

# "Geotehnički projekt - Dimenzioniranje temelja samca ispod stupa trgovačkog centra LIDL u Metkoviću"

---

Senjak, Mihaela

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*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:123:599163>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*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**

**Mihaela Senjak**

**Split, 2021.**

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

**Geotehnički projekt - Dimenzioniranje temelja samca  
ispod stupa objekta trgovačkog centra LIDL u  
Metkoviću**

**Završni rad**

**Split, 2021.**

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: MIHAELA SENJAK

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083223392

KATEDRA: **Katedra za geotehniku**

PREDMET: MEHANIKA TLA I TEMELJENJE

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: „Geotehnički projekt – Dimenzioniranje temelja samca ispod stupa objekta trgovačkog centra LIDL u Metkoviću“

Opis zadatka: Stup predmetne građevine opterećuje temelj sa vertikalnom silom od 1250 kN i momentom od  $M=375$  kNm (reakcije na ležaju iz statičkog proračuna). Građevina se gradi na terenu sa slojevima čija svojstva su opisana Izvještajem o geotehničkim istražnim radovima, a koji je prilog ovog zadatka.

Dimenzije temelja (širina, dužina i dubina temeljenja) trebaju biti određene za oba granična stanja: Granično stanje nosivosti (nosivost tla ispod temelja) i Granično stanje uporabljivosti (slijeganje).

Dimenzioniranje izvršiti prema zahtjevima HRN EN 1997-1 i pripadajućim nacionalnim aneksima (dimenzioniranje se u RH vrši prema proračunskom pristupu 3 – PP3).

U Splitu, 26. travnja 2021. godine

Voditelj Završnog rada:

prof.dr.sc. P. Mišćević

### ***Sažetak:***

U Metkoviću je predviđena rekonstrukcija i dogradnja TRGOVAČKE GRAĐEVINE „LIDL“ F120 i izgradnja CRPNE STANICE. Za potrebe temeljenja spomenute građevine izvedeni su geotehnički istražni radovi kroz terenske radove i laboratorijska ispitivanja. Uvjeti temeljnog tla na lokaciji dogradnje i rekonstrukcije predviđenog objekta dani su geotehničkim elaboratom. Prikazan je proračun dimenzioniranja temelja samca ispod stupa objekta koje je izvršeno na način da dimenzije temelja zadovoljavaju nosivost tla ispod temelja dobivenu izrazom prema Brinch Hansenu. Analiza slijeganja dobivena je pomoću zadanog modula stišljivosti (za sloj gline), te pomoću rezultata Standardnog Penetracijskog Pokusa (za sloj pijeska). Dobiveni rezultati za granično stanje uporabljivosti (slijeganje) nisu bili unutar dopuštenih granica prema Eurokodu 7 (HRN EN 1997-1). Time je bilo potrebno predopteretiti površinu temelja, nakon čijeg uklanjanja izvesti zamjenski sloj kamenog materijala i na njemu betonirati temelj.

### ***Ključne riječi:***

Slijeganje, zamjenski sloj, plitki temelj, Standardni Penetracijski Pokus

## **Geotechnical project - Dimensioning of the single foundation under the pillar of the LIDL shopping center in Metković**

### ***Abstract:***

In Metković, the reconstruction and extension of the TRADE BUILDING "LIDL" F120 and the construction of the PUMPING STATION are planned. For the needs of the foundation of the mentioned building, geotechnical research works were performed through field works and laboratory tests. The conditions of the foundation soil at the location of the extension and reconstruction of the planned facility are given in the geotechnical study. The calculation of the sizing of the single foundation under the column of the building is presented, which is performed in such a way that the dimensions of the foundation satisfy the bearing capacity of the soil under the foundation obtained by the expression according to Brinch Hansen. Sedimentation analysis was obtained using the default compressibility modulus (for the clay layer), and using the results of the Standard Penetration Test (for the sand layer). The obtained results for the limit state of usability (settlement) were not within the permitted limits according to Eurocode 7 (HRN EN 1997-1). Thus, it was necessary to preload the surface of the foundation, after the removal of which to perform a replacement layer of stone material and to concrete the foundation on it.

### ***Keywords:***

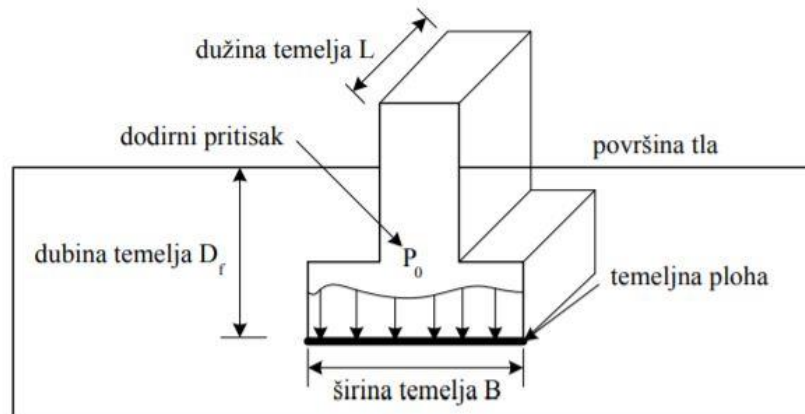
Settlement, replacement layer, shallow foundation, Standard Penetration Test

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1 Opis zadatka .....	2
1.2. Osvrt na geotehničke istražne radove .....	2
1.3. Geotehničke značajke lokacije .....	3
2. DIMENZIONIRANJE TEMELJA ZA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI.....	4
2.1. Uvod u proračun.....	4
2.2. Reduciranje površine temelja .....	7
2.3. Nosivost tla ispod plitkog temelja prema Brinch Hansenu .....	8
2.4. Provjera graničnog stanja nosivosti .....	9
3. PRORAČUN SLIJEGANJA - GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI.....	10
3.1. Proračunska djelovanja oko središnje točke temelja.....	10
3.2. Dodirno naprezanje na temeljnoj plohi .....	11
3.3. Slijeganje gornjeg sloja.....	11
3.4. Slijeganje donjeg sloja .....	12
4. ZAKLJUČAK.....	14
4.1. Proces konsolidacije .....	14
5. LITERATURA.....	17
6. PRILOZI .....	18

## 1. UVOD

Temelj je dio građevine kojim se opterećenja 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. Na slici 1. prikazani su osnovni pojmovi vezani uz temelj.



Slika 1. Osnovni pojmovi kod temelja

Način temeljenja ovisan je o nizu čimbenika koje je potrebno utvrditi prije projektiranja temelja. U protivnom temeljenje može biti ograničavajući čimbenik u ostvarivanju projektirane građevine kako tehnički tako pogotovo ekonomski. 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 bočnim stranicama. Osnovni smisao plitkog temeljenja je da opterećenje s građevine na tlo prenosi isključivo pritiskom temeljne plohe na tlo. Kriterijem nosivosti je predviđeno da postoji odgovarajuća sigurnost od prekoračenja nosivosti ispod temelja. Kriterijem slijeganja se treba osigurati da slijeganje bude unutar dopuštenih granica. Pojedinačni temelji ispod stupova se nazivaju samci. Najčešće se projektiraju i izvode kvadratnih ili pravokutnih osnova. Kvadratne osnove su optimalne u situacijama kada se temeljem samcem prenosi centrično vertikalno opterećenje. Ukoliko je opterećenje ekscentrično ili ukoliko postoje prostorna ograničenja koja onemogućavaju izvođenje kvadratnog temelja, rade se pravokutne osnove.

