

**VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA**

**MARIBOR**

**PRIMERJAVA SANACIJE TEMELJNIH TAL NA  
OBMOČJU NAKUPOVALNEGA CENTRA  
CP RAVNE IN TRGOVSKEGA CENTRA  
SLOVENJ GRADEC**

Kandidat: Izidor Ažnik

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Bojan Dapčević, univ. dipl. inž. grad.

Mentorica v podjetju: Bojana Štruc, univ. dipl. gosp. inž.

Lektorica: Mija Čuk, univ. dipl. spl. jez.

Maribor, 2024

# IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Izidor Ažnik sem avtor diplomskega dela z naslovom Primerjava sanacije temeljnih tal na območju nakupovalnega centra CP Ravne in trgovskega centra Slovenj Gradec, ki sem ga napisal pod mentorstvom Bojana Dapčeviča, univ. dipl. inž. grad.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot moje lastne – kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, oktober 2024

Podpis študenta:

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju in predavatelju g. Bojanu Dapčeviću, univ. dipl. inž. grad., za strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela in mentorstvo.

Hvala tudi mentorici v podjetju Bojani Štruc, univ. dipl. gosp. inž., za strokovno pomoč in usmeritve pri izdelavi diplomskega dela ter mentorstvo.

Zahvala gre tudi podjetju Gradbeništvo Kuster, d. o. o., in moji družini, ki so mi omogočili študij in mi bili v podporo skozi celoten študij.

## POVZETEK

Glede na prakso skozi svoje celotno obdobje, ki obsega kar nekaj izkušenj, sem se v diplomskem delu osredotočil na raziskovanje geološke sestave in določitev temeljenja objektov oz. sanacij temeljnih tal. Temeljito sem raziskal in primerjal dva objekta podobnih oz. skoraj enakih trgovskih oz. nakupovalnih centrov. Razlikovala sta se samo v tem, da je bil nakupovalni center CP Ravne samo deloma podkleten in ima skladiščne prostore trgovin v pritličju, medtem ko ima trgovski center Slovenj Gradec deloma skladiščne prostore trgovin v kleti in ima dve stopniščni jedri ter dvigalo, katerega ni v nakupovalnem centru CP Ravne. Objekta stojita na povsem različnih temeljnih tleh; pri objektu nakupovalnega centra CP Ravne je bilo potrebno globoko temeljenje z u-vratnimi armiranobetonskimi piloti premera 100 cm, medtem ko je bil pri nakupovalnem centru Slovenj Gradec teren z minimalno sanacijo pod temelji in s povozno ploščo garažne kleti dovolj nosilen za izvedbo plitvega temeljenja. Kot možnost zamenjave različnih načinov izvedbe sem v posameznih poglavjih raziskoval in proučeval možnosti zamenjave celotnega terena temeljnih tal na objektu nakupovalnega centra CP Ravne, možnost zamenjave armiranobetonskih u-vrtanih pilotov z zabitimi mikro duktilnimi piloti na objektu nakupovalnega centra CP Ravne.

Med raziskovanjem sem v posameznih poglavjih tudi stroškovno, ekonomično in časovno primerjal različne načine izvedbe. Proučeval in primerjal sem stroškovno, ekonomično upravičenost zamenjave celotnega terena temeljnih tal z izvedenimi armiranobetonskimi u-vrtanimi piloti na objektu nakupovalnega centra CP Ravne. Za raziskavo sem uporabil podatke o dejansko izvedenih delih (armiranobetonski u-vrtani piloti) in geološko-geotehnično poročilo za izračune količin popolne zamenjave terena temeljnih tal. Pri izračunih stroškov in količin sem ugotovil, da je popolna zamenjava terena temeljih tal nesmiselna, saj je izvedba globokega temeljenja za cca 43 % cenejša in tudi časovno hitrejša. V drugem delu sem primerjal izvedbo globokega temeljenja na objektu nakupovalnega centra CP Ravne in izvedbo minimalne sanacije temeljnih tal trgovskega centra Slovenj Gradec. Z izračuni sem raziskal in dokazal, da je geološka sestava temeljnih tal ugodnejša in je objekt zgrajen na racionalnejši lokaciji glede stroškovne upravičenosti. Dokazal sem, da je pri objektu na tako ugodnih temeljnih tleh priprava temeljnih tal lahko do petkrat cenejša, če globoko temeljenje ni potrebno. V tretjem delu sem primerjal in opisal možnost zamenjave armiranobetonskih u-vrtanih pilotov z zabitimi mikro duktilnimi piloti na objektu nakupovalnega centra CP Ravne. Na podlagi pridobljenih

podatkov iz statičnega izračuna nosilnosti in geološko-geotehničnega poročila in izvedbe sem določil potrebno število pilotov enakih dolžin, kot so bili izvedeni armiranobetonski u-vrtani piloti. Nosilnost pilota smo razporedili na enako vrednost 7543 kN. Na podlagi izračuna smo ugotovili, da potrebujemo 5,89 kosa za en armiranobetonski u-vrtani pilot in da bi gradnjo podražili za 38 %, vendar pa bi jo s strani časovne izvedbe pospešili za cca 40 % glede na izvedbo u-vrtanih pilotov.

**Ključne besede:** *armiranobetonski u-vrtani piloti, zabiti mikro duktilni piloti, minimalna sanacija temeljnih tal, temeljna tla.*

## **ABSTRACT**

### **COMPARISON OF REHABILITATION OF FOUNDATION FLOORS IN CP RAVNE SHOPPING CENTER AND SLOVENJ GRADEC SHOPPING CENTER**

Based on my practice throughout the entire period, which includes considerable experience, my thesis focuses on researching the geological composition and determining the foundations of buildings and foundation soil rehabilitation. I thoroughly researched and compared two similar buildings and almost identical commercial or shopping centers. They differed only in the fact that the CP Ravne Shopping Center was only partially underground and had storerooms on the ground floor, while the Slovenj Gradec shopping center had storerooms partially in the basement and two stair cores and an elevator, which is not present in the CP Ravne Shopping Center. The two buildings stand on completely different foundations; in the CP Ravne Shopping Center building, a deep foundation was required with U-neck reinforced concrete piles with a diameter of 100 cm, while in the Slovenj Gradec Shopping Center, the terrain with minimal rehabilitation under the foundations and the drive-through slab of the garage basement was sufficiently load-bearing for the implementation of a shallow foundation. To identify options for replacing various implementation methods, individual chapters study the possibility of replacing the complete terrain of the foundation floor in the CP Ravne Shopping Center building and the possibility of replacing reinforced concrete drilled piles with driven micro ductile piles in the CP Ravne Shopping Center building.

In the research, I also compared different implementation methods in terms of cost, economy and time in individual chapters, e.g. studying and comparing the cost and economic feasibility of replacing the entire terrain of the foundation floor with reinforced concrete drilled piles in the CP Ravne Shopping Center building. For the research, I used data on the works actually performed (reinforced concrete and drilled piles) and the geological and geotechnical report to calculate quantities of a complete replacement of the terrain of the foundation soil. When calculating the costs and quantities, I found that the complete replacement of the terrain of the foundation floor is pointless, since deep foundation is cheaper for approx. 43% and also faster. In the second part, I compared deep foundation of the CP Ravne Shopping Center building and minimal renovation of foundations of the Slovenj Gradec Shopping Center. Based on calculations, I researched and proved that the geological composition of the foundation soil is more favorable and the facility is built on a more rational location in terms of cost justification.

I proved that, for a building on such a favorable foundation soil, the preparation of the foundation soil can be up to five times cheaper if deep foundation is not required.

In the third part, I compared and described the possibility of replacing reinforced concrete drilled piles with driven micro ductile piles in the CP Ravne Shopping center building. Based on data obtained from a static calculation of the bearing capacity and the geological and geotechnical report and implementation, I determined the required number of piles with the length of the reinforced concrete and drilled piles. The bearing capacity of the pile was assigned to the same value, i.e. 7,543 kN. Based on a calculation, we found that we needed 5.89 pcs for one reinforced concrete U-drilled pile and that the construction would be 38% more expensive, but we would accelerate it by approx. 40% compared to the implementation of door piles.

**Keywords:** *reinforced concrete U-drilled piles, driven micro ductile piles, minimal foundation soil rehabilitation, foundation soil*

# KAZALO VSEBINE

|          |                                                                                                                                                                                               |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>UVOD .....</b>                                                                                                                                                                             | <b>13</b> |
| 1.1      | OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA .....                                                                                                                                                   | 15        |
| 1.2      | NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE .....                                                                                                                                                         | 16        |
| 1.3      | PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE .....                                                                                                                                                                | 17        |
| 1.4      | UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE .....                                                                                                                                                         | 17        |
| <b>2</b> | <b>DELO V PROJEKTNI SKUPINI .....</b>                                                                                                                                                         | <b>18</b> |
| <b>3</b> | <b>SANACIJA TEMELJNIH TAL POD OBJEKTOM NAKUPOVALNEGA<br/>CENTRA CP RAVNE Z U VRTANIMI AB PILOTI IN SANACIJA TEMELJNIH TAL<br/>NA OBJEKTU TRGOVSKI CENTER SLOVENJ GRADEC .....</b>             | <b>21</b> |
| 3.1      | SANACIJA TEMELJNIH TAL Z U VRTANIMI AB PILOTI NA OBJEKTU NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE .....                                                                                                    | 21        |
| 3.1.1    | <i>Opis objekta in lokacije .....</i>                                                                                                                                                         | <i>21</i> |
| 3.1.2    | <i>Geološka sestava lokacije in predhodne raziskave.....</i>                                                                                                                                  | <i>22</i> |
| 3.1.3    | <i>Priprava terena in izvedba AB u vrtanih pilotov .....</i>                                                                                                                                  | <i>23</i> |
| 3.1.4    | <i>Sanacija temeljnih tal s kompletno zamenjavo materiala na objektu nakupovalni center CP Ravne<br/>29</i>                                                                                   |           |
| 3.2      | SANACIJA Z IZBOLJŠAVO TEMELJNIH TAL NA OBJEKTU TRGOVSKI CENTER SLOVENJ GRADEC .....                                                                                                           | 31        |
| 3.2.1    | <i>Opis objekta in lokacije .....</i>                                                                                                                                                         | <i>31</i> |
| 3.2.2    | <i>Geološka sestava lokacije in predhodne raziskave.....</i>                                                                                                                                  | <i>33</i> |
| 3.2.3    | <i>Priprava terena z min. zamenjavo terena temeljnih tal .....</i>                                                                                                                            | <i>34</i> |
| 3.3      | PRIMERJAVA PRIPRAVE TERENA OZ. IZBOLJŠAVE TEMELJNIH TAL S KOMPLETNO ZAMENJAVO IN U VRTANIMI AB PILOTI<br>NA OBJEKTU NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE .....                                       | 37        |
| 3.3.1    | <i>Izračuni količin in stroškov izvedbe AB u vrtanih pilotov na objektu nakupovalni center CP<br/>Ravne 37</i>                                                                                |           |
| 3.3.2    | <i>Izračuni količin in stroškov za primerjavo- kompletna zamenjava terena na objektu nakupovalni<br/>center CP Ravne .....</i>                                                                | <i>41</i> |
| 3.3.3    | <i>Primerjava in analiziranje.....</i>                                                                                                                                                        | <i>44</i> |
| 3.4      | PRIMERJAVA PRIPRAVE TERENA OZ. IZBOLJŠAVE TEMELJNIH TAL NA OBJEKTU NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE IN<br>OBJEKTU TRGOVSKI CENTER SLOVENJ GRADEC.....                                            | 46        |
| 3.4.1    | <i>Izračuni količin in stroškov za primerjavo min. zamenjave terena na objektu trgovski center<br/>Slovenj Gradec.....</i>                                                                    | <i>47</i> |
| 3.4.2    | <i>Prikaz rezultatov tabel za: izdelava AB u vrtanih pilotov na objektu nakupovalnega centra CP<br/>Ravne in min. izboljšave temeljnih tal na objektu trgovski center Slovenj Gradec.....</i> | <i>50</i> |
| 3.4.3    | <i>Primerjava in analiziranje izračunov.....</i>                                                                                                                                              | <i>52</i> |

|          |                                                                                                                                                                                                                             |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>SANACIJA TEMELJNIH TAL Z ZABITIMI MIKRO DUKTILNIMI PILOTI...</b>                                                                                                                                                         | <b>54</b> |
| 4.1      | SANACIJA TEMELJNIH TAL Z ZABITIMI MIKRO DUKTILNIMI PILOTI.....                                                                                                                                                              | 54        |
| 4.1.1    | <i>Splošno o mikro duktilnih pilotih.....</i>                                                                                                                                                                               | 54        |
| 4.1.2    | <i>Temeljenje objektov.....</i>                                                                                                                                                                                             | 54        |
| 4.1.3    | <i>Temeljenje montažnih objektov.....</i>                                                                                                                                                                                   | 55        |
| 4.1.4    | <i>Temeljenje montažnih objektov.....</i>                                                                                                                                                                                   | 55        |
| 4.1.5    | <i>Tehnologija izvedbe.....</i>                                                                                                                                                                                             | 56        |
| 4.1.6    | <i>Prednosti zabijanja pilotov iz duktilne zlitine: .....</i>                                                                                                                                                               | 58        |
| 4.1.7    | <i>Namen ter vgradnja.....</i>                                                                                                                                                                                              | 58        |
| 4.1.8    | <i>TEHNIČNI PODATKI.....</i>                                                                                                                                                                                                | 60        |
| 4.1.9    | <i>POSTOPEK ZABIJANJA PILOTOV IZ DUKTILNE LITINE.....</i>                                                                                                                                                                   | 61        |
| 4.1.10   | <i>Meritev in analiza nosilnosti pilota .....</i>                                                                                                                                                                           | 63        |
| 4.2      | PRIMERJAVA ZAMENJAVE TEHNOLOGIJE IZVEDBE AB U VRTANIH PILOTOV Z IZVEDBO ZABITITIH MIKRO DUKTILNIH PILOTOV NA OBJEKTU NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE .....                                                                      | 64        |
| 4.2.1    | <i>Izračuni količin in stroškov izvedbe mikro zabitih duktilnih pilotov na objektu nakupovalni center CP Ravne .....</i>                                                                                                    | 65        |
| 4.2.2    | <i>Primerjava in analiziranje izračunov mikro zabitih duktilnih pilotov in u vrtanih AB pilotov .....</i>                                                                                                                   | 68        |
| 4.3      | H4 – DODATNA HIPOTEZA – BTEC 2024 »UMETNA INTELIGENCA IN NOVE TEHNOLOGIJE« -SANACIJA TERENA OZ. TEMELJENJE POD OBJEKTOM S TEHNOLOGIJO MIKRO ZABITIH DUKTILNIH PILOTOV- 30 % HITREJŠA OD IZVEDBE Z U VRTANIMI AB PILOTI..... | 69        |
| <b>5</b> | <b>SKLEP .....</b>                                                                                                                                                                                                          | <b>73</b> |
| <b>6</b> | <b>VIRI IN LITERATURA .....</b>                                                                                                                                                                                             | <b>75</b> |
| <b>7</b> | <b>PRILOGE.....</b>                                                                                                                                                                                                         | <b>77</b> |

# KAZALO SLIK

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SLIKA 1: GEOLOŠKI- GEOTEHNIČNI PROFIL NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE.....                                                        | 19 |
| SLIKA 2: GEOLOŠKI- GEOTEHNIČNI PROFIL TRGOVSKI CENTER SLOVENJ GRADEC .....                                                    | 19 |
| SLIKA 3: 3D MODEL GRADBENIH KONSTRUKCIJ NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE.....                                                      | 22 |
| SLIKA 4:SENČEN TEREN(LEVO) IN TOPOGRAFSKA (DESN) Z OZNAČENO NOVOGRADNJO (SEVER) – NAKUPOVALNI<br>CENTER CP RAVNE .....        | 23 |
| SLIKA 5: VIŠINE IZVEDBE DELOVNIH PLATOJEV NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE .....                                                   | 23 |
| SLIKA 6:UVODNA CEV OZ. ZAČETNA CEV ZA CEVITEV NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE.....                                                | 24 |
| SLIKA 7: VRTANJE PILOTOV IN VARJENJE ARMATURNIH KOŠEV NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE .....                                       | 25 |
| SLIKA 8: PRIMER NAČRTA PZI ARMATURNEGA KOŠA PILOTA NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE.....                                           | 26 |
| SLIKA 9: KONTRAKTORSKE CEVI IN LIJAK NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE .....                                                        | 27 |
| SLIKA 10: BETONIRANJE PILOTOV IN IZVLEK JEKLENE OPAŽNE CEVI NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE.....                                  | 27 |
| SLIKA 11: FOTOGRAFIJA ODKOPANIH IZVEDENIH PILOTOV/ ODBITI DEL NEZDRAVEGA BETONA PILOTA<br>(NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE )..... | 28 |
| SLIKA 12: DINAMIČNI OBREMENILNI TEST (NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE).....                                                       | 28 |
| SLIKA 13:POZICIJSKI NAČRT IZVEDENIH PILOTOV-PID (NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE).....                                            | 29 |
| SLIKA 14: SLIKA KONČNEGA OBJEKTA TRGOVSKI CENTER SLOVENJ GRADEC.....                                                          | 31 |
| SLIKA 15: 3D MODEL TRGOVSKI CENTER SLOVENJ GRADEC .....                                                                       | 32 |
| SLIKA 16:FOTOGRAFIJA KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI- TRGOVSKI CENTER SLOVENJ GRADEC .....                                            | 32 |
| SLIKA 17: TOPOGRAFSKA KARTA (LEVO) IN SENČEN DEL (DESN) Z OZNAČENO NOVOGRADNJO)/TRGOVSKI CENTER<br>SLOVENJ GRADEC.....        | 33 |
| SLIKA 18:SITUACIJA NOVOGRADNJE LOKACIJA IZVEDENIH GEOTEHNIČNIH VRTIN TRGOVSKI CENTER SLOVENJ<br>GRADEC.....                   | 34 |
| SLIKA 19:FOTOGRAFIJA IZDELAVE SPODNJEGA PLATOJA NA KOTO 416,03 M N.V. TRGOVSKI CENTER SLOVENJ<br>GRADEC.....                  | 35 |
| SLIKA 20:FOTOGRAFIJA SANACIJE TEMELJNIH TAL NAKUPOVALNI CENTER SLOVENJ GRADEC .....                                           | 36 |
| SLIKA 21: TEMELJENJE OBJEKTOV .....                                                                                           | 54 |
| SLIKA 22:TEMELJENJE MONTAŽNIH OBJEKTOV .....                                                                                  | 55 |
| SLIKA 23: TEMELJENJE MONTAŽNIH OBJEKTOV Z RAZLIČNIMI NAGIBI ZABIJANJA.....                                                    | 55 |
| SLIKA 24: VRSTE GLAV PILOTA .....                                                                                             | 57 |
| SLIKA 25: ZABIJANJE PILOTA Z SPROTNIM INJEKTIRANJEM .....                                                                     | 60 |
| SLIKA 26: ZABIJANJE PILOTOV (VERTIKALNO IN POD NAKLONOM).....                                                                 | 62 |
| SLIKA 27:TEST NOSILNOSTI PILOTOV .....                                                                                        | 62 |
| SLIKA 28: IZVEDENI PILOTI .....                                                                                               | 63 |
| SLIKA 29:IZVEDBA MERITEV IN INSTRUMENTACIJA PILOTA.....                                                                       | 64 |
| SLIKA 30: LESENI ZABITI PILOTI .....                                                                                          | 70 |
| SLIKA 31: ARMIRANO BETONSKI ZABITI PILOTI.....                                                                                | 70 |
| SLIKA 32:NASTAVEK ZA SPAJANJE MIKRO DUKTILNEGA PILOTA .....                                                                   | 71 |

