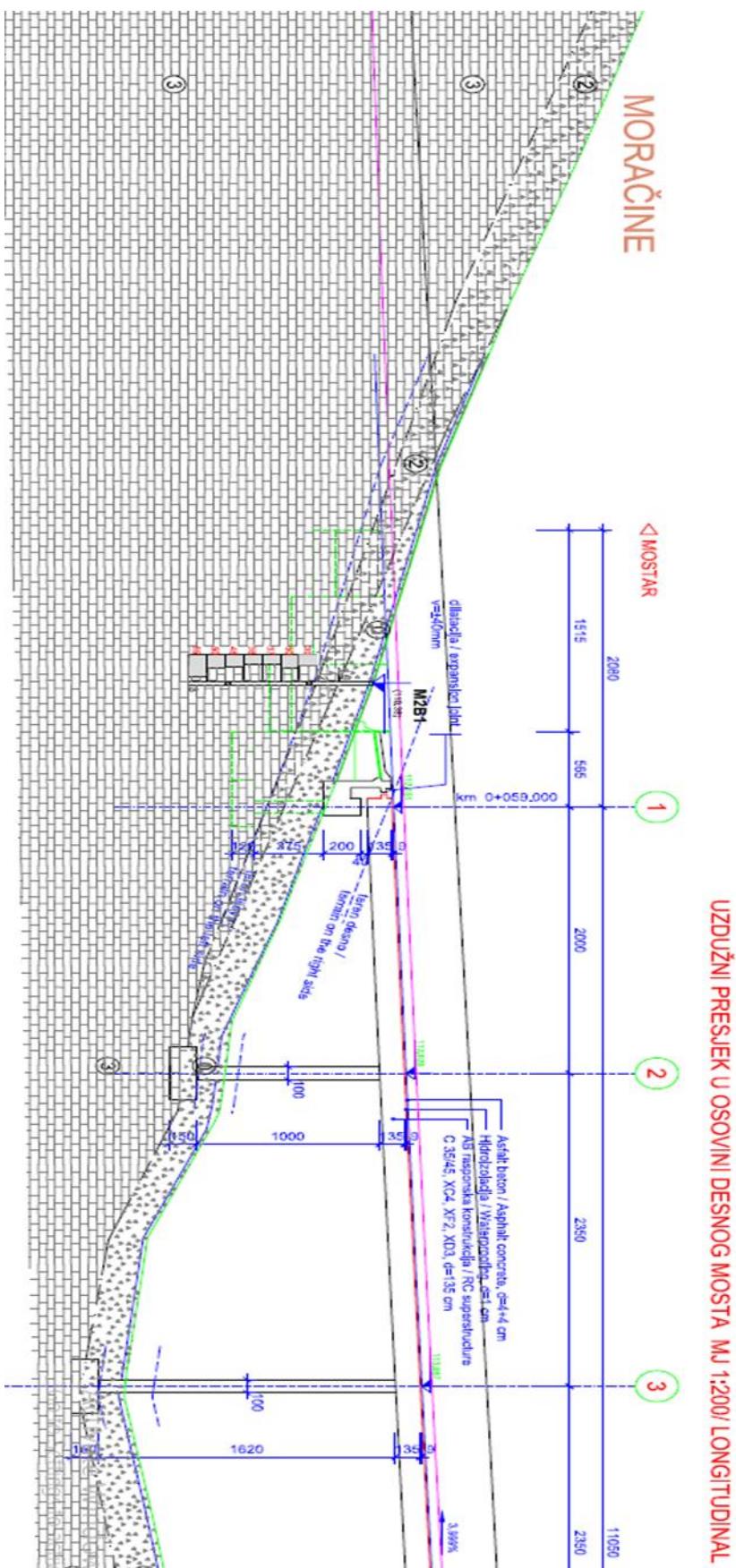
## **9. GRAFIČKI PRILOG**

## **9.1. Građevinska karta terena**

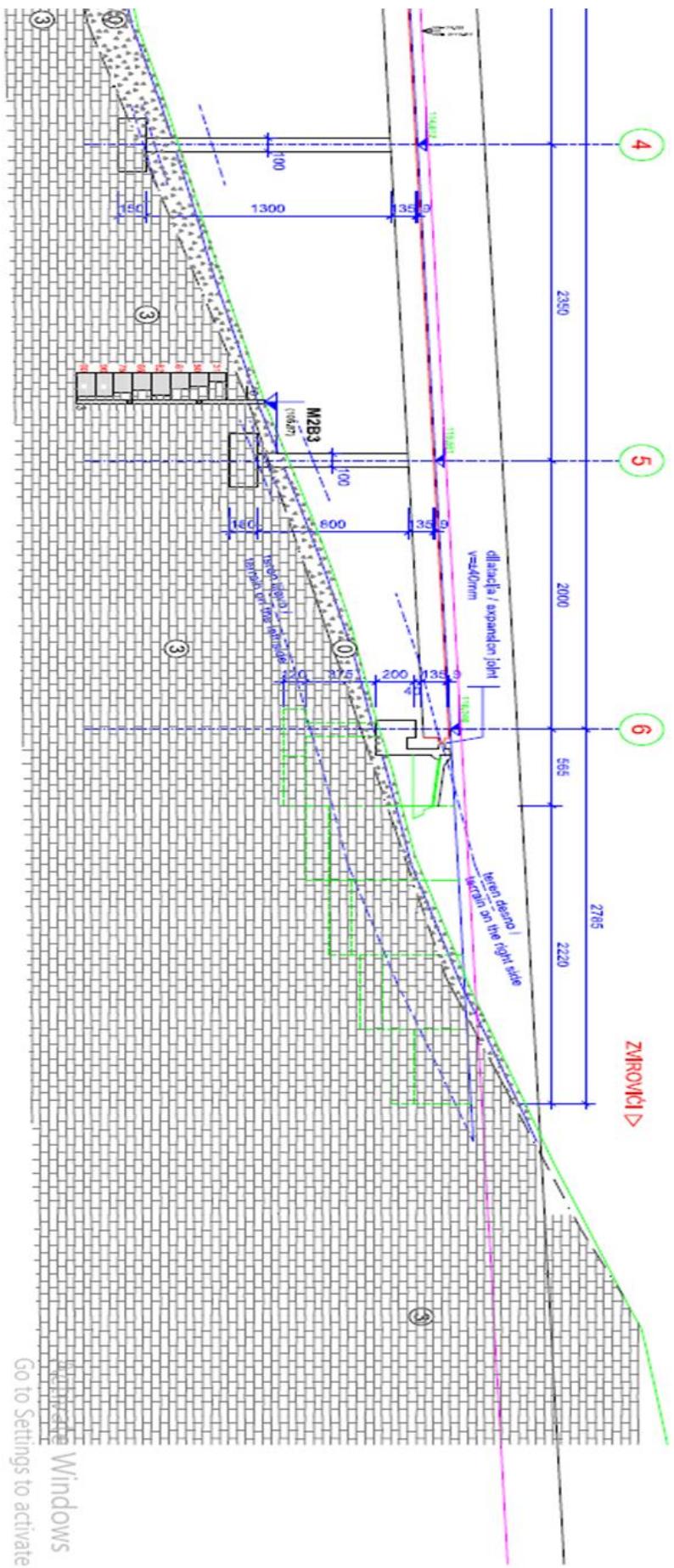