## **1.1 Opis zadatka**

Predmetna lokacija smještena je u Metkoviću u Splitskoj ulici 57C. Predviđena je rekonstrukcija i dogradnja TRGOVAČKE GRAĐEVINE „LIDL“ F120 i izgradnja CRPNE STANICE. Za potrebe istražnih radova za trgovačku građevinu određena je geotehnička kategorija 2, odnosno rutinski građevinski zahvati s uobičajenim tipovima konstrukcija i temelja u odnosu na tlo.

Građevine se grade na terenu sa slojevima opisanim u Izvještaju o geotehničkim istražnim radovima. Za potrebe temeljenja dana su opterećenja na stupu predmetne građevine koji opterećuje temelj. Dimenzije temelja određene su tako da moraju zadovoljiti uvjete za oba granična stanja, granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Za opisanu geotehničku situaciju, potrebno je izvršiti analizu slijeganja – provjeru graničnog stanja uporabljivosti, odnosno zbog pretpostavke o velikoj stišljivosti tla provjeriti je li izvedbom zamjenskog sloja moguće zadržati diferencijalna slijeganja u dopuštenim granicama prema Eurokodu 7 (HRN EN 1997-1), te po potrebi predložiti i druga moguća rješenja.

Dimenzioniranje armirano betonskog presjeka (dimenzioniranje potrebne armature) nije dio zadatka za završni rad.

## **1.2. Osvrt na geotehničke istražne radove**

Svrha istražnih radova je prikupljanje podataka o karakteristikama lokacije, o općim i mehaničkim svojstvima tla potrebnim za provjeru stabilnosti, čvrstoće i deformabilnosti tla za vrijeme izgradnje i korištenja navedene građevine. Na predmetnoj lokaciji u svibnju 2020. godine provedeni su sljedeći istražni radovi:

- geotehničko sondažno bušenje
- istražni radovi
- laboratorijska ispitivanja

### **Geotehničko sondažno bušenje**

U svrhu izrade geotehničkog elaborata za rekonstrukciju i dogradnju trgovačke građevine uz rekonstrukciju prometnih površina i parkirališta i izgradnju crpne stanice izvedene su dvije bušotine. Bušenje se izvodilo motornom rotacijskom bušilicom s krunom uz kontinuirano jezgriranje. Bušotine su bile zacjevljene kolonom. Tokom bušenja u koherentnim



materijalima uzimani su reprezentativni neporemećeni uzorci za potrebe laboratorijskih ispitivanja mehaničkih svojstava, a za klasifikacijske pokuse korišteni su poremećeni uzorci. Sva izbušena jezgra klasificirana je prema jedinstvenom sustavu klasifikacije tla. Također su *in situ* izmjerene vrijednosti zbijenosti tla standardnim penetracijskim pokusom.

### **Istražni radovi**

Istražni radovi obuhvaćali su geomehničku i geološku propekciju lokacije, geomehnički pregled u determinaciju materijala iz istražnih bušotina te izradu geomehničkih profila bušotina u mjerilu 1:100 (prilog 2 i 3).

### **Laboratorijska ispitivanja**

Laboratorijskim ispitivanjima obuhvaćeni su pokusi za određivanje općih i mehaničkih karakteristika reprezentativnih neporemećenih uzoraka, a to su:

- utvrđivanje granulometrijskog sastava
- prirodni sadržaj vlage i indeks konzistencije
- Atterbergove granice plastičnosti
- edometarski modul stišljivosti
- jednoosna tlačna čvrstoća
- posmična čvrstoća izravnim smicanjem.

Tabela rezultata terenskih i laboratorijskih ispitivanja prikazana je prilogom 4.

### **1.3. Geotehničke značajke lokacije**

Geotehničke značajke lokacije su određene na temelju istražnih bušotina čiji je situacijski položaj prikazan u prilogu 1, a predmetnim izvještajem opisane su dvije geotehničke jedinice. Parametri čvrstoće i deformabilnosti geotehničkih jedinica određeni su na temelju rezultata SPT pokusa i laboratorijskih ispitivanja. Za sloj gline s nešto primjesama pijeska, meke do srednje konzistencije terenskim pokusima (standardni penetracijski pokus, SPT) utvrđen je broj udaraca potrebnih za prodiranje noža u tlo  $N_{nož} = 5$ . Ispitivanjem uzorka iz bušotine dobivena je vrijednost kohezije  $c_k = 3 \text{ kPa}$ , kuta unutarnjeg trenja  $\varphi_k = 28^\circ$  i modula stišljivosti  $M_v = 4 \text{ MPa}$ .

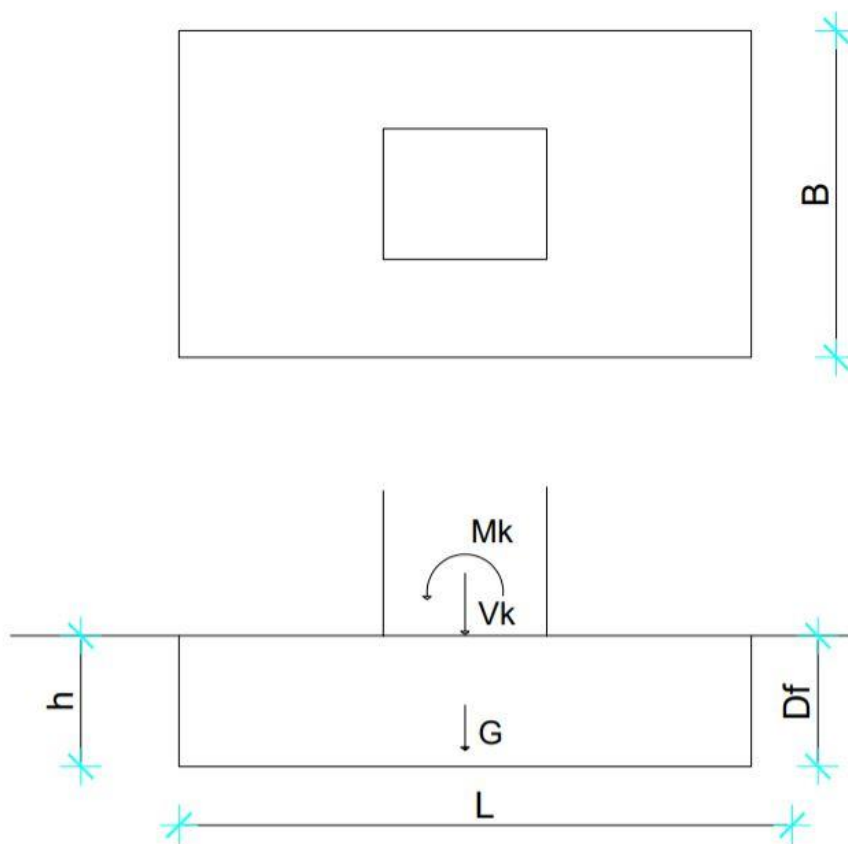
Za sloj pijeska koji je mjestimično u proslojcima na granici praha, srednje do sitnozrnat dobiven je broj udaraca (standardni penetracijski pokus, SPT)  $N_{nož} = 4$ .