## KAZALO TABEL

|                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1: KOLIČINE IZVEDENIH AB U-VRTANIH PILOTOV ZA NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE .....                                                                                                          | 37 |
| TABELA 2: IZRAČUN STROŠKOV IZDELAVE AB U-VRTANIH PILOTOV ZA NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE .....                                                                                                   | 39 |
| TABELA 3: KOLIČINE PREDVIDENE IZVEDBE ZAMENJAVE TEMELJNIH TAL NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE .....                                                                                               | 41 |
| TABELA 4: IZRAČUN PREDVIDENIH STROŠKOV ZAMENJAVE TEMELJNIH TAL NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE .....                                                                                              | 43 |
| TABELA 5: PRIMERJAVA STROŠKOV AB U-VRTANIH PILOTOV IN POPOLNE ZAMENJAVE MATERIALA TEMELJNIH TAL NA OBJEKTU NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE .....                                                  | 44 |
| TABELA 6: IZRAČUN KOLIČIN IZVEDENE SANACIJE TEMELJNIH TAL TRGOVSKEGA CENTRA SLOVENJ GRADEC .....                                                                                                | 47 |
| TABELA 7: IZRAČUN STROŠKOV SANACIJE TEMELJNIH TAL TRGOVSKEGA CENTRA SLOVENJ GRADEC .....                                                                                                        | 49 |
| TABELA 8: PRIKAZ CENE NA M <sup>2</sup> ZA OBJEKT NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE .....                                                                                                           | 50 |
| TABELA 9: PRIKAZ CENE NA M <sup>2</sup> ZA OBJEKT TRGOVSKEGA CENTRA SLOVENJ GRADEC .....                                                                                                        | 50 |
| TABELA 10: PRIMERJAVA STROŠKOV AB U-VRTANIH PILOTOV NA OBJEKTU NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE IN MINIMALNO ZAMENJAVO OZ. SANACIJO TEMELJNIH TAL NA OBJEKTU TRGOVSKEGA CENTRA SLOVENJ GRADEC..... | 52 |
| TABELA 11: NOSILNOST PILOTOV.....                                                                                                                                                               | 57 |
| TABELA 12: NOTRANJA TLAČNA NOSILNOST: DOPUSTNE OBTEŽBE (kN).....                                                                                                                                | 58 |
| TABELA 13: OSNOVNI TEHNIČNI PODATKI O ZABIJALU .....                                                                                                                                            | 61 |
| TABELA 14: OSNOVNI TEHNIČNI PODATKI O ZABIJALU SLP PP2T .....                                                                                                                                   | 64 |
| TABELA 15: IZRAČUN POTREBNIH KOLIČIN MIKRO DUKTILNIH PILOTOV V PRIMERU ZAMENJAVE NA OBJEKTU NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE .....                                                                 | 65 |
| TABELA 16: IZRAČUN STROŠKOV V PRIMERU ZAMENJAVE MIKRO DUKTILNIH PILOTOV NA OBJEKTU NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE .....                                                                          | 66 |
| TABELA 17: STROŠKOVNA PRIMERJAVA AB U-VRTANIH PILOTOV IN DUKTILNIH PILOTOV NA PRIMERU OBJEKTA NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE .....                                                               | 68 |
| TABELA 18: ČASOVNA PRIMERJAVA AB U-VRTANIH PILOTOV IN DUKTILNIH PILOTOV NA PRIMERU OBJEKTA NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE .....                                                                  | 72 |

## KAZALO GRAFIKONOV

|                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| GRAFIKON 1: PRIMERJAVA STROŠKOV SANACIJE OZ. IZBOLJŠAVE TEMELJNIH TAL MED AB U VRTANIMI PILOTI NA OBJEKTU IN KOMPLETNO ZAMENJAVO TERENA TEMELJNIH TAL NA.....                                                                     | 45 |
| GRAFIKON 2: PRIMERJAVA STROŠKOV SANACIJE OZ. IZBOLJŠAVE TEMELJNIH TAL MED AB U VRTANIMI PILOTI NA OBJEKTU NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE IN MIN. ZAMENJAVO OZ. SANACIJO TEMELJNIH TAL NA OBJEKTU TRGOVSKI CENTER SLOVENJ GRADEC..... | 51 |

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| GRAFIKON 3: PRIMERJAVA STROŠKOV SANACIJE OZ. IZBOLJŠAVE TEMELJNIH TAL MED AB U VRTANIMI PILOTI IN<br>ZABITIMI DUKTILNIMI PILOTI NA OBJEKTU NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE ..... | 67 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

# 1 UVOD

V praksi se soočamo z različnimi pristopi k pripravi ali sanaciji temeljnih tal zaradi raznolikih geoloških sestav terenov. Ugotavljam, da je pri vsakem projektu pomemben čas gradnje, ki je odvisen od projekta do projekta. Pri tem so zelo pomembna predhodna raziskovanja in vhodni podatki pri projektiranju. Geološka sestava in predhodne preiskave temeljnih tal so eden ključnih podatkov pred vsakim projektiranjem in je pomemben podatek pri odločitvi investitorja za gradnjo, saj v primeru neugodne geološke sestave projekt v celoti zelo podraži.

Temeljna tla imajo ključen vpliv na stabilnost objekta, saj prek temeljev prenašajo celotno obremenitev. Geotehnični inženirji na podlagi obtežbenih lastnosti posameznih objektov in značilnosti tal načrtujejo temeljne konstrukcije. V praksi geotehnični inženir najprej oceni lokacijo in velikost obremenitev ter pripravi načrt za raziskovanje temeljnih tal pod površino. Na podlagi terenskih in laboratorijskih preiskav določi parametre tal in oceni primernost temeljenja, pri čemer išče najvarnejšo in najbolj ekonomično rešitev.

Za varno in ustrezno temeljenje so ključni trije pogoji: nosilnost, gibanje in posedanje temeljnih tal pod temelji. Nosilnost temeljnih tal pomeni, da lahko tla prenesejo vse obremenitve objekta. Posedanje tal se pojavlja pri vseh vrstah temeljenja in je odvisno od lastnosti tal, velikosti obremenitev in površine, na katero se te obremenitve prenašajo. Pri manj obremenjenih objektih in kamnitih tleh so posedki skoraj zanemarljivi, medtem ko moramo biti pri objektih z večjimi obremenitvami na mehkejših tleh še posebej pozorni.

Vsi ti dejavniki so pomembni pri izbiri vrste temeljenja. Na tleh z dobro nosilnostjo so rešitve enostavnejše, hitrejše in bolj ekonomične, kar vpliva tudi na čas gradnje. Pri takih pogojih se lahko odločimo za plitvo temeljenje, kot so točkovni ali pasovni temelji, temeljne plošče ali temeljni nosilci (grede). Če raziskave pokažejo, da so dobro nosilna tla na manjši globini in je potrebna le minimalna zamenjava materiala, se izvede plitvo temeljenje s sanacijsko blazino pod temelji.

Pri objektih z velikimi obremenitvami in slabo nosilnimi temeljnimi tlemi, kjer sanacija ni izvedljiva ali pa so stroški preveliki ter bi izvedba povzročila časovne zamude zaradi obsežnosti del, se izbere globoko temeljenje. V praksi obstaja več vrst globokega temeljenja, ki se izvajajo na različne načine, med drugim:

- zabiti piloti,
- piloti, izvedeni na licu mesta,
- vodnjaki,
- pogreznjeni vodnjaki,
- kesoni.

Pri izdelavi pilotov se uporabljajo različni materiali, kot so les, beton, armirani beton, jeklo, prednapeti beton, duktilna litina, kompozitni materiali in plastika. Za zabite pilote se pogosto uporabljajo materiali, kot so les, jeklo, duktilna litina v kombinaciji z betonom, armirani beton in prednapeti beton. Ti piloti se lahko izvajajo posamezno ali v skupinah (snopih), da prenašajo večje obremenitve.

Piloti, izdelani na mestu objekta, se izvajajo z različnimi tehnikami, pri čemer se uporabljata beton in armatura. Med najpogostejšimi metodami so benotto tehnologija, vrtalna tehnologija (u-vrtani piloti) in tehnologija CFA (kontinuirana spirala).

S pomočjo globokega temeljenja prenašamo obtežbe na globlje plasti tal, kjer so temeljna tla bolj nosilna in kompaktna. Piloti so na voljo v različnih dimenzijah; zabiti piloti so običajno manjših prerezov, medtem ko so piloti, grajeni na licu mesta, večjih prerezov. Kadar se za globoko temeljenje uporabljajo izjemno veliki prerezi, se pogosto izberejo vodnjaki.

## **1.1 Opis področja in opredelitev problema**

Na podlagi lastnih izkušenj pri reševanju problematike izboljšave temeljnih tal in izvedbe globokega temeljenja zaradi slabo nosilnih tal, ki sem jih izvajal v sodelovanju s podjetjem Gradbeništvo Kuster, d. o. o., na projektih izgradnje nakupovalnega centra CP Ravne in trgovskega centra Slovenj Gradec, sem se odločil za temo diplomskega dela. V diplomskem delu bom raziskoval različne tehnologije izvedbe globokega temeljenja in sanacije temeljnih tal ter jih medsebojno primerjal.

Moj cilj je raziskati, kako v najkrajšem možnem času izvesti in poenostaviti proces globokega temeljenja ter primerjati različne metode. Glede na to, da je pri gradnji trgovskih in nakupovalnih centrov ključnega pomena čas izvedbe, želim v delu predstaviti tudi optimizacijo časa, s poudarkom na tem, kako z izbiro ustrezne tehnologije prihraniti čas gradnje.

Poleg tega bom raziskal in primerjal ekonomsko upravičenost glede na lokacijo, geološko sestavo tal ter razmere med nakupovalnim centrom CP Ravne in trgovskim centrom Slovenj Gradec.

V diplomskem delu bom po sklopih podrobneje opisal:

- sanacijo temeljnih tal z u-vrtanimi AB piloti na objektu nakupovalnega centra CP Ravne,
- sanacijo temeljnih tal s popolno zamenjavo materiala na objektu nakupovalnega centra CP Ravne,
- sanacijo z izboljšavo temeljnih tal na objektu trgovskega centra Slovenj Gradec,
- primerjavo priprave terena oz. izboljšave temeljnih tal s popolno zamenjavo in u-vrtanimi AB piloti na objektu nakupovalnega centra CP Ravne,
- primerjavo priprave terena oz. izboljšave temeljnih tal na objektu nakupovalnega centra CP Ravne in objektu trgovskega centra Slovenj Gradec.

Za temo diplomskega dela sem se odločil, ker želim raziskati in primerjati različne geološke sestave temeljnih tal pod objekti na različnih lokacijah, kjer smo izvajali gradbene projekte. V delu bom prikazal, kako pomembno vlogo imajo predhodne geološke raziskave že v začetni fazi projektiranja, saj te bistveno vplivajo na odločitev investitorja glede priprave temeljnih tal, zlasti v kontekstu vrednosti investicije. Prav tako bom proučil, kdaj je zaradi slabo nosilnih tal nujno potrebno globoko temeljenje.

## **1.2 Namen, cilji in osnovne trditve**

Z raziskovanjem, ki temelji na projektih, ki smo jih izvedli, želim prikazati časovno in stroškovno odvisnost izvedbe globokega temeljenja glede na uporabljeno tehnologijo oziroma vrsto temeljenja (npr. AB u-vrtani piloti in zabiti mikro duktilni piloti). Pri tem bom poudaril pomembnost izbire lokacije glede na geološke sestave temeljnih tal, saj to neposredno vpliva na ekonomsko upravičenost investicije. Z raziskovanjem in primerjanjem me zanima, pri katerih vrstah pilotov je smiselno in ekonomsko upravičeno zamenjati tehnologijo, če vsi parametri in zahteve to omogočajo.

Osnovni cilj diplomskega dela je pokazati, kako z različnimi kombinacijami tehnologij izvesti globoko temeljenje čim hitreje in stroškovno najceneje, kadar plitvo temeljenje (npr. minimalna sanacija z zamenjavo temeljnih tal) zaradi slabo nosilnih tal ni izvedljivo.

Zaradi vseh navedenih problemov z izvedbo priprave temeljnih tal oz. izvedbo globokega temeljenja, s katerimi smo se srečevali pri izvedbi omenjenih objektov, sem si v ta namen, da raziščem, postavil naslednje hipoteze:

**H1:** Izvedba globokega temeljenja za sanacijo oz. izboljšavo temeljnih tal na objektu nakupovalnega centra CP Ravne je 40 % cenejša od popolne zamenjave materiala temeljnih tal.

**H2:** Lokacija in geološke sestave temeljnih tal na območju trgovskega centra Slovenj Gradec so ekonomsko bolj upravičene kot na objektu nakupovalnega centra CP Ravne, ker je petkrat cenejša priprava temeljnih tal na objektu v Slovenj Gradcu.

**H3:** Sanacija terena temeljnih tal na območju nakupovalnega centra CP Ravne s tehnologijo mikro zabitih duktilnih pilotov je 20 % cenejša od AB u-vrtanih pilotov.

**H4:** Dodatna hipoteza – BTEC 2024 »Umetna inteligenca in nove tehnologije«: Sanacija terena oz. temeljenje pod objektom s tehnologijo mikro zabitih duktilnih pilotov je 30 % hitrejše od izvedbe z u-vrtanimi AB piloti.

### **1.3 Predpostavke in omejitve**

Pri izdelavi diplomskega dela sem se soočil z omejitvijo pri pridobivanju literature in določenih podatkov za izračune glede izvedbe zabitih mikro duktilnih pilotov. Ta tehnologija je v Sloveniji še dokaj nova in manj pogosta, saj se šele uveljavlja v praksi, kar je vplivalo na dostopnost relevantnih virov in podatkov.

### **1.4 Uporabljene raziskovalne metode**

Za izdelavo diplomskega dela sem uporabil različne raziskovalne metode in dokumentacijo, kot so:

- PZI dokumentacija za nakupovalni center CP Ravne (PZI načrti gradbenih konstrukcij, PRO MARO, d. o. o.),
- Geološko-geotehnična poročila za nakupovalni center CP Ravne (PRO MARO, d. o. o.),
- PZI dokumentacija za trgovski center Slovenj Gradec (IB TECHNO, d. o. o.),
- Geološko-geotehnična poročila za trgovski center Slovenj Gradec (PRO MARO, d. o. o.).

Geološko-geotehnična poročila za nakupovalni center CP Ravne sem uporabil za raziskovanje primerjav in izračun količin izkopov pri izboljšavi temeljnih tal ter določitev dolžin pilotov za izvedbo zabitih mikro duktilnih pilotov.

PZI dokumentacijo za nakupovalni center CP Ravne sem uporabil za pridobitev podatkov o statičnih izračunih nosilnosti pilotov, kar omogoča primerjavo z AB u-vrtanimi piloti in ocenitev možnosti zamenjave z zabitimi mikro duktilnimi piloti.

Geološko-geotehnična poročila za trgovski center Slovenj Gradec sem uporabil za analizo sestave temeljnih tal in izračun količin sanacije, kar omogoča primerjavo ekonomske upravičenosti med izgradnjo nakupovalnega centra CP Ravne in trgovskega centra Slovenj Gradec. Na podlagi pridobljenih podatkov in projektne dokumentacije bom raziskoval in prikazal:

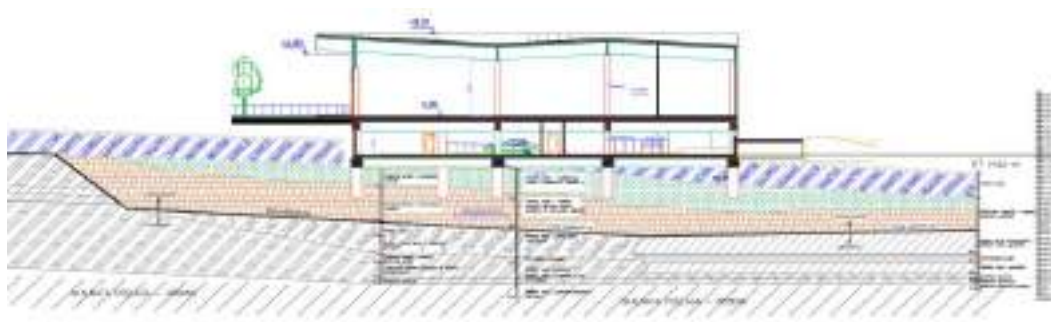
- časovno odvisnost pri različnih tehnologijah temeljenja (AB u-vrtani piloti in mikro zabiti duktilni piloti),
- ekonomsko upravičenost projekta s primerjavo med nakupovalnim centrom CP Ravne (z AB u-vrtanimi piloti) in trgovskim centrom Slovenj Gradec (z minimalno sanacijo temeljnih tal).

## 2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

V sklopu priprav na izdelavo diplomskega dela smo imeli na sedežu Academia vodena srečanja, kjer smo v prisotnosti mentorjev izpolnili Belbinov popis tima in Myers Briggsov test osebnosti. Na osnovi rezultatov teh testov smo se razdelili v projektne skupine in si dodelili vloge v skupini. Vsaka projektna skupina je sestavljala tri člane. V projektni skupini so bili vodja projekta, projektant, komercialist, kalkulant in oseba za pripravo del. Na osnovi razdelitve vlog smo na nadaljnjih srečanjih skupinsko pripravljali diplomsko delo. V skupini sem imel vlogo za ustvarjanje novih predlogov, ki so potrebni v začetnih fazah projekta in v najavljenih fazah, kadar projekt ne napreduje.

Na prvem srečanju sem skupini predstavil dva projekta, ki smo ju izvajali s podjetjem Gradbeništvo Kuster, d. o. o. Na nadaljnjih srečanjih smo debatirali o problemih, s katerimi smo se med izvedbo srečevali, ter možnosti zamenjave tehnologij in o lokaciji gradnje zaradi slabih karakteristik temeljnih tal.

Glede na dodeljeno vlogo smo v nadaljevanju dela raziskovali vsak na svojem področju (kalkulacije, priprava dela, izbira tehnologije izvedbe) in se skupaj usklajevali, da bi projekt čim prej in uspešno zaključili. Obravnavali smo dva projekta, ki sta se izvajala, in je med gradnjo prihajalo do odstopanj glede na predhodne raziskave. Oba navedena projekta sta povezana z odprtjem trgovin in je čas glavni vir že od samega začetka pomemben. V projektu smo proučevali in raziskovali različna področja. V začetni fazi smo raziskovali, kako bi najhitreje izvedli kompleten projekt za projekt nakupovalnega centra CP Ravne. Na tem projektu se je že iz predhodnih geoloških geotehničnih raziskav predvidelo globoko temeljenje. V fazi izvedbe smo naleteli na težave, da so se morali izvesti dodatni piloti in da so se piloti zaradi slabih tal morali podaljšati. To nam je v fazi izvedbe podaljšalo čas in povzročilo stroške, zato smo med gradnjo proučevali različne druge možnosti, kako prihraniti na času. Na geotehničnem profilu na sliki 1 je prikazana geološka sestava terena, iz katere je razvidna sestava tal. Geotehnični profil prikazuje tudi izvedbo globokega temeljenja zaradi slabih pogojev oz. slabo nosilne podlage.

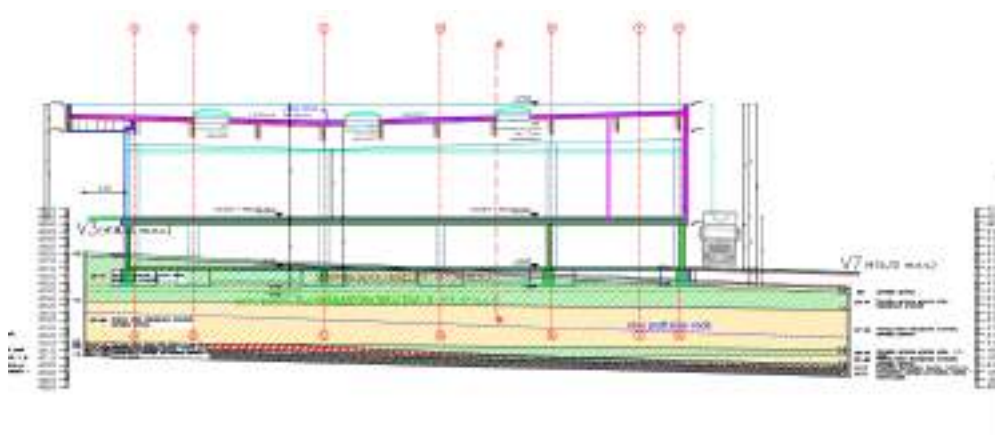


Slika 1: Geološko-geotehnični profil nakupovalnega centra CP Ravne

Vir: Interni vir (PRO MARO D.O.O., Marec, 2021)

V nadaljevanju smo proučevali z različnimi zamenjavami tehnologij izvedbe, kako bi prihranili na času izvedbe. Raziskali smo možnost, da bi celoten teren zamenjali, in ugotovili, da bi to bilo stroškovno neupravičeno, pa tudi časovno bi bilo zelo zamudno. V nadaljevanju smo razmišljali, da bi zamenjali AB u-vrtane pilote z mikro duktilnimi piloti, in ugotovili, da bi na času prihranili, vendar bi bilo stroškovno neupravičeno. Na podlagi analiz in raziskav smo ugotovili, da bi se obrestovalo, če bi hoteli prihraniti s časom, in da bi ostali na enakem strošku, kar bi bilo smiselno za pilote do nosilnosti 5000 kN. V nadaljevanju smo razmišljali o nadomestnih lokacijah. Odločili smo se za dva podobna nakupovalna oz. trgovska centra. V nadaljevanju smo naredili še analize in raziskave gradnje trgovskega centra Slovenj Gradec, da bi lahko primerjali možnosti.