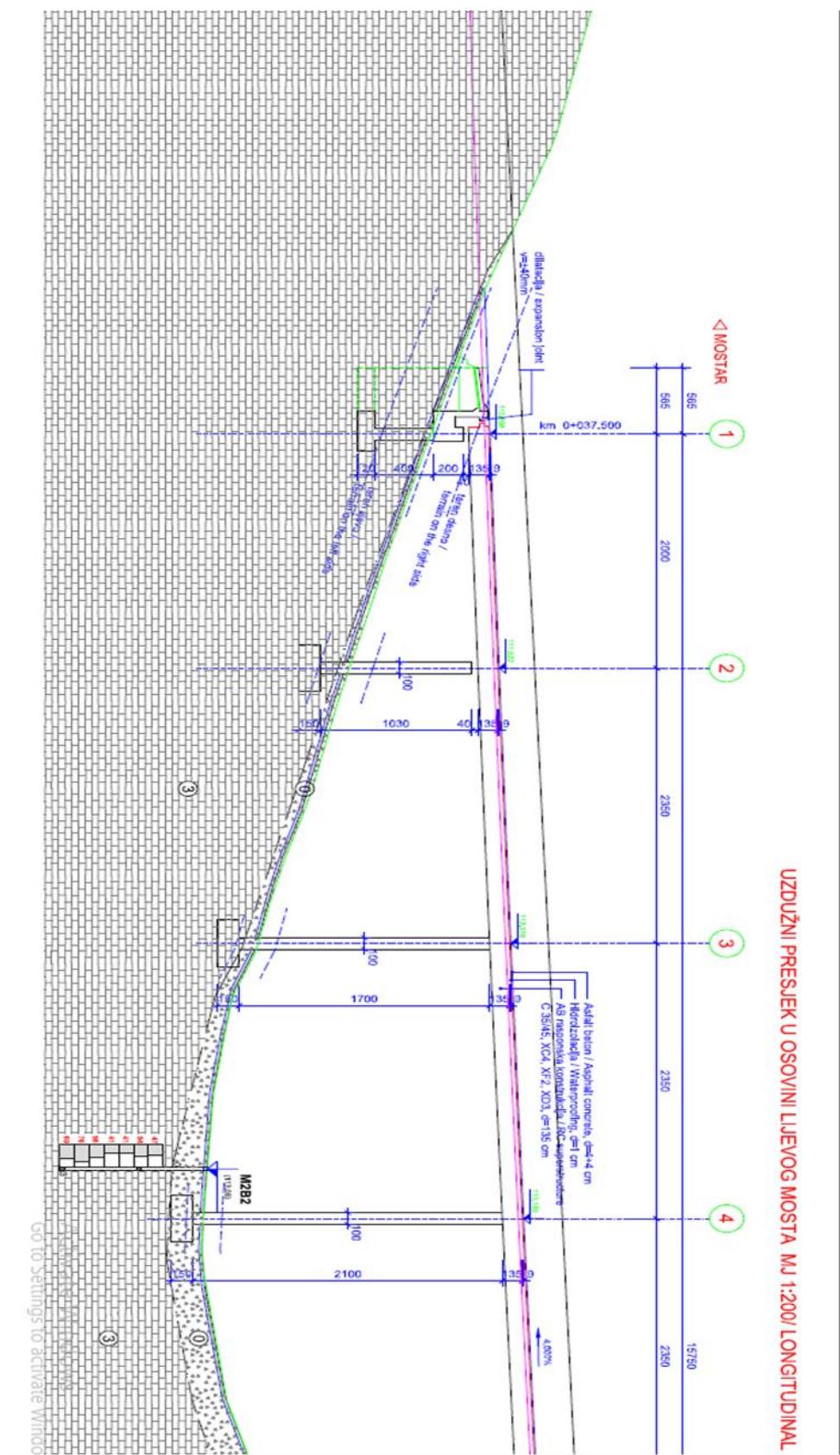
## **9.2. Karakteristični uzdužni presjek u osovini desnog mosta MJ 1: 200**



SECTION THROUGH THE AXIS OF THE RIGHT BRIDGE SCALE 1:200



### 9.3. Karakteristični uzdužni presjek u osovini lijevog mosta MJ 1:200



. SECTION THROUGH THE AXIS OF THE LEFTT BRIDGE SCALE 1:200