## 2. DIMENZIONIRANJE TEMELJA ZA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

### 2.1. Uvod u proračun

Za granično stanje nosivosti (nosivost tla ispod temelja) podrazumijeva se sposobnost tla da podnese opterećenja koja mu putem temelja predaju građevine izgrađene na njegovoj površini. Za potrebe dimenzioniranja, za ovo granično stanje, mora biti zadovoljen uvjet da ne dođe do loma tla ispod temelja. Proračun je proveden prema proračunskom pristupu 3  $[(A_1^d \text{ ili } A_2^e) + M_2 + R_3]$ . Za odabir dimenzija temelja uzeto je da naprezanje (omjer vertikalnog opterećenja i površine temelja) iznosi 250 kPa i iz toga su dobivene sljedeće dimenzije temelja prikazane na slici 2., a za koje je izvršena provjera graničnih stanja:

- visina temelja  $h=0,8$  m
- dubina temeljenja  $D_f=0,8$  m
- dužina temelja  $B=2$  m
- širina temelja  $L=3,5$  m.



Slika 2. Prikaz dimenzija i opterećenja temelja

Opterećenja temelja uglavnom nastaju djelovanjem konstrukcije koju pridržavaju. Ta opterećenja se preko temelja prenose u tlo koje se zbog toga deformira, što pak izaziva pomake, rotacije i deformacije temelja. Zbog zajedničkog među-djelovanja konstrukcije, temelja i tla, u većini slučajeva opterećenje temelja ovisi kako o krutosti konstrukcije, tako i o krutosti temelja i krutosti tla. Drugim riječima, konstrukcija, temelj i tlo čine jedan jedinstveni sustav.

U ovom slučaju stup opterećuje temelj sa momentom (1) uvećanim sa parcijalnim faktorom za trajno nepovoljna djelovanja prema tablici 1. i vertikalnom silom koja se skupa sa vlastitom težinom temelja (2) također uvećava sa parcijalnim faktorom za djelovanja (3). Proračunska djelovanja oko središnje točke temelja iznose :

$$M_d = 1,35 \cdot 375 = 506,2 \text{ kNm} \quad (1)$$

$$G = B \cdot L \cdot h \cdot \gamma_{bet} = 2 \cdot 3,5 \cdot 0,8 \cdot 25 = 140 \text{ kN} \quad (2)$$

$$V_d = 1,35 \cdot (V_k + G) = 1,35 \cdot (1250 + 140) = 1876,5 \text{ kN} \quad (3)$$

Za odabrani profil tla geotehničkim elaboratom dani su sljedeći karakteristični parametri sloja gline :

- jedinična težina  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- suha jedinična težina  $\gamma_d = 16,0 \text{ kN/m}^3$
- kohezija  $c_k = 3 \text{ kPa}$
- kut unutarnjeg trenja  $\varphi_k = 28^\circ$
- modul stišljivosti  $M_v = 4 \text{ MPa}$ ,

Razina podzemne vode definirana je na dubini 2,5 m od površine terena. Prikaz presjeka kroz tlo dano je prilogom 5.

Za zadane parametre kohezije i unutarnjeg kuta trenja dobiju se proračunski parametri  $c_d$  i  $\varphi_d$  :

$$c_d = \frac{c_d'}{\gamma_c'} = \frac{3}{1,25} = 2,4 \text{ kPa}$$

$$\text{tg} \varphi_d = \frac{\text{tg} \varphi_k}{\gamma_\varphi'} \rightarrow \varphi_d = \text{arctg} \left( \frac{\text{tg} 28^\circ}{1,25} \right) = 23,04^\circ$$

Parcijalni faktori  $\gamma_c'$  i  $\gamma_\varphi'$  iščitavaju se također iz tablice 1.

Tablica 1. Parcijalni faktori po skupinama za granična stanja STR I GEO

(1) Parcijalni faktori djelovanja ( $\gamma_F$ ) i učinka djelovanja ( $\gamma_E$ )					
Djelovanja	simbol	A1	A2		
trajna nepovoljna	$\gamma_{G;sup}$	1.35	1.0		
povoljna	$\gamma_{G;inf}$	1.0	1.0		
promjenjiva nepovoljna	$\gamma_Q$	1.5	1.3		
povoljna	$\gamma_Q$	0	0		
(2) Parcijalni faktori svojstva materijala (tlo, stijena) ( $\gamma_M$ )					
Svojstvo	simbol	M1	M2		
tangens efektivnog kuta trenja	$\gamma_\psi$	1.0	1.25		
efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25		
nedrenirana i jednoosna čvrstoća	$\gamma_{cu}$ ili $\gamma_{qu}$	1.0	1.4		
težinska gustoća	$\gamma_\gamma$	1.0	1.0		
(3) Parcijalni faktori otpora ( $\gamma_R$ ):					
Otpornost†	simbol	R1	R2	R3	R4
Plitki temelji nosivost	$\gamma_{R,v}$	1.0	1.4	1.0	-
klizanje	$\gamma_{R,h}$	1.0	1.1	1.0	-
Zabijeni piloti osnovica	$\gamma_b$	1.0	1.2	1.0	1.3
plašt (tlak)	$\gamma_s$	1.0	1.2	1.0	1.3
stopa+plašt (tlak)	$\gamma_t$	1.0	1.2	1.0	1.3
plašt (vlak)	$\gamma_{s,t}$	1.25	1.2	1.0	1.6
Bušeni piloti osnovica	$\gamma_b$	1.25	1.2	1.0	1.6
plašt (tlak)	$\gamma_s$	1.0	1.2	1.0	1.3
stopa+plašt (tlak)	$\gamma_t$	1.15	1.2	1.0	1.5
plašt (vlak)	$\gamma_{s,t}$	1.25	1.2	1.0	1.6
Prednapeta sidra privremena	$\gamma_{a,t}$	1.1	1.35	1.0	1.1
trajna	$\gamma_{a,p}$	1.1	1.5	1.0	1.1
Potporne konstrukcije nosivost	$\gamma_{R,v}$	1.0	1.4	1.0	-
klizanje	$\gamma_{R,h}$	1.0	1.1	1.0	-
otpor tla	$\gamma_{R,e}$	1.0	1.4	1.0	-
Kosine i opća stabilnost otpor tla	$\gamma_{R,e}$	1.0	1.1	1.0	-

## 2.2. Reduciranje površine temelja

Problem nosivosti ekscentrično opterećenog temelja riješeno je na način da jednoliko naprezanje po dijelu temeljne plohe površine  $A'$  mora biti u težištu vertikalne projekcije tog istog dijela temeljne plohe.