Na geotehničnem profilu, prikazanem na sliki 2, je prikazana geološka sestava terena, iz katere je razvidna sestava tal. Sestava temeljnih tal na objektu trgovskega centra Slovenj Gradec je ugodnejša za izvedbo, saj jo sestavljajo dobro nosilna tla na manjših globinah. Zato se je predvidelo plitvo temeljenje.



Slika 2: Geološko-geotehnični profil trgovskega centra Slovenj Gradec

Vir: Interni vir (PRO MARO D.O.O., 2022)

Z analizami in kalkulacijami smo dokazali, da je gradnja na ugodni in dobro nosilni geološki sestavi temeljnih tal veliko cenejša, saj ni potrebnega globokega temeljenja in je potrebna samo minimalna zamenjava oz. izboljšava temeljnih tal, kar je stroškovno in tudi časovno ugodnejše.

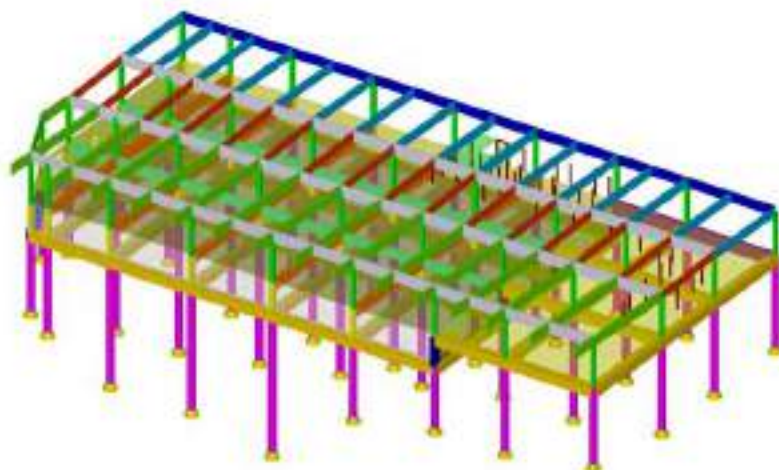
Glede na raziskovanje in stroškovne analize smo tudi predhodno iskali možnost nadomestne lokacije za izgradnjo nakupovalnega centra v Ravnah, vendar v okolici nismo imeli možnosti dobiti lokacije z ugodnejšimi geološko-geotehničnimi sestavami temeljnih tal, ki bi omogočala plitvo temeljenje.

### **3 SANACIJA TEMELJNIH TAL POD OBJEKTOM NAKUPOVALNEGA CENTRA CP RAVNE Z U-VRTANIMI AB PILOTI IN SANACIJA TEMELJNIH TAL NA OBJEKTU TRGOVSKEGA CENTRA SLOVENJ GRADEC**

#### ***3.1 Sanacija temeljnih tal z u-vrtanimi AB piloti na objektu nakupovalnega centra CP Ravne***

##### ***3.1.1 Opis objekta in lokacije***

Nakupovalni center CP Ravne se nahaja na parceli št. 54/26, k. o. 882-Ravne. Objekt ima tlorisne dimenzije  $81,39\text{ m} \times 37,79\text{ m}$ , pri čemer je garažni podkleten del velik  $59,90\text{ m} \times 37,79\text{ m}$ , medtem ko trgovinski del v pritličju pokriva celotno površino objekta. Dostop do objekta je omogočen z regionalne ceste R1 1264 Ravne na Koroškem–Kotlje prek novozgrajenega krožišča. Projekt sestavljata delno podkleten objekt in pritličje. V kleti so locirana parkirišča za kupce in najemnike, v pritličju pa je trgovinski del. Ker je geološka sestava terena slabo nosilna, so bile na podlagi predhodnih geoloških raziskav in statičnih izračunov določene zahteve za globoko temeljenje. PZI dokumentacija predvideva izvedbo u-vrtanih AB pilotov premera 100 cm z različnimi dolžinami (6–24 m), kar ustreza specifičnim pogojem terena in obremenitvam. Konstrukcijo objekta sestavljajo globoki temeljeni AB piloti premera 100 cm, pilotne grede, AB talna plošča, AB stene, AB stebri, medetažne AB konstrukcije, strešni lamelirani lepljeni nosilci s sendvič izolativnimi paneli.



Slika 3: 3D-model gradbenih konstrukcij nakupovalnega centra CP Ravne

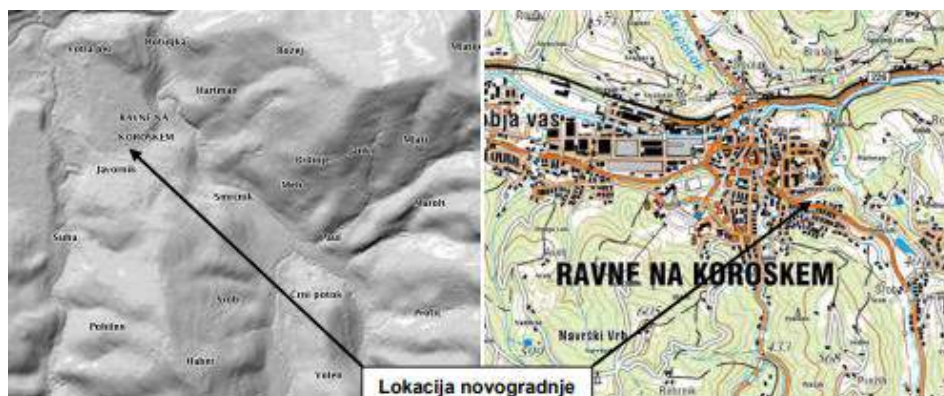
Vir: Interni vir (PRO MARO D.O.O., Marec, 2021)

### ***3.1.2 Geološka sestava lokacije in predhodne raziskave***

Obravnavana lokacija za novogradnjo nakupovalnega centra CP Ravne se nahaja severno od regionalne ceste R1 1264 (Ravne na Koroškem–Kotlje) in južno od naselja Javornik. Teren na delu parcele, kjer je lociran objekt, je ravninski, z nekaj vzponi na južnem delu.

V preteklosti je bil na tej lokaciji travnik, deloma z vrtovi in deloma z gramoznim parkiriščem. Pred približno 30–40 leti je bila na tem območju jama (deponija), v katero so na črno odlagali žlindro ter komunalne, gradbene in druge odpadke. V osemdesetih letih 20. stoletja je bilo to območje sanirano s plastmi izkopne zemljine (peščena glina/melj) debeline 2,0–2,5 m, ki je bila pridobljena kot odpadki pri gradnjah okoliških objektov.

Na lokaciji ni opaznih plazovitih področij ali področij, ki bi bila erozijsko ogrožena.



Slika 4: Senčni teren (levo) in topografska karta (desno) z označeno novogradnjo (sever) – nakupovalni center CP Ravne

Vir: Interni vir (PRO MARO D.O.O., Marec, 2021)

Na lokaciji novogradnje so bile predhodno izvedene raziskave sondažnega vrtanja. Izvedeno je bilo osem vrtin z oznakami V1 do V8.

### 3.1.3 Priprava terena in izvedba AB u-vrtanih pilotov

Za potrebe izvedbe AB pilotov se je najprej izvedel širok izkop gradbene jame globine cca 5,00 m na nadmorski višini 412,98 m v kletnem delu garaže. Ker so bila temeljna tla slabo nosilna in ne bi prenesla premikov in manipulacije strojev med izvedbo, se je izkop poglobil za cca 60 cm. Na nadmorski višini 412,98 m se je izvedel gramozni nasip za izvedbo. Nadmorska višina 413,58 m v garažnem delu je bila nad višino za izkop pilota zaradi zgornjega slabega dela pilota, ki ga je treba ročno odbiti zaradi izvedbe betoniranja. Na trgovinskem pritličnem delu je bil izveden tako imenovani začetni izkop za pilotiranje na nadmorski višini 417,15 m.



Slika 5: Višine izvedbe delovnih platojev za nakupovalni center CP Ravne

Vir: Interni vir (PRO MARO D.O.O., Marec, 2021)

Na pripravljenem tako imenovanem delovnem platoju oz. platoju začetnega izkopa so se začeli izvajati izkopi pilotov. Piloti so se izvajali s tehnologijo vrtanja pilotov s cevitvijo.

Izkop in izdelava AB pilotov s cevitvijo se izvajata po določenem vrstnem redu:

- postavitve stroja na določeno lokacijo (zakoličbeno točko),
- izkop oz. vrtanje zemljine s sprotno cevitvijo,
- vgradnja armature,
- vstavljanje kontraktorske cevi in lijaka,
- betoniranje in izvlek jeklene opažne cevi,
- odkop in odbijanje nezdravega dela betona na vrhu pilota,
- preverjanje zveznosti in nosilnosti pilotov.

Postavitev stroja na določeno oz. zakoličbeno točko je zelo pomembna, saj je od tega odvisna natančnost izvedbe. Najprej si z označevalnim sprejem označimo oz. izrišemo premer na teren. Stroj postavimo in na označeno točko točno v center postavimo uvedne opažne cevi, na katerih je krona za vtiskovanje. Na postavljeni lokaciji preverimo natančnost postavitve uvedne cevi z vodno tehtnico. Nato se preveri nadmorska višina, ki jo strojnik vpiše v dnevnik.



Slika 6: Uvodna cev oz. začetna cev za cevitev nakupovalnega centra CP Ravne

Vir: Lastni vir

Izkop oz. vrtanje se izvede po postavitvi stroja in uvedne cevi na lokacijo. Vrtanje se izvaja po fazah glede na dolžino opažne jeklene cevi, ki se sočasno z vrtanjem vtiskujejo v izvrtano luknjo. To se izvaja, dokler ne pridemo do želene globine, ki je določena s projektom. Skozi celoten potek vrtanja je treba spremljati sestavo izkopanega materiala in sproti izdelati rojstni list vsakega pilota posebej. Če se ne doseže zadostna vpetost pilota v kompaktni sloj, je treba takoj obvestiti geomehanika, da se posamezen pilot podaljša, da dosežemo zadostno vpetost in tudi posledično nosilnost posameznega pilota, kar pripomore k zadostni statični nosilnosti.

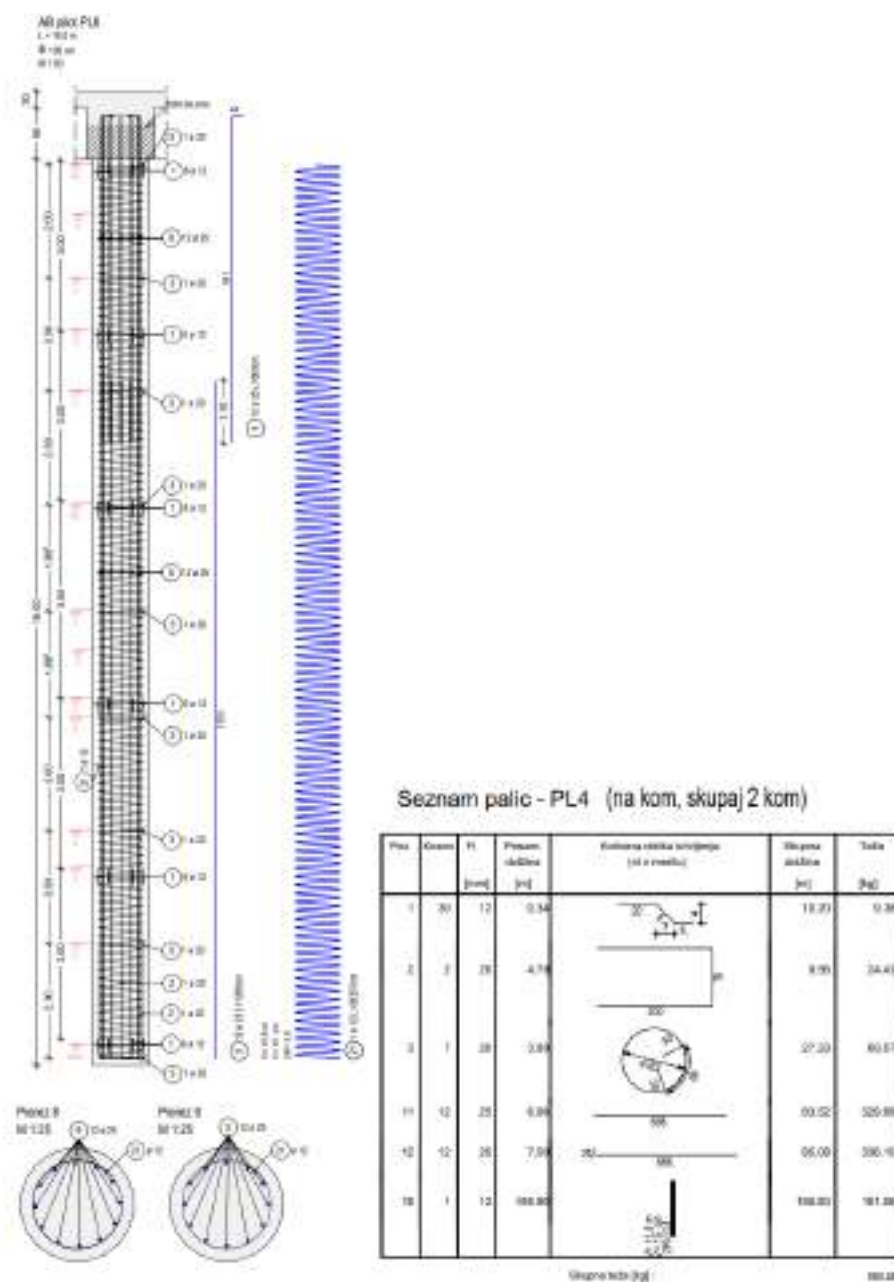


Slika 7: Vrtanje pilotov in varjenje armaturnih košev za nakupovalni center CP Ravne

Vir: Lastni vir

Vgradnja armaturnih košev se izvede takoj po izvedenem izkopu oziroma tik pred betoniranjem pilota. Armaturni koši so izdelani po načrtu in so najdaljše dolžine 12 m zaradi transporta armaturnih košev. V našem primeru so bili nekateri piloti tudi daljši in je bilo potrebno spajanje v daljše dolžine. Pri spajanju armature je treba upoštevati preklopno dolžino 110 cm. Pred vsakim betoniranjem mora nadzorni inženir obvezno pregledati vgrajen armaturni koš v izvrtanem pilotu. Posebno pozornost je treba nameniti temu, da je vrtina pred vgradnjo

armaturnega koša povsem očiščena, kar omogoča pravilno vstavljanje armaturnega koša do dna izkopa. Za izvedbo se uporablja armatura kakovosti B500B.



Slika 8: Primer načrta PZI armaturnega koša pilota za nakupovalni center CP Ravne

Vir: Interni vir (PRO MARO D.O.O., Marec, 2021)

Ko smo vgradili armaturne koše, pred betoniranjem namestimo kontraktorske cevi, na vrh pa postavimo lijak. Med betoniranjem je ključno, da je kontraktorska cev vsaj 2 m potopljena v beton. Posebno pozornost je treba nameniti temu, da kontraktorska cev ostane potopljena v beton tudi med izvlekom skrajšane opažne jeklene cevi. To zagotavlja, da beton pravilno prehaja skozi cev in se prepreči nastanek praznin ali nepravilnosti v pilotu.



Slika 9: Kontraktorske cevi in lijak za nakupovalni center CP Ravne

Vir: Lastni vir

Betoniranje in izvlek opažne jeklene cevi se izvajata v fazah, pri čemer je kontraktorska cev vedno vstavljena in mora biti potopljena v beton. Po prvi fazi betoniranja, ki obsega globino 6,0–8,0 m, se izvede prvi del izvleka jeklene opažne cevi. Med betoniranjem je treba posebno pozornost nameniti temu, da kontraktorska cev ostane potopljena v betonu. Ko se jeklena opažna cev izvleče, se odstrani in postopek se nadaljuje do popolnega izvleka uvodne opažne jeklene cevi.

Za betoniranje je bil uporabljen beton C30/37 z naslednjimi specifikacijami: XC4, XD2, XF1, PV1, Cl 0,2, Dmax = 16, S3.



Slika 10: Betoniranje pilotov in izvlek jeklene opažne cevi za nakupovalni center CP Ravne

Vir: Lastni vir

Odkop pilota se izvede drugi dan. V naslednjih dneh se nezdravi nadvišan del pilota odbija na projektirano koto oz. nadmorsko višino. Nezdravi del betona nastane med betoniranjem, ko se voda in nečistoče pomešajo, zato je to treba odstraniti.



Slika 11: Fotografija odkopanih izvedenih pilotov/odbitih delov nezdravega betona pilota (nakupovalni center CP Ravne)

Vir: Lastni vir

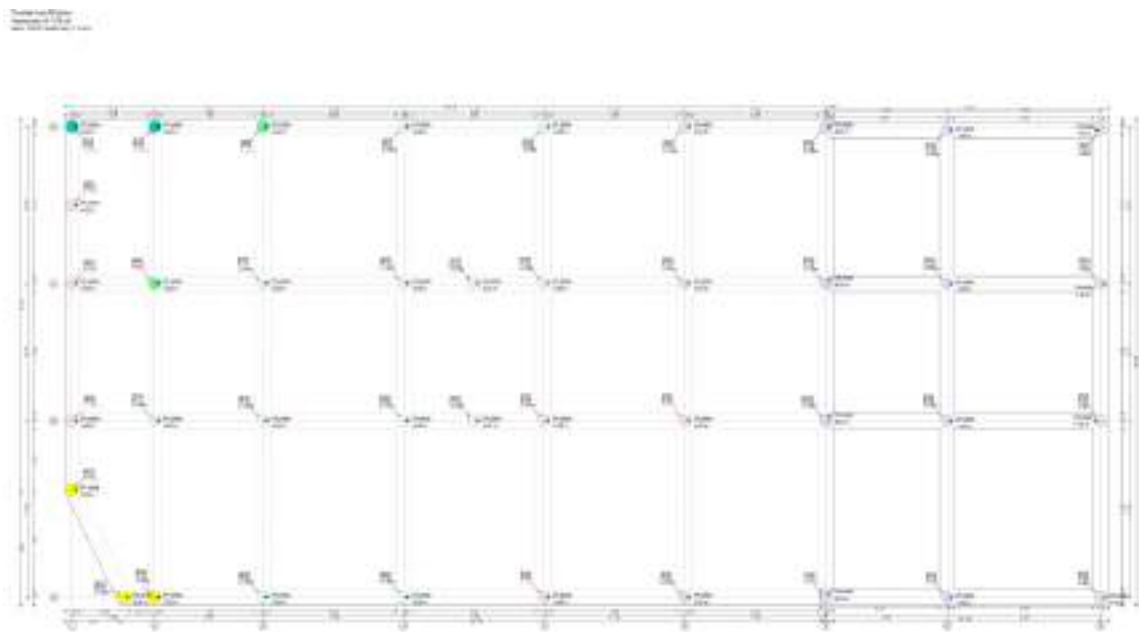
Po končanem odbijanju nezdravega dela pilota so se opravile različne metode preverjanja. Opravilo se je merjenje zveznosti pilotov in dinamični test na dveh pilotih. Zaradi razgibanega terena in različnih geoloških plasti so bili rezultati po dinamičnem testu na enem mestu negativni. Ker so bili rezultati negativni, so se dodatno izvedli trije piloti.



Slika 12: Dinamični obremenilni test (nakupovalni center CP Ravne)

Vir: Lastni vir

Glede na celoten potek izvedbe globokega temeljenja je tekom izvedbe prišlo do korekcij dolžine pilotov zaradi terena neenakomernih slojev zemljin. Kot je bilo predvideno v geološkem poročilu, da gre za globačo, so se določeni piloti zaradi sestave tal podaljševali. Zaradi dinamičnega testa so se morali dodatno izvesti še trije piloti (CD1, B45 in C45).



Slika 13: Pozicijski načrt izvedenih pilotov – PID (nakupovalni center CP Ravne)

Vir: Interni vir (PRO MARO D.O.O., November, 2021)

### **3.1.4 Sanacija temeljnih tal s popolno zamenjavo materiala na objektu nakupovalnega centra CP Ravne**

V diplomskem delu bomo raziskali tudi možnost zamenjave materiala oz. sanacije temeljnih tal. Na podlagi predhodnih geoloških raziskav in lastnosti zemljin predvidevamo, da bi bila zamenjava materiala mogoča, zlasti ob upoštevanju velikih količin, potrebnih za sanacijo terena. Po pregledu geoloških raziskav (vrtin) ugotavljamo, da se na nadmorski višini med 404,70 in 406,30 m (v vrtinah V4, V7 in V8, globine od –9 do –11 m) nahajajo zaglinjeni peski, peščeni peski in fini peski rjave barve, kar je razvidno iz priloge 1 »Geotehnični profili vrtin«. Ti materiali bi lahko bili primerni za gradnjo nasipa ali zamenjavo obstoječih temeljnih tal.

V predpostavljenem primeru sem predvidel, da bi namesto globokega temeljenja z AB u-vrtanimi piloti izvedli sanacijo z zamenjavo materiala temeljnih tal. Izvedli bi široke kampadne

izkope, ki bi se takoj sproti zasipavali z ustreznim peščenim materialom, primernim za nasipe oz. zasipe, ki ne bi vsebovali koherentnih zemljin.

Na območju nepodkletenega dela objekta sem iz geoloških raziskav vrtine (V6) ugotovil, da se primerna sestava tal prične na nadmorski višini 414,40 m (–2,30 m) od kote podbetona. Temeljna tla na globini –2,30 m (414,40 m n. m.) sestavljajo uniformno granulirani fini peski rjave barve, ki so primerni za gradnjo nasipa. Kota podbetona se nahaja na 416,45 m n. v.

Izvede se nasip v sestavi:

- nasip (prodno peščen material) v debelini 1,95 m,
- kamnita greda (zmrzlinško odporen kamniti material 0/63) v debelini 30 cm,
- tamponski nasip (tamponski drobljenec 0/32) v debelini 20 cm.

Na območju podkletenega dela objekta sem iz geoloških raziskav vrtine (V4, V7, V8) ugotovil, da se primerna sestava tal prične na različnih nivojih. Glede na rezultate geoloških preiskav predpostavljamo:

- Vrtina V4: Temeljna tla na globini –11 m (404,60 m n. v.) sestavlja zaglinjen pesek s plastmi drobnega peska sive barve, ki so primerni za gradnjo nasipa.
- Vrtina V7: Temeljna tla na globini –8 m (407,30 m n. v.) sestavlja peščen melj s finimi peski, ki so primerni za gradnjo nasipa.
- Vrtina V8: Temeljna tla na globini –10 m (403,70 m n. v.) sestavljajo fini peski rjave barve, ki so primerni za gradnjo nasipa.

Povprečna kota izkopa se predvidi na koti 405,20 m n. v. Kota podbetona podkletenega dela objekta se nahaja na 412,88 m n. v. Iz tega je razvidno, da moramo izvesti nasip v debelini 7,68 m.

Izvede se nasip v sestavi:

- nasip (prodno peščen material) v debelini 7,18 m,
- kamnita greda (zmrzlinško odporen kamniti material 0/63) v debelini 30 cm,
- tamponski nasip (tamponski drobljenec 0/32) v debelini 20 cm.

Vgradnjo nasipnih plasti je treba vgrajevati po plasteh v maksimalni debelini 30 cm ter jo sproti planirati in utrjevati.

## **3.2 Sanacija z izboljšavo temeljnih tal na objektu trgovskega centra Slovenj Gradec**

### **3.2.1 Opis objekta in lokacije**

Trgovski center Slovenj Gradec se nahaja na parcelnih št. 1012/5, 1012/28, 1012/19, 1012/7, 1000/1, 761/2, 761/1, k. o. 850-Slovenj Gradec. Objekt je tlorisnih dimenzij podolgovate oblike 125,00 m × 37,90 m in je večinoma zasnovan kot kletni in pritlični del, z nekaterimi nad pritličjem izstopajočimi etažami v višini 3,5 m, kjer se nahajajo vertikalne komunikacije in servisni prostori. V pritličju se nahaja trgovinski del, deloma skladišča in prostori za delavce, v medetaži se nahajajo pisarne, v kleti so pretežno parkirišča in en del skladišč. Na območju vertikalnih komunikacij in servisnih prostorov v zalednem delu objekta so izdelana komunikacijska jedra iz AB sten.

Dostop do objekta je urejen z regionalne ceste R1 1423 Kotlje–Slovenj Gradec z novo zgrajenim levo zavijalnim pasom na regionalni cesti in izgradnjo komunalne infrastrukture dostave ceste. Parkirišče se nahaja v garažnem kletnem delu in na pritličnem delu na JZ strani objekta pred vhodom v trgovine.

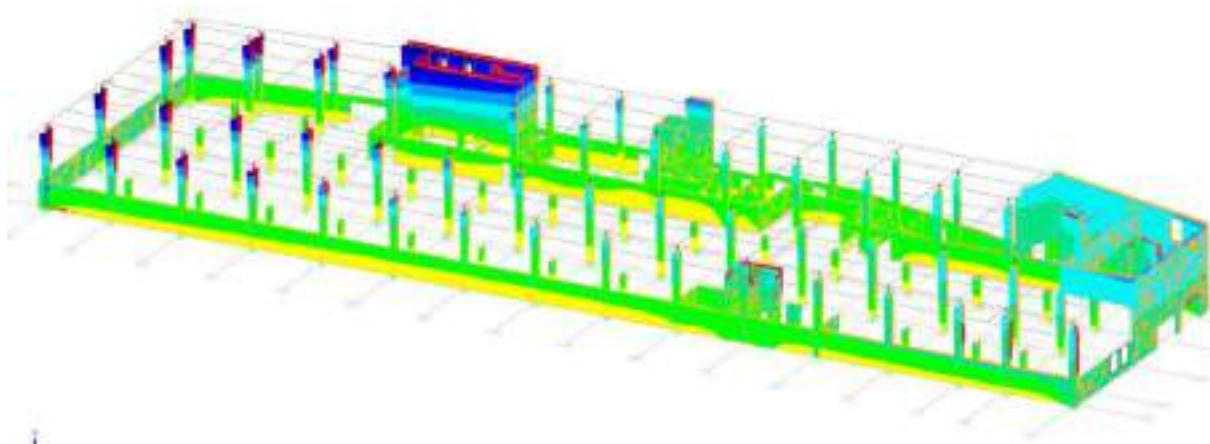


Slika 14: Slika končnega objekta trgovskega centra Slovenj Gradec

Vir: Interni vir (IB TECHNO d.o.o., marec, 2023)

Ker se obravnavani objekt nahaja na lokaciji z ugodnimi geološko-geotehničnimi razmerami, kjer so raziskave pokazale, da so temeljna tla dobro nosilna, je mogoče izvesti plitvo temeljenje.

Plitvo temeljenje lahko vključuje uporabo AB plošče in točkovnih ali pasovnih temeljev, ki morajo biti nameščeni na sloju kamnite grede in tamponskega prodca ter ustrezno utrjeni.



Slika 15: 3D-model trgovskega centra Slovenj Gradec

Vir: Interni vir (IB TECHNO d.o.o., marec, 2023)

Nosilna konstrukcija je sestavljena iz AB točkovnih temeljev, AB povezovalnih gred, AB sten, AB stebrov, medetažne AB monolitne betonske plošče in lameliranih lepljenih strešnih nosilcev s strešno kritino iz izolativnih lesenih sendvič panelov.



Slika 16: Fotografija konstrukcijskih elementov trgovskega centra Slovenj Gradec

Vir: Lastni vir

### 3.2.2 Geološka sestava lokacije in predhodne raziskave

Obravnavana lokacija trgovskega centra leži na parcelnih št. 1012/5, 1012/28, 1012/19, 1012/7, 1000/1, 761/2, 761/1, k. o. 850-Slovenj Gradec. Teren na obravnavani lokaciji novogradnje rahlo pada v smeri od JZ proti SV. Na JZ delu predvidenega objekta je obstoječa kота terena 418,10 m, medtem ko je na JV delu predvidenega objekta obstoječa kота terena 415,70 m. Trgovski center se bo nahajal, kjer so trenutno travnik in posamezne vrtne lope. Dostop do objekta je možen z regionalne ceste R1 1423 Kotlje–Slovenj Gradec, ki bo povezana z dovozno klančino in novo komunalno ureditvijo območja s povezovalnimi cestami. V sklopu izgradnje se je izvedela komunalna ureditev dostavne povezovalne ceste in levo zavijalni pas iz regionalne ceste. Dostop za dostavo bo urejen z lokalne ceste LC 378 041 na severni strani objekta. V sklopu izdelave geološko-geotehničnega poročila so bile izvedene predhodne raziskave z geotehničnim sondiranjem, meritve s težkim dinamičnim penetrometrom (DPSH) in meritve z dinamičnim penetrometrom (DPM).

Obravnavana lokacija novogradnje trgovskega centra leži SV od regionalne ceste R1 1423 Kotlje–Slovenj Gradec in cca 1000 m JV od centra Slovenj Gradec. Teren, na katerem je predvidena novogradnja, rahlo pada od JZ proti SV. Povprečna nadmorska višina je cca 417,10 m. Obravnavana površina je pretežno v travnati prevleki (travniki, deloma vrtovi), deloma pa v makadamski (dovozne ceste in poti). Na lokaciji ni vidnih plazovitih področij in področij, ki bi bila erozijsko ogrožena.



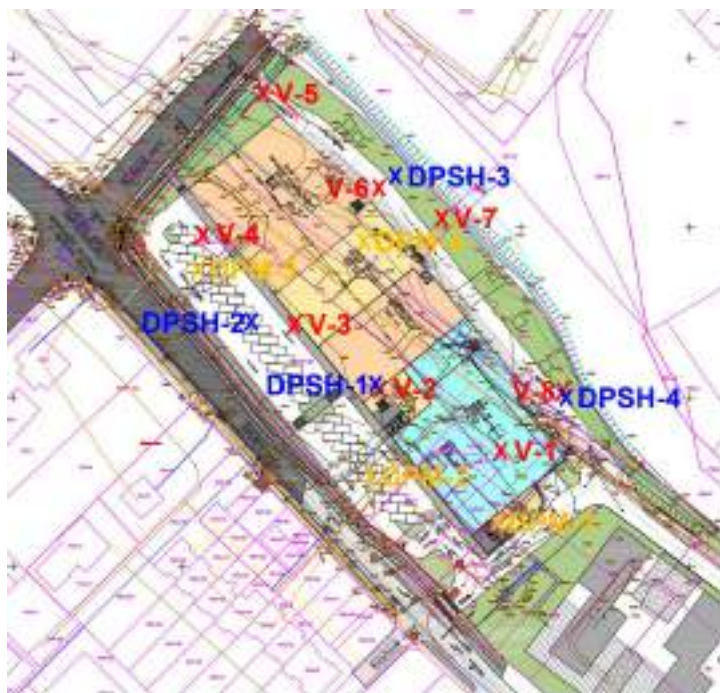
Slika 17: Topografska karta (levo) in senčni del (desno z označeno novogradnjo)/trgovski center Slovenj Gradec

Vir: Interni vir (PRO MARO D.O.O., 2022)

Na lokaciji novogradnje so bile predhodno izvedene raziskave sondažnega vrtanja. Izvedeno je bilo osem vrtin z oznakami V1 do V8.

### 3.2.3 Priprava terena z minimalno zamenjavo terena temeljnih tal

Nulta kota pritličja je predvidena na nadmorski višini 420,50 m. Kota garaže se nahaja na nadmorski višini -3,44 m (416,06 m n. v.). Trgovski center Slovenj Gradec je temeljen na točkovnih in pasovnih temeljih, ki so predvideni na gramozni blazini v debelini 50 cm. Na spodnjem delu ob reki Mislinji je kota obstoječega terena nižja, zato so potrebni dodatni nasipi (cca 415,60 m n. v.). Ker obstoječi teren na obravnavani lokaciji pada od 418,10 do 415,70 m n. v., smo v prvi fazi predvideli in izvedli odziv in odvoz humusa na začasno in trajno deponijo. Nato smo v naslednjem koraku izvedli izkop do globine oz. višinske kote podbetona temeljev -4,47 m (416,03 m n. v.). Ob prisotnosti geomehanika smo opravili ogled in ugotovili, da, kot je predvideno in je bilo podano v geološko-geotehničnem poročilu in PZI dokumentaciji, bo potrebna minimalna sanacija, saj se na koti cca 416,03 m n. v. nahajajo temeljna tla, ki so sestavljena iz deloma zameljenega gramoza slabo stopnjevane zrnivosti, na lokalnih mestih pa je peščena glina.



Slika 18: Situacija novogradnje, lokacija izvedenih geotehničnih vrtin za trgovski center Slovenj Gradec

Na zgornjem platoju se je izvedel izkop za točkovne in pasovne temelje na višinsko koto 415,53 m n. v.

Na spodnjem platoju ob reki Mislinji, kjer teren pada, je povprečna kota cca 415,70 m n. v. Na tej koti terena so potrebni odziv, odkop in odvoz humusa, zameljenega gramoz. Na lokalnih mestih, kjer je peščena glina rjave barve v težko gnetni konsistenci, se izvedejo lokalne sanacije. Izkop oz. odziv se izvede na povprečno višinsko koto cca 415,16 m n. v., posebej pa se še dodatno izvedejo lokalne sanacije na območjih, kjer je peščena glina rjave barve v težko gnetni konsistenci. Za izvedbo točkovnih in pasovnih temeljev so se izvedle sanacijske blazine v debelini 50 cm v zgornjem delu platoja in spodnjem delu ob reki Mislinji v povprečni debelini 87 cm.



Slika 19: Izdelava spodnjega platoja na koti 416,03 m n. v. za trgovski center Slovenj Gradec

Vir: Lastni vir

Na območju objekta spodnjega platoja sem iz geoloških raziskav vrtin (V5, V6, V8) ugotovil, da se primerna sestava tal prične na različnih nivojih. Podatki so povzeti iz geološkega poročila geotehničnih vrtin, ki so razvidni v prilogi 3 »Geotehnični profili vrtin«. Glede na rezultate geoloških preiskav smo sanacijo izvedli:

- Vrtina V4: Temeljna tla na globini –1,03 m (415,00 m n. v.) sestavljata zameljen gramoz in gramoz slabo stopnjevane zrnivosti.

- Vrtina V6: Temeljna tla na globini –0,83 m (415,20 m n. v.) sestavljata zameljen gramoz in gramoz slabo stopnjevane zrnivosti.
- Vrtina V8: Temeljna tla na globini –0,73 m (415,30 m n. v.) sestavljata zameljen gramoz in gramoz slabo stopnjevane zrnivosti.

Povprečna kota izkopa se predvidi na koti nadmorske višine 415,17 m. Kota podbetona podkletenega dela objekta se nahaja na 416,03 m n. v. Iz tega je razvidno, da moramo izvesti nasip v povprečni debelini 0,86 m.

Izvede se nasip v sestavi:

- nasip (prodno peščeni materiali) v debelini 0,36 m,
- kamnita greda (zmrzlinško odporen kamniti material 0/63) v debelini 30 cm,
- tamponski nasip (tamponski drobljenec 0/32) v debelini 20 cm.

Nasipne plasti je treba vgrajevati po plasteh v maksimalni debelini 30 cm ter jih sproti planirati in utrjevati.



Slika 20: Sanacija temeljnih tal nakupovalnega centra Slovenj Gradec

### ***3.3 Primerjava priprave terena oz. izboljšave temeljnih tal s popolno zamenjavo in u-vrtanimi AB piloti na objektu nakupovalnega centra CP Ravne***

Ker smo navedene objekte izvajali v zadnjih treh letih, sem se odločil, da bom v diplomskem delu raziskal različne variante ter primerjal stroške in izvedbo priprave temeljnih tal z različnimi metodami sanacije, še posebej v primerih, ko so temeljna tla slabe kakovosti in niso dovolj nosilna, kar zahteva globoko temeljenje. V nadaljevanju bom prikazal izračune količin in stroškov za izvedbo AB u-vrtanih pilotov ter za popolno zamenjavo materiala temeljnih tal. Objekti, ki so predmet raziskave, so trgovski oziroma nakupovalni centri z garažami za parkiranje vozil strank ali najemnikov. Prikazal bom izračune količin in stroškov za vsako metodo ter jih primerjal. V hipotezi 1 predpostavljam, da je izvedba globokega temeljenja z AB u-vrtanimi piloti približno 40 % cenejša od popolne zamenjave materiala temeljnih tal. Cene na enoto bomo primerjali na podlagi povprečnih cen v letu 2024.

#### ***3.3.1 Izračuni količin in stroškov izvedbe AB u-vrtanih pilotov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne***

Količine izvedenih AB u-vrtanih pilotov sem povzel na dejansko opravljenem primeru izgradnje objekta, katerega smo izvajali s podjetjem Gradbeništvo Kuster, d. o. o.

Tabela 1: Količine izvedenih AB u-vrtanih pilotov za nakupovalni center CP Ravne

#### **NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE – AB U-VRTANI PILOTI**

|   | Oznaka pilota | Izvedena dolžina | Končna dolžina |
|---|---------------|------------------|----------------|
| 1 | A 1/2         | 12,20            | 11,70          |
| 2 | A 2           | 12,20            | 11,70          |
| 3 | A 3           | 16,80            | 16,30          |
| 4 | A 4           | 16,50            | 16,00          |
| 5 | A 5           | 14,00            | 13,50          |
| 6 | A 6           | 10,80            | 10,30          |
| 7 | A 7           | 10,85            | 10,35          |
| 8 | A 8           | 10,50            | 10,00          |

|             |       |               |        |
|-------------|-------|---------------|--------|
| 9           | A 9   | 8,50          | 8,00   |
| 10          | AB 1  | 13,50         | 13,00  |
| 11          | B 1   | 14,50         | 14,00  |
| 12          | B 2   | 19,85         | 19,35  |
| 13          | B 3   | 18,80         | 18,30  |
| 14          | B 4   | 16,80         | 16,30  |
| 15          | B 4/5 | 18,50         | 18,00  |
| 16          | B 5   | 14,80         | 14,30  |
| 17          | B 6   | 14,80         | 14,30  |
| 18          | B 7   | 10,85         | 10,35  |
| 19          | B 8   | 10,50         | 10,00  |
| 20          | B 9   | 8,50          | 8,00   |
| 21          | C 1   | 14,80         | 14,30  |
| 22          | C 2   | 22,50         | 22,00  |
| 23          | C 3   | 18,80         | 18,30  |
| 24          | C 4   | 18,50         | 18,00  |
| 25          | C 4/5 | 18,50         | 18,00  |
| 26          | C 5   | 18,20         | 17,70  |
| 27          | C 6   | 14,80         | 14,30  |
| 28          | C 7   | 10,85         | 10,35  |
| 29          | C 8   | 10,50         | 10,00  |
| 30          | C 9   | 8,50          | 8,00   |
| 31          | D 1   | 23,50         | 23,00  |
| 32          | D 2   | 23,00         | 22,50  |
| 33          | D 3   | 22,00         | 21,50  |
| 34          | D 4   | 18,85         | 18,35  |
| 35          | D 5   | 16,80         | 16,30  |
| 36          | D 6   | 14,80         | 14,30  |
| 37          | D 7   | 10,85         | 10,35  |
| 38          | D 8   | 10,50         | 10,00  |
| 39          | D 9   | 8,50          | 8,00   |
| 40          | CD/1  | 14,50         | 14,00  |
| SKUPAJ (m): |       | <b>593,00</b> | 573,00 |

Vir: Lastni vir

Tabela 2: Izračun stroškov izdelave AB u-vrtanih pilotov za nakupovalni center CP Ravne