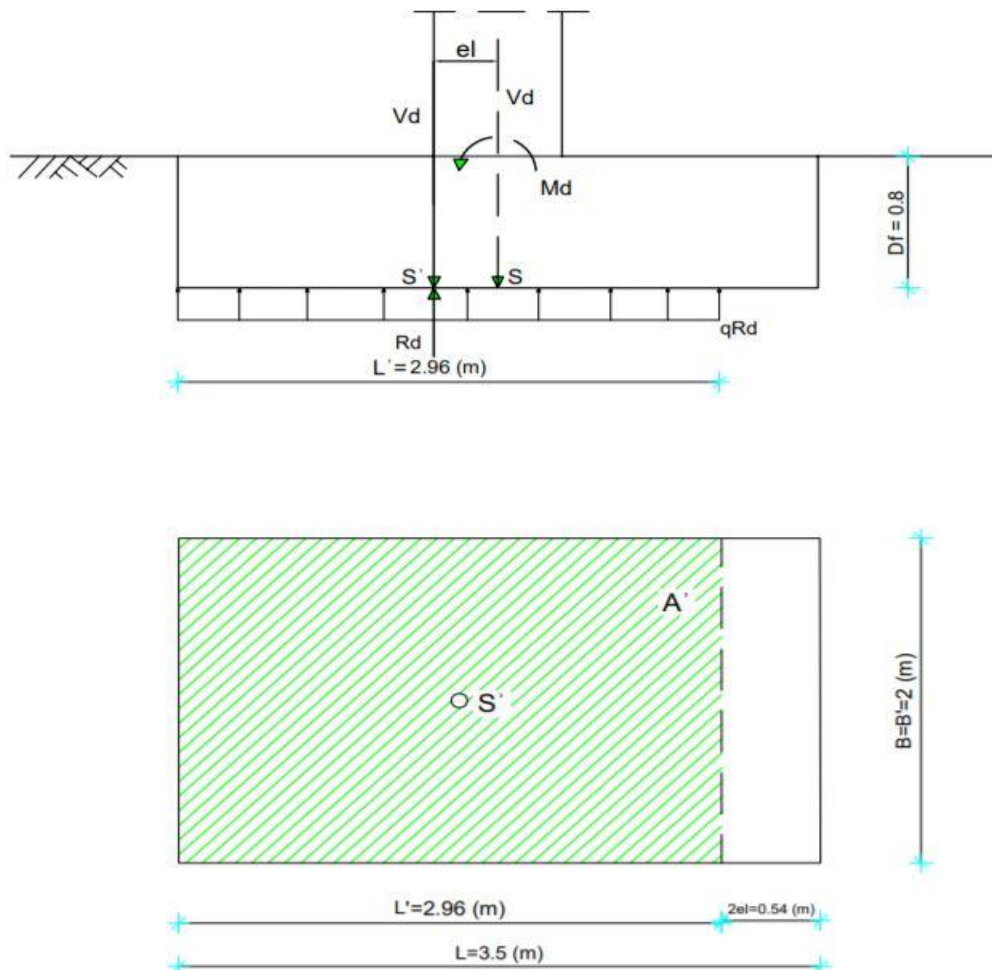
Za slučaj ekscentričnog opterećenja i temelj pravokutnog oblika površina je reducirana na sljedeći način (prikaz *Slika 2.*):

$$e_L = \frac{M_d}{V_d} = \frac{506,2}{1876,5} = 0,27 \text{ m} \leq \frac{L}{6} = 0,5833 \rightarrow \text{ekscentricitet sile } V_d$$

$$L' = L - 2e_L = 3,5 - 2 \cdot 0,27 = 2,96 \text{ m}$$

$$e_B = 0 \rightarrow B = B'$$

$$A' = L' \cdot B' = 2,96 \cdot 2 = 5,92 \text{ m}^2$$



*Slika 2. Reduciranje površine temelja*

### 2.3. Nosivost tla ispod plitkog temelja prema Brinch Hansenu

Izraz prema Brinch Hansenu (4) nastao je na osnovi niza pokusa koji su poslužili kao proširenje Terzaghi-evog izraza za ekscentrično opterećene temelje. U izraz ulaze projektne vrijednosti parametara čvrstoće na smicanje, faktorizirane parcijalnim koeficijentima sigurnosti koje su izračunate u nastavku:

$$q_f = c_d \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + \sigma_{ov}^3 \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot B^3 \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \quad (4)$$

#### -faktori nosivosti

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi_d} \cdot \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi_d}{2} \right) = e^{\pi \tan 23,04^\circ} \cdot \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{23,04^\circ}{2} \right) = 8,7$$

$$N_c = (N_q - 1) \tan \varphi_d = (8,7 - 1) \tan 23,04^\circ = 18,1$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi_d = 2(8,7 - 1) \tan 23,04^\circ = 6,5$$

#### -nagib baze temelja

$$b_c, b_q, b_\gamma = 1,0$$

#### -faktori oblika temelja

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi_d = 1 + \frac{2}{2,96} \cdot \sin 23,04^\circ = 1,264$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} = 1 - 0,3 \cdot \frac{2}{2,96} = 0,80$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = \frac{1,264 \cdot 8,7 - 1}{8,7 - 1} = 1,298$$

#### -faktori nagiba rezultante djelovanja

$$i_q, i_\gamma, i_c = 1,0 \rightarrow \text{za uspravno djelovanje}$$

$$q_f = 2,4 \cdot 18,1 \cdot 1 \cdot 1,298 \cdot 1 + 15,2 \cdot 8,7 \cdot 1 \cdot 1,264 \cdot 1 + 0,5 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 6,5 \cdot 1 \cdot 0,80 \cdot 1$$

$$q_f = 327,54 \text{ kPa}$$

## 2.4. Provjera graničnog stanja nosivosti

Treba biti zadovoljen sljedeći uvjet:

$$E_d \leq R_d$$

$E_d \rightarrow$  učinci proračunskih djelovanja

$R_d \rightarrow$  proračunska otpornost

$$\frac{V_{E,d}}{A} \leq q_{Rd} = \frac{q_f}{\gamma_R}$$

$$\frac{1876,5}{5,92} \leq \frac{327,54}{1}$$

$$316,98 < 327,54 \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA!}$$

-iz uvjeta stabilnosti može se izraziti i stupanj iskorištenosti:

$$U = \frac{E_d}{R_d} \cdot 100\% = \frac{316,98}{327,54} \cdot 100\% = 97\%$$

### 3. PRORAČUN SLIJEGANJA - GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI

Slijeganje površine tla ili temelja je deformacija tla nastala zbog promjene (porasta) naprezanja u vertikalnom smjeru u tlu, te se najveća pozornost posvećuje upravo određivanju vertikalnih pomaka temelja tj. slijeganju. Veličina slijeganja, koju neka građevina može podnijeti bez posljedica naziva se dopušteno slijeganje (uvjet graničnog stanja uporabljivosti). Ono ovisi o ravnomjernosti sastava tla, raspodjeli opterećenja na tlo, statici objekta, konsolidaciji, krutosti konstrukcije kao i namjeni građevine. Analiza slijeganja se provodi kako se ne bi pojavila oštećenja koja bi ugrozila uporabljivost same građevine, stabilnost građevine, izgled građevine ili izazvala kvarove na građevini. Trenutno slijeganje ostvaruje istovremeno s nanošenjem opterećenja, kod slabo propusnih tala izazvano je deformacijama, dok kod nezasićenih i dobro propusnih tala, smanjenjem poroziteta i posmičnim deformacijama. Konsolidacijsko slijeganje nastaje deformacijom tla, a proces je usporen vremenski zbog ograničene brzine istjecanja vode i zraka iz pora tla. Ukupno slijeganje je prema preporuci HRN EN 1997-1:2012 ograničeno na 50mm za standardne građevine. Temelji samci, čiji je odnos širine i debljine takav im je progib od savijanja zanemariv u odnosu na slijeganje, u proračunu se pretpostavlja da su kruti. Zbog pretpostavke o prevelikoj stišljivosti tla na kojem će se graditi objekt, izvodi se zamjenski sloj dobro građuiranog šljunka GrW boljih svojstava u visini 1m neposredno ispod temelja (prilog 6) sa modulom stišljivosti od 60 MPa, a izračunava se ukupno slijeganje koje mora biti unutar dozvoljenih granica.