**Nakupovalni center CP Ravne – AB U-VRTANI PILOTI**

| <b>OPIS DELA</b>                                                                                                                                                     | <b>Enota</b>   | <b>Količina</b> | <b>Cena/enoto</b> | <b>Skupaj (EUR)</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| <b><i>PREDDELA</i></b>                                                                                                                                               |                |                 |                   |                     |
| Priprava gradbišča                                                                                                                                                   | Kos            | 1,00            | 500,00            | 500,00              |
| Zakoličba pilotov 40 kosov – fi 100 cm                                                                                                                               | Pavšal         | 1,00            | 650,00            | 650,00              |
| <b><i>PRIPRAVA DELOVNEGA PLATOJA ZA IZVEDBO</i></b>                                                                                                                  |                |                 |                   | 0,00                |
| Široki izkop zrnate kamnine (podkleten del) – 3. kategorije – strojno z nakladanjem in odvozom zemljine na trajno deponijo                                           | m <sup>3</sup> | 1.517,50        | 8,40              | 12.747,00           |
| Dobava in vgraditev nasipa za delovni plato iz prodno peščenega materiala, vključno s planiranjem in valjanjem v debelini 50 cm                                      | m <sup>2</sup> | 3.035,00        | 12,00             | 36.420,00           |
| <b><i>IZBOLJŠAVA TAL POD GREDAMI IN AB PLOŠČO</i></b>                                                                                                                |                |                 |                   |                     |
| Široki izkop zrnate kamnine (podkleten del) – 3. kategorije – strojno z nakladanjem in odvozom zemljine na trajno deponijo                                           | m <sup>3</sup> | 1.517,50        | 8,40              | 12.747,00           |
| Ureditev planuma temeljnih tal                                                                                                                                       | m <sup>3</sup> | 3.035,00        | 0,90              | 2.731,50            |
| Dobava in polaganje geotekstila 300 g                                                                                                                                | m <sup>2</sup> | 3.035,00        | 1,60              | 4.856,00            |
| Dobava in vgraditev zemljine v nasip z vgrajevanjem v plasteh                                                                                                        | m <sup>3</sup> | 0,00            | 24,00             |                     |
| Vgraditev posteljice v debelini plasti do 30 cm iz zrnate kamnine 0/63                                                                                               | m <sup>3</sup> | 910,50          | 29,00             | 26.404,50           |
| Dobava in vgraditev tamponskega materiala v debelini 20 cm z nabijanjem po plasteh in planiranjem (tamponski drobljenec 0/32)                                        | m <sup>3</sup> | 607,00          | 31,00             | 18.817,00           |
| <b><i>IZVEDBA PILOTOV po sistemu BENOTTO</i></b>                                                                                                                     |                |                 |                   | 0,00                |
| Dovoz in odvoz opreme za izvedbo pilotov                                                                                                                             | Pavšal         | 2,00            | 3.500,00          | 7.000,00            |
| Dobava in prevoz armature pilotov premera 100 cm (ocena 68,5 kg/m')                                                                                                  | Kg             | 40.620,50       | 1,35              | 54.837,68           |
| Izvedba pilotov po sistemu benotto, premera 100 cm, v prodno peščeno podlago z vgradnjo betona in armature od kote delovnega platoja in odvozom izkopanega materiala | m'             | 593,00          | 135,00            | 80.055,00           |

|                                                                                                                                                                                                                                                               |                |        |          |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------|----------|-------------------|
| Betoniranje pilotov premera 100 cm, z vodoneprepustnim betonom C 30/37, XC2, XD3, d <sub>max</sub> = 32, zaščitni sloj 3 cm, merjeno do notranjega oboda. (Opomba: glede na sestavo tal je treba računati na cca 20 do 25 % večjo porabo, kot je teoretična.) | m <sup>3</sup> | 581,14 | 120,00   | 69.736,80         |
| Geodetski posnetki izvedenih pilotov                                                                                                                                                                                                                          | Pavšal         | 1,00   | 1.000,00 | 1.000,00          |
| Odbijanje glav pilotov na končno koto pod temelji (od kote delovnega platoja do kote – 1,35) in ravnanje, krivljenje, rezanje armature – fi 100 cm                                                                                                            | Kos            | 40,00  | 85,00    | 3.400,00          |
| Kontrolne meritve zveznosti pilotov (PIT - ASTM D-5882-16)                                                                                                                                                                                                    | Piloti         | 25,00  | 92,00    | 2.300,00          |
| Kontrolne meritve nosilnosti pilotov (Dinamični test – ASTM D-4945-08) z računsko karakteristično mejno nosilnostjo >3000 kN                                                                                                                                  | Piloti         | 2,00   | 4.790,00 | 9.580,00          |
| Projektantski nadzor                                                                                                                                                                                                                                          | Pavšal         | 1,00   | 1.300,00 | 1.300,00          |
| Geotehnični nadzor                                                                                                                                                                                                                                            | Pavšal         | 1,00   | 1.300,00 | 1.300,00          |
| Monitoring                                                                                                                                                                                                                                                    | Pavšal         | 1,00   | 1.950,00 | 1.950,00          |
| Zaključno poročilo o izvedenem temeljenju                                                                                                                                                                                                                     | Pavšal         | 1,00   | 1.950,00 | 1.950,00          |
| <b>SKUPAJ</b>                                                                                                                                                                                                                                                 |                |        |          | <b>350.282,48</b> |

|                  |                        |               |  |  |
|------------------|------------------------|---------------|--|--|
| Površina         | m <sup>2</sup>         | 3.035,00      |  |  |
| Skupna vrednost: | €                      | 350.282,48    |  |  |
|                  | <b>€/m<sup>2</sup></b> | <b>115,41</b> |  |  |

Vir: Lastni vir

### 3.3.2 *Izračuni količin in stroškov za primerjavo – popolna zamenjava terena na objektu nakupovalnega centra CP Ravne*

Izračune količin za izvedbo sanacije temeljnih tal popolne zamenjave sem določil na podlagi geotehničnih vrtin in geotehničnih profilov. Izračune sem prikazal v tabelah.

Tabela 3: Količine predvidene izvedbe zamenjave temeljnih tal nakupovalnega centra CP Ravne

#### **NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE – IZBOLJŠAVA TEMELJNIH TAL/ ZAMENJAVA MATERIALA**

##### **NEPODKLETENI DEL OBJEKTA**

|            |                         |                        |                    |  |
|------------|-------------------------|------------------------|--------------------|--|
| POVRŠINA   |                         | 812,10                 | m <sup>2</sup>     |  |
| Št. vrtine | Višinska kota podbetona | Predvidena kota izkopa | Globina izkopa (m) |  |
| V6         | 416,45                  | 414,00                 | 2,45               |  |

##### **PREDVIDENA IZBOLJŠAVA**

|  |                 |                            |              |                            |
|--|-----------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
|  |                 | Površina (m <sup>2</sup> ) | Debelina (m) | Količine (m <sup>3</sup> ) |
|  | NASIP           | 812,10                     | 1,95         | 1.583,59                   |
|  | KAMNITA GREDA   | 812,10                     | 0,30         | 243,63                     |
|  | TAMPONSKI NASIP | 812,10                     | 0,20         | 162,42                     |

##### **PODKLETENI DEL OBJEKTA**

|          |                         |                        |                    |  |
|----------|-------------------------|------------------------|--------------------|--|
| POVRŠINA |                         | 2222,90                | m <sup>2</sup>     |  |
|          | Višinska kota podbetona | Predvidena kota izkopa | Globina izkopa (m) |  |
| V4       | 412,88                  | 404,60                 | 8,28               |  |
| V7       | 412,88                  | 407,30                 | 5,58               |  |
| V8       | 412,88                  | 404,70                 | 8,18               |  |
|          |                         |                        | 7,35               |  |

## PREDVIDENA IZBOLJŠAVA

|  |                 | Površina (m <sup>2</sup> ) | Debelina (m) | Količine (m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
|  | NASIP           | 2222,90                    | 6,85         | 15.219,46                  |
|  | KAMNITA GRED    | 2222,90                    | 0,30         | 666,87                     |
|  | TAMPONSKI NASIP | 2222,90                    | 0,20         | 444,58                     |

## REKAPITULACIJA

|  |                 | PODKLETENI DEL | NEPODKLETENI DEL | SKUPAJ           |
|--|-----------------|----------------|------------------|------------------|
|  | NASIP           | 15.219,46      | 1583,59          | <b>16.803,05</b> |
|  | KAMNITA GRED    | 666,87         | 243,63           | <b>910,50</b>    |
|  | TAMPONSKI NASIP | 444,58         | 162,42           | <b>607,00</b>    |

Vir: Lastni vir

Tabela 4: Izračun predvidenih stroškov zamenjave temeljnih tal nakupovalnega centra CP Ravne

**NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE – IZBOLJŠAVA TEMELJNIH TAL – ZAMENJAVA MATERIALA**

| OPIS DELA                                                                                                                     | Enota          | Količina  | Cena/enoto | Skupaj (EUR)      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|------------|-------------------|
| <b>PREDDELA</b>                                                                                                               |                |           |            |                   |
| Priprava gradbišča                                                                                                            | Kos            | 1,00      | 500,00     | 500,00            |
| Zakoličba in postavitve profilov ter definiranje višin                                                                        | Pavšal         | 1,00      | 650,00     | 650,00            |
| <b>IZBOLJŠAVA TAL POD GREDAMI IN AB PLOŠČO</b>                                                                                |                |           |            |                   |
| Široki izkop zrnate kamnine (podkleteni del) – 3. kategorije – strojno z nakladanjem in odvozom zemljine na trajno deponijo   | m <sup>3</sup> | 18.320,55 | 8,40       | 153.892,62        |
| Ureditev planuma temeljnih tal                                                                                                | m <sup>3</sup> | 3.035,00  | 0,90       | 2.731,50          |
| Dobava in polaganje geotekstila 300 g                                                                                         | m <sup>2</sup> | 3.035,00  | 1,60       | 4.856,00          |
| Dobava in vgraditev zemljine v nasip z vgrajevanjem v plasteh                                                                 | m <sup>3</sup> | 16.803,05 | 24,00      | 403.273,21        |
| Vgraditev posteljice v debelini plasti do 30 cm iz zrnate kamnine 0/63                                                        | m <sup>3</sup> | 910,50    | 29,00      | 26.404,50         |
| Dobava in vgraditev tamponskega materiala v debelini 20 cm z nabijanjem po plasteh in planiranjem (tamponski drobljenec 0/32) | m <sup>3</sup> | 607,00    | 31,00      | 18.817,00         |
|                                                                                                                               |                |           |            |                   |
|                                                                                                                               |                |           |            |                   |
| Projektantski nadzor                                                                                                          | Pavšal         | 1,00      | 1.300,00   | 1.300,00          |
| Geotehnični nadzor                                                                                                            | Pavšal         | 1,00      | 1.300,00   | 1.300,00          |
| <b>SKUPAJ</b>                                                                                                                 |                |           |            | <b>613.724,83</b> |

|                 |                  |               |  |  |
|-----------------|------------------|---------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00      |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 613.724,83    |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | <b>202,22</b> |  |  |

Vir: Lastni vir

### 3.3.3 Primerjava in analiziranje

Tabela 5: Primerjava stroškov AB u-vrtanih pilotov in popolne zamenjave materiala temeljnih tal na objektu nakupovalnega centra CP Ravne

#### **Nakupovalni center CP Ravne – AB U-VRTANI PILOTI**

|                 |                  |               |  |  |
|-----------------|------------------|---------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00      |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 350.282,48    |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | <b>115,41</b> |  |  |

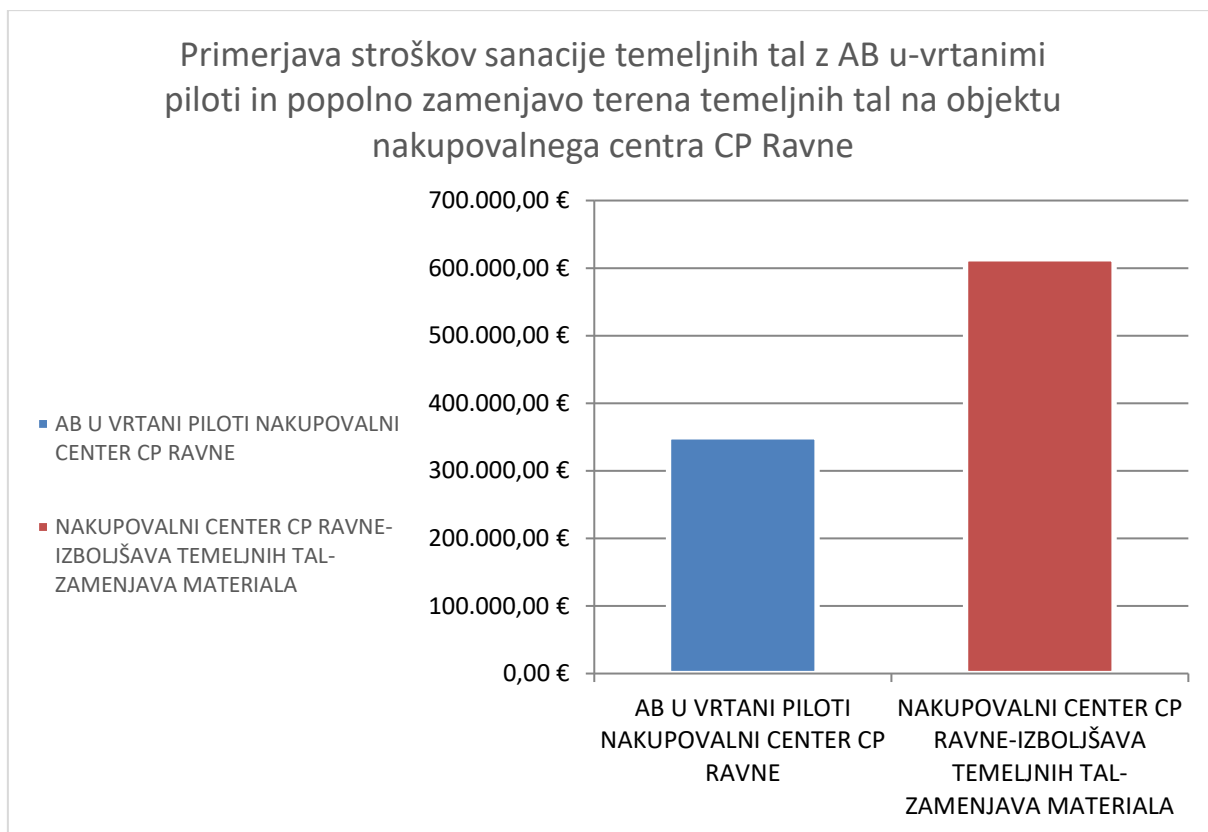
#### **NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE – IZBOLJŠAVA TEMELJNIH TAL – ZAMENJAVA MATERIALA**

|                 |                  |               |  |  |
|-----------------|------------------|---------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00      |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 613.724,83    |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | <b>202,22</b> |  |  |

|                   |               |                             |
|-------------------|---------------|-----------------------------|
| <b>PRIMERJAVA</b> | <b>PILOTI</b> | <b>ZAMENJAVA<br/>TERENA</b> |
|-------------------|---------------|-----------------------------|

|                 |                  |               |               |       |
|-----------------|------------------|---------------|---------------|-------|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00      | 3.035,00      | %     |
| Skupna vrednost | €                | 350.282,48    | 613.724,83    | 42,93 |
|                 | €/m <sup>2</sup> | <b>115,41</b> | <b>202,22</b> | 42,93 |

Vir: Lastni vir



Grafikon 1: Primerjava stroškov sanacije oz. izboljšave temeljnih tal z AB u-vrtanimi piloti na objektu in popolno zamenjavo terena temeljnih tal na objektu nakupovalnega centra CP Ravne

Vir: Lastni vir

V tabelah 3–5 in izračunih sem prikazal primerjavo stroškov na podlagi povprečnih trenutnih tržnih cen. Količine so bile pridobljene iz izračunov oziroma izvedenih del. Ugotovil sem, da znaša cena  $\text{m}^2$  za izboljšanje temeljnih tal in izvedbo AB povozne plošče za objekt nakupovalnega centra CP Ravne  $115,41 \text{ €/m}^2$ . To sem primerjal z izvedbo globokega temeljenja z AB u-vrtanimi piloti premera 100 cm in sanacijo temeljnih tal pod AB povozno ploščo ter vmesnimi povezovalnimi gredami. Cena za popolno zamenjavo temeljnih tal na objektu nakupovalnega centra CP Ravne je znašala  $202,22 \text{ €/m}^2$ .

Ker sem v hipotezi 1 predpostavil, da je izvedba globokega temeljenja z AB u-vrtanimi piloti 40 % cenejša, in so izračuni pokazali, da je dejansko odstopanje cene za sanacijo temeljne plošče za 43 % nižje, to **potrjuje hipotezo 1**.

### ***3.4 Primerjava priprave terena oz. izboljšave temeljnih tal na objektu nakupovalnega centra CP Ravne in objektu trgovskega centra Slovenj Gradec***

Ker smo navedene objekte izvedli v zadnjih treh letih, sem se odločil, da v diplomskem delu raziščem različne variante in primerjave stroškov ter izvedbo priprave temeljnih tal. Osredotočil se bom na sanacijo temeljnih tal v primerih, kjer tla niso dovolj nosilna in je potrebno globoko temeljenje. V diplomskem delu bom prikazal izračune količin in stroškov za izvedbo AB uvrtenih pilotov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne ter za minimalno zamenjavo materiala temeljnih tal na objektu trgovskega centra Slovenj Gradec. Ti objekti imajo podobne karakteristike, saj gre za trgovske oziroma nakupovalne centre z garažami za parkiranje vozil strank ali najemnikov. Izračunal bom količine in stroške za posamezno izvedbo ter jih medsebojno primerjal. V hipotezi 2 sem predpostavil, da sta geološka sestava in lokacija trgovskega centra Slovenj Gradec ekonomsko bolj upravičeni, saj sta petkrat cenejši v primerjavi z lokacijo in sestavo temeljnih tal na lokaciji nakupovalnega centra CP Ravne. Cene na enoto sem primerjal na podlagi povprečnih cen v letu 2024.

### 3.4.1 Izračuni količin in stroškov za primerjavo minimalne zamenjave terena na objektu trgovskega centra Slovenj Gradec

Tabela 6: Izračun količin izvedene sanacije temeljnih tal trgovskega centra Slovenj Gradec

#### Trgovski center Slovenj Gradec – IZBOLJŠAVA TEMELJNIH TAL

##### ZGORNJI PLATO

|            |                         |                            |                    |  |
|------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|--|
|            | POVRŠINA                | 3500,00                    | m <sup>2</sup>     |  |
| Št. vrtine | Višinska kota podbetona | Predvidena kota izkopa (m) | Globina izkopa (m) |  |
| V2         | 416,03                  | 415,53                     | 0,50               |  |
| V3         | 416,03                  | 415,53                     | 0,50               |  |
| V4         | 416,03                  | 415,53                     | 0,50               |  |
|            |                         | 415,53                     | 0,50               |  |

##### PREDVIDENA IZBOLJŠAVA

|  |                 |                            |              |                            |
|--|-----------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
|  |                 | Površina (m <sup>2</sup> ) | Debelina (m) | Količine (m <sup>3</sup> ) |
|  | IZKOP           | 3500,00                    | 0,50         | 1.750,00                   |
|  | NASIP           | 3500,00                    | 0,00         | 0,00                       |
|  | KAMNITA GREDA   | 3500,00                    | 0,30         | 1.050,00                   |
|  | TAMPONSKI NASIP | 3500,00                    | 0,20         | 700,00                     |

##### SPODNJI PLATO

|            |                |                            |                    |  |
|------------|----------------|----------------------------|--------------------|--|
|            | POVRŠINA       | 1000,00                    | m <sup>2</sup>     |  |
| Št. vrtine | Kota podbetona | Predvidena kota izkopa (m) | Globina izkopa (m) |  |
| V5         | 416,03         | 415,00                     | 1,03               |  |
| V6         | 416,03         | 415,20                     | 0,83               |  |
| V8         | 416,03         | 415,30                     | 0,73               |  |
|            |                | 415,17                     | 0,86               |  |

##### PREDVIDENA IZBOLJŠAVA

|  |       |                            |              |                            |
|--|-------|----------------------------|--------------|----------------------------|
|  |       | Površina (m <sup>2</sup> ) | Debelina (m) | Količine (m <sup>3</sup> ) |
|  | IZKOP | 1000,00                    | 0,86         | 860,00                     |
|  | NASIP | 1000,00                    | 0,36         | 363,33                     |

|  |                    |         |      |        |
|--|--------------------|---------|------|--------|
|  | KAMNITA<br>GRED    | 1000,00 | 0,30 | 300,00 |
|  | TAMPONSKI<br>NASIP | 1000,00 | 0,20 | 200,00 |

| <b>REKAPITULACIJA</b> |                    | ZGORNJI PLATO              | SPODNJI PLATO              |                               |
|-----------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|                       |                    | Količine (m <sup>3</sup> ) | Količine (m <sup>3</sup> ) | Količine<br>(m <sup>3</sup> ) |
|                       | IZKOP              | 1750,00                    | 860,00                     | <b>2.610,00</b>               |
|                       | NASIP              | 0,00                       | 363,33                     | <b>363,33</b>                 |
|                       | KAMNITA<br>GRED    | 1050,00                    | 300,00                     | <b>1.350,00</b>               |
|                       | TAMPONSKI<br>NASIP | 700,00                     | 200,00                     | <b>900,00</b>                 |

Vir: Lastni vir

Tabela 7: Izračun stroškov sanacije temeljnih tal trgovskega centra Slovenj Gradec

**Trgovski center Slovenj Gradec –  
IZBOLJŠAVA TEMELJNIH TAL**

| OPIS DELA                                                                                                                                 | Enota          | Količina | Cena/<br>enoto | Skupaj<br>(EUR)   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------|----------------|-------------------|
| <b>PREDDELA</b>                                                                                                                           |                |          |                |                   |
| Priprava gradbišča                                                                                                                        | Kos            | 1,00     | 500,00         | 500,00            |
| Zakoličba in postavitve profilov ter<br>definiranje višin                                                                                 | Pavšal         | 1,00     | 650,00         | 650,00            |
| <b>IZBOLJŠAVA TAL POD<br/>GREDAMI IN AB PLOŠČO</b>                                                                                        |                |          |                |                   |
| Široki izkop zrnate kamnine<br>(podkleteni del) – 3. kategorije –<br>strojno z nakladanjem in odvozom<br>zemljine na trajno deponijo      | m <sup>3</sup> | 2.610,00 | 8,40           | 21.924,00         |
| Ureditev planuma temeljnih tal                                                                                                            | m <sup>3</sup> | 4.500,00 | 0,90           | 4.050,00          |
| Dobava in polaganje geotekstila<br>300 g                                                                                                  | m <sup>2</sup> | 4.500,00 | 1,60           | 7.200,00          |
| Dobava in vgraditev zemljine v<br>nasip z vgrajevanjem v plasteh                                                                          | m <sup>3</sup> | 363,33   | 24,00          | 8.720,00          |
| Vgraditev posteljice v debelini<br>plasti do 30 cm iz zrnate kamnine<br>0/63                                                              | m <sup>3</sup> | 1.350,00 | 29,00          | 39.150,00         |
| Dobava in vgraditev tamponskega<br>materiala v debelini 20 cm z<br>nabijanjem po plasteh in<br>planiranjem (tamponski drobljenec<br>0/32) | m <sup>3</sup> | 900,00   | 31,00          | 27.900,00         |
|                                                                                                                                           |                |          |                |                   |
|                                                                                                                                           |                |          |                |                   |
| Projektantski nadzor                                                                                                                      | Pavšal         | 1,00     | 1.300,00       | 1.300,00          |
| Geotehnični nadzor                                                                                                                        | Pavšal         | 1,00     | 1.300,00       | 1.300,00          |
| <b>SKUPAJ</b>                                                                                                                             |                |          |                | <b>112.694,00</b> |

|                 |                  |              |  |  |
|-----------------|------------------|--------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 4.500,00     |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 112.694,00   |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | <b>25,04</b> |  |  |

Vir: Lastni vir

### 3.4.2 *Prikaz izračunov za izdelavo AB u-vratnih pilotov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne in minimalne izboljšave temeljnih tal na objektu trgovskega centra Slovenj Gradec*

Tabela 8: Prikaz cene na m<sup>2</sup> za objekt nakupovalnega centra CP Ravne

|                 |                  |               |  |  |
|-----------------|------------------|---------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00      |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 350.282,48    |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | <b>115,41</b> |  |  |

Vir: Lastni vir

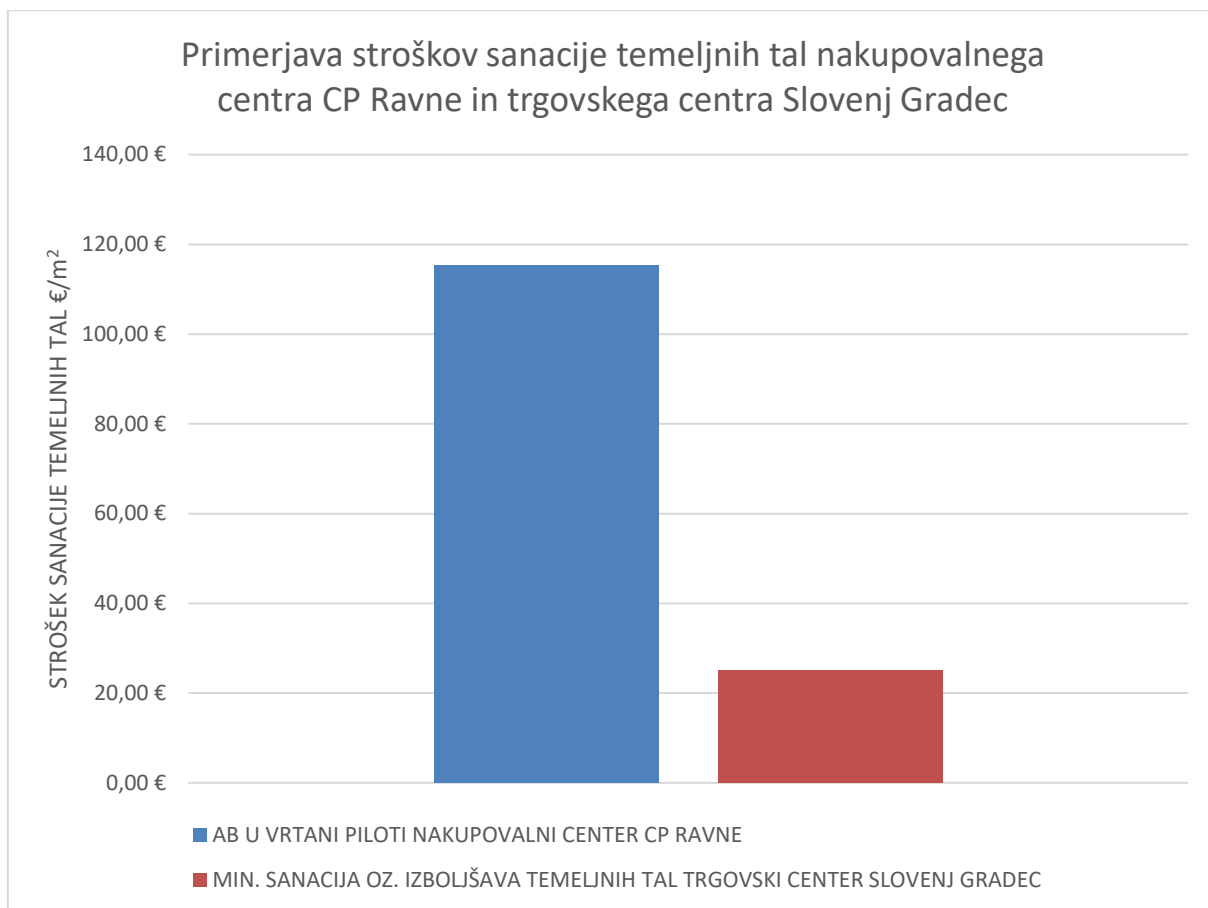
Tabela 8 je povzeta na podlagi izračunov v tabelah 1 in 2, kjer so prikazani izračuni količine in cene na m<sup>2</sup>.

Tabela 9: Prikaz cene na m<sup>2</sup> za objekt trgovskega centra Slovenj Gradec

|                 |                  |              |  |  |
|-----------------|------------------|--------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 4.500,00     |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 112.694,00   |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | <b>25,04</b> |  |  |

Vir: Lastni vir

Tabela 9 je povzeta na podlagi izračunov v tabelah 6 in 7, kjer so prikazani izračuni količine in cene na m<sup>2</sup>.



Grafikon 2: Primerjava stroškov sanacije oz. izboljšave temeljnih tal med AB u-vrtanimi piloti na objektu nakupovalnega centra CP Ravne in minimalno zamenjavo oz. sanacijo temeljnih tal na objektu trgovskega centra Slovenj Gradec

Vir: Lastni vir

### 3.4.3 Primerjava in analiziranje izračunov

Tabela 10: Primerjava stroškov AB u-vrtanih pilotov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne in minimalno zamenjavo oz. sanacijo temeljnih tal na objektu trgovskega centra Slovenj Gradec

#### Trgovski center Slovenj Gradec – IZBOLJŠAVA TEMELJNIH TAL

|                 |                  |            |  |  |
|-----------------|------------------|------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 4.500,00   |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 112.694,00 |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | 25,04      |  |  |

#### Nakupovalni center CP Ravne – AB U-VRTANI PILOTI

|                 |                  |            |  |  |
|-----------------|------------------|------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00   |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 350.282,48 |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | 115,41     |  |  |

| PRIMERJAVA      |                  | PILOTI CP<br>RAVNE | ZAMENJAVA<br>TERENA<br>SLOVENJ<br>GRADEC |             |
|-----------------|------------------|--------------------|------------------------------------------|-------------|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00           | 4.500,00                                 |             |
| Skupna vrednost | €                | 350.282,48         | 112.694,00                               |             |
|                 | €/m <sup>2</sup> | 115,41             | 25,04                                    | <b>4,61</b> |

Vir: Lastni vir

V tabelah in izračunih sem prikazal izračun sanacij za posamezen objekt. Primerjal sem izvedbo sanacije temeljnih tal ob izgradnji trgovskega centra Slovenj Gradec in izvedbo izboljšave temeljnih tal oz. izvedbo globokega temeljenja z u-vrtanimi AB piloti zaradi slabo nosilnih tal na objektu nakupovalnega centra CP Ravne. Oba objekta sta podobne vrste v dveh etažah (klet + pritličje) in se uporabljata v enaki meri. V kleti je garaža oz. skladiščni prostor, v pritličju pa se nahaja trgovinski del centra. Količine sem povzel na podlagi geološke sestave in dejansko izvedenih del. Cene na enoto sem pri izračunih uporabil na osnovi povprečnih trenutnih tržnih cen na trgu. Na podlagi vseh podatkov sem izračunal strošek sanacij temeljnih tal oz. izvedbo globokega temeljenja za oba navedena objekta:

- sanacija temeljnih tal oz. izvedba globokega temeljenja ter sanacija pod gredami in AB ploščo znaša 115,41 €/m<sup>2</sup> za nakupovalni center CP Ravne,
- minimalna sanacija temeljnih tal pod AB gredami, točkovnimi in pasovnimi temelji ter AB ploščo znaša 25,04 €/m<sup>2</sup>.

Ker sem v hipotezi 2 predpostavil, da so lokacija in geološke sestave temeljnih tal na območju trgovskega centra Slovenj Gradec ekonomsko bolj upravičene kot na objektu nakupovalnega centra CP Ravne, ker je petkrat cenejša priprava temeljnih tal na objektu v Slovenj Gradcu, sem dokazal, da navedena trditev velja in jo potrjujem, kar prikazujem v tabeli 10 in grafikonu 2.

**Hipotezo 2 potrdim.**

## 4 SANACIJA TEMELJNIH TAL Z ZABITIMI MIKRO DUKTILNIMI PILOTI

### 4.1 Sanacija temeljnih tal z zabitimi mikro duktilnimi piloti

#### 4.1.1 Splošno o mikro duktilnih pilotih

Tehnologija z mikro duktilni piloti je vsestransko uporabna in okolju prijazna. Tehnologija zabijanja pilotov iz duktilnih cevi se uporablja predvsem za temeljenje objektov, sanacijo temeljev obstoječih objektov, sanacijo plazov, izdelavo zagatnih sten, sidranje brežin, mikropilotiranje itd.

#### 4.1.2 Temeljenje objektov

Temeljenje objektov z duktilnimi piloti poteka hitro. Za izvedbo se potrebuje malo prostora, oprema je premična, kar omogoča izvedbo del tudi v mestnih središčih. V primerjavi s klasičnim temeljenjem gre tu za občutne prihranke količin temeljnega betona.



Slika 21: Temeljenje objektov

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

#### **4.1.3 Temeljenje montažnih objektov**

Temeljenje montažnih objektov je primerno za lažje konstrukcije, ki so občutljive na posedanje in različne točkovne premike. Ta metoda temeljenja omogoča varen prenos vpliva vetra in obtežitev konstrukcije v temeljna tla.

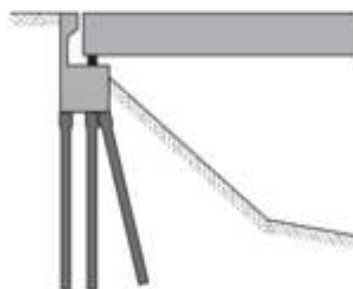


Slika 22: Temeljenje montažnih objektov

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

#### **4.1.4 Temeljenje mostnih objektov**

Za hitro in enostavno temeljenje mostovnih podpornikov so primerni mikro duktilni piloti, saj je momenti in horizontalne sile se prenašajo prek pilotov, zabitih vertikalno ali pod kotom.



Slika 23: Temeljenje montažnih objektov z različnimi nagibi zabijanja

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

#### **4.1.5 Tehnologija izvedbe**

##### **4.1.5.1 Splošno**

Vgradnja pilotov je precej enostavna. Zaradi majhne mase pilotov (približno 35 kg/m) so enostavni za transport do gradbišča in premikanje po njem, kar omogoča njihovo uporabo tudi na utesjenih in težko dostopnih območjih. V mnogih primerih ni treba izdelati tamponske podlage ali dovoznih ramp, kar zmanjša stroške priprave mesta vgradnje. Pilote lahko zabijamo pod različnimi koti, v posebnih primerih tudi horizontalno.

Pri vgradnji pilotov prvo cev opremimo s čevljem, jo postavimo na končno višino izkopa in zabijemo. Nato jo s pomočjo konusnega nastavka povežemo z naslednjo cevjo. Posamezne cevi, ki sestavljajo duktilni pilot, zabijamo z zabijali visokih frekvenc in jih brez posebnih naprav povezujemo v poljubne dolžine.

Pilotne cevi so na voljo v dolžinah pet ali šest metrov, v primeru omejenega prostora pa lahko naročimo tudi krajše. Če je del pilota predolg, ga odrežemo na načrtovano višino, preostali del pa opremimo z zabijalnim čevljem in uporabimo za naslednji pilot, kar zmanjša odpadke. Poleg tega lahko pilote zapolnimo z betonom, kar povečuje njihovo nosilnost.

##### **4.1.5.2 Material**

Material pilotov je duktilno lito železo (označeno z GGG; nem. Guss, Grau, Globular, kar pomeni siva litina z grafitom v obliki kroglice), ki je v primerjavi s sivo litino bolj trpežen in odporen na visoke obremenitve. Duktilno lito železo ohranja svojo obstojnost tudi pri visokih obtežbah in se ne poškoduje. Ima približno 30 % boljše lastnosti pri deformacijah v primerjavi z gradbenim jeklom.

##### **4.1.5.3 Sestavni deli sistema pilotiranja**

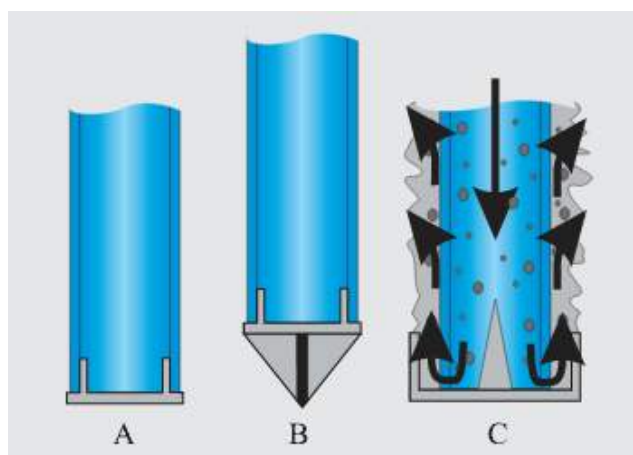
Sestavni deli sistema pilotiranja so naslednji:

- glava pilota za prenos obtežbe s temeljenega objekta na pilot,
- plašč pilota: cev iz duktilnega litega železa fi 118 mm (z debelino sten praviloma med 8 in 10 mm) ali fi 170 mm (z debelino sten praviloma med 11 in 13 mm),
- nastavek za povezovanje cevi in
- čevlj pilot: oblika je prilagojena vrsti zemljine in posebno izdelana za pilote s sprotnim injektiranjem.

#### 4.1.5.4 Nosilnost pilota

Nosilnost pilotov dosežemo z zabijanjem, kar zagotavlja trdno in odporno povezavo. Pilot zabijemo do predpisane globine z natančno določenim naborom energije. Za povečanje nosilnosti lahko okoli pilota sproti injektiramo material, kar ustvari dodatno podporo. Če v še svežo betonsko maso vgradimo armaturne palice, lahko take pilote uporabimo kot natezne pilote ali natezne geotehnične elemente.

Glava pilota se izdelava glede na statične potrebe.



Slika 24: Vrste glav pilota

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

Na pilote iz duktilne litine se lahko s posebnimi elektrodami privari plošča, ki služi za prerazporeditev obtežbe.

Tabela 11: Nosilnost pilotov

| Vrsta pilota<br>$f_i \times s$ | Zunanji<br>premer (mm) | Debelina<br>stene (mm) | Površina<br>prereza cevi<br>pilota (cm <sup>2</sup> ) | Površina<br>prereza<br>betona (cm <sup>2</sup> ) | Nosilnost<br>pilota (kN) | Nosilnost<br>betona B<br>25 (kN) | Nosilnost pilota<br>+ beton 2 (kN) |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 118 x 7,5                      | 118,00                 | 7,50                   | 20,55                                                 | 83,32                                            | 438                      | 69                               | 507                                |
| 170 x 10,6                     | 170,00                 | 10,60                  | 45,14                                                 | 173,90                                           | 962                      | 144                              | 1.106                              |

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

Nosilnost pilotov znaša 50–120 ton, odvisno od vrste pilota in geotehničnih značilnosti tal.

#### 4.1.5.5 Notranja nosilnost

V tabeli 12 so podane dopustne obtežbe, dobljene iz notranje nosilnosti (betoniranih in nebetoniranih) duktilnih cevi.

Tabela 12: Notranja tlačna nosilnost: dopustne obtežbe (kN)

| Lita cev       | Dopustna obtežba [kN] |             |
|----------------|-----------------------|-------------|
|                | Betoniran             | Nebetoniran |
| fi 170 × 13 mm | 1280                  | 1070        |

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

V tabeli 12 so dopustne napetosti dobljene s količnikom varnosti 1,5 za duktilne cevi in pri dopustni napetosti 18,9 MPa za beton B 300 po DIN pri 12 ‰.

#### 4.1.6 Prednosti zabijanja pilotov iz duktilne zlitine

Prednosti zabitih mikro duktilnih pilotov so: velika odpornost materiala, visoka korozijska odpornost materiala, hitra izvedba, takoj po izdelavi oz. zabijanju je možno nadaljevati z deli (velik prihranek časa), majhna teža, manjša potrebna mehanizacija, izdelava na nedostopnih terenih, nizek vpliv na okolje, primernost za vse gradnje (visoko gradnjo, nizko gradnjo, podporne zidove, zaščito gradbenih jam ...), možnost izvedbe pod različnimi nakloni, pri izvedbi ni odpadkov, 100-odstotni rezultati zveznosti, sorazmerno velika dopustna obtežba, nizki stroški izvedbe, glave pilota ni treba dodatno obdelovati po izvedbi, nosilnost se lahko določi na gradbišču z empiričnimi izračuni itd.

#### 4.1.7 Namen in vgradnja

Piloti so primerni za raznovrstna temeljenja tudi zelo velikih projektov, sanacijo plazov, izdelavo opornih zidov, sanacijo temeljev obstoječih objektov itd. Zaradi majhne mase duktilnih cevi (ne več kot 35 kg/m) je zabijanje pilotov enostavno in se lahko izvaja z lahkimi bagri, ki so opremljeni z zabijali. Vgrajujemo jih lahko tudi na utesnjenih in težko dostopnih mestih.