#### 3.1. Proračunska djelovanja oko središnje točke temelja

Za granično stanje uporabljivosti dobivaju se proračunska djelovanja  $V_d$  i  $M_d$  prema (5) i (6), a parcijalni faktori dobiveni su iz tablice 2. :

$$V_d = 1,0 \cdot (V_k + G) = 1,0(1250 + 140) = 1390 \text{ kN} \quad (5)$$

$$M_d = 1,0 \cdot M_k = 1,0 \cdot 375 = 375 \text{ kNm} \quad (6)$$



Tablica 2. Parcijalni faktori za granično stanje uporabljivosti

Parcijalni faktori djelovanja ( $\gamma$ ) i učinka djelovanja ( $\gamma_E$ ) Djelovanja	simbol	iznos
trajna nepovoljna	$\gamma_{G,dst}$	1.0
povoljna	$\gamma_{G,stab}$	1.0
promjenjiva nepovoljna	$\gamma_{Q,dst}$	1.0
povoljna	$\gamma_{Q,stab}$	1.0

### 3.2. Dodirno naprezanje na temeljnoj plohi

$$p = \frac{V_d}{B \cdot L^2} = \frac{1390}{2 \cdot 2,96} = 234,8 \text{ kPa}$$

- dio dodirnog naprezanja uslijed kojeg se ostvaruje slijeganje :

$$p_0 = p - \gamma \cdot D_f = 234,8 - 20 \cdot 0,8 = 218,8 \text{ kPa}$$

### 3.3. Slijeganje gornjeg sloja

Proračun slijeganja gornjeg sloja koji se sastoji od sloja gline i zamjenskog sloja dobro graduiranog šljunka prikazat ćemo tablično :

z (m)	z' (m)	$\gamma$	$\sigma_{ov}^2$	$\sigma_{ov}^-$	z'/b	$N_1$	$N_s$	$\Delta z$	$\Delta \sigma$	$\Delta \bar{\sigma}$
0,8	-	19,0	15,2	-	0	0,25	1,0	-	218,8	-
1,8	1,0	20,0	35,2	25,2	1,0	0,20	0,80	1,0	175,0	196,9
2,5	1,7	20,0	49,2	42,2	1,7	0,140	0,56	0,7	122,5	148,8
3,0	2,2	16,0	57,2	53,2	2,2	0,112	0,448	0,5	98,0	110,2
9,0	8,2	9,19	112,3	84,8	8,2	0,015	0,06	6,0	13,1	55,5

Pojašnjenje oznaka i pripadajuće formule :

- vertikalno geostatičko efektivno naprezanje  $\sigma_{ov}^2 = \gamma \cdot \Delta z$  (kPa)
- $N_1$  - očitano iz dijagrama Steinbrenner-a (prilog 7) (a=1,75 m ; b=1m ; a/b $\approx$  2)
- $N_s = 4 \cdot N_1$
- dodatno naprezanje  $\Delta \sigma = p_0 \cdot N_s$

Proračun slijeganja gornjeg sloja pomoću modula stišljivosti:

$$s = \sum \frac{\Delta \bar{\sigma}_i}{M_k} \cdot \Delta z_i$$

$$s_G = \frac{196,9}{60000} \cdot 100 + \frac{148,8}{4000} \cdot 70 + \frac{110,2}{4000} \cdot 50 = 4,2 \text{ cm}$$

### 3.4. Slijeganje donjeg sloja

Vrijednost statičkog penetracijskog otpora  $q_c$  :

$$q_c = 400 \cdot N_{60} = 400 \cdot 5 = 2000 \text{ kPa (za nekoherentna tla)}$$

Konstanta stišljivosti :

$$C = 1,5 \cdot \frac{q_c}{\sigma'_{ov}} = 1,5 \cdot \frac{2000}{112,3} = 26,71$$

Izračun slijeganja

$$s_D = \frac{2,3}{C} \left( \log \frac{\sigma'_{ov} + \Delta\sigma}{\sigma'_{ov}} \right) \cdot \Delta z = \frac{2,3}{26,71} \left( \log \frac{84,8 + 55,5}{84,8} \right) \cdot 600 = 10,2 \text{ cm}$$

**Ukupno slijeganje**

$$s = s_G + s_D = 4,2 + 10,2 = 14,4 \text{ cm}$$

**Naginjanje temelja:**

Kut naginjanja temelja oko kraće osi (u smjeru stranice L):

$$\tan \omega_L = \frac{6e_L \cdot s}{L^2} = \frac{6 \cdot 27 \cdot 14,4}{296^2} = 0,0266 \geq 0,005$$

- ne zadovoljava (granična vrijednost  $\omega$  prikazana je u tablici 3. u nastavku)

Temeljem dobivenih rezultata vidljivo je da i sa izvedbom zamjenskog sloja debljine 1m, veličina ukupnog slijeganja je prevelika obzirom na granične vrijednosti slijeganja propisane Eurokodom 7 prema tablici 3.

Tablica 3. Granične vrijednosti slijeganja prema HRN EN 1997-1:2012/NA:2016

Vrsta građevine	Maksimalno ukupno konačno slijeganje $s_{m, \text{lim}}$		Relativno diferencijalno slijeganje		
	Vrijednost [mm]		Definicija	Vrijednost	Oznaka odgovarajućeg kuta
	Meka glina	Pijesak, tvrda glina			
<b>1 Zgrade i konstrukcije</b> kod kojih diferencijalno slijeganje ne prouzročuje dodatna naprezanja i probleme s uporabom konstrukcije i susjednih konstrukcija	120		$\frac{\Delta s}{L}$	0,003	–
				0,006	$\theta$
<b>2 Konstrukcije</b>					
2.1 statički određena konstrukcija	100	100	$\frac{\Delta s}{l}$	0,005	$\theta$
2.2 statički neodređena armiranobetonska konstrukcija	50	60		0,001	$\theta$
2.3 statički neodređena čelična konstrukcija	60	80		0,002	$\theta$
<b>3 Višekatne okvirne građevine</b>					
3.1 armiranobetonski okviri s ispunom od zidnih elemenata	80	60	$\frac{\Delta s_{\text{max}}}{L}$	0,0015	–
3.2 čelični okviri s ispunom od zidnih elemenata	90	70		0,0025	$\theta$
<b>4 Višekatne građevine s nosivim zidovima</b>					
4.1 od omeđenog zida	100	60	$\frac{\Delta s_{\text{max}}}{L}$	0,0015	–
4.2 od predgotovljenih panela velikih dimenzija ili izrađenih od monolitnog betona	80	50		0,0015	$\theta$
<b>5 Armiranobetonske konstrukcije</b>					
5.1 krute armiranobetonske konstrukcije (vodotornjevi, silosi, visoke peći i sl.)	200		$\frac{\Delta s}{B}$	0,003	$\omega$
5.2 dimnjaci do 100 m visine	200			0,005	$\omega$
5.3 dimnjaci viši od 100 m	100			0,002	$\omega$
<b>6 Kranske staze</b>	50		$\frac{\Delta s}{l}$	0,0015 0,0025	$\theta$ $\alpha$
<b>Legenda:</b> s – slijeganje, $\Delta s$ – diferencijalno slijeganje, $\theta$ – kut zaokreta, $\omega$ – naginjanje, $\alpha$ – kutna deformacija					

## 4. ZAKLJUČAK

U nastavku je prikazano racionalnije rješenje za izvedbu temeljenja predviđenog objekta, obzirom da su proračunom dobivena prevelika slijeganja ispod temelja tj. nije zadovoljen uvjet graničnog stanja uporabljivosti. Problem velike vrijednosti očekivanog slijeganja riješen je izvođenjem predopterećenja nasipom, a prije izvođenja temelja. S obzirom kako se na lokaciji nalazi visoka razina podzemne vode potrebno je provjeriti vrijeme u kojem će se ostvariti slijeganje (vrijeme konsolidacije).