Za zabijanje je potrebna zelo majhna energija in ni dinamičnih vplivov na že zgrajene objekte. Pilote lahko vgrajujemo nagnjene do 45°, v posebnih primerih pa tudi horizontalno. Prvo cev

pilota opremimo s čevljem (ravnim in konusnim ali za injektiranje) ter jo postavimo na končno višino izkopa in zabijemo. Nato nanjo prek konusnega nastavka povežemo naslednjo cev. Z zabijanjem dobimo togo in odporno povezavo. Pilot zabijemo do končne globine in eventualno predolgi del pilota odrežemo na načrtovano višino. Ostanek cevi lahko opremimo z zabijalnim čevljem in jo uporabimo kot prvo cev naslednjega pilota, odpada materiala praktično ni. Pilota lahko zapolnimo z betonom. Za povečanje nosilnosti lahko s sprotnim injektiranjem okoli pilota ustvarimo injektirno telo. Če v še ne strjeno betonsko maso vtisnemo betonsko jeklo, lahko takšne pilote uporabimo kot natezne pilote ali natezne geotehnične elemente nasploh.

Glava pilota se izdelava glede na statične potrebe. Na pilote se lahko privari plošča na raznos obtežbe, saj se duktilna litina lahko vari s posebnimi elektrodami.

Piloti, ki se jih da trenutno dobiti na tržišču, so premera  $\varnothing$  118 mm z debelino stene 8–10 mm in premera  $\varnothing$  170 mm z debelino stene 8–13 mm.

#### 4.1.7.1 Zabijanje pilota brez injektiranja

Pri tem načinu zabijemo cev v zemljino. Pilot običajno zabijemo v trdo do ene tretjine. **S to izvedbo dobimo nosilne vrednosti, ki pa so odvisne od nosilnosti tal in znašajo:** Pri izvajanju po takšnem načinu zabijemo cev v zemljino. Pilot običajno zabijemo v trdo do ene tretjine. S takšno izvedbo dobimo nosilne vrednosti, ki pa so odvisne od nosilnosti tal in znašajo za pilot  $\varnothing$  118 mm od 300 do 500 kN in pilot  $\varnothing$  170 mm od 500 do 900 kN. Za takšen način izvedbe je primeren teren, kjer na koncu dosežemo trdno podlago. Primeren je za sanacije plazov, točkovno temeljenje, zagatne stene ...

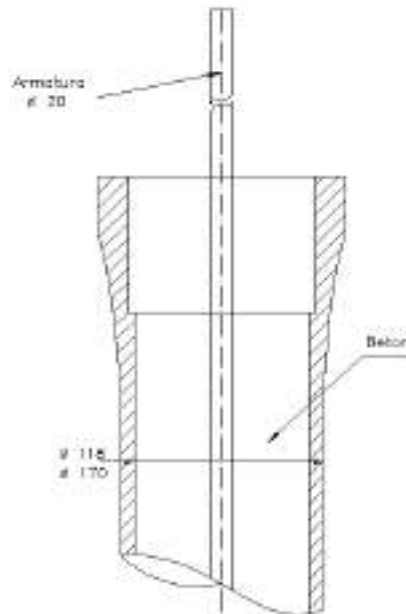
#### 4.1.7.2 Zabijanje pilota z naknadnim injektiranjem

Pri izvajanju po takšnem načinu zabijemo pilot do zahtevane globine, nato vložimo armaturo in pilot injektiramo z betonsko mešanico. S takšno izvedbo dosežemo nosilne vrednosti, ki so odvisne od nosilnosti tal in znašajo za pilot  $\varnothing$  118 mm od 350 do 600 kN in pilot  $\varnothing$  170 mm od 700 do 1050 kN. Za takšen način izvedbe je primeren teren, kjer na koncu dosežemo trdno podlago. Primeren je za sanacije plazov, točkovno temeljenje, temeljne grede, zagatne stene itd.

#### 4.1.7.3 Zabijanje pilotov s sprotnim injektiranjem

Pri izvajanju po takšnem načinu zabijemo pilot s podstavkom večjega premera, kot je imenski premer duktilne cevi. Sproti z zabijanjem pa pod tlakom potiskamo beton, ki zapolnjuje vrtno. S to izvedbo dosežemo nosilne vrednosti, ki so odvisne od tal in znašajo za pilot, ki je sprotno

injektiran fi 150–200 mm, 300–600 kN, in ki je sprotno injektiran fi 200–300 mm, 700–1100 kN.



Slika 25: Zabijanje pilota s sprotnim injektiranjem

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

Ta način izvedbe je primeren predvsem takrat, kadar je podana zahteva, da pilot prevzema nosilnost na plašč, oz. kadar ne dosežemo v globini trdnega terena. Pilot v tem primeru prevzema nosilnost predvsem na plašč.

#### **4.1.8 TEHNIČNI PODATKI**

Po izdelavi nekaj projektov zabitih pilotov so bile izvedene dinamične meritve obremenitev pilotov. Meritve pilotov smo opravljali po metodi Pile Driving Analyser – model Pak. Metoda in postopek meritev sta standardizirana s standardom ASTM D4945-89.

Po opravljenih meritvah se podatki analizirajo s programom CAPWAP. Tako smo dokazali, da uspemo prekoračiti z zabijanjem mejne dopustne obremenitve pilotov.

#### 4.1.9 POSTOPEK ZABIJANJA PILOTOV IZ DUKTILNE LITINE

##### 4.1.9.1 Opis lokacije

Za dostop do mesta zabijanja pilotov je treba izdelati dostopno pot za premik stroja za zabijanje pilotov (npr. 14-tonski bager z zabijalno napravo na stisnjen zrak) in dostop kamionskega dvigala za prevoz in montažo pilotov na stroj.

Izdelan mora biti ustrezen plato na mestu zabijanja pilotov, tako da stroj za zabijanje stoji na ravni podlagi v oddaljenosti od sredine pilota cca 7 m. Ob platoju, kjer se zabija pilote, mora biti prostor za postavitve kompresorske enote in kamiona dolžine 10 m, širine 5 m, ki služi za dvig in namestitev pilota v stroj za zabijanje pilotov.

##### 4.1.9.2 Oprema za zabijanje

Za zabijanje se uporablja pnevmatsko zabijalo na stisnjen zrak GRUNDORAM PIPE RAMMER – KOLOSS.

Tabela 13: Osnovni tehnični podatki o zabijalu

| Tip zabijala s tovarniško oznako                | GRUNDORAM KOLOSS 1180 kg |
|-------------------------------------------------|--------------------------|
| Teža udarnega bata                              | 1180 kg                  |
| Maksimalna teoretična energija pri zabijanju Er | cca 6,82 kNm (kJ)        |
| Poraba zraka                                    | 20 m <sup>3</sup> /min   |
| Število udarcev na minuto                       | 220 ud/min               |

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

##### 4.1.9.3 Priprava dela

Pred izvedbo sledi postavitve predhodno omenjene opreme ob in na mestu zabijanja. Označene morajo biti točke zabijanja pilota in kota oz. višina vrha duktilnega pilota in potrebne armature (palice fi 22 mm).

#### 4.1.9.4 Potek dela

Potek dela je sledeč: postavitve stroja na točko pilota, namestitve pilota v zabijalno napravo, vklop kompresorske postaje za zagone zabijala na stisnjen zrak in vtisk pilota na željeno globino v obstoječo hribino.



Slika 26: Zabijanje pilotov (vertikalno in pod naklonom)

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

Po končanem zabijanju sledi premik opreme na naslednji pilot. Ob končanem zabijanju testnega pilota se izvede zahtevana meritev nosilnosti pilota.



Slika 27: Test nosilnosti pilotov

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

Po končanju zabitja pilotov se v pilot vstavijo armaturne palice premera  $\varnothing 22$  mm in notranjost pilota zalije z betonom.



Slika 28: Izvedeni piloti

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

Po zaključku del sledita demontaža zabijalne naprave ter odvoz strojev in opreme z gradbišča.

#### **4.1.10 Meritev in analiza nosilnosti pilota**

Na kol, ki ga zabijamo (po glavi udarjamo), pritrdimo senzorje za merjenje deformacij in pospeškov. Senzorji so pritrjeni osno simetrično na vsaki strani, cca 2 premera pod glavo kola. Z zabijalom povzročeni tlačni napetostni val potuje po kolu navzdol in se po odboju na konici vrača nazaj gor. Meritve izvaja podjetje SLP, d. o. o. (Vilkograd, 2016-2024).

S senzorji zaznani napetostni valovi se prek PDA (angl. Pile Driving Analyser – model PAK) obdelajo, tako da dobimo ob vsakem udarcu zabijala na zaslonu takojšen prikaz poteka sile in hitrosti pomika merskega mesta v odvisnosti od časa. Vsi podatki se snemajo na trdi disk, da jih po zabijanju ponovno podrobno analiziramo.

Po izvedbi dinamičnega obremenilnega testa se posneti podatki sile in pospeška uporabijo za računalniško analizo s programom CAPWAP (angl. CAsE Pile Wave Analysis Program), katerega osnova je valovna enačba.

Modeliran kol in zemljino injiciramo z eno izmed merjenih krivulj in z iteracijami (spreminjanjem modela kola in zemljine) iščemo najboljši približek dejanski oz. drugi merjeni krivulji. Z zadovoljivim približkom merjeni krivulji so poznane lastnosti modela zemljine in mejna nosilnost testiranega kola.

S postopnim obremenjevanjem tako določenega modela kola in zemljine (računalniška simulacija statičnega obremenilnega testa) dobimo graf obtežba-pomik testiranega kola.

#### 4.1.10.1 Oprema za testiranje pilotov

Za testiranje nosilnosti prosto padno zabijalo **SLP PP2** tone.

Tabela 14: Osnovni tehnični podatki o zabijalu SLP PP2t

| Tip zabijala s tovarniško oznako                | SLP PP2t    |
|-------------------------------------------------|-------------|
| Teža udarnega bata                              | 2000 kg     |
| Maksimalna teoretična energija pri zabijanju Er | 30 kNm (kJ) |
| Maksimalna višina padca bata                    | 1,5 m       |
| Število udarcev na minuto                       | ud/min      |

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)



Slika 29: Izvedba meritev in instrumentacija pilota

Vir: Interni vir (Vilkograd, 2016-2024)

## **4.2 Primerjava zamenjave tehnologije izvedbe AB u-vrtanih pilotov z izvedbo zabitih mikro duktilnih pilotov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne**

Ker sem v hipotezi 3 predpostavil, da z zamenjavo tehnologije izvedbe iz AB u-vrtanih v zabite mikro duktilne pilote prihranimo pri času izvedbe, sem raziskal trg in izdelal izračune možnosti izvedbe zamenjave. Raziskal sem možnost izvedbe ter naredil stroškovne izračune in primerjave.

#### 4.2.1 Izračuni količin in stroškov izvedbe mikro zabitih duktilnih pilotov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne

Tabela 15: Izračun potrebnih količin mikro duktilnih pilotov v primeru zamenjave na objektu nakupovalnega centra CP Ravne

##### Izračun potrebnih količin v primeru izvedbe z mikro duktilnimi piloti, betoniranimi 170 mm × 13 mm – objekt nakupovalnega centra CP Ravne

| Projektna nosilnost pilota AB u-vrtani piloti fi 100 cm nakupovalni center CP Ravne | Mikro duktilni pilot 170 mm × 13 mm – betoniran | Število duktilnih mikro pilotov | Izračun potrebne skupne dolžine mikro duktilnih pilotov |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Nosilnost (kN)                                                                      | Nosilnost (kN)                                  | Kos                             | (m)                                                     |
| 7543                                                                                | 1280                                            | 5,89                            |                                                         |
| Izvedena količina nakupovalni center CP Ravne (m)                                   |                                                 |                                 |                                                         |
| 573,00                                                                              |                                                 | 5,89                            | 3376,67                                                 |
|                                                                                     | Povprečna dolžina (m/kos)                       |                                 |                                                         |
| 573,00                                                                              | 14,33                                           |                                 |                                                         |
|                                                                                     |                                                 |                                 |                                                         |
| Izvedena količina nakupovalni center CP Ravne (kos)                                 |                                                 |                                 | Izračun količine mikro duktilnih pilotov (kos)          |
| 40                                                                                  |                                                 | 5,89                            | 236                                                     |
| <b>Mikro duktilni piloti 170 mm X 13 mm- betoniran</b>                              |                                                 |                                 |                                                         |
| Število (kos)                                                                       |                                                 | <b>236</b>                      |                                                         |
| Dolžine (m)                                                                         |                                                 | 14,33                           |                                                         |
| Skupna potrebna količina (m)                                                        |                                                 | <b>3376,67</b>                  |                                                         |

Vir: Lastni vir

Na podlagi pridobljenih podatkov iz PZI in statičnih izračunov smo povzeli, da je nosilnost enega pilota za naveden projekt 7543 kN. Iz teh podatkov smo izračunali, da bi enako nosilnost prevzelo 5,89 mikro duktilnih pilotov 170 mm × 13 mm, ki so betonirani, in s tem mu povečamo plašč. Na podlagi izračunov smo ugotovili, da za omenjeni objekt potrebujemo 236 mikro duktilnih pilotov v povprečni dolžini 14,33 m. Torej sklepamo, da bomo za izvedbo potrebovali skupno 3367,67 m.

Tabela 16: Izračun stroškov v primeru zamenjave mikro duktilnih pilotov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne

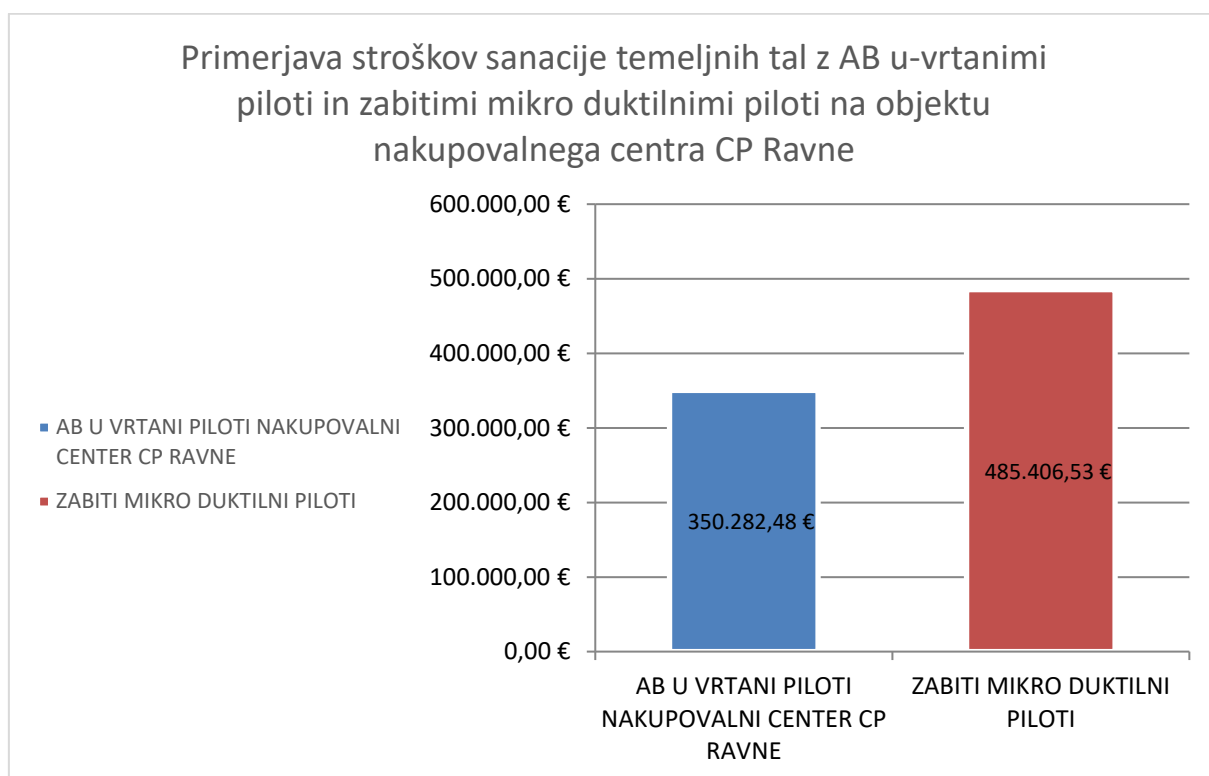
**Zabiti mikro duktilni piloti 170 mm × 13 mm – betonirani/objekt nakupovalnega centra CP Ravne**

| <b>OPIS DELA</b>                                                                                                                       | <b>Enota</b>         | <b>Količina</b> | <b>Cena/enoto</b> | <b>Skupaj (EUR)</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| <b>PREDDELA</b>                                                                                                                        |                      |                 |                   |                     |
| <i>Priprava gradbišča</i>                                                                                                              | <i>Kos</i>           | <i>1,00</i>     | <i>500,00</i>     | <i>500,00</i>       |
| <i>Zakoličba pilotov 236 kosov</i>                                                                                                     | <i>Pavšal</i>        | <i>1,00</i>     | <i>650,00</i>     | <i>650,00</i>       |
| <b>PRIPRAVA DELOVNEGA PLATOJA ZA IZVEDBO</b>                                                                                           |                      |                 |                   | <i>0,00</i>         |
| <i>Širok izkop zrnate kamnine (podkleteni del) – 3. kategorije – strojno z nakladanjem in odvozom zemljine na trajno deponijo</i>      | <i>m<sup>3</sup></i> | <i>0,00</i>     | <i>8,40</i>       | <i>0,00</i>         |
| <i>Dobava in vgraditev nasipa za delovni plato iz prodno peščenega materiala, vključno s planiranjem in valjanjem v debelini 50 cm</i> | <i>m<sup>2</sup></i> | <i>0,00</i>     | <i>12,00</i>      | <i>0,00</i>         |
| <b>IZBOLJŠAVA TAL POD GREDAMI IN AB PLOŠČO</b>                                                                                         |                      |                 |                   |                     |
| <i>Širok izkop zrnate kamnine (podkleteni del) – 3. kategorije – strojno z nakladanjem in odvozom zemljine na trajno deponijo</i>      | <i>m<sup>3</sup></i> | <i>1.517,50</i> | <i>8,40</i>       | <i>12.747,00</i>    |
| <i>Ureditev planuma temeljnih tal</i>                                                                                                  | <i>m<sup>3</sup></i> | <i>3.035,00</i> | <i>0,90</i>       | <i>2.731,50</i>     |
| <i>Dobava in polaganje geotekstila 300 g</i>                                                                                           | <i>m<sup>2</sup></i> | <i>3.035,00</i> | <i>1,60</i>       | <i>4.856,00</i>     |
| <i>Dobava in vgraditev zemljine v nasip z vgrajevanjem v plasteh</i>                                                                   | <i>m<sup>3</sup></i> | <i>0,00</i>     | <i>24,00</i>      |                     |
| <i>Vgraditev posteljice v debelini plasti do 30 cm iz zrnate kamnine 0/63</i>                                                          | <i>m<sup>3</sup></i> | <i>910,50</i>   | <i>29,00</i>      | <i>26.404,50</i>    |
| <i>Dobava in vgraditev tamponskega materiala v debelini 20 cm z nabijanjem po plasteh in planiranjem (tamponski drobljenec 0/32)</i>   | <i>m<sup>3</sup></i> | <i>607,00</i>   | <i>31,00</i>      | <i>18.817,00</i>    |
| <b>IZVEDBA PILOTOV po sistemu ZABIJANJA DUKTILNI PILOTI</b>                                                                            |                      |                 |                   |                     |
| <i>Popolna izdelava duktilnega pilota, vključno z betoniranjem (zabiti mikro duktilni piloti 170 mm × 13 mm – betoniran)</i>           | <i>m</i>             | <i>3.376,67</i> | <i>120,00</i>     | <i>405.253,53</i>   |
| <i>Geodetski posnetki izvedenih pilotov</i>                                                                                            | <i>Pavšal</i>        | <i>1,00</i>     | <i>1.000,00</i>   | <i>1.000,00</i>     |
| <i>Kontrolne meritve nosilnosti pilotov (dinamični test) z računsko karakteristično mejno nosilnostjo &gt; 1300 kN</i>                 | <i>Piloti</i>        | <i>5,00</i>     | <i>1200,00</i>    | <i>6.000,00</i>     |

|                                                  |               |             |                 |                     |
|--------------------------------------------------|---------------|-------------|-----------------|---------------------|
| <i>Projektantski nadzor</i>                      | <i>Pavšal</i> | <i>1,00</i> | <i>1.300,00</i> | <i>1.300,00</i>     |
| <i>Geotehnični nadzor</i>                        | <i>Pavšal</i> | <i>1,00</i> | <i>1.300,00</i> | <i>1.300,00</i>     |
| <i>Monitoring</i>                                | <i>Pavšal</i> | <i>1,00</i> | <i>1.950,00</i> | <i>1.950,00</i>     |
| <i>Zaključno poročilo o izvedenem temeljenju</i> | <i>Pavšal</i> | <i>1,00</i> | <i>1.950,00</i> | <i>1.950,00</i>     |
| <b>SKUPAJ</b>                                    |               |             |                 | <b>485.406,53 €</b> |

|                        |                        |                   |  |  |
|------------------------|------------------------|-------------------|--|--|
| <i>Površina</i>        | <i>m<sup>2</sup></i>   | <i>3.035,00</i>   |  |  |
| <i>Skupna vrednost</i> | <i>€</i>               | <i>485.406,53</i> |  |  |
|                        | <i>€/m<sup>2</sup></i> | <i>159,94</i>     |  |  |

Vir: lastni vir



Grafikon 3: Primerjava stroškov sanacije oz. izboljšave temeljnih tal med AB u-vrtanimi piloti in zabitimi duktilnimi piloti na objektu nakupovalnega centra CP Ravne

Vir: Lastni vir

#### 4.2.2 Primerjava in analiziranje izračunov mikro zabitih duktilnih pilotov in u-vrtanih AB pilotov

Tabela 17: Stroškovna primerjava AB u-vrtanih pilotov in duktilnih pilotov na primeru objekta nakupovalnega centra CP Ravne

##### Mikro duktilni piloti 170 mm × 13 mm – betonirani

|                 |                  |            |  |  |
|-----------------|------------------|------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00   |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 485.406,53 |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | 159,94     |  |  |

##### Nakupovalni center CP Ravne – AB U-VRTANI PILOTI

|                 |                  |            |  |  |
|-----------------|------------------|------------|--|--|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00   |  |  |
| Skupna vrednost | €                | 350.282,48 |  |  |
|                 | €/m <sup>2</sup> | 115,41     |  |  |

##### AB U-VRTANI PILOTI NAKUPOVALNI CENTER CP RAVNE

##### ZABITI MIKRO DUKILNI PILOTI

|                 |                  |            |            |       |
|-----------------|------------------|------------|------------|-------|
| Površina        | m <sup>2</sup>   | 3.035,00   | 3.035,00   | %     |
| Skupna vrednost | €                | 350.282,48 | 485.406,53 | 38,58 |
|                 | €/m <sup>2</sup> | 115,41     | 159,94     | 38,58 |

Vir: Lastni vir

Na podlagi izvedenih raziskav in izračunov ugotavljamo, da se stroški pri zamenjavi tehnologije izvedbe in zamenjavi materiala za izvedbo pilotov povečajo. V našem primeru, ko je zahtevana povprečna nosilnost pilota 7543 kN, se stroški povečajo za cca 39 % glede na izvedbo AB u-vrtanih pilotov premera 100 cm s povprečno nosilnostjo 7543 kN, vendar smo časovno prihranili. Iz tega smo ugotovili, da se stroškovno enačijo pri izvedbi pilotov nosilnosti posameznega pilota cca 5000 kN. Iz predpostavljene hipoteze 3, ki pravi, da je sanacija terena temeljnih tal na območju nakupovalnega centra CP Ravne s tehnologijo mikro zabitih duktilnih pilotov za 20 % cenejša od AB u-vrtanih pilotov, ugotovimo, da je izvedba za navedeni objekt cca 39 % dražja. **Hipotezo 3 ovržemo.**

#### **4.3 H4: Dodatna hipoteza – BTEC 2024 »Umetna inteligenca in nove tehnologije«: Sanacija terena oz. temeljenje pod objektom s tehnologijo mikro zabitih duktilnih pilotov je 30 % hitrejša od izvedbe z u-vrtanimi AB piloti**

V začetku pri izvedbi projekta se najprej ukvarjamo s projektiranjem in raziskovanjem glede geološke sestave terena. Osnova za objekt so dobro zasnovan projekt, dobro izvedene predhodne raziskave in dobro izveden projekt za izvedbo. V fazi projektiranja globokega temeljenja pilotov so se uporabljale tradicionalne klasične metode izračunov nosilnosti, dimenzioniranja pilotov, kar je predstavljalo velike stroške. V ta namen se za optimizacijo stroškov in časa razvijajo na področju umetne inteligence različna orodja in programi za izračune in dimenzioniranje pilotov.

**Umetna inteligenca** je s pomočjo razvitih orodij in programov doprinesla optimizacije stroškov, večjo učinkovitost in natančnost dimenzioniranja pilotov. Leta 2011 je Pal razvil program za določanje nosilnosti pilotov in deluje na generalizirani regresijski nevronske mreži. Leta 2015 so Milad idr. razvili orodje za dimenzioniranje pilotov, ki deluje prek baze 100 praktičnih primerov dimenzioniranja in pri tem uporablja nevronske mreže in genetsko programiranje ter linearno regresijo.

Globoko temeljenje predstavlja več tehnologij izvedbe globokega temeljenja s piloti. Možnosti načina izvedbe so: tehnologija z u-vrtanimi piloti in tehnologija z zabitimi piloti. V tem poglavju bomo predstavili tehnologijo zabitih pilotov.

Za globoko temeljenje z metodo zabijanja se uporabljajo piloti iz različnih materialov, različnih dimenzij in različnih oblik. V zgodovini so se že v antiki uporabljali leseni piloti, ki so bili iz različnih vrst lesa. V kasnejšem času so se postopoma začeli pojavljati piloti iz drugih materialov, kot so: jeklo, beton, armiran beton, prednapeti beton in duktilni materiali. Leseni piloti so v večini primerov dolžine maksimalno do 12 m in jih ni možno spajati, razen v skrajnih primerih, ko jih spajamo tako, da vertikalno spojimo več posameznih pilotov v en pilot. Leseni piloti imajo slabe lastnosti, kadar niso potopljeni v vodo in so izpostavljeni različnim vremenskim vplivom ter možnosti dostopa termitov in raznih škodljivcev. V takšnih primerih se lahko zaščitijo z raznimi premazi proti zunanjim vplivom.



Slika 30: Leseni zabiti piloti

Vir: Internetni vir (Ideje za vaš dom , 2024)

Piloti iz betona ali armiranega betona so v primerih zabitih pilotov po navadi izdelani v tovarni in imajo boljšo obstojnost glede na vremenske vplive, zato jih ni treba dodatno zaščititi. So različnih oblik kvadratnega, krožnega ali osmerokotnega prereza. V sodobnem času se pojavljajo tudi betonski cilindrični prednapeti piloti.



Slika 31: Armiranobetonski zabiti piloti

Vir: Internetni vir (Ideje za vaš dom , 2024)

Piloti iz duktilnega materiala so se začeli uporabljati v sodobnem času in so pripomogli k lažji izvedbi in transportu materiala na gradbišče. Imajo določene prednosti, saj jih na gradbišče

dobavimo v palicah dolžine 5–6 m in tehtajo cca 35 kg/m v odvisnosti od debeline pilota. Pilot iz duktilnega materiala ima posebno patentiran nastavek za spajanje, ki omogoča spajanje v poljubne dolžine. Duktilni material sestavlja lito železo, označeno z GGC (nem. Gauss, Grau, Globatur; litina, sivi grafit, v obliki krogle). Ta material je obstojen pri visokih obtežbah in obremenitvah ter se za razliko od sive litine ne poškoduje. Piloti so izdelani iz cevi duktilnega materiala s pomočjo posebnega centrifugiranega litja. Najprej so se pojavili na Švedskem, medtem ko so v Slovenijo prinesli **novo tehnologijo** temeljenja z zabitimi mikro duktilnimi piloti.



Slika 32: Nastavek za spajanje mikro duktilnega pilota

Vir: Interni vir (Tiroler Rohre GmbH, 2016)

Ker se v sodobnem gradbeništvu gradnja izvaja na skoraj vseh vrstah terenov, je bila za slabo nosilna tla, kjer izvedba plitvega temeljenja ni možna, razvita nova tehnologija z uporabo zabitih mikro duktilnih pilotov. Zaradi problematike s časom izvedbe s projektirano metodo AB u-vrtanih pilotov sem se odločil raziskati drugo metodo, novo tehnologijo, da bomo prihranili pri času izvedbe.

Glede na raziskano in predstavljeno metodo izvedbe zabitih mikro duktilnih pilotov sem v diplomskem delu v hipotezi 4 predpostavil, da bi z zamenjavo izvedbe prihranili pri času izvedbe. Glede na raziskave v diplomskem delu sem ugotovil, da so zabiti mikro duktilni piloti zelo dobra odločitev pri nosilnosti pilota do 5000 kN, saj ob tem prihranimo na času izvedbe in ob tem povzročimo manj obremenitve na okolje. Opisana izvedba prinaša veliko prednosti s časovnega in ekonomskega vidika.

V tabeli 18 prikazujem izračun porabljenega časa za obe metodi izvedbe (z mikro duktilnimi zabitimi piloti in AB u-vrtanimi piloti).

Tabela 18: Časovna primerjava AB u-vrtanih pilotov in duktilnih pilotov na primeru objekta nakupovalnega centra CP Ravne

| Skupna dolžina duktilnih pilotov (m)    | Izvedba povprečno m/dan | Število dni izvedbe |
|-----------------------------------------|-------------------------|---------------------|
| 3376,67                                 | 280                     | 12                  |
| Skupna dolžina AB u-vrtanih pilotov (m) |                         |                     |
| 593                                     | 28                      | 21                  |

Vir: Lastni vir

Na podlagi izvedenih raziskav in izračunov ter pridobljenih podatkov ugotavljamo, da se čas pri zamenjavi tehnologije izvedbe zmanjša za cca 40 %. Podatke o času, potrebnem za izvedbo posameznega pilota, smo pridobili na podlagi dejanske izvedbe (AB u-vratni piloti) in iz podlage spletnega vira podjetja Tiroler Rohre GmbH, ki ima več kot 75 let izkušenj z razvojem, proizvodnjo in trženjem visokokakovostnih sistemov iz nodularnega železa za vodni transport in globoko temeljenje konstrukcij.

Iz tega lahko predpostavljeno **hipotezo 4**, ki pravi, da je sanacija terena oz. temeljenje pod objektom s tehnologijo mikro zabitih duktilnih pilotov za 30 % hitrejša od izvedbe z u-vrtanimi AB piloti, **potrdimo**, saj je še večji časovni prihranek, kot smo ga predvideli.

## 5 SKLEP

Skozi izdelavo diplomskega dela sem spoznal ključno vlogo predhodnih raziskav pri investiciji v gradnjo posameznih objektov, še posebej geoloških raziskav. V enem izmed poglavij sem raziskal možnost, da bi namesto izvedbe AB u-vrtanih pilotov zamenjali celoten teren temeljnih tal. Takšna rešitev bi namreč zahtevala velike količine izkopov in nasipov, kar bi podaljšalo čas gradnje in povečalo stroške. Z izračuni sem pokazal, da je strošek popolne zamenjave terena temeljnih tal 202,22 €/m<sup>2</sup>, medtem ko je strošek izvedbe AB u-vrtanih pilotov 115,41 €/m<sup>2</sup>, kar potrjuje, da je zamenjava terena predraga.

V naslednjem poglavju sem dokazal, da je strošek minimalne sanacije temeljnih tal nižji od stroška globokega temeljenja. Ugotovil sem, da ima objekt nakupovalnega centra kljub globokemu temeljenju tudi temeljne povezovalne grede, kar je primerljivo s plitvim temeljenjem na objektu trgovskega centra Slovenj Gradec. Izračuni so pokazali, da je strošek minimalne zamenjave temeljnih tal 25,04 €/m<sup>2</sup>, medtem ko je strošek AB u-vrtanih pilotov 115,41 €/m<sup>2</sup>, kar potrjuje, da je minimalna sanacija cenejša za približno petkrat.

Proučil sem, ali so mikro zabiti duktilni piloti cenejši. Ugotovil sem, da so mikro piloti pri velikih nosilnostih nad 5000 kN precej dražji, saj se cena izenači s ceno AB u-vrtanih pilotov, ki zahtevajo nosilnost 7543 kN. Izračuni so pokazali, da je strošek mikro zabitih duktilnih pilotov 159,94 €/m<sup>2</sup>, medtem ko je strošek AB u-vrtanih pilotov 115,41 €/m<sup>2</sup>, kar pomeni, da moj cilj ni bil dosežen.

Primerjal sem tudi časovne vidike izvedbe AB u-vrtanih pilotov in mikro zabitih duktilnih pilotov. Ugotovil sem, da so mikro piloti izvedeni precej hitreje, saj izračuni kažejo, da lahko prihranimo približno 40 % časa. Tako sem dosegel zastavljeni cilj prihraniti čas gradnje.

H1: Izvedba globokega temeljenja za sanacijo oz. izboljšavo temeljnih tal na objektu nakupovalnega centra CP Ravne je 40 % cenejša od popolne zamenjave materiala temeljnih tal.

Na podlagi raziskovanja in izdelave primerjav stroškov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne sem ugotovil, da je izvedba globokega temeljenja z AB u-vrtanimi piloti za cca 43 % cenejša, zato **hipotezo 1 potrdim**.

H2: Lokacija in geološke sestave temeljnih tal na območju trgovskega centra Slovenj Gradec so ekonomsko bolj upravičene kot na objektu nakupovalnega centra CP Ravne, ker je petkrat cenejša priprava temeljnih tal na objektu v Slovenj Gradcu.

Na podlagi raziskovanja in izdelave primerjav stroškov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne in trgovskega centra Slovenj Gradec sem ugotovil, da je ekonomsko bolj upravičena gradnja na objektu trgovskega centra v Slovenj Gradcu, saj je že sestava temeljnih tal omogočala izvedbo plitvega temeljenja in minimalno zamenjavo pod temelji različnih tipov. Z izračuni sem dokazal, da je teren, na katerem ni potrebno globoko temeljenje, petkrat cenejši, zato **hipotezo 2 potrdim.**

H3: Sanacija terena temeljnih tal na območju nakupovalnega centra CP Ravne s tehnologijo mikro zabitih duktilnih pilotov je 20 % cenejša od AB u-vrtanih pilotov.

Na podlagi raziskovanja in izdelave primerjav stroškov na objektu nakupovalnega centra CP Ravne med izvedbo AB u-vrtanih pilotov in mikro zabitih duktilnih pilotov sem ugotovil, da je stroškovno neupravičena zamenjava, saj je izvedba zaradi zahtevane velike nosilnosti pilota, kar predstavlja 5,89 kosa mikro duktilnega pilota namesto enega AB u-vrtanega pilota, saj prestavlja za 39 % večji strošek. **Hipotezo 3** zaradi prevelikega stroška **ovržem.**

H4: Dodatna hipoteza – BTEC 2024 »Umetna inteligenca in nove tehnologije«: Sanacija terena oz. temeljenje pod objektom s tehnologijo mikro zabitih duktilnih pilotov je 30 % hitrejša od izvedbe z u-vrtanimi AB piloti.

Na podlagi raziskovanja in izdelave primerjav časovne izvedbe na objektu nakupovalnega centra CP Ravne med izvedbo AB u-vrtanih pilotov in mikro zabitih duktilnih pilotov sem ugotovil, da bi za izvedbo z mikro zabitimi duktilnimi piloti prihranili devet dni, kar predstavlja prihranek časa za cca 40 %. **Hipotezo 4 potrdim.**

Med raziskovanjem sem spoznal, kako pomembne so predhodne raziskave za investitorje pri sprejemanju odločitev o investicijah. Ugotovil sem, da na lokacijah z neugodnimi geološkimi pogoji in nezadostno nosilnimi temeljnimi tlemi ni vedno mogoče izvesti plitvega temeljenja ali minimalne zamenjave tal. V takih primerih je lahko boljša rešitev iskanje alternativne lokacije, če je to mogoče, kot je bilo v primeru nakupovalnega centra CP Ravne. Poleg tega sem pri izdelavi diplomskega dela ugotovil, da je pri časovni izvedbi smiselno razmisliti o uporabi mikro duktilnih pilotov za nosilnosti do 5000 kN, saj so stroški primerljivi z AB u-vrtanimi piloti za nosilnost 7543 kN.

## 6 VIRI IN LITERATURA

PRO MARO D.O.O. (November, 2021). *PID nakupovalni center CP Ravne*.

*Bauer foundations Australia*. (Junij 2017). Pridobljeno iz Ductile pile:  
[https://www.baueraustralia.com.au/export/shared/documents/pdf/bst/print/905\\_020\\_2\\_Duki\\_pile\\_system.pdf](https://www.baueraustralia.com.au/export/shared/documents/pdf/bst/print/905_020_2_Duki_pile_system.pdf)

Bojan Žlender, H. V. (2013). *Osnove temeljenja- skripta predavanj ter seminarskih in laboratorijskih vaj*. Pridobljeno iz <https://core.ac.uk/download/pdf/67577523.pdf>

Borut Macuh, d. S. (2001). *Priporocilo-k-tehnologiji-in-uporabi-zabitih-mikro-pilotov-iz-duktilnega-litega-zelza*. Pridobljeno iz <https://search.worldcat.org/title/Priporocilo-k-tehnologiji-in-uporabi-zabitih-mikro-pilotov-iz-duktilnega-litega-zelza/oclc/440864094>

dr. Dragotin Ocepek, d. S. (2018). *Priročnik za izvedbo geotehničnih preiskav*. Pridobljeno iz [https://www.izs.si/assets/media/izsnovo/2019/IZS\\_prirocnik\\_MSRG\\_Izvedba\\_geotehnicnih\\_preiskav\\_www.pdf](https://www.izs.si/assets/media/izsnovo/2019/IZS_prirocnik_MSRG_Izvedba_geotehnicnih_preiskav_www.pdf)

*Geoinvest*. (2016-2024). Pridobljeno iz Pilotiranje- Globoko temljenje CFA piloti:  
<http://www.geoinvest.si/reference/cfa-pilotiranje/vevce/18/36/>

Gregorač, V. (2015). *Pipova knjiga , MEHANIKA TAL, ZEMELJSKA DELA IN TEMELJENJE*. Pridobljeno iz <https://isuu.com/pipinovaknjiga/docs/mehanika-tal/6>

IB TECHNO d.o.o. (marec, 2023). *PZI gradbene konstrukcije trgovski center Slovenj Gradec*.

*Ideje za vaš dom*. (2024). Pridobljeno iz Gradnja hiše- temelj: <https://sl.versal-wood.com/1553-pile-foundation-foundation/>

Jelušič, P. (Julij 2021). *Temeljenje*. Pridobljeno iz <https://dk.um.si/dokument.php?id=151257&lang=slv>

PRO MARO D.O.O. (2022). *Geološko-geotehnična poročilo za trgovski center Slovenj Gradec*.

PRO MARO D.O.O. (Marec, 2021). *Geološko- geotehnično poročilo Nakupovalni center CP Ravne*.

PRO MARO D.O.O. (Marec, 2021). *PZI gradbene konstrukcije Nakupovalni center CP Ravne*.

- Slovenski inštitut za standardizacijo, S. i. (1997). *SIST EN: Eurocode 7- geotehnično projektiranje- 1. del.*
- Tiroler Rohre GmbH.* (05 2016). Pridobljeno iz TRM: <https://trm.at/en/piling-systems/industrial-construction>
- Vilkograd. (2016-2024). *Vilkograd.si.* Pridobljeno iz <https://www.vilkograd.com/dejavnosti/globoko-temeljenje/>
- Žitnik, D., Žitnik, m., Berdajs, m., Slak, d., Gruden, T., Vratuša, d., . . . Galonja, S. (2012). *Gradbeniški priročnik, Peta dopolnjena izdaja.* Tehniška založba Slovenije.

## **7 PRILOGE**

- Priloga 1: Geotehnični profili vrtin (Geološko-geotehnično poročilo nakupovalni center CP Ravne – vrtine, izdelane za predhodno planiran objekt dom starejših občanov) V1-V8
- Priloga 2: Poročilo o izdelavi u-vrtanih AB pilotov nakupovalni center CP Ravne – rojstni listi pilotov (AB-1, B3, C4, D6)
- Priloga 3: Geotehnični profili vrtin (Geološko-geotehnično poročilo trgovski center Slovenj Gradec) V1-V8