### 4.1. Proces konsolidacije

Sam proces konsolidacije je pojava promjene porednog tlaka u tlu zbog pojave dodatnih naprezanja na površini, a funkcija je vremena ( $t$ ) i položaja promatrane točke po dubini ( $z$ ). Slijeganje tla je proces pri kojem, uslijed promjene naprezanja, dolazi do premještanja čestica i smanjenja zapremine šupljina u tlu. Ako su sve šupljine u tlu ispunjene vodom, tada je brzina slijeganja tla vezana za brzinu istjecanja vode iz tla. Da bi se ostvario proces konsolidacije mora doći do istjecanja vode iz pora tla. Pri konsolidacijskom slijeganju se zapremina šupljina u tlu smanjuje za zapreminu istekle vode iz tla. Kako ovaj proces traje u vremenu, zbog sporog istjecanja vode, odnosno male propusnosti tla, naziva se proces konsolidacije. Geotehničkim elaboratom zadan je koeficijent vodopropusnosti za podlogu od prahovitog pijeska,  $k = 4,45 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$ . Računa se vrijeme potrebno za 50% i 80% primarne konsolidacije dvostrano dreniranog sloja pijeska ukupne visine  $H=6\text{m}$ . Koeficijent vremena koji ovisi o početnoj raspodjeli porednog tlaka i uvjetima dreniranja očitava se iz tablice 4.

Tablica 4. Stupanj konsolidacije u odnosu na vremenski faktor za dvostruko dreniranje

U	T <sub>v</sub>
0.0	0.0000
0.10	0.0077
0.20	0.0314
0.30	0.0707
0.40	0.1260
0.50	0.1970
0.60	0.2860
0.70	0.4030
0.80	0.5670
0.90	0.8480
0.99≅	3.000

Očitano iz tablice 4. :

$$Tv_{50\%} = 0,1970$$

$$Tv_{80\%} = 0,5670$$

$$H_s = \frac{H}{2} = \frac{6}{2} = 3m \quad \rightarrow \quad \text{sloj se dvostrano drenira}$$

Koeficijent konsolidacije izračunava se prema formuli (7) :

$$c_v = \frac{k \cdot E_{oed}}{\gamma_w} = \frac{4,45 \cdot 10^{-7} m/s \cdot 6000 kN/m^2}{9,81 kN/m^3} = 2,722 \cdot 10^{-4} m^2/s \quad (7)$$

Vrijeme potrebno za 50% konsolidacije dvostrano dreniranog sloja debljine 6m:

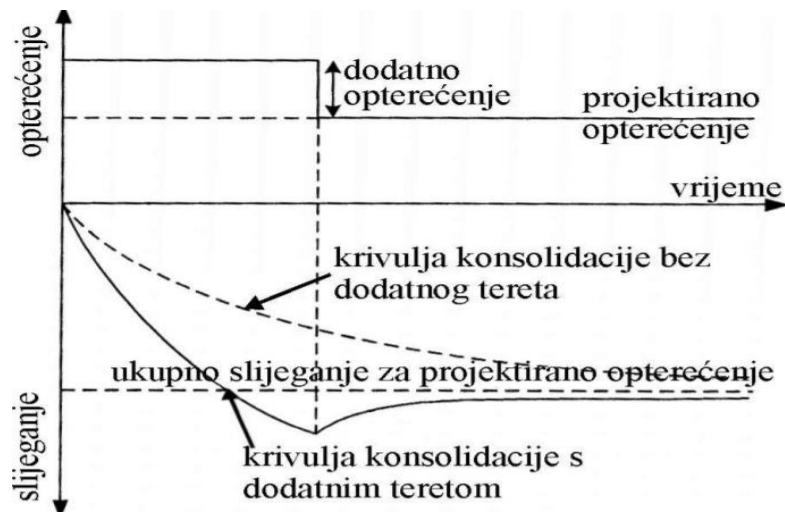
$$t_{s(50\%)} = \frac{Tv_{50\%} \cdot H_s^2}{c_v} = \frac{0,1970 \cdot 3^2}{2,722 \cdot 10^{-4}} = 6513,59 s$$

$$t_{s(50\%)} \approx 2h$$

Vrijeme potrebno za 80% konsolidacije dvostrano dreniranog sloja debljine 6m:

$$t_{s(80\%)} = \frac{Tv_{80\%} \cdot H_s^2}{c_v} = \frac{0,5670 \cdot 3^2}{2,722 \cdot 10^{-4}} = 18747,24 s$$

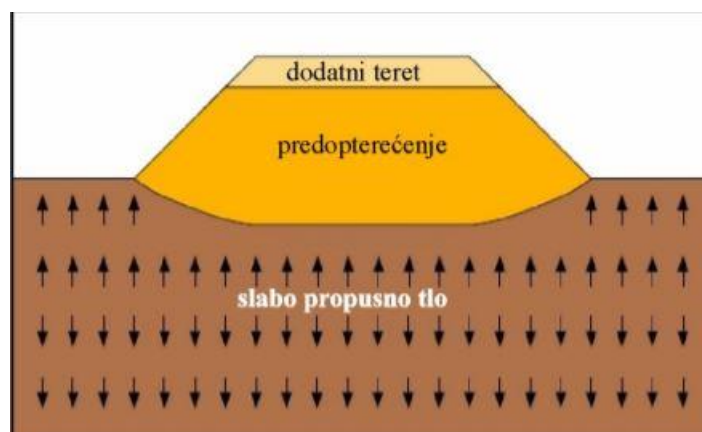
$$t_{s(80\%)} \approx 5h$$



Slika 3. Dijagram slijeganja s učinkom predopterećenja

Obzirom na očekivano kratko vrijeme konsolidacije površinu temelja predopteretiti s nasipom visine 5-6 m što odgovara opterećenju od  $5\text{ m} \times 20\text{ kN/m}^3 = 100\text{ kN/m}^2$ .

Opterećenje od 100 kPa odgovara 50% očekivanog opterećenja od 218,8 kPa, to znači da će se 50% slijeganja ostvariti predopterećenjem. Nakon uklanjanja preopterećenja potrebno je izvesti zamjenski sloj kamenog materijala i na njemu betonirati temelj. Zbog kratkog vremena konsolidacije, preostalih 50% slijeganja će se ostvariti tijekom same gradnje. Za vrijednost 50% očekivanog slijeganja potrebno je predvidjeti nadvišenje objekta. Shema predopterećenja prikazana je na slici 4.



Slika 4. Shema predopterećenja

## 5. LITERATURA

- (1) Rekonstrukcija i dogradnja trgovačke građevine „Lidl“ , F120 Metković uz rekonstrukciju prometnih površina i parkirališta i izgradnju crpne stanice – Geotehnički elaborat; d.o.o. za inženjering, Zagreb, lipanj 2020.
- (2) HRN EN 1997-1:2012/NA:2012; Eurokod 7
- (3) T. Roje Bonacci, "Mehanika tla", Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2017. (četvrto izdanje)
- (4) T. Roje Bonacci, P. Mišćević, "Temeljenje", Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, 1997.
- (5) T. Roje Bonacci, "Duboko temeljenje i poboljšanje temeljnog tla", Građevinskoarhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2010.
- (6) [https://www.grad.unizg.hr/download/repository/G4\\_Plitki\\_temelji](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/G4_Plitki_temelji)
- (7) <https://hr.wikipedia.org/wiki/Temelj>

## **6. PRILOZI**

6.1 Prilog 1 – Situacijski položaj sonde

6.2 Prilog 2 – Sondažni profil bušotine B01

6.3 Prilog 3 – Sondažni profil bušotine B02

6.4 Prilog 4 – Tabela rezultata terenskih i laboratorijskih ispitivanja

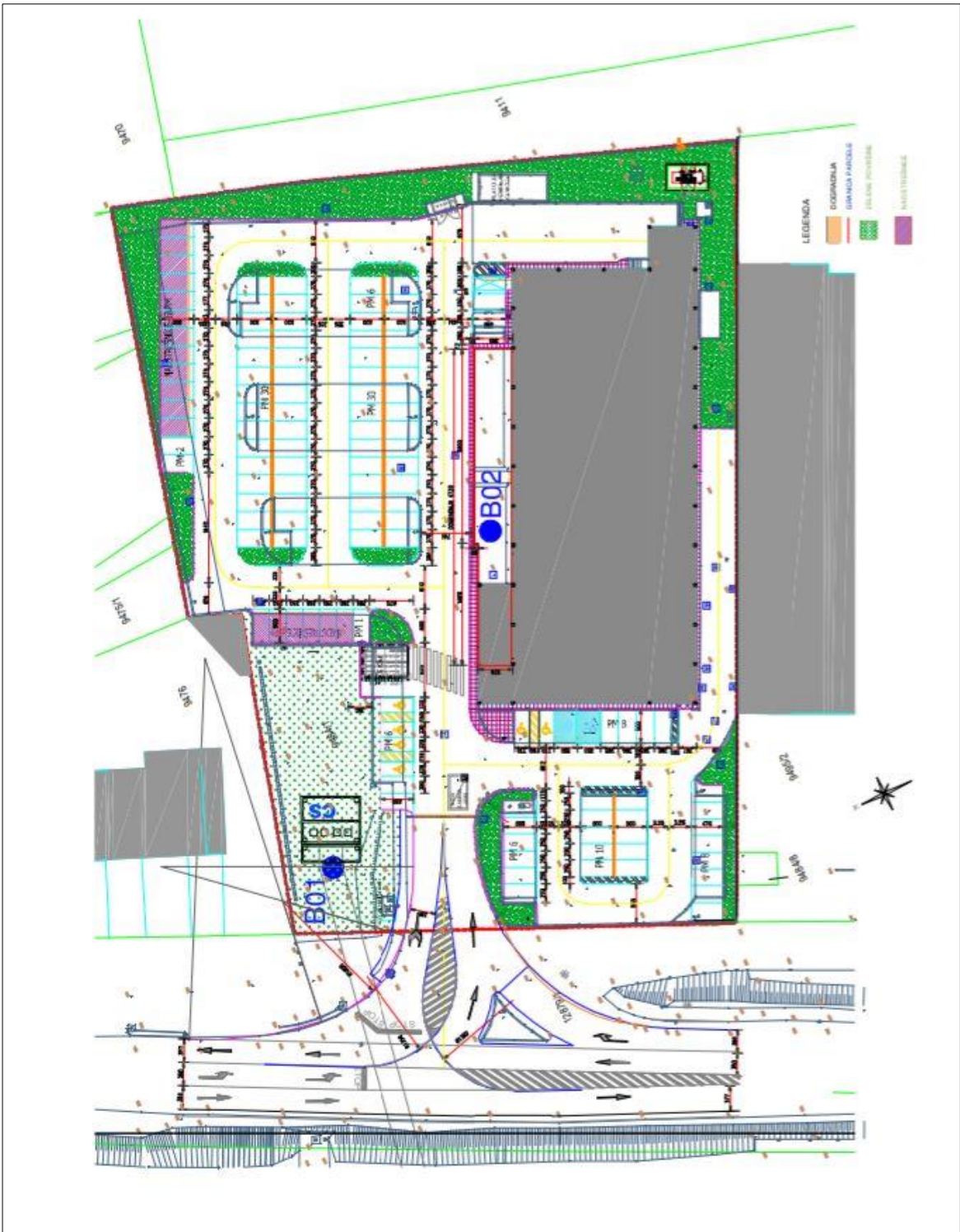
6.5 Prilog 5 – Nacrt temelja sa ucrtanim slojevima tla

6.6 Prilog 6 – Nacrt temelja sa ucrtanim slojevima tla i zamjenskim slojem

6.7 Prilog 7 – Steinbrenner-ov dijagram



## 6.1 Prilog 1 – Situacijski položaj sondi



## 6.2 Prilog 2 – Sondažni profil bušotine B01

DUBINA [m]	OPIS TLA SONDE	B01	SIMBOL	SPP [kPa]	$q_u$ [kPa]	$\tau_f$ [kPa]	$I_c$ [1]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kPa]	$M_v$ [MPa]
0,8	Nasp. 20 cm drobljenog kamena, 1 60 cm pjeska i gline, svijetlo smeđe-crne boje.		N								
1,0				4	70 50 100						
2,0	Glina, anorganska, niskoplastična, meke do srednje konzistencije, pjeskovita, s dubinom sve jače pjeskovito, svijetlo smeđe boje.		CL		30		0,40	20,3	28	3	3:1
3,0											
4,0				2							
5,0				5							
6,0	Pjesak s prekomjerno koherentnih čestica, vrlo rastresit do rastresit, srednje do sitnozrnat, mjestimično na granici praša ML, tamno smeđe boje.		SM								
7,0				4							
8,0											
9,0				5							

### 6.3 Prilog 3 – Sondažni profil bušotine B02

DUBINA [m]	OPIS TLA SONDE	B02	SIMBOL	U O R O N I	SPP [kPa]	$q_u$ [kPa]	$\tau_f$ [kPa]	$I_c$ [1]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	c [kPa]	$M_v$ [MPa]
1, ... 2,4	Betonska kocka 10 cm, tampon drobljenog kamena i pijeska s nešto koherentnih čestica, drap boje.		N									
2, ... 3,3	Glina, anorganska, ntskoplasična, meke do srednje konzistencije, s nešto primjesa pijeska, pri dnu pjeskovitiji, do 2,7 m svjetlo smeđe boje, dublje sive boje.		CL		4							
4, ... 5,3					5							
5, ... 6,0	Pjesak s prekomjerno koherentnih čestica, vrlo rastresit do rastresit, sive boje.		SM		4							
					5							

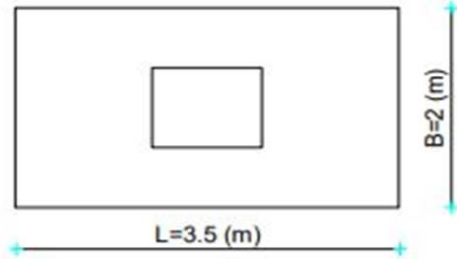
#### 6.4 Prilog 4 – Tabela rezultata terenskih i laboratorijskih ispitivanja

IDIZRAK	SIMBOL	GRANULACIJA				VLAGA I KONZISTENCIJA			JEDINIČNE TEŽINE			ČVRS TOČA		MODUL STIŠLJIVOSTI KOD INKREMENATA VERTIKALNOG NAPREZANJA				TERENSKI POKUSI		OPASKA				
		ŠLJUNAK	PIJESAK	PRAH	GLINA	W <sub>n</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>d</sub>	Y <sub>d</sub>	Y <sub>t</sub>	Y <sub>r</sub>	q <sub>u</sub>	c	M <sub>v</sub>	N	q <sub>sp</sub>						
DUBINA [m]	UC	G	S	M	C	%	%	%	[t]	T	[kNm <sup>-3</sup> ]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]	[m]	[kPa]							
B01	2,0-2,3	N				26.5	32.0	18.4	13.6	0.40	20.3	16.0	27.8	28	3	1.5	3.1	5.0	7.8	1.0	4	75		
B01	3,0-9,0	P	SM	0	73	23	4													1.2		50		
B01																				1.4		100		
B01																				2.2		30		
B01																				3.5	2			
B01																				5.0	5			
B01																				7.0	4			
B01																				9.0	5			
B02	3,3-6,0	P	SMML	0	53	45	2													1.5	4			
B02																				3.0	5			
B02																				5.0	4			
B02																				6.0	5			

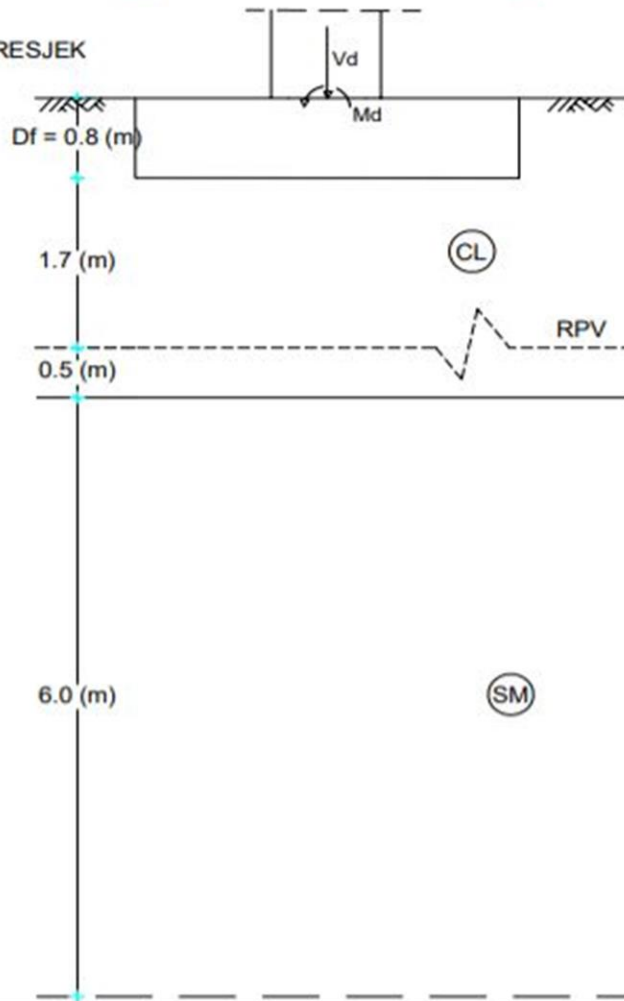


## 6.5 Prilog 5 – Nacrt temelja sa ucrtanim slojevima tla

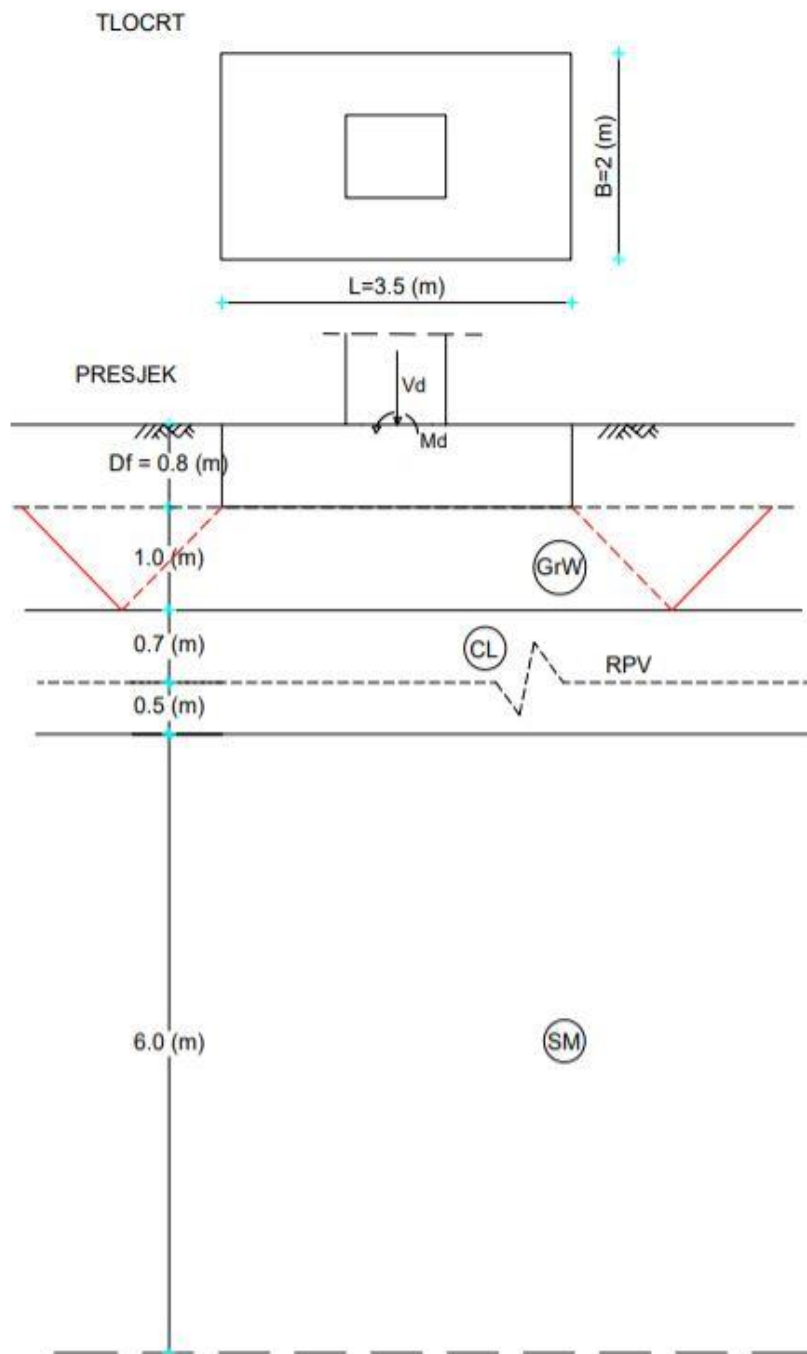
TLOCRT



PRESJEK



## 6.6 Prilog 6 – Nacrt temelja sa ucrtanim slojevima tla i zamjenskim slojem



## 6.7 Prilog 7 – Steinbrenner-ov dijagram

